

Imprenta Universitaria 2017
Universidad Técnica del Norte
Diagramación & Diseño
Ing. Fernando Mafla Ibarra-Ecuador



ISBN: 978-9942-984-17-3



Febrero 2017

TECNOLOGÍAS APLICADAS A LA INGENIERÍA: FICA-UTN 2017



Universidad Técnica del Norte

COMITÉ EDITORIAL

MgS. Daisy Imbaquingo
Docente-Investigador
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.
Universidad Técnica del Norte.
Editora

Revisores Externos

Ph.D. David Ojeda Universidad de Carabobo	Ph.D. Brizeida Gámez Universidad de Carabobo
Ph.D. Diego Peluffo Universidad Técnica del Norte	Ph.D. Juan Carlos Pereira Universidad de Carabobo

Comité Científico - FICA

Director de Investigación: Ph.D. Gerardo Collaguazo

Ph.D. Miguel Rodriguez	Ph.D. Marcos Ciaccia
Ph.D. Pedro Garcia	Ph.D. Julio Pineda

Comité Editorial - FICA

MsC. Milton Gaviláñez Decano	MsC. Fernando Garrido Subdecano
---------------------------------	------------------------------------

LISTA DE AUTORES

Rodriguez M.	San Antonio T.	Urrutia F.	Larrea A.	Ciaccia M.
Narváez Y.	Castro J.	Ordóñez D.	Ramírez C.	Rosero C.
Vaca C.	Tobar L.	Jácome D.	Franklin Sosa	Herrera I.
Collaguazo G.	Lorente L.	Montero Y.	Valencia R.	Rosero F.
Garzón L.	León C.	Pambaquishpe L.	Aleaga A.	García A.
Rosero E.	Rosero P.	Peluffo D.	Chamba E.	Umaquina A.
Álvarez D.	Gómez D.	Cuzme F.	Echeverría R.	Rosero R.
Pupiales C.	Dominguez H.	Salazar J.,	Peluffo D.	Cano S.
Ruano A.	Revelo E.	Cuzme F.	Campaña H.	Ramírez C.
Pupiales C.	Dominguez H.	Fernández A.	Juan P.	Tafur P.
Santos F.	Perez M.	Alvarado J.	Umaquina A.	Peluffo D.
Rosero P.	Cabrera M.	Cisneros M.	Anaya A.	García I.
Pusdá M.	Pajares G.	Arciniega S.	Ramiro S.	Trejo D.
Salazar F.	Landaeta P.	Imbaquingo D.	Rea M.	Ramón Cala
Jácome P.	Arciniega S.	Calderón F.	Jácome J.	Caicedo F.
Freire C.	Potosía W.	Soto C.	Montenegro O.	Patricio E.
Puente M.	Pineda J.	Imbaquingo D.	Vispo N.	Puente P.
Mora E.	Guevara C.	Vásquez C.	Ortega C.	Pusdá M.
Pineda J.	Masa Noguchi	Salazar S.	Suárez W.	Michelena J.
Fermín L.	De la vega J.			

EDITORIAL

La Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica de Norte, basada en su misión que es la de formar profesionales de excelencia académica, críticos, humanistas, líderes y emprendedores con responsabilidad social, donde se genera, fomenta y ejecuta procesos de transferencia de saberes, de conocimientos científicos, tecnológicos y de innovación, presenta el Libro Tecnologías Aplicadas a la Ingeniería donde se presentan artículos científicos desarrollados por académicos de la facultad y de otras universidades del mundo, permitiendo de esta manera conocer estudios e investigaciones de gran interés para la comunidad universitaria, dichos artículos fueron evaluados en base a un proceso de revisión por pares ciegos de investigadores de prestigiosos centros de educación superior internacionales en diversas áreas de conocimiento científico: Ciencias Exactas, Energía, Mecánica, Eléctrica y Electrónica, Ciencias de la Computación, Industrial, Textil. Un agradecimiento sincero a todos los autores que en base a su dedicación y perseverancia han logrado la publicación de sus artículos, de la misma manera a los revisores por su trabajo desinteresado en la participación de este libro.

MGS. DAISY IMBAQUINGO

Editora, Facultad de Ciencias en Ingeniería Aplicada
Ibarra, Imbabura, Ecuador

INTRODUCCIÓN

La Universidad Técnica del Norte en los tiempos actuales está inserta en el proceso de globalización, de cambio permanente, y de innovación tecnológica, adaptadas a las necesidades locales, llevadas a la práctica en un centro de educación superior, el cual consolida su fortaleza en procesos de investigación e innovación con el fin de apoyar al mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad.

En este contexto se publica el libro *TECNOLOGÍAS APLICADAS A LA INGENIERÍA*, en su primera edición, constituyéndose en un soporte de divulgación académica, el cual es publicado por la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, con el propósito de difundir, compartir y debatir sobre el proceso de generación del conocimiento a nivel local e internacional, socializando las actividades científicas y tecnológicas multidisciplinarias que determina la generación de conocimiento.

Este es el resultado del trabajo académico multidisciplinario y coordinado entre los actores involucrados en la generación de investigación, desarrollo e innovación, quienes han trabajado bajo el modelo de la Ingeniería Concurrente, es decir, trabajar de manera multidisciplinaria en equipos profesionales de diferentes formaciones que desde su enfoque contribuyen en la búsqueda de teorías, conceptos, métodos aplicados a las diferentes disciplinas científicas.

En esta publicación se recogen artículos de carácter científico que son el fruto de un trabajo permanente, responsable y comprometido con la academia, quienes comparten con la comunidad sus más recientes hallazgos en las áreas de la informática, comunicaciones, minería de datos, mecatrónica, eléctrica, industrial, textil entre otros, promoviendo por este medio, la difusión y el intercambio de experiencias, reflexiones e investigaciones en torno a las ciencias aplicadas.

Invitamos al inquieto lector académico, que repase nuestros artículos, cuyo objetivo final no es brindar respuestas, sino más bien convertirse en generadores de nuevas preguntas, propiciando así la dialéctica académica, que busca siempre el plantear y replantear paradigmas, ya que esa es la esencia de toda universidad.

MILTÓN GAVILÁNEZ, M.Sc.

Decano, Facultad de Ciencias en Ingeniería Aplicada
Ibarra, Imbabura, Ecuador

Índice general

1 Efecto Escalar Dual Aharonov-Bohm en Electrodinámica Masiva: Límite Sobre la Masa del Fotón.	1
Miguel Rodríguez.	
1.1. Introducción	1
1.2. Ecuaciones de Proca y Campo Magnético de un Solenoide Infinito	2
1.3. Efecto Dual Escalar Aharonov-Bohm	5
1.4. Límite sobre la masa del fotón	7
1.5. Conclusiones	8
1.6. Anexo	8
2 El individuo con discapacidad física y su posibilidad de inserción laboral en Ecuador.	11
San Antonio T., Urrutia F., Larrea A., Ciaccia M.	
2.1. Introducción	11
2.2. Sistema de Apoyo a la Persona con Discapacidad	12
2.3. Situación Actual de la Persona con Discapacidad	17
2.4. Propuestas para mejorar la inclusión laboral de los usuarios de sillas de ruedas	19
2.5. Conclusiones	21
3 Proposal for the Design of Automatic Control of a Biodiesel Production Plant from Used Cooking Oil	27
Rosas-Narváez Y.C., Salazar-Castro J. A., Peluffo-Ordóñez D. H., Ramírez C.	
3.1. Introducción	27
3.2. Materiales y métodos	28
3.3. Diseño de la planta piloto y automatización	30
3.4. Conclusiones	31
4 Sensor Inalámbrico para Señales Electromiográficas Superficiales	33
Rosero C., Vaca C., Tobar L. y Jácome D.	
4.1. Introducción	33
4.2. Metodología	34
4.3. Resultados y Discusión	36
4.4. Conclusiones	38

5	Propuesta de sistemas de continuidad del negocio (BCP/DRP)...	41
	Sosa F.	
5.1.	Introduction	42
5.2.	Fases de la propuesta planteada	42
5.3.	Por qué implementar la propuesta en un muestreo de las pymes de Ibarra	46
5.4.	Que se encontró en la aplicación de la propuesta del muestreo de las PYMES de Ibarra	47
5.5.	Conclusiones	49
6	Revisión: Optimización de rutas de recolección de residuos sólidos municipales en países en vías de desarrollo.	51
	Herrera I., Collaguazo G., Lorente L., Montero Y. y Valencia R.	
6.1.	Introducción	51
6.2.	Definición del problema de enrutamiento de los camiones recolectores de RSM	54
6.3.	Producción científica en torno al problema del enrutamiento de camiones de RSM	54
6.4.	Clasificación del WCVRP de acuerdo a la demanda de servicio	55
6.5.	Ruteo por nodos en el WCVRP	57
6.6.	Ruteo por arcos en el WCVRP	58
6.7.	Clasificación del WCVRP según el tipo de residuos	58
6.8.	Procedimientos para dar solución al WCVRP	61
6.9.	Implementaciones del WCVRP en Ecuador	61
6.10.	Conclusiones	61
7	Los patrones de viaje en taxi como herramienta de gestión de la movilidad urbana.	67
	Rosero F., Garzón L., León C.	
7.1.	Introducción	67
7.2.	Materiales y Métodos	68
7.3.	Criterios para Sectorización	72
7.4.	Firmware del Dispositivo	72
7.5.	Software de Procesamiento	73
7.6.	Resultados	73
7.7.	Conclusión	74
8	Generación de trayectorias de corte a partir de distribuciones de piezas en chapas.	77
	Lorente L., Lastre A., y Cordovéz A.	
8.1.	Introducción	77
8.2.	Generación de trayectorias para corte de piezas en chapas	78
8.3.	Resultados y discusión	88
8.4.	Conclusiones	91
9	Evolución de los textiles inteligentes: revisión de Literatura	93
	Rosero E., Rosero P., Pambaquishpe L., Chamba E., y Umaquina A.	
9.1.	Introducción	93
9.2.	Evolución de los textiles inteligentes	94
9.3.	Componentes de los textiles ultra inteligentes	97
9.4.	Conclusiones y discusiones	98
10	Estudio descriptivo sobre herramientas de dispositivos eye-tracking.	101
	Álvarez D., Gómez D. y Peluffó D.	
10.1.	Introducción	101

10.2.	Descripción de herramientas de eye-tracking	102
10.3.	Conclusiones	104
10.4.	Comentarios finales y trabajo futuro	105
11	Mundos Virtuales en entornos no-lúdicos aplicados a la automoción	107
	Echeverría R. y Rosero R.	
11.1.	Introducción	107
11.2.	Características de MV	108
11.3.	Progresión histórica de los MV	109
11.4.	Elementos de DE MV	110
11.5.	Plataformas de MV	111
11.6.	Marco de aplicación	111
11.7.	Entorno virtual para el entrenamiento en la reparación y mantenimiento de vehículos	112
11.8.	Conclusiones y trabajos futuros	112
12	Redes Ópticas para Centros de Datos: Una breve visión	115
	Pupiales C., Dominguez H. y Cuzme F.	
12.1.	Introducción	115
12.2.	Análisis funcional	116
12.3.	Modificaciones propuestas a sistemas existentes	117
12.4.	Beneficios esperados	119
12.5.	Conclusiones	119
13	Prototipo Portable de Bajo Costo Para el Apoyo a Terapias De Bio-Realimentación en Trastornos Psicofisiológicos 121	
	Salazar S., Peluffo D., Cano S., Salazar J., Ruano A., Campaña H. y Ramírez R.	
13.1.	Introducción	121
13.2.	Diseño Del Dispositivo	123
13.3.	Resultados y Discusión	127
13.4.	Conclusiones	132
14	Caracterización de electrolitos poliméricos tipo gel...	135
	Tafur J., Santos F., Perez M. y Fernández A.	
14.1.	Introducción	135
14.2.	Parte experimental	136
14.3.	Resultados y discisión	137
14.4.	Conclusiones	143
15	Propuesta de análisis visual de datos en Big Data usando reducción de dimensión interactiva 145	
	Umaquina A., Peluffo D., Rosero P., Cabrera M., Alvarado J. y Anaya A.	
15.1.	Introducción	145
15.2.	Breve revisión de los métodos de reducción de dimensión existentes, y técnicas de visualización	147
15.3.	Metodología de visualización propuesta	150
15.4.	Discusión	152
15.5.	Conclusiones	152
15.6.	Agradecimientos	152

16	Identificación automática de vegetación utilizando imágenes agrícolas: una revisión de métodos	155
	García-Santillan I., PUSDÁ M. y Pajares G.	
16.1.	Introducción	155
16.2.	Revisión de métodos	156
16.3.	Comparación de métodos	158
16.4.	Conclusiones	160
16.5.	Trabajos a futuro	161
16.6.	Agradecimientos	161
17	Caracterización de las Mipymes en la Zona de Planificación 1 del Ecuador	163
	Cisneros M. y Ramiro S.	
17.1.	Introducción	163
17.2.	Desarrollo	165
17.3.	Conclusiones	175
18	Comparación de dos infraestructuras abiertas de cloud computing y su implementación	177
	Trejo D., Salazar F., Landeta P., Arciniega S. y Rea M.	
18.1.	Introducción	177
18.2.	Materiales y Métodos	178
18.3.	Método de la comparativa	180
18.4.	Resultados	182
18.5.	Conclusiones	184
19	Desaponificado de quinua del ecotipo chimborazo mediante lecho fluidizado pulsante.	185
	Ramón Cala	
19.1.	Introducción	185
19.2.	Materiales y métodos	186
19.3.	Procedimiento experimental	187
19.4.	Metodología experimental utilizada	190
19.5.	Resultados y discusiones	191
19.6.	Conclusiones	192
20	Evaluación Comparativa de Frameworks Opensource Bootstrap y Uikit mediante ISO/IEC 25010	195
	Jácome P., Arciniega S., Imbaquingo D. y Jácome J.	
20.1.	Introducción	195
20.2.	Desarrollo de contenidos	196
20.3.	Metodología y análisis de resultados	196
20.4.	Conclusiones	203
21	Sistema para monitoreo de cultivos, con base en GIS	205
	Caicedo F., Freire C., Potosía W. y Calderón F.	
21.1.	Introducción	205
21.2.	Método	206
21.3.	Análisis de resultados	215
21.4.	Conclusiones	215

22	Análisis de la gestión industrial en las mipymes de manufactura de Imbabura (noviembre 2016)	221
	Montenegro O. y Ortega P.	
	22.1. Introducción	221
	22.2. Materiales y métodos	224
	22.3. Resultados	225
23	El riesgo químico en la industria textil y las nuevas tecnologías	235
	Puente M., Pineda J., Soto C., Vispo N., Puente P., y Mora E.	
	23.1. Introducción	235
	23.2. Análisis de la literatura científ	236
	23.3. Especificaciones del proceso textil	238
	23.4. Avances científicos en la industria textil	239
	23.5. Resumen de las posibles enfermedades que puede contraer el trabajador textil	241
	23.6. Conclusiones	241
24	Causas que dificultan el uso de plataformas business intelligence en procesos de acreditación universitaria	247
	Guevara C., Imbaquingo D., Ortega C., Pusedá M., Pineda J. y Granda P.	
	24.1. Introducción	247
	24.2. Materiales y Métodos	249
	24.3. Resultados	249
	24.4. Discusión	252
	24.5. Conclusion	254
25	Esenciales de la entrega japonesa de la producción en masa personalizable de hogares con baja energía.	255
	Masa Noguchi	
	25.1. Introducción: Evolución de la industria japonesa de casas prefabricadas.	255
	25.2. Producción orientada a la calidad	257
	25.3. Comunicación orientada al usuario	259
	25.4. Prefabricadas personalizables producidas en masa	262
	25.5. Moviéndose hacia casas de bajo consumo de energía	266
	25.6. Conclusiones	270
26	Prototipo electrónico programado mediante bloques con una aplicación móvil para la enseñanza	273
	Vásquez C., Suárez W. y Michelena J.	
	26.1. Introducción	273
	26.2. Fundamentación teórica	274
	26.3. Desarrollo del prototipo electrónico programado mediante bloques con una APP móvil	279
	26.4. Conclusiones	286
	26.5. Recomendaciones	288
27	Tridimensional trajectory following control for a helicopter with PVFC and HW The Loop	291
	Fermín L. y De la Vega J.	
	27.1. Introduction	291
	27.2. Fuzzy control and PVFC application	297
	27.3. Results y discussions	299
	27.4. Conclusion	299

Capítulo 1

EFFECTO ESCALAR DUAL AHARONOV-BOHM EN ELECTRODINÁMICA MASIVA: LÍMITE SOBRE LA MASA DEL FOTÓN.

MIGUEL RODRIGUEZ.

Ingeniería Mecatrónica, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas,
Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador,100150.

Resumen: En este trabajo se explora el efecto dual escalar Aharonov-Bohm en el contexto de la electrodinámica masiva. Específicamente, se obtiene el corrimiento de fase de una haz de partículas neutras en presencia de un campo magnético homogéneo de un solenoide infinito calculado con las ecuaciones de Proca. La corrección a la fase introducida por las ecuaciones de Proca son comparadas con la precisión experimental y un límite del orden de $2 \times 10^{-44}g$ es obtenido para la masa del fotón.

Palabras Claves: Masa del fotón, ecuaciones de Proca, efecto Aharonov-Bohm.

1.1. Introducción

El fotón es la partícula que media la interacción electromagnética. Esta partícula aparece como una consecuencia de la cuantización de la teoría de Maxwell con la peculiaridad de que no posee masa [1]. Por otro lado, Proca [2] en 1936 introdujo una generalización relativista de las ecuaciones de Maxwell las cuales conducen, a través de la cuantización, a un fotón con masa [1]. Aunque el escenario de Maxwell ha sido ampliamente probado experimentalmente, el escenario de Proca no deja de llamar la atención debido a que parece más intuitivo que toda partícula en la naturaleza posea masa. En consecuencia, la controversia de que el fotón posea masa o no debe ser resuelta solo por medio de verificación experimental. Una controversia similar se presentó con el neutrino, la cual es la partícula que media la interacción nuclear fuerte. Esta partícula fue considerada sin masa al igual que el fotón, pero recientemente, se ha observado experimentalmente la oscilación de los neutrinos una propiedad que es posible solo si el neutrino tiene masa [3][4]. Por tanto, la búsqueda de la masa del fotón (a diferencia de la masa del neutrino) sigue siendo una tema abierto y fundamental en la física de partículas.

Perspectiva teórica: Desde el punto de vista teórico la inserción de un término masivo en la lagrangiana de la electrodinámica cuántica rompe su invariancia de calibre, es decir, la teoría no puede ser renormalizable. Pero este no es el caso de la lagrangiana de Proca debido a que es la versión de calibre fijo de la lagrangiana de Stückelberg [5] la cual restaura la invariancia de calibre. Lo anterior indica que la teoría puede admitir un fotón masivo, pero finalmente debe ser la verificación experimental la que tenga la última palabra. De acuerdo

al principio de incertidumbre ($m_\gamma \approx \hbar/(\Delta t)c^2$) el límite superior final que se puede establecer para la masa del fotón es $m_\gamma \approx 10^{-66}g$, donde se ha usado la edad del universo que es alrededor de 10^{10} años para Δt [6].

Metodología: En la teoría de Proca los campos eléctricos y magnéticos son modificados, por ejemplo, el potencial de una partícula cargada q presenta la forma de un potencial tipo Yukawa [6], es decir, $V(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^{-\mu_\gamma r}}{r}$, el cual se reduce al potencial de Coulomb en el límite $\mu_\gamma \rightarrow 0$. Siendo μ_γ (medido en m^{-1}) un parámetro relacionado con la masa del fotón a través de la relación $m_\gamma = \mu_\gamma \hbar/c$. Según un teorema debido a Goldhaber y Nieto [7] se establece que: “*el cambio fraccional debido a la masa del fotón en los campos en una región de dimensión D es del orden de $(\mu_\gamma D)^2$* ”. Por tanto, si un determinado fenómeno produce una intensidad observable I en la teoría de Maxwell, la misma intensidad en la teoría de Proca será $\sim I + I(\mu_\gamma D)^2$. El término $I(\mu_\gamma D)^2$ es el efecto debido a la masa del fotón, el cual debe ser muy pequeño y su efecto a lo sumo debe estar enmascarado en la precisión experimental, ΔI , del fenómeno estudiado, así, $I(\mu_\gamma D)^2 \leq \Delta I$. Con esto se observa que $\mu_\gamma \leq D^{-1} \sqrt{\Delta I/I}$ lo cual muestra que el límite de la masa del fotón depende de la dimensión D , la precisión experimental ΔI y la intensidad I . Estas consideraciones dan origen a dos tipos de fenómenos que pueden explorarse:

- 1) Tipo 1: fenómenos de grandes escalas de longitud y/o baja precisión experimental, o
- 2) Tipo 2: fenómenos con muy pequeñas escalas de longitud y gran precisión experimental.

Entre los fenómenos del **tipo 1** se encuentran las mediciones de la desviación del campo dipolar magnético de la Tierra realizadas por Fischbach *et al.*[8] y Goldhaber y Nieto[9]. Una lista más extensa sobre métodos del tipo 1 se pueden encontrar en los trabajos de revisión de Tu *et. al.* [6] y Goldhaber y Nieto [7][10]. Entre los fenómenos del **tipo 2** se encuentra la prueba de alta precisión de la ley de Coulomb realizada por William *et al.* [11] y el experimento criogénico de Ryan *et al.* [12]. Como en los fenómenos del tipo 2 la precisión es algo fundamental, entonces es razonable explorar fenómenos cuánticos en los cuales está presente este requisito. Los primeros en explorar este escenario fueron Boulware y Deser [13] al estudiar efecto Aharonov-Bohm con la teoría de Proca. Posteriormente, el mismo enfoque fue extendido a otros efectos cuánticos del mismo tipo como el efecto Aharonov-Casher [14], efecto electrón-positrón [15] y efecto Tackchuk [16]. El efecto del tipo AB para neutrones propuesto por Sangster *et. al.*[17] fue estudiado por M. Rodríguez [18]. Otro escenario cuántico que ha sido explorado recientemente, es el de la espectroscopia atómica, específicamente, Caccavano y Leung han explorado el efecto de la masa del fotón en el contexto de la estructura hiperfina encontrando una expresión con la masa del fotón para la línea de 21cm del hidrógeno [19], en este mismo contexto M. Rodríguez ha explorado el efecto de la masa del fotón sobre la energía del estado base del hidrógeno [20]. Para ampliar la discusión sobre la masa del fotón en escenarios cuánticos se puede consultar el artículo de Spavieri *et. al.* [21].

Siguiendo esta metodología en este trabajo se explora un experimento del tipo 2, específicamente se explora el efecto Dual Escalar Aharonov-Bohm (DEAB) [22] el efecto en el contexto de las ecuaciones de Proca o electrodinámica masiva. En consecuencia, el trabajo se organiza de la siguiente forma: en la sección 1.2 se revisa la teoría de Proca y se deriva el campo magnético interno de un solenoide infinito, este resultado es una aplicación del procedimiento empleado por Boulware y Deser [13] para conseguir el campo magnético en el contexto del efecto Aharonov-Bohm con masa del fotón. En la sección 1.3 se introduce el efecto escalar Aharonov-Bohm [23] y su efecto dual el cual estudiaremos en este trabajo. Con los resultados de la sección 1.2 y el efecto DEAB en la sección 1.4 se establece un límite sobre la masa del fotón. Finalmente, en la sección 1.5 se hacen las conclusiones.

1.2. Ecuaciones de Proca y Campo Magnético de un Solenoide Infinito

1.2.1. Ecuaciones de Proca

El conjunto de ecuaciones del campo electromagnético que conducen al fotón masivo conocidas como ecuaciones de Proca son las siguientes (en el sistema internacional de unidades, SI):

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} - \mu_\gamma^2 \phi \quad (1.1)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1.2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (1.3)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} - \mu_\gamma^2 \mathbf{A} \quad (1.4)$$

donde \mathbf{E} es el campo eléctrico, \mathbf{B} el campo magnético, ρ la densidad de carga, \mathbf{J} la densidad de corriente, ϕ el potencial escalar, \mathbf{A} el potencial vectorial, μ_0 y ε_0 son la permitividad y permeabilidad del espacio libre y μ_γ una longitud característica de la teoría relacionada (a través de la cuantización [1]) con la *masa del fotón*, es decir:

$$m_\gamma = \frac{\mu_\gamma \hbar}{c} \quad (1.5)$$

Adicionalmente, los potenciales mantienen su forma estándar,

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}, \quad (1.6)$$

y

$$\mathbf{E} = -\nabla \phi - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \quad (1.7)$$

junto con la condición de Lorentz

$$\nabla \cdot \mathbf{A} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0 \quad (1.8)$$

la cual es necesaria para la validez de la conservación de la carga. Hay que resaltar que debido al parámetro μ_γ presente en las ecuaciones (1.1) y (1.4) los campos \mathbf{E} y \mathbf{B} adquieren una atenuación exponencial, adicional a la natural dependencia con la distancia, de aquí que la electrodinámica de Proca también sea conocida como electrodinámica de rango finito.

1.2.2. Campo Magnético de un Solenoide Infinito

Para encontrar el campo magnético estático dentro de un solenoide primero se debe obtener el vector potencial \mathbf{A} . Para esto se sustituye (1.6) en (1.4) junto con el calibre de Coulomb $\nabla \cdot \mathbf{A} = 0$, esta última condición se obtiene de considerar que los campos son estático y así la ecuación (1.8) da la condición mencionada. Así,

$$(-\nabla^2 + \mu_\gamma^2) \mathbf{A}_{AB} = \mu_0 \mathbf{J}_{AB}. \quad (1.9)$$

Ahora, sea $\mathbf{M}(z) = \bar{\mu} \hat{\mathbf{z}}$ la magnetización por unidad de longitud del solenoide así que la corriente superficial asociada es $\mathbf{K} = \bar{\mu} \hat{\phi}$. Por tanto, la ecuación (1.9) adquiere la siguiente forma:

$$(-\nabla^2 + \mu_\gamma^2) \mathbf{A}_{AB} = \hat{\phi} (\mu_0 \bar{\mu}) \delta(\rho - a) = \nabla \times \{B_0 \hat{\mathbf{z}} \Theta(a - \rho)\}, \quad (1.10)$$

donde $B_0 = \mu_0 \bar{\mu}$ es el campo magnético estándar interno de un solenoide infinito en unidades SI, a es el radio del solenoide, $(\hat{\rho}, \hat{\mathbf{z}})$ son vectores unitarios, Θ es la función escalón y ρ es el radio en el plano $x - y$. Si se toma $\mathbf{A} = \hat{\mathbf{z}} \times \nabla \Pi(\rho)$ entonces la ecuación (1.10) después de algunas manipulaciones (ver anexo 1) adquiere la siguiente forma:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial \Pi(\rho)}{\partial \rho} \right) - \mu_\gamma^2 \Pi(\rho) = B_0 \Theta(a - \rho). \quad (1.11)$$

La soluciones homogéneas relevantes de esta ecuación son las funciones de Bessel modificadas I_0 y K_0 la cuales son regulares en el origen y en el infinito, respectivamente:

$$\begin{aligned} x \rightarrow 0: & \quad I_0(x) \sim 1 + \frac{x^2}{4}, & \quad K_0(x) \sim -\ln\left(\frac{x}{2}\right) \\ x \rightarrow \infty: & \quad I_0(x) \sim (2\pi x)^{-1/2} e^x, & \quad K_0(x) \sim -\left(\frac{\pi}{2}\right)^{1/2} e^{-x}. \end{aligned}$$

Consecuentemente, la función de Green:

$$G(\rho, \rho') = I_0(\mu_\gamma \rho_{<}) K_0(\mu_\gamma \rho_{>}) \quad (1.12)$$

así $\Pi(\rho)$ está dado por:

$$\begin{aligned}\Pi(\rho) &= B_0\Theta(a - \rho)[K_0(\mu_\gamma\rho) \int_0^\rho I_0(\mu_\gamma\rho')\rho' d\rho' \\ &\quad + I_0(\mu_\gamma\rho) \int_\rho^a K_0(\mu_\gamma\rho')\rho' d\rho'] \\ &\quad - B_0\Theta(\rho - a)K_0(\mu_\gamma\rho) \int_0^a I_0(\mu_\gamma\rho')\rho' d\rho'.\end{aligned}\tag{1.13}$$

Por tanto, el campo magnético es:

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} = \hat{\mathbf{z}}\nabla^2\Pi = \hat{\mathbf{z}}B_0\Theta(a - \rho) + \hat{\mathbf{z}}\mu_\gamma^2\Pi(\rho).\tag{1.14}$$

El primer término del lado derecho de (1.14) es, por supuesto, el usual campo magnético \mathbf{B}_0 en la teoría de Maxwell. Es claro de (1.13) que $\mu_\gamma^2\Pi(\rho)$ se anula en el límite $\mu_\gamma \rightarrow 0$ ya que I_0 es regular y K_0 es logarítmico en los argumentos (para ρ fijo). El campo magnético interno del solenoide el cual es de interés en este trabajo estará dado por la siguiente expresión:

$$\mathbf{B} = \hat{\mathbf{z}}B_0\Theta(a - \rho) \{1 + \mu_\gamma^2 [C + D]\}\tag{1.15}$$

donde,

$$C = -\ln\left(\frac{\mu_\gamma\rho}{2}\right) \int_0^\rho \left(1 + \frac{(\mu_\gamma\rho')^2}{4}\right) \rho' d\rho'$$

y

$$D = -\left(1 + \frac{(\mu_\gamma\rho)^2}{4}\right) \int_\rho^a \ln\left(\frac{\mu_\gamma\rho'}{2}\right) \rho' d\rho'$$

La integrales de C y D son las siguientes:

$$\int_0^\rho \left(1 + \frac{(\mu_\gamma\rho')^2}{4}\right) \rho' d\rho' = \frac{1}{\mu_\gamma^2} \left[\frac{(\mu_\gamma\rho)^4}{10} + \frac{(\mu_\gamma\rho)^2}{2}\right]\tag{1.16}$$

$$\int_\rho^a \ln\left(\frac{\mu_\gamma\rho'}{2}\right) \rho' d\rho' = \frac{4}{\mu_\gamma^2} \left[\frac{[(\frac{\mu_\gamma a}{2})^2 \ln(\mu_\gamma a) - \frac{(\mu_\gamma a)^2}{4}]}{[\frac{(\mu_\gamma\rho)^2}{2} \ln(\mu_\gamma\rho) - \frac{(\mu_\gamma\rho)^2}{4}]} \right]\tag{1.17}$$

Sustituyendo (1.16) y (1.17) en (1.15) se obtiene:

$$\mathbf{B} = \hat{\mathbf{z}}B_0 \left[1 + \begin{aligned} &3\frac{(\mu_\gamma\rho)^2}{2} \ln(\mu_\gamma\rho) + 5\frac{(\mu_\gamma\rho)^4}{2} \ln(\mu_\gamma\rho) \\ &-2(\mu_\gamma a)^2 \ln(\mu_\gamma a) - \frac{(\mu_\gamma\rho)^2(\mu_\gamma a)^2}{2} \ln(\mu_\gamma a) \\ &+(\mu_\gamma a)^2 - (\mu_\gamma\rho)^2 + \frac{(\mu_\gamma\rho)^2(\mu_\gamma a)^2}{4} - \frac{(\mu_\gamma\rho)^4}{4} \end{aligned} \right]\tag{1.18}$$

Ahora bien, aunque (1.18) es la expresión del campo magnético dentro del solenoide, aquí se estará interesado en el campo interno cerca del origen, en este caso se cumple la siguiente aproximación:

$$\mu_\gamma\rho \ll \mu_\gamma a \ll 1$$

En consecuencia, el campo de interés en este trabajo tendrá la siguiente expresión:

$$\mathbf{B} = \hat{\mathbf{z}}B_0 \left[1 - 4\frac{(\mu_\gamma a)^2}{2} \ln(\mu_\gamma a) \right]\tag{1.19}$$

Si el campo es dependiente del tiempo en la forma de un pulso, entonces el campo (1.19) tomar la forma:

$$\mathbf{B}(t) = \hat{\mathbf{z}}B_0(t) \left[1 - 4 \frac{(\mu_\gamma a)^2}{2} \ln(\mu_\gamma a) \right] \quad (1.20)$$

donde

$$B_0(t) = \begin{cases} B_0 & \text{si } 0 \leq t \leq t_v \\ 0 & t > t_v \end{cases}$$

Siendo t_v el tiempo durante el cual es aplicado el pulso.

1.3. Efecto Dual Escalar Aharonov-Bohm

1.3.1. Efecto escalar Aharonov-Bohm

En la literatura poco se menciona el efecto escalar (o eléctrico) Aharonov-Bohm (EAB) para electrones propuesto por Aharonov y Bohm en su famoso trabajo de 1959 [23] titulado “Importancia de los Potenciales Electromagnéticos en Teoría Cuántica”. En este efecto el corrimiento del patrón de interferencia es causado por la presencia de un potencial escalar, $V = -eU$, en el camino de las partículas, aunque $\mathbf{E} = \mathbf{B} = 0$. La ecuación de Schrödinger en este caso toma la siguiente forma:

$$(H_0 + V) \Psi = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi \quad (1.21)$$

En la figura (1.1) se ilustra el efecto escalar Aharonov-Bohm. En este efecto un paquete de electrones es dividido en dos paquetes que viajan a través de dos cilindros que actúan como cajas de Faraday. Durante el tránsito de cada paquete de electrones a través de los cilindros un pulso de potencial es encendido en cada cilindro durante un intervalo de tiempo τ . Se considera que el pulso es encendido cuando el paquete de electrones está lejos de los bordes de los cilindros. Esta condición permite contar con un potencial constante (efecto libre de fuerzas) y también despreciar los efectos de borde. Ahora bien, según la ecuación de Schrödinger (1.21) la diferencia de fase, $\Delta\phi_S$, que experimentan estos dos paquetes cuando emergen de las cajas de Faraday es:

$$\Delta\phi_S = \frac{1}{\hbar} \int_{t_1}^{t_2} e [U_2(t) - U_1(t)] dt = \frac{e}{\hbar} [U_2 - U_1] \tau \quad (1.22)$$

donde se ha considerado que:

$$U_2(t) = \begin{cases} U_2 & \text{si } t_1 \leq t \leq t_2 \\ 0 & t > t_1 \text{ y } t < t_2 \end{cases}$$

y

$$U_1(t) = \begin{cases} U_1 & \text{si } t_1 \leq t \leq t_2 \\ 0 & t > t_1 \text{ y } t < t_2 \end{cases}$$

siendo $\tau = t_2 - t_1$. Un efecto mayor se consigue si $U_1 = -U_2$, así la fase sería el doble, es decir:

$$\Delta\phi_S = 2 \frac{e}{\hbar} U_2 \tau \quad (1.23)$$

1.3.2. Efecto dual escalar Aharonov-Bohm

Allman et. al. [22] presentó un experimento muy similar al efecto EAB, pero con neutrones. En éste el corrimiento de fase es producido por el potencial escalar, $V = -\boldsymbol{\mu} \cdot \mathbf{B}$, en analogía con el potencial escalar $V = -eU$. Para ello se reemplaza el paquete de electrones por un paquete de neutrones (Fig 1.2), y los cilindros o cajas de Faraday por solenoides con pulsos de corrientes \mathbf{i}_1 e \mathbf{i}_2 que producen pulsos de

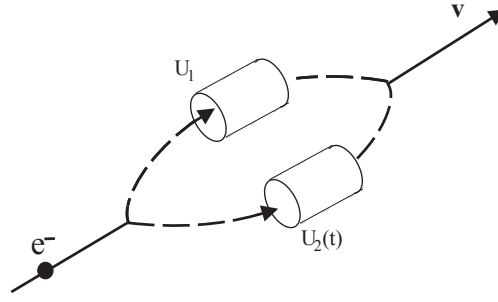


Figura 1.1: Ilustración del efecto AB escalar (o eléctrico) para electrones. Dos haces coherentes de electrones viajan a través de dos cilindros mantenidos a diferentes potenciales, $U_1(t)$ y $U_2(t)$. El corrimiento de fase se produce cuando el potencial en uno de los cilindros es pulsado durante el tiempo en que dura el haz en atravesarlo. Dentro de los cilindros el campo eléctrico y magnético es cero $E = B = 0$.

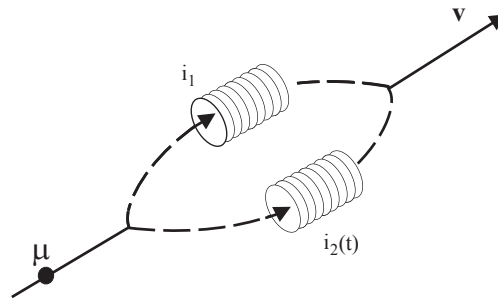


Figura 1.2: Ilustración del efecto dual AB escalar (o magnético) para neutrones. Dos haces coherentes de neutrones viajan a través de dos solenoides en los cuales circulan dos corrientes, $i_1(t)$ y $i_2(t)$. El corrimiento de fase se produce cuando la corriente en cada solenoide es pulsada durante el tiempo τ que el paquete permanece dentro de los solenoides.

campos magnéticos $B_2(t)$ y $B_1(t)$. En consecuencia, la diferencia de fase, $\Delta\phi_N$, experimentada por los paquetes de neutrones es:

$$\Delta\phi_N = \frac{1}{\hbar} \int_{t_1}^{t_2} \mu [B_2(t) - B_1(t)] dt \quad (1.24)$$

Ahora si,

$$B_2(t) = \begin{cases} B_0 & \text{si } t_1 \leq t \leq t_2 \\ 0 & t > t_1 \text{ y } t < t_2 \end{cases}$$

y

$$B_1(t) = \begin{cases} -B_0 & \text{si } t_1 \leq t \leq t_2 \\ 0 & t > t_1 \text{ y } t < t_2 \end{cases}$$

Entonces,

$$\Delta\phi_N = \frac{2}{\hbar} \int \mu B_2(t) dt = 2 \frac{\mu B_0}{\hbar} \tau \quad (1.25)$$

donde $\tau = t_2 - t_1$ y μ es el momento magnético de los neutrones. Observe que en este efecto tampoco se toman lo efecto de borde ya que el paquete de neutrones se considera que esta dentro del cilindro y alejado de los borden cuando el pulso de corriente en cada solenoide es encendido.

1.4. Límite sobre la masa del fotón

Para establecer un límite sobre la masa del fotón en la configuración propuesta por Allman et. al. [22]. Se sustituye la expresión (1.20) en (1.25), así se obtiene la fase para escalar neutrones en electrodinámica masiva, $\Delta\phi_{N,\gamma}$:

$$\Delta\phi_{N,\gamma} = \frac{\mu B_0 \tau}{\hbar} \left[1 - 4 \frac{(\mu_\gamma a)^2}{2} \ln(\mu_\gamma a) \right]$$

Es conveniente separar esta expresión de la siguiente forma:

$$\Delta\phi_{N,\gamma} = \Delta\phi_N - \Delta\phi_N [2(\mu_\gamma a)^2 \ln(\mu_\gamma a)]$$

donde $\Delta\phi_N = \frac{2\mu B_0}{\hbar} \tau$. Por tanto, el término adicional en la fase debido a la masa del fotón es:

$$\Delta\phi_\gamma = \Delta\phi_N [2(\mu_\gamma a)^2 \ln(\mu_\gamma a)]$$

En esta última expresión se puede considerar que $2(\mu_\gamma a)^2 \ln(\mu_\gamma a) \simeq 2(\mu_\gamma a)^2$, con lo que nos queda que la corrección a la fase debido a la masa del fotón, $\Delta\phi_\gamma$, es la siguiente:

$$\Delta\phi_\gamma = 2\Delta\phi_N (\mu_\gamma a)^2 \quad (1.26)$$

Lo cual concuerda con el teorema de Goldhaber y Nieto [7] mencionado en la introducción, es decir, que la corrección debida a la masa del fotón es del orden de $(\mu_\gamma D)^2$ donde D es la dimensión de la región de interacción, en este caso D es el radio del solenoide a . Por tanto,

$$2\Delta\phi_N (\mu_\gamma a)^2 \leq \delta(\Delta\phi_N)$$

Así,

$$\mu_\gamma = a^{-1} \sqrt{\frac{1}{2} \frac{\delta(\Delta\phi_N)}{\Delta\phi_N}} \quad (1.27)$$

donde $\delta(\Delta\phi_N)$ es la precisión de la medida en este escenario.

La expresión (1.27) es el resultado que permite obtener un límite sobre la masa del fotón. Como en este trabajo se está explorando la posibilidad de obtener un límite m_γ se procede a ensayar valores de los parámetros contenido en (1.27) que estén dentro de la tecnología experimental permitida. Para este fin es necesario considerar neutrones ultra lentos, según Daum et. al. [24] los neutrones pueden obtener velocidades bajas, por ejemplo, $v = 10m/s$, esto implica que el tiempo de vuelo de los neutrones dentro de un solenoide de 1m de longitud es de $t_v = 10^{-1}m/s$. Con esta velocidad para los neutrones entonces el pulso del campo magnético dentro del solenoide se puede activar durante $\tau = 10^{-2}s$, esto es equivalente a una distancia de vuelo de 10cm, lo cual es necesario para que los neutrones estén en el centro del solenoide y así no tomar en cuenta los efectos de borde. Según Boulware y Deser [13] el campo magnético del solenoide puede ser $B_0 = 10T$. Además, el radio del solenoide puede ser de $a = 10^{-1}m$. Finalmente, la precisión de la medida que se puede obtener en interferómetros de neutrones es de $\delta(\Delta\phi_N) = 5,2 \times 10^{-4}rad$, como lo reseña el trabajo de Cimmino et. al. [25] en la medición del efecto topológico del tipo Aharonov-Bohm para neutrones conocido como efecto Aharonov-Casher [26]. Con todos estos datos se obtiene el siguiente límite para μ_γ :

$$\mu_\gamma = 10m^{-1} \sqrt{\frac{1}{2} \frac{5,2 \times 10^{-4}}{9,2 \times 10^6}} = 5,3 \times 10^{-5}m^{-1}$$

Esto implica un límite buscado para m_γ según (1.5) es:

$$m_\gamma = 2 \times 10^{-44}g.$$

1.5. Conclusiones

En este trabajo se ha calculado el campo interior de un solenoide con la electrodinámica de Proca. Este resultado junto con la fase del efecto DEAB propuesto por [22] et. al. permite obtener una expresión para masa del fotón en este contexto. Bajo ciertas consideraciones experimentales es posible obtener un límite sobre la masa del fotón del orden de $2 \times 10^{-44}g$. El valor obtenido es un orden de magnitud mayor que el límite reportado por [13] y tres órdenes de magnitud menor que el resultado reportado por M. Rodriguez [18] en el contexto del experimento de Sangster et. al. [17]. Con el advenimiento de mejoras en la precisión de los interferómetros es posible obtener límites más próximos al límite final de $10^{-66}g$.

1.6. Anexo

El primer término del lado izquierdo de (1.10) resulta ser

$$-\nabla^2 \mathbf{A}_{AB} = \nabla \times (\nabla \times \mathbf{A}_{AB}) - \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}_{AB}). \quad (1.28)$$

Pero $\nabla \cdot \mathbf{A} = 0$, por tanto, queda que,

$$-\nabla^2 \mathbf{A}_{AB} = \nabla \times (\nabla \times \mathbf{A}_{AB}). \quad (1.29)$$

El segundo término del lado izquierdo de (1.10) se puede escribir como

$$\mu_\gamma^2 \mathbf{A}_{AB} = \mu_\gamma^2 \hat{\mathbf{z}} \times \nabla \Pi(\rho) = \mu_\gamma^2 \Pi(\rho) (\nabla \times \hat{\mathbf{z}}) - \mu_\gamma^2 \nabla \times (\Pi(\rho) \hat{\mathbf{z}}), \quad (1.30)$$

pero $(\nabla \times \hat{\mathbf{z}}) = 0$, por tanto,

$$\mu_\gamma^2 \mathbf{A}_{AB} = -\mu_\gamma^2 \nabla \times (\Pi(\rho) \hat{\mathbf{z}}). \quad (1.31)$$

Sustituyendo (1.29) y (1.31) en (1.10) se obtiene

$$-\nabla^2 \mathbf{A}_{AB} + \mu_\gamma^2 \mathbf{A}_{AB} = \nabla \times (\nabla \times \mathbf{A}_{AB}) - \quad (1.32)$$

$$\nabla \times (\mu_\gamma^2 \Pi(\rho) \hat{\mathbf{z}}) = \nabla \times [B_0 \hat{\mathbf{z}} \Theta(a - \rho)]. \quad (1.33)$$

Ahora bien,

$$\nabla \times \mathbf{A}_{AB} = \nabla \times [\hat{\mathbf{z}} \times \nabla \Pi(\rho)]. \quad (1.34)$$

Considere la siguiente identidad vectorial

$$\nabla \times (\mathbf{A} \times \mathbf{B}) = (\mathbf{B} \cdot \nabla) \mathbf{A} - (\mathbf{A} \cdot \nabla) \mathbf{B} + \mathbf{A}(\nabla \cdot \mathbf{B}) - \mathbf{B}(\nabla \cdot \mathbf{A}). \quad (1.35)$$

Aplicémosla a la ecuación (1.34), con $\mathbf{A} = \hat{\mathbf{z}}$ y $\mathbf{B} = \nabla \Pi(\rho)$. El único término que sobrevive del lado derecho de (1.35) es el tercero. Esto implica que (1.34) queda de la siguiente forma

$$\nabla \times \mathbf{A}_{AB} = \nabla \times [\hat{\mathbf{z}} \times \nabla \Pi(\rho)] = \hat{\mathbf{z}}(\nabla \cdot \nabla \Pi(\rho)) = \hat{\mathbf{z}} \nabla^2 \Pi(\rho). \quad (1.36)$$

Sustituyendo (1.36) en (1.32) tenemos

$$\nabla \times [\hat{\mathbf{z}} \nabla^2 \Pi(\rho) - \mu_\gamma^2 \Pi(\rho) \hat{\mathbf{z}}] = \nabla \times [B_0 \hat{\mathbf{z}} \Theta(a - \rho)]. \quad (1.37)$$

Igualando a cero esta ecuación,

$$\nabla \times [\hat{\mathbf{z}} \nabla^2 \Pi(\rho) - \mu_\gamma^2 \Pi(\rho) \hat{\mathbf{z}} - B_0 \hat{\mathbf{z}} \Theta(a - \rho)] = 0. \quad (1.38)$$

se obtiene,

$$\nabla^2 \Pi(\rho) - \mu_\gamma^2 \Pi(\rho) = B_0 \Theta(a - \rho). \quad (1.39)$$

cuya expresión en coordenadas cilíndricas es:

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial \Pi(\rho)}{\partial \rho} \right) - \mu_\gamma^2 \Pi(\rho) = B_0 \Theta(a - \rho). \quad (1.40)$$

Manipulando (1.40) nos queda la ecuación(1.11).

Referencias

1. W. Greiner and J. Reinhardt, *Field Quantization*, Chapter N-1, Springer-Verlag, New York, 1996.
2. A. Proca, “Sur la Théorie Du Positron,” *Acad. Sci.*, **8**, 202 (1938).
3. A. B. McDonald, “Nobel Lecture: The Sudbury Neutrino Observatory: Observation of flavor change for solar neutrinos,” *Rev. Mod. Phys.*, **88**, 030502 (2016).
4. T. Kajita, “Nobel Lecture: Discovery of atmospheric neutrino oscillations,” *Rev. Mod. Phys.*, **88**, 030502 (2016).
5. H. Ruegg and M. Ruiz-Altaba, “The Stueckelberg field,” *Int. J. Mod. Phys. A*, **19**, 3265 (2004).
6. Liang-Cheng Tu and Jun Luo and George T Gillies, “The mass of the photon,” *Rep. Prog. Phys.*, **68**, 77 (2005).
7. A. S. Goldhaber and M. M. Nieto, “Terrestrial and Extraterrestrial Limits on The Photon Mass,” *Rev. Mod. Phys.*, **43**, 277 (1971).
8. E. Fischbach, H. Kloor, R. A. Langel, A. T. Y. Lui and M. Peredo, “New geomagnetic limits on the photon mass and on long-range forces coexisting with electromagnetism,” *Phys. Rev. Lett.*, **173**, 514 (1994).
9. A. S. Goldhaber and M. M. Nieto, “New Geomagnetic Limit on the Mass of the Photon,” *Phys. Rev. Lett.*, **21**, 567 (1968).
10. A. S. Goldhaber and M. M. Nieto, “Photon and graviton mass limits,” *Rev. Mod. Phys.*, **82**, 939 (2010).
11. E. R. Williams, J. E. Faller, and H. A. Hill, “New Experimental Test of Coulomb’s Law: A Laboratory Upper Limit on the Photon Rest Mass,” *Phys. Rev. Lett.*, **26**, 721 (1971).
12. J. J. Ryan, F. Accetta and R. H. Austin, “Cryogenic photon-mass experiment,” *Phys. Rev. D*, **32**, 802 (1985).
13. D. Boulware and S. Deser, “Aharonov-Bohm effect and the mass of the photon,” *Phys. Rev. Lett.*, **63**, 2319 (1989).
14. C. Fuchs, “Aharonov-Casher effect in massive-photon electrodynamics,” *Phys. Rev. D*, **42**, 2940 (1990).
15. G. Spavieri and M. Rodriguez, “Photon mass and quantum effects of the Aharonov-Bohm type,” *Phys. Rev. A*, **75**, 052113 (2007).
16. V. M. Tkachuk, “Quantum topological phase of an electric dipole circulating around a ferromagnetic wire,” *Phys. Rev. A*, **62**, 052112 (2000).
17. K. Sangster, E. A. Hinds, M. S. Barnett and E. Riis, “Measurement of the Aharonov-Casher phase in an atomic system,” *Phys. Rev. Lett.*, **71**, 3641 (1993).
18. M. Rodriguez, “Masa del fotón por medio de un condensador de placas paralelas,” *Rev. Mex. Fis.*, **55**, 373 (2009).
19. A. Caccavano and P. T. Leung, “Atomic spectroscopy and the photon mass: Effects on the 21 cm radiation,” *Phys. Lett. A*, **373**, 27777 (2013).
20. M. Rodriguez, “Ground-state energy of the hydrogen atom and the photon mass,” *En prensa: Phys. Lett. A*, (2016).
21. G. Spavieri, J. Quintero, G. T. Gillies and M. Rodriguez, M., “A survey of existing and proposed classical and quantum approaches to the photon mass,” *Eur. Phys. J. D*, **61**, 531 (2011).
22. B. E. Allman, A. Cimmino, A. G. Klein, G. I. Opat, H. Kaiser, S. A. Werner, “Scalar Aharonov-Bohm experiment with neutrons,” *Eur. Phys. J. D*, **68**, 2409 (1992).
23. Y. Aharonov and D. Bohm, “Significance of Electromagnetic Potentials in the Quantum Theory,” *Phys. Rev.*, **115**, 485 (1959).
24. M. Daum, A. Frei, P. Geltenbort, E. Gutmiedl, P. Höbel, H.-C. Koch, A. Kraft, T. Lauer, A.R. Müller, S. Paul and G. Zsigmond, “A low-pass velocity filter for ultracold neutrons,” *Nuclear Instruments and Methods*

- in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, **675**, 103 (2012).
25. A. Cimmino, G. I. Opat, A. G. Klein, H. Kaiser, S. A. Werner, M. Arif and R. Clothier, "Observation of the topological Aharonov-Casher phase shift by neutron interferometry," *Phys. Rev. Lett.*, **63**, 380 (1989).
 26. Y. Aharonov and A. Casher, "Topological Quantum Effects for Neutral Particles," *Phys. Rev. Lett.*, **53**, 319 (1984).

Capítulo 2

EL INDIVIDUO CON DISCAPACIDAD FÍSICA Y SU POSIBILIDAD DE INSERCIÓN LABORAL EN ECUADOR.

SAN ANTONIO T.¹, URRUTIA F.², LARREA A.², CIACCIA M.²

¹Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Civil y Mecánica, Ambato, Ecuador.

²Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Ambato, Ecuador.

³Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra, Ecuador.

Resumen: Se presenta una revisión del marco legal y de las estadísticas relacionadas con las personas con discapacidad en Ecuador, y su realidad en cuanto a inserción laboral. Se determina que el porcentaje actual de personas con discapacidad excluidas de los beneficios gubernamentales es elevado. Muy pocas personas en sillas de ruedas se encuentran laborando, por lo que se formulan dos propuestas: transformar las sillas de ruedas para que puedan superar ciertos obstáculos, en contraste con el ajuste del entorno laboral para poder emplear sillas de ruedas comunes, y un programa de empleo con apoyo para potenciar la inserción laboral. Este tipo de estudio es de gran importancia para disminuir la discriminación laboral de las personas en sillas de ruedas.

Palabras Claves: Discapacidad, silla de ruedas, inserción laboral, legislación inclusiva, Ecuador.

2.1. Introducción

Si bien no existe una definición universalmente aceptada de discapacidad, el artículo 1 de la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (CDPD) [1] de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) señala: “Las personas con discapacidad incluyen a aquellas que tengan deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales a largo plazo que, al interactuar con diversas barreras, puedan impedir su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás” [2]. Las personas con discapacidad son el mayor grupo minoritario del mundo, comprendido aproximadamente por el diez por ciento de la población mundial. Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT) en algunos países hay una tasa de desempleo, de las personas con discapacidad, de hasta el ochenta por ciento, por lo que se le considera un problema global [3].

Ecuador es uno de los 150 países firmantes de la CDPD, el cual es un tratado que describe la situación ideal para la integración plena a la sociedad de las personas con discapacidad. Esta convención entró en vigor en 2008, y es el primer tratado sobre derechos humanos del siglo XXI en entrar en vigencia. En su artículo 3 establece como sus principios generales, entre otros, el respeto de la dignidad, la autonomía

individual, y la independencia, la no discriminación, la participación plena y efectiva en la sociedad, el respeto por la diferencia, la igualdad de oportunidades y la accesibilidad. También trata temas de gran relevancia como el derecho a la educación (Art. 24), a la salud (Art. 25), y al trabajo y empleo (Art. 27) [2]. Otros instrumentos jurídicos internacionales sobre discapacidad que Ecuador ha firmado son: (1) El convenio N° 156 de la OIT sobre la igualdad de oportunidades y de trato entre trabajadores y trabajadoras: trabajadores con responsabilidades familiares, ratificado en 2013, (2) El convenio N° 159 de la OIT sobre la readaptación profesional y el empleo de personas con discapacidad, ratificado en 1988 y (3) La convención interamericana para la eliminación de todas las formas de discriminación contra las personas con discapacidad de la Organización de Estados Americanos (OEA) ratificada en 2004 [4].

Si bien las convenciones, declaraciones y leyes pueden ser valiosas para la difusión del problema y por tanto para disminuir la invisibilidad característica de la población de personas con discapacidad, han demostrado ser poco eficaces en el cambio de actitud necesario para su implementación efectiva. Los estudios confirman que los empleadores tienen prejuicios sobre el empleo de las personas con discapacidad, encontrándose entre los más comunes: calidad del trabajo que desempeñen, puntualidad e inasistencias por motivos de salud, magnitud de los costos de los ajustes razonables para su buen desempeño y/o los servicios de salud, resistencia de otros empleados y/o clientes por dificultades de comunicación o interacción y necesidad de mayor supervisión [5], [3]. Todos estos prejuicios están asociados a su condición física, mental o sensorial y no a sus posibilidades reales de ejercer alguna actividad, reforzando así una cultura de discriminación [5].

Por otra parte, es un hecho conocido y ampliamente reportado que existe una relación directa entre el nivel de estudios y la posibilidad de obtener empleo para la persona con discapacidad, pero debido al poco tiempo que tiene la aplicación de medidas de educación inclusiva en Ecuador, aún es pronto para saber cómo éstas afectaran a la población con discapacidad. Otras barreras reconocidas para el acceso al mundo laboral de la persona con discapacidad son: (1) las sociales, relacionadas con las diferencias y el rechazo que éstas producen entre las personas, (2) las del entorno físico, que son aquellas que impiden la movilidad o comunicación, (3) las psicosociales que incluyen la excesiva protección familiar, deficiencias educativas, falta de información, entre otros y (4) las mentales como la autoexclusión y limitación a las políticas de protección [6].

Las personas más perjudicadas por las barreras tanto físicas como psicológicas son aquellas con discapacidades evidentes como es el caso de las que requieren de asistencia para desplazarse [7]. El presente estudio se concentrará en el derecho a trabajar de las personas con discapacidad, en igualdad de condiciones con las demás; ello incluye el derecho a tener la oportunidad de ganarse la vida mediante un trabajo libremente elegido y un entorno laboral inclusivo y accesible [2]. Específicamente se realizarán análisis centrados en la inserción laboral de personas con discapacidades físicas que requieren utilizar sillas de ruedas para desplazarse, a través de propuestas encaminadas a mejorar las posibilidades encontrar y mantener un trabajo en el mercado laboral convencional.

2.2. Sistema de Apoyo a la Persona con Discapacidad

2.2.1. Marco legal

A lo largo del desarrollo de la atención a las personas con discapacidad en el país, se han ido incorporando y modificando las concepciones acerca de lo que es la discapacidad y su forma de atención, pasando de la caridad y beneficencia al paradigma de la rehabilitación y de éste al de autonomía personal y al de inclusión y derechos humanos.

Un cambio sustancial se inicia en la década de los noventa donde se inicia una etapa de ordenamiento y racionalización de la atención a las personas con discapacidad que produce como resultado la Ley 180 de Discapacidades en 1992, y la creación del Consejo Nacional de Discapacidades (CONADIS) en 1993. Esta ley dispone la creación de un sistema nacional de prevención de discapacidades y de atención e integración de las personas con discapacidad y confiere al CONADIS la facultad de dictar políticas, coordinar acciones e impulsar investigaciones [8]. La Ley 180 de Discapacidades fue reformada en el año 2001 [9], incluyendo disposiciones sobre los derechos y beneficios de las personas con discapacidad y los procedimientos para sancionar a quienes no cumplen con la ley y a quienes discriminan a las personas por razones de discapacidad [10]. Actualmente está vigente la Ley Orgánica de Discapacidades que ampara a las personas con discapacidad; establece un sistema de prevención de discapacidades,

atención e integración de personas con discapacidad que garantice su desarrollo y evite que sufran toda clase de discriminación, incluida la de género [11].

El CONADIS, que ha sufrido múltiples modificaciones desde su creación, actualmente se llama Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades y cumple las funciones de defender jurídicamente los derechos de las personas con discapacidad y coordinar, efectuar el seguimiento y evaluar las acciones que realizan otras entidades del sector público y privado dedicadas a la discapacidad. Sus programas y servicios son: asesoría en discapacidades, plataforma de sensibilización en discapacidades, jornadas por la plena participación y el respeto de los derechos de las personas con discapacidad, observatorio de accesibilidad Web, diccionario de lengua de señas ecuatoriano “Gabriel Román” y normativa en discapacidad [10]. Las atribuciones que actualmente atañen al CONADIS son [4]:

- Formulación de políticas públicas y herramientas de gestión pública en coordinación con las entidades rectoras y ejecutoras del Estado; sector privado y sociedad civil.
- Transversalización de las políticas públicas y el principio de igualdad y no discriminación en discapacidades, en la planificación institucional de los organismos y entidades del Estado.
- Observación de la aplicación de las políticas públicas en discapacidades y el cumplimiento de la normativa nacional e internacional de los derechos humanos de las personas con discapacidad y sus familias a través de mecanismos de control social y rendición de cuentas.
- Seguimiento y evaluación del cumplimiento de las políticas públicas implementadas por los organismos y entidades del Estado de acuerdo a sus competencias, sus presupuestos, resultados e impactos.

En el año 2008 Ecuador aprobó una nueva Constitución, que menciona en 21 artículos y en una disposición transitoria la defensa de los derechos de las personas con discapacidad y la responsabilidad del Estado en su implementación. Específicamente en su artículo 47 contempla que el Estado garantizará políticas de prevención de las discapacidades y, de manera conjunta con la sociedad y la familia, procurará la equiparación de oportunidades para las personas con discapacidad y su integración social. Como parte del mencionado artículo se reconoce a las personas con discapacidad, entre otros derechos el de un trabajo en condiciones de igualdad de oportunidades, que fomente sus capacidades y potencialidades, a través de políticas que permitan su incorporación en entidades públicas y privadas [12].

El código del trabajo determina que el empleador público o privado, que cuente con un número mínimo de veinticinco trabajadores, está obligado a contratar, al menos, a una persona con discapacidad en labores permanentes que se consideren apropiadas en relación con sus conocimientos, condición física, y aptitudes individuales, observándose los principios de equidad de género y diversidad de discapacidad [13]. Las personas que tiene bajo su responsabilidad y/o cuidado a una persona con discapacidad severa o son padres o madres de un niño o niña o adolescente con discapacidad se considerarán trabajadores sustitutos y también podrán formar parte del porcentaje de cumplimiento de inclusión laboral. A partir del año 2010, el porcentaje obligatorio de contratación de personas con discapacidad es del 4% del total de trabajadores de cada empresa o patrono [14].

El código del trabajo también contempla que los lugares de trabajo que ocupe una persona con discapacidad deberán sujetarse a las medidas de seguridad e higiene del trabajo y observar las normas para el desplazamiento de estos trabajadores. Adicionalmente existe una serie de normas emitidas por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) que establecen los requisitos de accesibilidad que deben cumplir los espacios de uso público y privado [15], [4].

Con la finalidad de dar continuidad a las iniciativas gubernamentales, en el año 2013 se crea la Secretaría Técnica de Discapacidades (SETEDIS) para la coordinación intersectorial de la implementación y ejecución de la política pública en materia de discapacidades, teniendo como principales funciones: (1) coordinar e implementar el proceso de transferencia de las Misiones “Solidaria Manuela Espejo” Joaquín Gallegos Lara.^a los ministerios rectores de la salud y de la inclusión económica y social, respectivamente; (2) asumir y desarrollar de forma transitoria, los proyectos de ortesis y prótesis, auditivo y visual, inserción laboral y Ecuador alegre y solidario, y (3) ejecutar planes, programas y proyectos dirigidos a las personas con discapacidad [16].

Desde 2015, la SETEDIS lleva el nombre de Secretaría Técnica para la Gestión Inclusiva en Discapacidades y está ahora encargada de realizar el seguimiento de políticas, programas y proyectos de prevención, atención, investigación e integración en materia de discapacidad, los cuales deben ser promovidos y ejecutados por los ministerios de salud, educación, empleo, vivienda e inclusión social y económica (MSP, MINEDUC, MT, MD y MIES) según corresponda [4].

En lo relacionado con educación, la Constitución establece que esta será incluyente, sin discriminación alguna, garantizando así el acceso y la permanencia de las personas con discapacidad al sistema educativo regular o especial según sus necesidades particulares, mediante un proceso de identificación y respuesta ante sus necesidades específicas. Por su parte el MINEDUC es el responsable de promover y asegurar la inclusión al servicio educativo de personas con necesidades educativas especiales, mediante una oferta educativa inclusiva. Entre los objetivos de la educación inclusiva se tienen: fomentar el respeto a la diferencia, la tolerancia, la solidaridad, la eliminación de las barreras del aprendizaje asociados a infraestructura, funcionamiento institucional, sistemas de comunicación y recursos didácticos, entre otros [12], [17].

La ley de Educación Superior establece que una de las funciones del sistema de educación superior es garantizar las facilidades y condiciones necesarias para que las personas con discapacidad puedan ejercer el derecho a desarrollar sus potencialidades y habilidades, para lo cual debe garantizar el ingreso al sistema de universidades públicas. Adicionalmente el instituto ecuatoriano de crédito educativo garantiza becas y créditos para aquellas personas con discapacidad que en su lugar de residencia no cuenten con un establecimiento educativo público que pueda servirles adecuadamente de acuerdo con sus necesidades [18].

2.2.2. Programas de protección

En la última década, el Estado ha incrementado de forma significativa su rol como ente regulador y creador de instrumentos, políticas y programas públicos para favorecer la inclusión social y las oportunidades para las personas con discapacidad. Se han realizado notables esfuerzos por dotar de institucionalidad a este sector facilitando, de este modo, la instauración de instrumentos, de los cuales los más emblemáticos son:

- Programa Ecuador sin Barreras, creado en el año 2007, cuya misión se centra en la inclusión social de las personas discapacitadas, controlar el cumplimiento de los derechos de estas personas en la sociedad y generar las herramientas necesarias para mejorar su condición de vida. El programa contempla actualmente siete ejes estratégicos en políticas de discapacidad [19], [4]:
 - Equiparar oportunidades: entregar ayudas técnicas, medicinas e insumos técnicos.
 - Empleo sin barreras: desarrollar destrezas y capacidades para fomentar las oportunidades de empleo.
 - Ciudad sin barreras: eliminación de las barreras físicas, urbanísticas, arquitectónicas y de transporte.
 - Derechos sin barreras: asesoramiento y patrocinio legal.
 - Salud sin barreras: garantizar el derecho a la atención sanitaria pública, gratuita, preferente y prioritaria.
 - Educación sin barreras: educación, formación, capacitación empresarial.
- Programa Desarrollo Incluyente para las Personas con Discapacidad en Ecuador, creado en 2007, es una iniciativa de las cuatro Federaciones Nacionales de y para la Discapacidad, su propósito es disminuir la discriminación y exclusión de la población con discapacidad usando como estrategia la difusión de la CDPD y, también, sobre los artículos relacionados con la discapacidad que constan en la actual Constitución Ecuatoriana. Su objetivo es impulsar un desarrollo incluyente, participativo y sin discriminación, de las personas con discapacidad en la República del Ecuador. Adicionalmente cuenta con un servicio de integración laboral (SIL), que es una unidad especializada en la asistencia para la inserción laboral normalizada de personas con discapacidad [20].
- Programa Misión Solidaria Manuela Espejo, creada en 2009, a través del cual se ha identificado y se atiende a las personas con discapacidad en los rincones más recónditos del país. Este programa inscribió, como un hito histórico, el primer estudio biopsicosocial clínico y genético de las personas con discapacidad en el Ecuador, en su propio entorno familiar y social, teniendo en cuenta sus necesidades reales. El estudio tuvo un carácter masivo y profundizó la relación pobreza-discapacidad, que evidenció una realidad tradicionalmente invisibilizada. En una segunda etapa llamada fase de

respuesta, que aún está en marcha, este programa posibilitó la dotación de ayudas técnicas (sillas de ruedas, andadores, bastones, muletas, tiflo-tecnología, equipos visuales, ortesis y prótesis), soluciones habitacionales (entrega y equipamiento de viviendas con accesibilidad), asistencia en integración laboral, y asistencia en emprendimientos [21].

- Programa Joaquín Gallegos Lara, creado en 2009, iniciativa de inversión en forma de ayuda económica para personas con discapacidad intelectual o física severa. Su finalidad es que la ayuda económica permita a un familiar de la persona con discapacidad dedicarse a su cuidado [22].
- Programa Ecuador Vive la Inclusión, creado en 2014 y a cargo de la SETEDIS, que cuenta entre sus servicios de asesoría los siguientes proyectos: (1) Inclusión Productiva, que abarca aspectos relacionados con el desarrollo de ideas de negocios a ser desarrollados por personas con discapacidad incluyendo factibilidad financiera, obtención de créditos, desarrollo de marcas comerciales y sostenibilidad, (2) Inclusión Laboral donde las personas con discapacidad pueden recibir orientación en la elaboración de su hoja de vida y (3) Accesibilidad Universal donde cuentan con un centro de investigación e innovación para el apoyo de proyectos relacionados a esta área, respecto a este último punto es de destacar que durante los años 2015 y 2016 la fundación “Design For All”, con sede en Barcelona España, otorgó a Ecuador un reconocimiento por sus buenas prácticas en materia de discapacidades. En 2016 el premio lo obtuvo por la creación de la herramienta “Accesibilidad Inclusiva y Discapacidad en la Reducción del Riesgo de Desastres”, que fue seleccionada como una de las cinco mejores prácticas a nivel internacional [23], [4].

2.2.3. Federaciones nacionales de y para personas con discapacidad

Existen cuatro federaciones nacionales: Federación Nacional de Ecuatorianos con Discapacidad Física (FENEDIF); Federación Nacional de Ciegos del Ecuador (FENCE); Federación Nacional de Sordos del Ecuador (FENASEC); y Federación Ecuatoriana Pro-Atención a la Persona con Deficiencia Mental, Autismo, Parálisis Cerebral y Síndrome de Down (FEPAPDEM). Actualmente, aglutinan a 117 organizaciones de personas con diferente tipo de discapacidad. Tienen cobertura en 21 provincias, y su papel fundamental es ofertar servicios a sus organizaciones miembro, personas con discapacidad y sus familias, en temas relacionados con capacitación y defensa de derechos humanos; en menor grado, trabajan en inserción laboral, educación, asesoría, comunicación, servicio de intérpretes de lengua de señas y rehabilitación. Las oficinas de las federaciones funcionan bajo la supervisión del CONADIS [24].

2.2.4. Políticas actuales

La Agenda Nacional para la Igualdad en Discapacidades 2013-2017 es un documento que integra las demandas comunes de las personas con discapacidad y plantea estrategias de respuesta amplias e integrales, tanto para el corto como para el mediano plazo. Todo ello orientado a la construcción de una sociedad inclusiva desde la perspectiva de discapacidad, presentando orientaciones para el diseño de las políticas públicas que promueven, protegen y aseguran el goce pleno de los derechos de las personas con discapacidad, con principios de igualdad y no discriminación. Entre sus lineamientos orientados a las personas con discapacidad con incidencia en el campo laboral incluye los siguientes: (1) construir y fortalecer una percepción positiva, digna y respetuosa, (2) articular los procesos educativos y orientación profesional con las competencias necesarias para la inclusión socio-laboral, (3) ampliar la probabilidad de inserción o reinserción laboral de personas con bajos niveles de educación formal, (4) incrementar oportunidades de empleo y mejorar los ingresos, (5) asegurar condiciones que garanticen el desempeño laboral mediante la equiparación de oportunidades, (6) incrementar posibilidades de autoempleo, micro emprendimiento y trabajo protegido incluyendo a sus familias, (7) eliminar las barreras físicas que impiden el acceso y uso de espacios públicos [24].

El Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017 contempla, entre sus políticas y lineamientos estratégicos, garantizar la atención especializada durante el ciclo de vida a personas y grupos de atención prioritaria, con corresponsabilidad entre el Estado, la sociedad y la familia; a este respecto plantea: (1) consolidar los mecanismos de protección e inclusión social, considerando la inclusión económica de las personas con discapacidad y (2) estructurar un sistema nacional de cuidados que proteja a los grupos de atención prioritaria en todo el ciclo de vida, entre otros para facilitar una vida digna a las personas con discapacidad [25].

Tabla 2.1: Necesidades de la personas con discapacidad por ciclo de vida [4].

Etapa	Necesidades
Prenatal	Detección oportuna de discapacidades congénitas, control y vigilancia. Control del embarazo
Neonatal hasta 28 días	Atención adecuada del parto. Detección oportuna para la asfisia perinatal, calificación, acreditación y registro del recién nacido. Tamizaje neonatal.
Primera Infancia 29 días a 5 años	Control del niño sano. Ortesis, prótesis, ayudas técnicas. Servicios adaptados de desarrollo infantil, estimulación temprana. Evaluación y derivación a educación ordinaria-inclusiva o especializada.
Infancia 6 a 11 años	Evaluación y derivación a educación ordinaria-inclusiva o especializada. Textos y materiales adaptados. Ortesis, prótesis, ayudas técnicas. Deporte, arte y cultura y acceso a tecnologías de comunicación.
Adolescencia 12 a 17 años	Educación sexual y reproductiva. Formación ocupacional, textos y materiales adaptados. Deporte, arte y cultura y acceso tecnologías de comunicación.
Juventud 18 a 29 años	Educación de tercer y cuarto nivel educación técnica y formación profesional; textos y materiales adaptados; becas y créditos educativos; inclusión laboral y productiva; acompañamiento a la emancipación; créditos preferentes; acogimiento institucional o de hogares sustitutos.
Adultez 0 a 64 años	Educación sexual y reproductiva; cuidado diario acogimiento institucional u hogares sustitutos; prioridad en acceso a vivienda y créditos; fomento a la autonomía; reinserción familiar (abandono).
Adulto mayor 65 años en adelante	Servicios de cuidado diario. Acogimiento institucional u hogares sustitutos. Prioridad en acceso a vivienda y créditos. Pensión jubilar/pensión por vejez, invalidez o muerte.

El sistema nacional de protección integral para las personas con discapacidad, creado en 2012, tiene como objetivo articular y llevar a cabo acciones encaminadas a cubrir las necesidades de las personas con discapacidad a lo largo de su ciclo de vida, como se resume en la tabla 2.1. Este sistema se implementa a través de distintos ministerios e instituciones públicas y privadas. Entre los servicios que abarca este sistema y que influyen en las posibilidades de inserción laboral de la persona con discapacidad se destacan: salud, educación, inclusión laboral y productiva y accesibilidad [4].

1. *Salud*: existe una amplia red pública de salud donde se ofrece atención integral a la persona con discapacidad. La Dirección Nacional de Discapacidades, Rehabilitación y Cuidado Especial en Salud, se concentra en el fomento y prevención de la salud a fin de reducir los índices de discapacidad así como de propiciar la mejora de la calidad de vida y autonomía de las personas con discapacidad [26]. Esta dirección está adscrita al Ministerio de Salud Pública (MSP), y ofrece los servicios para la discapacidad de intervención temprana y rehabilitación funcional y la evaluación y calificación de la discapacidad [26], [4].
2. *Educación*: la educación pública hasta el tercer nivel de educación superior es gratuita y específicamente a la persona con discapacidad se le garantiza su incorporación y permanencia en el sistema de educación regular, además de contar con un servicio educativo especializado, en todos los niveles. El MINEDUC es el responsable de promover y asegurar el acceso al servicio educativo de personas con necesidades educativas especiales, mediante una oferta educativa inclusiva. Por otra parte, el Consejo de Educación Superior (CES) está a cargo de la planificación, regulación y coordinación que, a través

Tabla 2.2: Normas INEN de accesibilidad para personas con discapacidad física [15].

Norma	Aspecto normado
INEN 2850	Requisitos de accesibilidad para la rotulación.
INEN 2853	Rampas para ingreso y egreso de personas con movilidad reducida a vehículos para el transporte terrestre de pasajeros.
INEN CPE INEN 21-1	Directrices para el desarrollo de normas sobre sistemas de transporte. Necesidades de las personas con discapacidad y adultos mayores.
INEN 2849-1	Requisitos para acciones de deambulaci3n, aprehensi3n, localizaci3n y comunicaci3n, para garantizar la accesibilidad universal.
INEN 2849-2	Sistema de gesti3n de la accesibilidad.

de la Secretarí­a Nacional de Educaci3n Superior, Ciencia, Tecnologí­a e Innovaci3n (SENESCYT), debe garantizar que en las instituciones de educaci3n superior se incorpore el tema de la discapacidad en las mallas curriculares de carreras y programas dirigidos a la inclusi3n de las personas con discapacidad y a la formaci3n humana de sus futuros profesionales [17], [4]. A este respecto, la ley de educaci3n superior establece que se deben garantizar las facilidades y condiciones para que las personas con discapacidad puedan ejercer el derecho de efectuar actividades que desarrollen sus potencialidades y habilidades, y el Instituto Ecuatoriano de Cr3dito Educativo entrega becas y cr3ditos para aquellas personas que en su lugar de residencia no cuenten con un establecimiento educativo p3blico que pueda servirles de acuerdo con sus necesidades [27].

3. *Inclusi3n laboral y productiva*: este servicio est3 a cargo del Ministerio de Trabajo (MDT) encargado de vigilar el cumplimiento de las obligaciones laborales contempladas en las leyes, éste da seguimiento a trav3s de las Inspectorí­as y Direcciones Regionales del Trabajo y la Unidad de Discapacidades, las cuales se coordinan para garantizar el porcentaje legal de inserci3n laboral en las empresas p3blicas y privadas. Tambi3n, con la ayuda de la SETEDIS, el Servicio Ecuatoriano de Capacitaci3n Profesional (SECAP) y el SIL diseñan, organizan y emprenden acciones relacionadas con la asesoría y capacitaci3n a las personas con discapacidad con el fin de mejorar sus posibilidades de encontrar trabajo. El MDT a trav3s del sitio web Red Socio Empleo facilita herramientas para la b3squeda de empleo mediante procesos de selecci3n acordes con el perfil laboral, formaci3n y tipo de discapacidad [28], [16], [4].
4. *Accesibilidad*: se entiende como las condiciones que debe tener el entorno (objeto, lugar o servicio) a fin de que pueda ser utilizado por una persona independientemente de sus capacidades t3cnicas, cognitivas o fí­sicas de una forma segura y lo m3s aut3noma posible. Dentro del programa Ecuador sin Barreras-Ciudad sin Barreras, el CONADIS y la Asociaci3n de Municipalidades de Ecuador son los encargados de promover la aplicaci3n de las recientemente creadas normas t3cnicas de accesibilidad del Servicio Ecuatoriano de Normalizaci3n (INEN). En la tabla 2.2 se presentan las normas relacionadas con la accesibilidad para las personas con discapacidad fí­sica [15]. A este respecto es importante destacar que el comit3 de los derechos de las personas con discapacidad, en el año 2014, indica que hay retraso en la aplicaci3n de las normativas de accesibilidad en el servicio de transporte p3blico, lo cual obliga a estas personas a usar alternativas m3s costosas para poder transportarse durante sus actividades cotidianas. Tambi3n reportan inexistencia de accesibilidad del contenido web, señalando que ni siquiera est3 contemplado en la legislaci3n vigente [1].

2.3. Situaci3n Actual de la Persona con Discapacidad

En esta secci3n se presentan cifras actualizadas de las personas con discapacidad (PcD) registradas en el CONADIS, clasificadas por su distribuci3n geogr3fica y por tipo de discapacidad, la inclusi3n laboral y la educaci3n, esta última por su gran influencia en potenciar las posibilidades de obtener un trabajo para la persona con discapacidad. Actualmente se encuentran incluidas en el Registro Nacional de la Discapacidad (RND) un total de 408.021 personas, lo cual corresponde a un 2,5% de la poblaci3n total del Ecuador; sin embargo, seg3n los resultados del censo realizado en el año 2004 la poblaci3n con

Tabla 2.3: Distribución de las PCD, pertenecientes al RND, en las provincias más pobladas, totales, vinculadas laboralmente y trabajadores sustitutos [36].

Provincia	Cantidad de PcD		PcD vinculadas laboralmente		Familiares trabajadores sustitutos	
	N°	% total nacional	N°	% total provincial	N°	% total provincial
	Guayas	96.339	23,6	21.345	22,2	299
Pichincha	61.682	15,1	24.632	39,9	522	0,85
Manabí	44.044	10,8	8.634	19,6	104	0,24
Azuay	27.933	6,8	7.192	25,7	55	0,20
Los Ríos	19.377	4,7	2.525	13,0	39	0,20
El Oro	18.768	4,6	2.877	15,3	32	0,17
Loja	14.324	3,5	2.625	18,3	40	0,28
Chimborazo	13.815	3,4	2.087	15,1	19	0,14

discapacidad es de 12,14 % [29]-[31], [4]. Esto implica que se desconocen las condiciones de cerca del 80 % de las PcD ya que al no estar en el RND no forman parte de las estadísticas.

En virtud de que las propuestas en las que se centra esta investigación están relacionadas con los usuarios de sillas de ruedas, se hará hincapié en la discapacidad física. Cuando existe este tipo de discapacidad, la persona afectada presenta una desventaja que le imposibilita o limita su desempeño motor, lo que implica que las partes afectadas son los brazos y/o las piernas; en consecuencia, el individuo generalmente requiere de la ayuda de otras personas para realizar las actividades de la vida diaria y en muchos casos quedan excluidos del ámbito laboral [32]-[34]. Entre las deficiencias físicas más comunes se encuentran las relacionadas con la movilidad de las extremidades inferiores. Estas pueden tener diversas causas, como lesiones medulares o traumatismos craneoencefálicos producto de accidentes automovilísticos, caídas o heridas con armas de fuego, como también pueden ser causadas por enfermedades músculo esqueléticas, neurodegenerativas, cerebrovasculares, y osteoarticulares, entre otras [35].

A Cifras de distribución geográfica, tipo y grado de discapacidad y género.

Las provincias donde se contabilizan mayor cantidad de PcD son Guayas, Pichincha, Manabí y Azuay, contabilizándose en estas cuatro provincias un total de 229.998 personas, las cuales representan el 56,3 % del total nacional (408.021 PcD registradas en el CONADIS), ver tabla 2.3 [36].

Se observa que el mayor porcentaje de PcD vinculadas laboralmente se encuentra en la provincia de Pichincha. Luego se halla Azuay, que con escasamente el 6,8 % del total nacional de las PcD, tiene un 26 % vinculado laboralmente. En contraste, la provincia de Guayas, que tiene el 24 % del total nacional de PcD, se encuentra en tercer lugar de inclusión en actividades laborales. Los trabajadores sustitutos deberían compensar el porcentaje de personas con discapacidad severa, independientemente de su edad, el cual representa casi un 20 % del total. Sin embargo, en ninguna provincia superan el 1 % y en la mayoría están alrededor del 0,2 % (ver tabla 2.3). Los tipos de discapacidades reconocidos por el CONADIS son: física, intelectual, auditiva, visual, psicológica, y del lenguaje, siendo predominante la discapacidad física, con un 47,4 % del total (ver tabla 2.4) [36]. Adicionalmente, se clasifica la discapacidad en cuatro grados, según su porcentaje; de acuerdo con el RND, el porcentaje más alto de personas con discapacidad, 35,4 %, están el rango comprendido en el 50 % y el 74 % de discapacidad, y un 27,3 % de se encuentran en el rango del 75 al 100 % de discapacidad (ver tabla 2.5) [36]. En relación con el género, se tiene que el 56 % de las PcD son hombres y el 44 % son mujeres.

B Cifras de inclusión laboral

Con respecto a la inserción laboral, en Ecuador se tiene que menos de la mitad (44 %) de las PcD reportan que sí han trabajado alguna vez, pero apenas la cuarta parte de estas personas indican estar trabajando actualmente [10]. En el año 2012, el CONADIS identificó a 72.067 personas con discapacidad, que eran económicamente activas, las cuales están distribuidas como se muestra en la tabla 2.6 [37]. Con respecto a las PcD en edad laboral, se tiene que el 47,7 % se encuentra en el rango de edad entre los 30 y los 65 años, y un 13,6 % entre los 19 y los 29 años, por lo que el 61,3 % del total registrado en el RND

Tabla 2.4: Número de PcD pertenecientes al RND según el tipo de discapacidad [36].

Tipo de discapacidad	Cantidad de PcD	%
Física	193.520	47,4
Intelectual	91.651	22,4
Auditiva	51.878	12,7
Visual	47.996	11,7
Psicosocial	9.675	2,4
Psicológica	7.690	1,9
Lenguaje	5.614	1,5
Total	408.021	100,0

se encuentran en un rango de edad con capacidad para desarrollar una actividad económica (ver tabla 2.7). A este porcentaje se le debe descontar el de las personas con discapacidad severa (75 al 100 %), que corresponde al 19,4 % [36]. Esto implica que cerca de un 40 % de las PcD estarían en condiciones de trabajar y esto solo se logra en la provincia de Pichincha (ver tablas 2.3, 2.4 y 2.5).

C Cifras en educación

Tomando en cuenta que la educación es la base para la futura inclusión de las PcD a un entorno laboral o de emprendimiento, el país se ha preocupado por fomentar la inclusión de éstas en el sistema nacional de educación. La legislación establece que la educación será incluyente sin discriminación alguna, garantizando así el acceso y la permanencia de las personas con discapacidad al sistema educativo regular o especial [12].

El CONADIS señala que existen 40.000 docentes profesionales formados en adaptaciones curriculares para atender a estudiantes con necesidades educativas especiales y que se han firmado 19 convenios con organizaciones no gubernamentales para atender a 1.200 estudiantes con discapacidad. Actualmente del total de PcD pertenecientes al RND se encuentran incluidos en el sistema de educación el 8,1 % (33.067 personas). El número de PcD en edades entre 4 y 18 años, es decir en edad escolar, es de 62.920, es decir que solo el 53 % de las personas de este rango se encuentran incluidas en el sistema educativo nacional. Esto implica que casi la mitad de las PcD actualmente en edad escolar tendrán un bajo o nulo nivel educativo, lo cual está asociado a mayores dificultades para su futura inserción laboral. De las PcD que se encuentran incluidas en el sistema de educación, un 60 % lo hacen dentro del sistema regular y un 40 % en el sistema de educación especial, lo que es positivo ya que las personas integradas al sistema regular están inevitablemente más integradas a la sociedad y esto será de gran utilidad para una futura integración al mercado laboral [10], [38], [39]. En cuanto a la educación universitaria, se sabe que en 2012 había 1.412 estudiantes con discapacidad matriculados en las universidades del país, esta cifra representa el 0,3 % del total de PcD registradas en el RND [40].

2.4. Propuestas para mejorar la inclusión laboral de los usuarios de sillas de ruedas

Después de transcurridos cuatro años desde la plena implementación de un favorable marco legal que, entre otros, obliga a la inserción laboral en las empresas públicas y privadas de personas con discapacidad,

Tabla 2.5: Número de PCD pertenecientes al RND según el grado de discapacidad [36].

Grado de discapacidad	Cantidad de PcD	%
30 % - 39 %	71.851	17,6
40 % - 49 %	111.089	27,3
50 % - 74 %	144.168	35,4
75 % - 100 %	80.377	19,7

Tabla 2.6: Número de PCD pertenecientes al RND por rangos de edad [36].

Rango de edad	Cantidad de Pcd
0 - 3 años	3. 778
1-6 años	7. 687
7 - 12 años	24. 203
13 - 18 años	31. 030
19 - 29 años	55. 575
30 - 65 años	194. 964
65 y más	90. 784
Total	408. 021

Tabla 2.7: Número de PCD pertenecientes al RND según la actividad laboral que realizan [37].

Actividad económica	Cantidad
Laboran de manera independiente	32.827
Laboran en el sector privado	17.728
Laboran en el sector público	9.238
Laboran en trabajo doméstico	11.766
Laboran en otro tipo de actividades	508
Total	72.067

los usuarios de sillas de ruedas que pueden encontrar trabajo son escasos. Existen estudios que indican que los tipos de discapacidad más beneficiados por este tipo de políticas inclusivas son las auditivas en primer lugar y visuales en segundo. Todo esto da soporte al planteamiento de que esta inclusión selectiva se debe principalmente a: (1) los costos en los que debe incurrir la empresa para efectuar las modificaciones necesarias al ambiente laboral que requieren las personas que utilizan sillas de ruedas para desplazarse y (2) la necesidad de un acompañamiento durante la etapa de integración al trabajo con la finalidad de compensar las dificultades de las interrelaciones sociales, comunes en las personas con discapacidad, tanto en el ambiente laboral como en el familiar [5], [6].

Con el objetivo de aportar soluciones que colaboren con la mejora de las posibilidades de inserción laboral de las personas usuarias de sillas de rueda en Ecuador, se proponen dos alternativas. La primera consiste en una propuesta para un estudio que permita determinar la alternativa más rentable entre incorporar al mercado local una silla de ruedas con prestaciones ampliadas y los cambios que la empresa debe realizar para ofrecer un ambiente apropiado al empleado que utiliza silla de ruedas para desplazarse. La segunda propuesta se fundamenta en ampliar el sistema actual de ayuda a la persona con discapacidad a través de un programa de empleo con apoyo, mismo que ha dado muy buenos resultados en otros países en la inserción de personas con discapacidad en empleos convencionales [38], [6].

A Silla de ruedas especial vs. Cambios en el ambiente

Las razones por las cuales una persona tiene la necesidad de utilizar una silla de ruedas son muy diversas, entre ellas destacan las que padecen una enfermedad degenerativa o sufren un accidente luego de alcanzar su madurez física. Este grupo generalmente ya se encontraba inserto en el mercado laboral cuando comienza a utilizar la silla y en general sienten mucho deseo de regresar a sus actividades como parte necesaria de su recuperación, y perciben la actividad laboral como una de las más importantes [41]. La propuesta de una silla de ruedas con mayores prestaciones pretende ayudar a compensar las dificultades que implica estar en posición de sedestación para cumplir las exigencias laborales, contrastando con los costos que tiene para una empresa modificar la tarea o el puesto de trabajo y áreas comunes, como los baños, para posibilitar que el trabajo pueda ser realizado por una persona en silla de ruedas.

Esta propuesta, que describe una metodología mediante la cual se pueden comparar los costos relacionados con las modificaciones que deben hacer las empresas para poder dar un puesto de trabajo a una persona en silla de ruedas contra los costos relacionados con las capacidades que puedan ser incorporadas a las sillas de ruedas a fin de que permitan eliminar o minimizar los cambios que debe hacer la empresa, está disponible en [42].

Con respecto a esta propuesta se han realizado avances relacionados con la caracterización de las PcD que utilizan sillas de ruedas, en algunos sectores del país. Se han recopilado medidas antropométricas que permitan fijar parámetros necesarios para las modificaciones bien sea en equipos de asistencia o en puestos de trabajo utilizando criterios de ergonomía [43], [44]. También se han realizado entrevistas utilizando métodos de desarrollo de productos y de satisfacción del cliente con los que se han podido valorar las características de las sillas de ruedas desde el punto de vista del usuario [45]. Los temas sobre los que se ha consultado se relacionan con las barreras que afrontan y las adaptaciones que realizan a los equipos, en Ecuador muchos usuarios tienen equipos donados por el Estado [46], [45].

Esta propuesta se enfoca en la realidad que se vive en Ecuador donde las barreras de tipo arquitectónico son innumerables y la accesibilidad al transporte público es inexistente. Por tanto, el usuario de silla de ruedas requiere de un equipo que lo ayude con esta realidad. Por ejemplo, requiere de un equipo robusto para soportar el tránsito por veredas muy deterioradas, de donde necesita subir y bajar con frecuencia por la presencia de obstáculos, variaciones en su ancho y la ausencia de rampas en las esquinas, pero a su vez deben poder ser transportadas en las cajuelas de los taxis que en general son autos medianos o pequeños. La propuesta entonces es adaptar el equipo a la realidad y antropometría local con miras a proveer a la PcD de una herramienta que le permita independencia, con lo cual se deja de esperar a que sea el medio el que cambie y la estimación de costos propuesta fortalecería la necesidad de mejorar los equipos y los costos asociados a las adaptaciones ya no estaría entre las excusas de los empresarios.

B Empleo con apoyo

Las personas con discapacidad enfrentan, aparte de las mismas dificultades de un ciudadano común para acceder a un empleo, unas adicionales relacionadas con barreras específicas asociadas a su discapacidad. Esta propuesta se centrará en las barreras de tipo psicosociales. Es importante destacar que el grupo al cual se pretende ayudar se caracteriza por su gran heterogeneidad y en general por un historial de sobreprotección familiar y marginación social y educativa. Y es este conjunto de particularidades las que se quieren subsanar a través de la propuesta del empleo con apoyo [39].

Las bases de esta propuesta se centran en los factores que favorecen el éxito de la inserción laboral de las personas con discapacidad, como son: (1) el apoyo familiar potenciando su autoestima e independencia, (2) las habilidades personales como el cuidado de la imagen personal, la relación cordial con los demás (colaboración, iniciativa, responsabilidad), (3) el acompañamiento de un preparador laboral y la existencia de una persona clara de referencia dentro de la empresa y (4) el nivel educativo [38], [39].

El empleo con apoyo consiste en un sistema estructurado de soporte durante las etapas de búsqueda, entrenamiento en puesto y conservación de un empleo convencional, soporte que se propicia a través de un preparador laboral. La ayuda se debe ofrecer de forma opcional a solicitud de la persona con discapacidad y otorgada durante el tiempo que cada persona lo requiera. Esta propuesta debe ir acompañada de capacitación al trabajador con discapacidad y orientada, por una parte, a las habilidades técnicas necesarias para desarrollar su trabajo, y por otra, al desarrollo de habilidades sociales. La capacitación se realiza luego de iniciar la plena integración laboral. Este acompañamiento ha mostrado dar tranquilidad al empleador y confianza al empleado [47], [39], [6].

2.5. Conclusiones

Son innegables los logros que, en la última década, ha alcanzado Ecuador en términos de su compromiso institucional para la protección de la persona con discapacidad, logrando así un ámbito de reconocimiento y legitimidad social de este numeroso colectivo. Sin embargo, es preocupante que exista tanta diferencia entre el total de personas con discapacidad (14,12%) y el grupo que actualmente se beneficia de las medidas gubernamentales de protección (2,5%).

Este trabajo se centra en la ausencia, casi absoluta, de personas en sillas de ruedas en los espacios públicos, lo cual permite inferir que la cantidad de estas personas que se encuentran laborando es muy pequeña en comparación con el número total de usuarios de estos equipos que se encuentran en edad laboral y que tiene capacidad para trabajar. Este hecho respalda la necesidad de seguir trabajando en función de posibilitar su reconocimiento e inserción laboral.

Las personas con discapacidad en Ecuador son actualmente casi dos millones, de las cuales un gran porcentaje están en edad laboral y tienen las capacidades y el soporte legal para desempeñar un trabajo, lo que entre otros aspectos psicológicos les permitiría dejar de ser una carga económica para sus familias

y sentirse integradas socialmente [41]. Las personas con discapacidad, aptas para trabajar, en general no solicitan ni requieren de caridad, sino una oportunidad para demostrar que sus capacidades, por sobre sus discapacidades, son suficientes para realizar bien un trabajo [48], [49].

La propuesta de trabajar en mejorar los equipos de asistencia, por ejemplo, para que puedan bipedestear o superar desniveles, está alineada con el interés del Estado en la mejora de la calidad de vida de la persona con discapacidad lo cual, aunado al talento humano y equipamiento disponible en las universidades, convierte esta alternativa en un proyecto factible y con posibilidades de obtener financiamiento. Es de resaltar que aun cuando el costo económico de las dos alternativas planteadas sea semejante, invertir en un equipo con mayores prestaciones no solo ayudará a la persona con discapacidad a mejorar sus oportunidades de encontrar empleo, sino que además le facilitará las demás actividades de su vida diaria.

Las empresas, en aras de cumplir con las leyes en cuanto a la incorporación de personas con discapacidad, llenan las plazas dando prioridad a las que menos adaptaciones necesitan, como son las que tienen deficiencias auditivas o visuales, así como a los trabajadores sustitutos, por lo que se estima hacen falta campañas de concientización del verdadero fundamento de las leyes y los beneficios sociales que representan para toda la población.

Si bien en los países latinoamericanos los gobiernos legislan en favor de las personas con discapacidad y presentan estadísticas que confirman su existencia en porcentajes significativos de la población, existen grandes dificultades en su implementación efectiva, lo cual se refleja, entre otros, en las dificultades para el acceso independiente de las personas en sillas de ruedas a las actividades sociales cotidianas. Realizar este tipo de estudio tiene gran importancia para disminuir de forma efectiva la discriminación laboral de las personas en sillas de ruedas, ya que plantea dejar de esperar a que el medio sea modificado para la persona con discapacidad y tomar acciones de acompañamiento y mejora de las ayudas técnicas que compensan las discapacidades.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Técnica de Ambato, por su apoyo en el desarrollo de la presente propuesta, gracias al financiamiento del proyecto “Implementación de criterios de ergonomía en el diseño y comercialización de equipos de asistencia a personas con movilidad limitada: caso silla de ruedas de bipedestación”.

Referencias

1. CDPD Ver Comité sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad. Comité sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad, Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad. 2014. Observaciones finales sobre el informe inicial del Ecuador. <http://docstore.ohchr.org/SelfServices/FilesHandler.ashx?enc=6QkG1d%2FPPrICAhKb7yhsocXytluzOs83fWWVlzUSPWEY3i2MPneAItDx32YbiDNoBSFxJe89zNUXHff3j2eYOfwk09EJebYA2f6n55ArMfrEgIEyEqI2Bzc92FWnroDpP> (Consultada el 25 de noviembre de 2015).
2. ONU Ver Organización de las Naciones Unidas. Organización de las Naciones Unidas. 2008. Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad. <http://www.un.org/esa/socdev/enable/>, (Consultada 12 de octubre de 2015).
3. Greenberg, Elayne. 2012. Overcoming Our Global Disability in the Workforce: Mediating the Dream. St. John's Legal Studies Research. <http://ssrn.com/abstract=2295094> (Consultada el 29 de octubre de 2014).
4. Valencia, Cristina. Bernal, María Elisa. 2016. Institucionalidad y marco legislativo de la discapacidad en Ecuador. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Organización de las Naciones Unidas. http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39995/S1600203_es.pdf?sequence=1 (Consultada el 2 de mayo de 2016).
5. Acción RSE. 2005. Integración laboral para personas con discapacidad. Guía práctica para empresas. http://www.gestrategica.org/templates/listado_recursos.php?id_rec=774&id_cl=1 (Consultada el 29 de octubre de 2014).
6. Villa Fernández, Nuria. 2003. “Situación laboral de las personas con discapacidad en España”. Revista Complutense de Educación 14(2):393-424.
7. Achterberg T., Wind H., Boer A., Frings-Dresen M. 2009. “Factors that Promote or Hinder Young Disabled People in Work Participation: A Systematic Review”. Journal of Occupational Rehabilitation 19(2):129-141.

8. LDD Ver Ley de Discapacidades Ley de Discapacidades.1992. Ecuador: Registro Oficial RO 996: 10 de agosto de 1992.
9. LSD Ver Ley sobre Discapacidades Ley sobre Discapacidades. 2001. Ecuador: Registro Oficial RO 301: 6 de abril de 2001.
10. CONADIS Ver Consejo Nacional de Discapacidades. Consejo Nacional de Discapacidades. 2013. <http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/> (Consultada el 30 de mayo de 2015).
11. LOD Ver Ley Orgánica de Discapacidades Ley Orgánica de Discapacidades. 2012. Ecuador: Registro Oficial RO 796: 21 de septiembre de 2012.
12. CRE Ver Constitución de la República del Ecuador Constitución de la República del Ecuador. 2008. Ecuador: Registro oficial RO 449, 20 de octubre de 2008.
13. LRCT Ver Ley Reformatoria al Código de Trabajo Ley Reformatoria al Código de Trabajo. 2006. Ecuador: Registro Oficial RO 198: 30 de enero de 2006.
14. CTE Ver Código del trabajo de Ecuador. Código del trabajo del Ecuador. 2009. Ecuador: Registro oficial RO 167, 16 de diciembre de 2005.
15. INEN Ver Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización. Accesibilidad Universal. <http://apps.inen.gob.ec/descarga/> (Consultada el 15 de enero de 2016).
16. SETEDIS Ver Secretaría Técnica para la Gestión Inclusiva de Discapacidades Secretaría Técnica para la Gestión Inclusiva de Discapacidades. Accesibilidad Universal. <http://www.setedis.gob.ec/la-secretaria-tecnica/ejes-estrategicos/accesibilidad-universal/> (Consultada el 15 de enero de 2016).
17. MINEDU Ver Ministerio de Educación. Ministerio de Educación. 2015. Subsecretaría de Educación Especializada e Inclusiva, Dirección Nacional de Educación Especial e Inclusiva. Proyecto Modelo de Educación Inclusiva K007. <http://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/MODELO-EDUCACION-INCLUSIVA.pdf> (Consultada: el 15 de mayo de 2016).
18. LOES Ver Ley Orgánica de Educación Superior. Ley Orgánica de Educación Superior. 2010. Ecuador: Registro Oficial RO 298: 12 de octubre de 2010.
19. PESB Ver Programa Ecuador sin Barreras. Programa Ecuador sin Barreras. <http://www.vicepresidencia.gob.ec/vicepresidencia-expone-a-empresarios-los-contenidos-del-programa-ecuador-sin-barreras/> (Consultada el 29 de octubre de 2014).
20. PDIPCD Ver Programa Desarrollo Incluyente para Personas con Discapacidad en Ecuador. Programa Desarrollo Incluyente para Personas con Discapacidad en Ecuador. http://www.discapacidadesecuador.org/portal/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=23&Itemid=107 (Consultada el 15 de octubre de 2015).
21. PMSME Ver Programa Misión Solidaria Manuela Espejo. Programa Misión Solidaria Manuela Espejo. 2009. <http://www.setedis.gob.ec/?cat=7&scat=6&desc=misi%C3%B3n-solidaria-manuela-espejo-> (Consultada el 29 de octubre de 2014).
22. PJGL Ver Programa Joaquín Gallegos Lara. Programa Joaquín Gallegos Lara. 2012. <http://www.setedis.gob.ec/?cat=7&scat=7&desc=programa-joaqu%C3%Adn-gallegos-lara.> (Consultada el 29 de octubre de 2014).
23. APNE Ver Agencia Pública de Noticias del Ecuador. Agencia Pública de Noticias del Ecuador. 2016. Ecuador es reconocido internacionalmente por sus políticas en materia de discapacidad. <http://www.andes.info.ec/es/noticias/ecuador-es-reconocido-internacionalmente-sus-politicas-materia-discapacidad.html>. (Consultado el 15 de abril de 2016).
24. ETTCONADIS Ver Equipo Técnico del Consejo Nacional de Discapacidades. Equipo Técnico del Consejo Nacional de Discapacidades. 2012. La Agenda Nacional para la Igualdad en Discapacidades 2013-2017. <http://www.planificación.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/Agenda-Nacional-para-Discapacidades.pdf>. (Consultada el 26 de junio de 2015).
25. SENPLADES Ver Secretaria nacional de planificación y desarrollo. Secretaria nacional de planificación y desarrollo. 2012. Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. Ecuador: ISBN-978-9942-07-448-5.
26. MSPE Ver Ministerio de Salud Pública del Ecuador. Ministerio de Salud Pública del Ecuador. 2014. Estatuto Orgánico Sustitutivo de Gestión Organizacional por Procesos del Ministerio de Salud Pública. (RO 299: 29-jul-2014). http://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/registro_oficial_con_correcci%C3%93n_de_la_reforma-1.pdf (Consultada el 15 de abril de 2016).
27. IECE Ver Instituto Ecuatoriano de Crédito Educativo. Instituto Ecuatoriano de Crédito Educativo. 2015. Informe de rendición de cuentas 2014. <http://www.fomentoacademico.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/INFORME-DE-RENDICI%C3%93N-DE-CUENTAS-2014...pdf> (Consultada el 3 febrero de 2016).

28. MTRSE Ver Ministerios del Trabajo del Ecuador. Red Socio Empleo. Ministerios del Trabajo del Ecuador. Red Socio Empleo. <http://www.socioempleo.gob.ec/socioEmpleo-war/paginas/index.jsf> (Consultada el 15 de enero de 2016).
29. ANID Ver Agenda nacional para la igualdad en discapacidades. Agenda nacional para la igualdad en discapacidades 2013-2017. Consejo Nacional de Discapacidades. 2012. <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/Agenda-Nacional-para-Discapacidades.pdf> (Consultada el 10 de mayo de 2016).
30. INEC Ver Instituto nacional de estadísticas y censos. Instituto nacional de estadísticas y censos - CONADIS. 2005. Ecuador: La Discapacidad en Cifras. Análisis de los resultados de la Encuesta Nacional de Discapacidades. <http://www.ecuadorencifras.gob.ec> (Consultada el 12 de mayo de 2015).
31. MIES Ver Ministerio de inclusión económica y social Ministerio de inclusión económica y social. 2013. Viceministerio de inclusión social, ciclo de vida y familia. Subsecretaría de discapacidades. <http://www.inclusion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/Subsecretar%C3%ADa-Discapacidades.pdf> (Consultada el 2 de mayo de 2016).
32. Hurtado, M., Aguilar, J., Mora, A., Sandoval, C., Peña, C., León, A. 2012. "Identificación de las barreras del entorno que afectan la inclusión social de las personas con discapacidad motriz de miembros inferiores". *Salud Uninorte* 28:227-237.
33. Martins, L., Cabral, A. 2012. "Ergonomics and the inclusion of disabled people in the Brazilian job market". *Work* 41:5493-5499.
34. Andrade Quiñónez, Victor. 2012. "Modelo de readaptación profesional para trabajadores con incapacidad". Tesis Magíster en Seguridad Salud y Ambiente. Universidad San Francisco de Quito, Universidad de Huelva-España.
35. Urteaga Ceberio, Garazi. 2013. "Programa de promoción, información, asesoramiento y entrenamiento de las ayudas técnicas para personas con discapacidad física, sus familiares y profesionales". Tesis de Máster de Salud Pública. Universidad Pública de Navarra.
36. MSP Ver Ministerio de Salud Pública. Ministerio de Salud Pública – CONADIS. 2015. Registro Nacional de discapacidades. http://www.consejodiscapacidades.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2015/09/estadistica_conadis.pdf (Consultada el 2 de febrero de 2016).
37. MRL Ver Ministerios de relaciones laborales. Ministerios de relaciones laborales - CONADIS. 2013. Manual de buenas prácticas para la inclusión laboral de personas con discapacidad. <http://www.vicepresidencia.gob.ec/> (Consultada el 28 de junio de 2015).
38. Pallisera, María, Fullana, Judit, Vila, Montserrat. 2005. "La inserción laboral de personas con discapacidad, desarrollo de tres investigaciones acerca de los factores favorecedores de los procesos de inserción". *Revista de Investigación Educativa* 23(2):295-313.
39. Verdugo Alonso, M.A., Benito Iglesias, M.C., Orgaz Baz, B., Urríes Vega, B.J. "Martín Ingelmo R., Santamaría Domínguez M. 2012. "Influencia de un programa de empleo con apoyo en la calidad de vida percibida de sus usuarios". *Revista Española sobre Discapacidad Intelectual* 43(3):69-83.
40. Esteves, Ana. Santos, Diana. 2014. "Una mirada a la Inclusión social de las personas con discapacidad: experiencia Flacso- Ecuador. Nuevos Desafíos para la Inclusión Social y la Equidad en la Educación Superior". *Actas del III Congreso Internacional MISEAL, Barcelona, España.* 233-251.
41. Briones Vozmediano, E., Ronda Pérez, E., Vives Cases, C. 2015. "Percepciones de pacientes con fibromialgia sobre el impacto de la enfermedad en el ámbito laboral". *Atención Primaria* 47(4):205-212.
42. San Antonio, Thalía, López Arboleda, Jéssica, Sánchez Rosero, Carlos, Urrutia, Fernando. 2015. "Metodología para incentivar la inserción laboral de personas en sillas de ruedas: una propuesta para Ecuador". *Revista Salud UIS.* 47(2): 215-217.
43. Lobos, Lucia. 2010. Ergohobe de Lantegi Batuak: Mejora continua en ergonomía para personas con discapacidad. *Gestión Práctica de Riesgos Laborales.* http://www.lantegi.com/wp-content/uploads/downloads/00_Publicaciones/casos-exito/Caso_exito_Ergohobe.pdf (Consultada el 29 de octubre de 2014).
44. Tortosa, Latonda. 1999. "Método de adaptación ergonómica de puestos de trabajo para personas con discapacidad". Instituto de Biomecánica de Valencia.
45. Urrutia Fernando, San Antonio Thalía, Latta María A., Ortiz Paola, López Jéssica, Urrutia Pilar. 2015. "User centered design of a wheelchair based in an anthropometric study". *CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON).* 1:235-243.
46. Herrera Saray, Peláez Ballestas, I., Ramos Lira, L., Sánchez Monroy, D. Burgos Vargas, R. 2013. "Problemas con el uso de sillas de ruedas y otras ayudas técnicas y barreras sociales a las que se enfrentan las personas

que las utilizan. Estudio cualitativo desde la perspectiva de la ergonomía en personas discapacitadas por enfermedades reumáticas y otras condiciones”. *Reumatología Clínica* 9(1):24-30.

47. López Pino, C.M., Seco Martín, E. 2005. “Discapacidad y empleo en España: su visibilidad”. *Revista de ciencias administrativas y sociales INNOVAR* 15(26):59-72.
48. Font Redolad, J., Langarita Adiego, J.A. 2015. “A propósito de la inserción laboral. Implicaciones de las nuevas políticas de empleo para el Trabajo Social”. *Cuadernos de Trabajo Social* 28(1):61-68.
49. Hernández Díaz, J., Millán Tapia, J.M. 2015. “Las personas con discapacidad en España: inserción laboral y crisis económica”. *Revista Española de Discapacidad* 3(1):29-56.

Capítulo 3

PROPOSAL FOR THE DESIGN OF AUTOMATIC CONTROL OF A BIODIESEL PRODUCTION PLANT FROM USED COOKING OIL

ROSAS-NARVÁEZ Y.C.,¹ SALAZAR-CASTRO J. A.¹, PELUFFO-ORDÓÑEZ D. H.,² RAMÍREZ C.²

¹Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales Manizales, Colombia Universidad de Nariño Pasto, Colombia.

²Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra, Ecuador.

Resumen: La eliminación desordenada de aceite por parte de hogares y restaurantes, así como el desaprovechamiento del aceite usado de cocinas se han convertido en causas transcendentales de contaminación. Asimismo, si no se recicla adecuadamente el aceite usado, la demanda de diésel fósil seguirá prevaleciendo. Esto obedece, entre otras razones, al desconocimiento de las posibilidades y beneficios de la transformación industrial del aceite para la generación de biodiesel. Una etapa determinante de la generación de biodiesel es la transesterificación, proceso que se desarrolla, tradicionalmente, de forma manual y heurística, razón por la cual está propenso a errores humanos. Esta investigación presenta el diseño de un prototipo para la automatización del proceso de transesterificación a través de un control automático de pH y temperatura.

Palabras Claves: Aceite usado de cocina, Biodiesel, control de pH y temperatura, diseño de planta de producción, transesterificación.

3.1. Introducción

Algunos estudios para la producción de biodiesel han empleado técnicas de control difuso para el proceso de transesterificación controlando la temperatura [1][2], otros estudios usan controles basados en redes neuronales para estimar las cantidades suficientes de los elementos que componen el biodiesel [3]. Una causa de contaminación ambiental, se debe a la falta de reutilización del aceite usado de cocinas por parte de hogares y restaurantes, ya que este representa en esencia un contaminante importante dado que causa una mayor huella de carbono. El desconocimiento de los ciudadanos acerca de las posibilidades y beneficios de la transformación industrial del aceite usado de cocina para la generación de biodiesel ha conllevado a una prevalente demanda de diésel fósil [4][5]. La producción de biodiesel a partir de aceite usado de cocina es una alternativa energética sostenible, ya que cada litro de aceite usado produce una cantidad determinada de biodiesel, y dicho proceso no afecta el medio ambiente, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la generación de diésel de origen fósil.

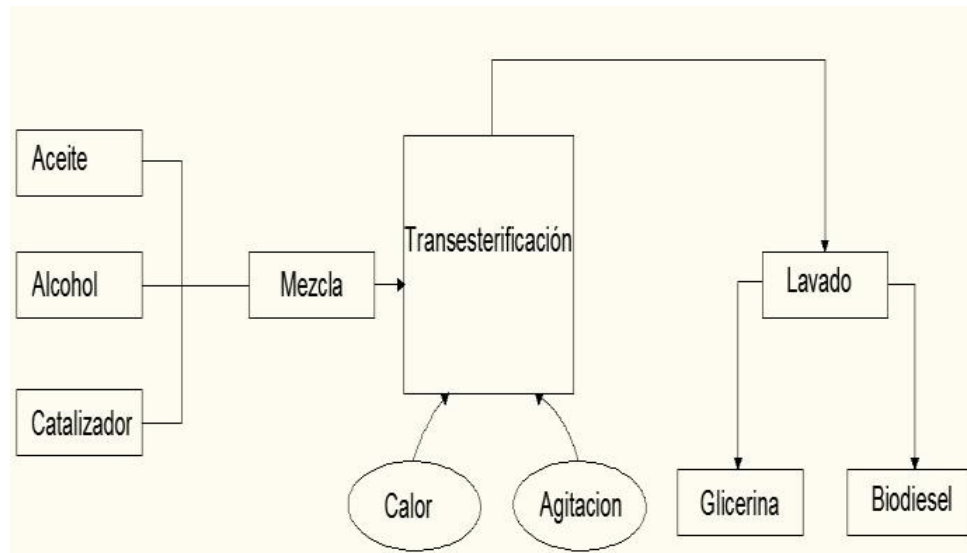


Figura 3.1: Diagrama de bloques general del proceso de generación de Biodiesel a partir de aceite usado de cocina

Teniendo en cuenta que un litro de aceite usado de cocina contamina cerca de un millón de litros de agua [5], se ha desarrollado la manera de reutilizar el aceite de cocina y producir biodiesel, a través de procesos químicos y tecnológicos, y así no contaminar el ambiente. En el proceso de obtención de biodiesel es fundamental tener en cuenta el contenido de ácidos grasos libres de los aceites, con el fin de garantizar la calidad del combustible. El aceite usado de cocina es más ácido respecto al aceite refinado, debido a que tiene en mayor proporción ácidos grasos que surgen a partir del proceso de cocción [6].

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama general del proceso para la generación de biodiesel indicando los bloques constructivos más importantes.

Una etapa determinante de la generación biodiesel es la transesterificación, proceso por el cual se hace la mezcla de compuestos con volumen, temperatura y pH controlados. Dicho proceso, tradicionalmente, se lleva a cabo de forma manual y heurística, razón por la cual está propenso a errores humanos [9]. En este trabajo se presenta el diseño de una planta piloto con el proceso de transesterificación automático a través de un control de pH, volumen y temperatura. Este trabajo tiene como objetivo generar beneficios sociales y ambientales a través de la materialización de resultados científicos y tecnológicos, y así fortalecer las capacidades de innovación de base tecnológica, en materia de reutilización de aceite de cocina para la generación biocombustible.

La organización de este documento es: En la sección 3.2 se aborda los materiales y métodos, aquí se describe como se realiza el diseño de una planta piloto y se presenta un estudio comparativo de técnicas de control de pH, volumen y de temperatura. En la sección 3.3 se presenta la integración de una etapa de control de pH, volumen y temperatura a la planta piloto diseñada. Por último, en la sección 3.4 se realizan algunas conclusiones e ideas para un trabajo futuro.

3.2. Materiales y métodos

En esta sección se presenta el diseño de una planta piloto para la producción de biodiesel a partir de aceite usado de cocina. También se presenta un estudio comparativo de técnicas de control de pH, volumen y temperatura que posteriormente serán integradas a la planta piloto.

3.2.1. Recolección de datos y observación

Los procesos existentes relacionados a la obtención de biodiesel a partir de aceite usado de cocina se basan en principios químicos como la regulación de pH a un nivel de 7 (neutro) y el uso de termostatos regulados para operar a una temperatura aproximada de 45 °C. Si bien la regulación de temperatura

se realiza mediante herramientas que garantizan este valor, la regulación del pH se realiza con la ayuda de terceros, es decir que se necesita de un químico que indique las cantidades de bases a adicionar para disminuir la acidez del aceite. De igual forma, las proporciones de los reactantes deben ser de 80 % para el aceite y 20 % para el metóxido de sodio no solo con el fin de regular el pH sino con la intención de obtener una reacción más eficiente en la generación de biodiesel y obtener menos pérdidas por la generación de glicerina [7],[8].

En general, las metodologías que son utilizadas son tradicionales y prácticamente son susceptibles de errores humanos que hacen de este proceso algo heurístico. Para obtener resultados óptimos en el proceso de obtención de biodiesel se debe garantizar proporciones adecuadas de los elementos que componen este biocombustible, por tal motivo el objetivo de este trabajo es presentar un diseño para la automatización del proceso de transesterificación para mejorar la calidad y cantidad de biodiesel producido, aprovechando al máximo los insumos utilizados [8].

3.2.2. Etapas de una planta piloto y diseño

La planta piloto para la producción de biodiesel contará con un sistema hidráulico compuesto por electroválvulas, motobombas, tanques de almacenamiento, tanques de procesamiento y motores de agitación. Para realizar el dimensionamiento de materiales de diseño necesarios para una planta piloto se debe tener en cuenta que en la generación de biocombustible, para su correcta obtención, existen unas etapas básicas comprendidas entre:

1. Filtrar el aceite.
2. Deshidratar el aceite.
3. Determinar las proporciones de los elementos para el proceso de transesterificación.
4. Separar biodiesel y glicerina.
5. Proceso de lavado.
6. Obtención de biodiesel.

Dado que el aceite usado de cocina proviene de restaurantes y hogares contendrá impurezas o residuos de alimentos, por tanto es necesario que este sea filtrado previamente, debido a que puede causar taponamientos en los conductos hidráulicos de la planta piloto. Además de impurezas o residuos, el aceite usado puede contener agua por lo que se debe calentarlo de tal forma que el agua se evapore, dicho proceso se conoce como deshidratación. Después de terminar el proceso de mezclado, por medio de decantación se separa el biodiesel de la glicerina. Finalmente se lleva a cabo el proceso de lavado, el cual consiste en suministrar agua al biodiesel obtenido, para evitar que parte de la glicerina se haya quedado en el biocombustible [10], [11]. Las etapas descritas anteriormente se pueden apreciar en el diseño de la planta piloto que se presenta en la Figura 3.2.

3.2.3. Control de pH, de volumen y de temperatura

Dentro de las técnicas de control que se podrían integrar a la planta piloto para la automatización de la transesterificación están; el controlador on-off, el controlador proporcional, integral y derivativo, la linealización exacta, el controlador gain scheduling, el control distribuido, el control difuso o basado en redes neuronales. Estos se destacan por su aplicación ligada a la automatización de procesos industriales que requieren de respuestas eficientes, han sido ampliamente investigados e implementados en diversas aplicaciones y los resultados obtenidos a partir de estos deberían ser los adecuados para la aplicación propuesta [9].

El diseño de los sistemas de control de pH, volumen y temperatura permitirá el cumplimiento de las proporciones óptimas en la etapa de transesterificación. El sistema de control debe ser modular, es decir que este se puede adaptar a cualquier tipo de planta de producción de biodiesel, siempre y cuando cumplan con los requisitos que serán estipulados en el manual de usuario. Este sistema debe contar con un convertidor DC/AC que permita la energización de actuadores como electroválvulas, motobombas, motor de agitación y resistencias para regulación de voltaje. De esta forma, la sistema de control compuesto por sensores y hardware de procesamiento podrán operar a un nivel de 12 voltios y el sistema de potencia a un voltaje de 120 voltios.

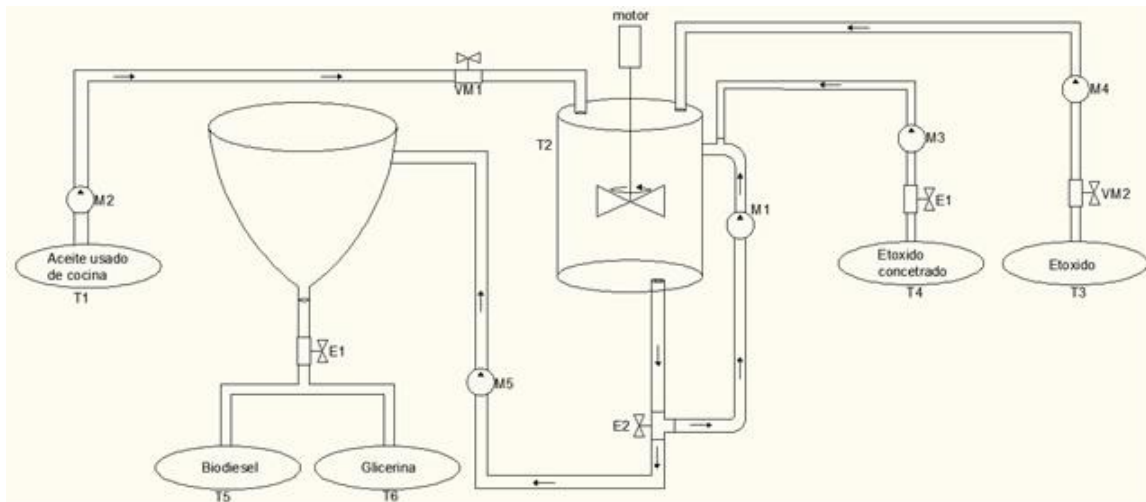


Figura 3.2: Diagrama de bloques general del proceso de generación de Biodiesel a partir de aceite usado de cocina

3.3. Diseño de la planta piloto y automatización

Como se dijo antes, existe la necesidad de automatizar el proceso de transesterificación, esto dado que los procesos tradicionales no aprovechan al máximo la materia prima para poder generar el biodiésel. De esta forma, los productos no siempre suelen cumplir ni con la calidad ni con la cantidad esperada generando pérdidas de producción y esto es debido a la falta de automatización. Para solventar este problema es necesario integrar un sistema que permita la automatización del proceso utilizando dispositivos electrónicos como sensores de temperatura, sensores de pH, sensores de proximidad para determinar volumen, electroválvulas para cierre y apertura de conductos, motobombas para desplazamiento de fluidos y tarjetas de adquisición y procesamiento de datos.

Se propone un diseño innovador para una planta piloto de transesterificación automática, la cual presenta un sistema de control de pH garantizando un nivel neutro, el control de volumen para garantizar las correctas proporciones de los reactivos y un control de temperatura para garantizar que se aporta la suficiente energía a la reacción mejorando la velocidad de esta sin necesidad de utilizar catalizadores como aceleradores. El sistema hidráulico debe estar compuesto por tubos de aluminio galvanizado de pulgada y media (1 1/2 ") para una mayor durabilidad y resistencia a la corrosión por el manejo de sustancias con pH no neutro. Finalmente, se realizó una mejora novedosa para la mezcla de los reactivos ya que de la forma tradicional no se garantiza una homogeneidad generando asentamientos de reactivos y mezclas desproporcionadas que disminuyen la calidad del producto generando desechos con impacto ambiental negativo. La figura 3.3 ilustra el una planta piloto automatizada para el proceso de transesterificación en la cual se resalta la ubicación estratégica de los dispositivos electrónicos e hidráulicos.

El proceso general del prototipo es: En el reactor T2 se efectuará un movimiento de rotación de la mezcla de etóxido y aceite filtrado mediante un motor eléctrico que agitará dicha mezcla en el proceso de transesterificación, la electroválvula E4 dará paso al aceite filtrado proveniente del tanque T1 y la electroválvula E5 dará paso al etóxido proveniente del tanque T3 que tiene un contenido de hidróxido de sodio (NaOH) por cada litro de alcohol, en estas condiciones para no exceder las proporciones de etóxido y aceite 20 % y 80 % respectivamente, se instalarán los sensores S4 y S5 que permitirán estimar el volumen de los líquidos para controlar el nivel mediante las electroválvulas E4 y E5. Normalmente el aceite tiene un elevado contenido de ácidos grasos que lo ubican en un grado de pH inferior a 7 en estado ácido, por lo cual es necesario agregar a la mezcla cierta cantidad de hidróxido de sodio, para neutralizarla se implementará un paso de etóxido en alta concentración de hidróxido de sodio proveniente del tanque T4 que será regulada por la electroválvula E1 con sistema de goteo y protegida por un cheque; esta electroválvula E1 y las bombas M1 y M3 serán manipuladas por el sistema de control teniendo en cuenta las mediciones obtenidas a partir de los sensores de pH S2 y S3, fijos en el reactor de transesterificación T2.

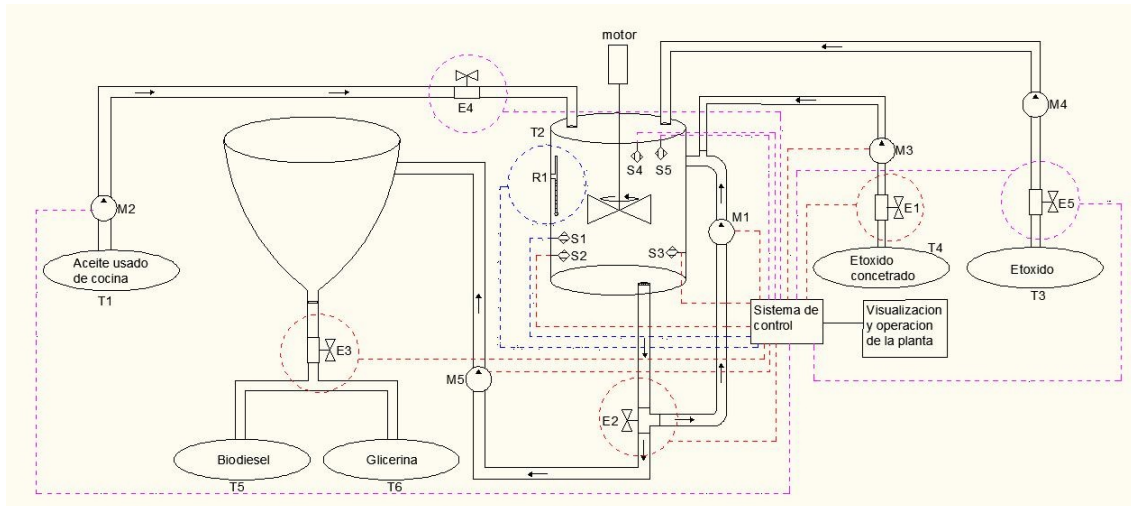


Figura 3.3: Diagrama esquemático del sistema de control de pH, volumen y temperatura

Dentro del proceso de transesterificación también se incluirá el control de temperatura, la medición será efectuada por el sensor de temperatura S1 fijo al reactor T2, se conmutará desde el tablero de control el encendido y apagado de la resistencia R1. Las redes hidráulicas en general tendrán instaladas válvulas cheque para evitar el retroceso de los fluidos en los circuitos, proteger los equipos y proteger el proceso.

De esta forma, no solo se recolectarán aproximadamente hasta 50 litros de aceite semanales, sino que se mejora la eficiencia de la transesterificación aprovechando de mejor manera los reactivos y realizando mediciones más exactas que las que se realizan tradicionalmente. Así, se presenta un diseño novedoso y automatizado que permite generar un producto de mejor calidad, más homogéneo, un proceso más eficiente y lo más relevante, un seguimiento de producción mediante la visualización de estados de variables de interés.

3.4. Conclusiones

El uso de métodos tradicionales para la generación de biocombustible o biodiésel no siempre genera los resultados esperados, generando pérdidas más que utilidades. La idea principal de la generación de biodiésel a partir de aceite usado de cocina es utilizarlo como fuente de energía alternativa pero también tiene como propósito disminuir el uso de combustibles fósiles para mitigar en cierta proporción el impacto ambiental. La producción de biodiésel mediante los métodos tradicionales no permite aportar a esta mitigación ya que bien sea se generan residuos en ríos debido a la desproporcionada generación de productos, por tal motivo la propuesta de un diseño innovador que permita automatizar estos procesos garantizando una mejor proporción en productos aprovechando al máximo los reactivos generara un impacto importante en la disminución de contaminantes presentes en los ríos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto de investigación “Diseño e implementación de un prototipo electrónico de bajo costo para terapias de biofeedback en tratamientos de trastornos psicofisiológicos” financiado por la Fundación CEIBA y la Gobernación de Nariño.

Este trabajo es realizado con el apoyo de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales y del “Grupo de investigación en ingeniería eléctrica y electrónica” – GIIEE de la Universidad de Nariño. Así como también a la Universidad Técnica del Norte de Ibarra, Ecuador.

Referencias

1. Sastry, S. V. A. R., Murthy, C. V. R., & Latha, B. M. Biodiesel Reactor Modeling Using Fuzzy Logic.
2. Sohpal, V. K., Singh, A., & Dey, A. (2011). Fuzzy modeling to evaluate the effect of temperature on batch transesterification of *Jatropha curcas* for biodiesel production. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 6(1), 31-38.
3. Badday, A. S., Abdullah, A. Z., & Lee, K. T. (2014). Artificial neural network approach for modeling of ultrasound-assisted transesterification process of crude *Jatropha* oil catalyzed by heteropolyacid based catalyst. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 75, 31-37.
4. Herrera, J. A., Vélez, J. A. Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (biodiesel). Pereira, 2007, 80 p. Trabajo de grado (Tecnología Química). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnología. Escuela de química.
5. Rodríguez, Castrillón. (2012). Estimación de la cantidad de grasas y aceites usados y su destino en el municipio de Pasto. Universidad Cooperativa de Colombia. Pasto Colombia. p53, 55.
6. Sierra, G. (2012). Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite CENIPALMA Colombia. P27-28. Artículo disponible en línea: http://catic.unab.edu.co/gires/documentos/jornadas/Marzo22_2012_Conferencia_Guido_Sierra.pdf.
7. Biocombustibles y desarrollo sostenible, artículo disponible en línea: <http://es.journeytoforever.org/biocombustibles/como-hacer-biodiesel.cgi#nuestro-primer-biodiesel>.
8. Castro, P., Coello, J., & Castillo, L. (2007). Opciones para la producción y uso de Biodiesel en el Perú. Soluciones Prácticas, ITDG.
9. Arbeláez F, Sanz D. "Diseño y construcción de una maquina controlada para la producción de biodiesel". Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Mecatrónica, Universidad de San Buenaventura 2008.
10. Herrera J, Vélez J. "Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible biodiesel". Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Tecnología Química, Universidad Tecnológica de Pereira 2008.
11. Medina M, Ospino Y. "Evaluación de un proceso para obtener biodiesel usando tecnologías combinadas a partir de aceites residuales". Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Químico, Universidad de Cartagena 2011.

Capítulo 4

SENSOR INALÁMBRICO PARA SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS SUPERFICIALES

ROSERO C.¹, VACA C.², TOBAR L.¹ Y JÁCOME D.¹

¹Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra — Ecuador

²Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ciencias de la Salud, Ibarra — Ecuador

Resumen: El estudio de las señales eléctricas provenientes de las neuronas motoras, adquiridas en la superficie de la piel, se efectúa a través de la electromiografía superficial. En la actualidad existen dispositivos de monitoreo de estas señales, destinados al ajuste y calibración de prótesis en la industria, y a la observación de patrones dentro de los procesos de enseñanza e investigación. En los dispositivos convencionales, los cables de conexión entre el sistema de adquisición y la interfaz humano-máquina en el computador, adicionan problemas tales como desconexión accidental, rotura del cableado, e incomodidad del paciente para mover naturalmente las extremidades bajo estudio. El presente trabajo detalla la realización de un sensor inalámbrico de señales electromiográficas superficiales, con comunicación a una interfaz humano-máquina implementada en LabVIEW. El sistema comprende el acondicionamiento, digitalización, envío inalámbrico, visualización y almacenamiento de las señales en cuestión. Con el fin de comprobar el rendimiento del sensor, se realizó un análisis en el dominio del tiempo y de la frecuencia de varias señales adquiridas. Además se ejecutaron evaluaciones de pérdida de muestras y relación de potencia señal/ruido. Los resultados obtenidos permitieron concluir que el presente desarrollo: es capaz de capturar señales sEMG con igual calidad que otros trabajos similares, su comportamiento es robusto ante la interferencia, posee una tasa de muestreo adecuada para la frecuencia de cambio de las señales, y posee la ventaja de ser portable y económico.

Palabras clave: Electromiografía superficial; comunicación inalámbrica, señales EMG, interfaz humano-máquina, rehabilitación muscular.

4.1. Introducción

La electromiografía superficial (sEMG, surface ElectroMyoGraphy) comprende el estudio de las señales eléctricas tomadas desde la superficie de la piel, que representan la actividad muscular manejada por las neuronas motoras [1]. Esta técnica no invasiva se utiliza sólo cuando se requiere información básica de las características de las señales EMG, tal como amplitud y forma [2]. Dentro de sus áreas de aplicación se

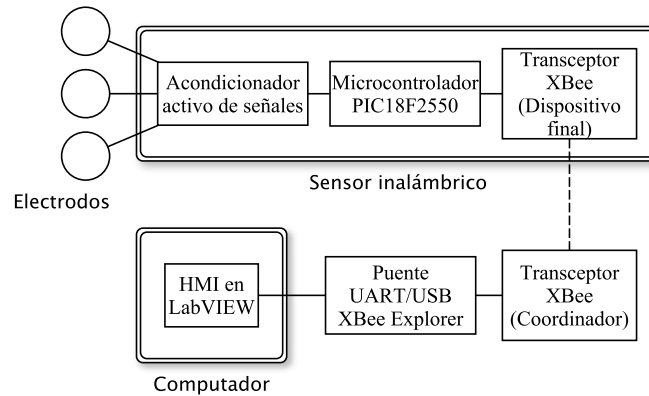


Figura 4.1: Sensor inalámbrico de señales sEMG

encuentra la rehabilitación muscular, tanto en entrenamiento deportivo como en amputación de miembros, véase [3] y [4].

Una de las limitaciones que tienen los sistemas sEMG en la actualidad, radica en que los cables de conexión entre los electrodos, el sensor y la interfaz de visualización, evitan que los dispositivos sean portátiles y cómodos de usar, propiciando además la desconexión y/o ruptura de dichos cables. Algunos estudios se centran en el análisis de esta problemática, por ejemplo en [5] - [10], sin embargo se refieren a hardware grande y pesado, cuyo alto costo representa una desventaja adicional.

Este trabajo describe la implementación de un sensor digital inalámbrico de señales sEMG, de bajo costo y portátil, basado en un microcontrolador de gama media. Las señales analógicas sEMG son digitalizadas para luego transmitirse, dentro de una red de área personal (PAN, Personal Area Network) con tecnología XBee [12], hacia un computador con una interfaz humano-máquina (HMI, Human Machine Interface).

El resto del trabajo se organiza como sigue. En la sección 4.2 se detalla el diseño e implementación del sistema propuesto. Los resultados experimentales se informan en la sección 4.3, mientras que la sección 4.4 concluye el documento.

4.2. Metodología

Una ilustración del mecanismo desarrollado se puede observar en la Figura 4.1. La señal mioeléctrica es producida por una contracción muscular y se adquiere a través de electrodos superficiales. El sensor sEMG está formado por un acondicionador activo de señales, un microcontrolador PIC18F2550 [11], y un transceptor XBee [12] configurado como dispositivo final en una red ZigBee. Tal sensor transmite las muestras obtenidas hacia un módulo de la misma tecnología inalámbrica, el cual actúa como coordinador. La información se transforma de UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) en paquetes USB (Universal Serial Bus), por medio del puente XBee Explorer [13]. Posteriormente, los datos son procesados mediante una interfaz humano-máquina en LabVIEW [14].

4.2.1. Consideraciones para el diseño

Las señales sEMG son bipolares (diferenciales) y su amplitud se encuentra entre $50\mu V$ y $5mV$, como se menciona en [15]. Dado que su amplitud mínima se encuentra en el orden de los microvoltios estas señales podrían ser fácilmente solapadas por contaminaciones, tales como la interferencia a 60Hz provocada por cualquier instalación eléctrica. Por otro lado, según [16], las señales sEMG poseen componentes dominantes dentro del rango de frecuencias [20, 500]Hz. La transmisión inalámbrica necesita realizarse en red digital con corrección de errores.

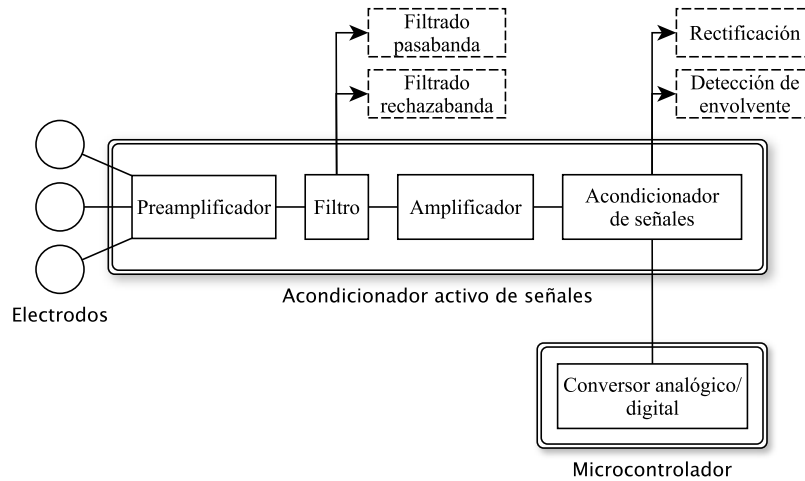


Figura 4.2: Etapas del acondicionador activo de señales sEMG

4.2.2. Adquisición de señales sEMG

En la lectura de la señal se utilizan tres electrodos superficiales y desechables de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl). Para el posicionamiento de los mismos sobre el cuerpo humano, se sigue las recomendaciones de la normativa para evaluación no invasiva de músculos (SENIAM, Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles, [17]).

En la Figura 4.2 se puede observar las diferentes etapas de acondicionamiento activo de la señal. La etapa de pre-amplificación está definida por una ganancia aproximada de 124. Después del filtrado se vuelve a una segunda etapa de amplificación para alcanzar niveles de lectura adecuados en el microcontrolador. En la etapa de filtrado se utilizan dos tipos de filtro: *a)* un pasa-banda tipo Butterworth de cuarto orden para el rango [20, 500]Hz, *b)* un rechaza-banda tipo Notch para eliminar la interferencia a 60Hz, con ancho de banda de 2Hz [18]. Debido a que la señal es bipolar se implementa una etapa de acondicionamiento, formada por un rectificador de onda completa y un circuito detector de envolvente. De esta manera, se compensa la señal para que se posicione dentro del rango de voltajes del conversor análogo/digital (ADC, Analog/Digital Converter) del microcontrolador, que es [0, 5]V.

4.2.3. Muestreo

Según [5], el correcto muestreo de una señal evita la pérdida de la información contenida en ella. Teniendo en cuenta la consideración de frecuencia de la subsección 4.2.1, donde se establece una frecuencia máxima de 500Hz, se necesita una frecuencia de muestreo mínima de 1KHz según el teorema de Nyquist, y de 2KHz según Nyquist-Shannon [19]. Por lo tanto, la frecuencia de muestreo seleccionada es $F_m > 1\text{kHz}$, la cual hace trabajar al ADC del microcontrolador en el tope de su desempeño, véase [11], y también evita que la señal se torne indistinguible cuando se muestrea digitalmente; las frecuencias por encima de 500Hz son eliminadas.

En referencia a la implementación del muestreo, primero se determina el máximo tiempo de latencia de la información L_{max} , que comprende: *a)* el tiempo que el microcontrolador toma para realizar la adquisición, procesamiento y envío de la información vía UART, y *b)* el tiempo que los dos módulos XBee y el puente XBee Explorer usan, tanto para enviar la información a través de la red inalámbrica, como para empaquetarla por USB. Por experimentación se obtiene que $L_{max} \approx 530\mu\text{s}$ y considerando la condición

$$T_m > (L_{max} + \delta), \quad (4.1)$$

donde δ es un tiempo de seguridad para evitar que exista solapamiento (aliasing) entre muestras, se determina un tiempo de muestreo $T_m = 900\mu\text{s}$ o su equivalente en frecuencia de muestreo $F_m = 1/T_m = 1,11\text{kHz}$. En relación al ADC, se selecciona una frecuencia de reloj que garantiza su trabajo con un tiempo de conversión $T_c = 0,7\mu\text{s}$ y una resolución de 10bits, según sugiere la hoja de datos del microcontrolador

en [11]. Por último, el muestreo con período T_m se implementa sobre el microcontrolador, usando una rutina especial de interrupción asociada al desbordamiento de un temporizador, tal como lo establece el paradigma de tiempo real [20].

4.2.4. Comunicación inalámbrica

En la PAN ZigBee existen dos nodos: 1) el nodo *sensor*, configurado como dispositivo final, y 2) el nodo *computador*, configurado como coordinador. No es necesario un ruteador ya que no existen otros dispositivos que actúen como mensajeros; el coordinador es responsable de definir el canal de funcionamiento y la identificación de la PAN, como se menciona en [21].

Los dos nodos usan los módulos XBee S1 [12], aptos para aplicaciones embebidas portátiles, debido a que trabajan a bajas velocidades de transmisión, y a que su consumo de potencia es pequeño. Para la configuración de estos dispositivos se utiliza el software XCTU [22], mediante el cual se especifica parámetros de comunicación tales como velocidad de transmisión $V_{tx} = 115200$ bps, carga útil de 8bits, no paridad, un bit de parada, entre otros.

Una vez establecida la comunicación entre el coordinador y el dispositivo final, el sensor transmite las muestras digitalizadas en formato ASCII (American Standard Code for Information Interchange), para evitar operaciones complejas de codificación/decodificación de datos, en el sensor y la HMI respectivamente. Así, considerando que las cantidades a enviar pueden variar dentro del rango [0, 1023], se tiene cadenas de caracteres de un largo fijo de 4 bytes, entre "0000z" "1023". Teniendo en cuenta que el largo de cada cadena es constante y que cada byte se envía con un bit de parada, se tiene una velocidad real de transporte de datos de 3200Bps (Bytes por segundo), con un tiempo de latencia teórico de 391 μ s por cada muestra tomada.

4.2.5. HMI

Esta interfaz fue programada con el software LabVIEW [14] y sus funciones principales comprenden la visualización y almacenamiento de señales sEMG en tiempo real, y la visualización de archivos almacenados previamente. La figura 4.3, muestra el panel frontal de la aplicación.

4.3. Resultados y Discusión

Con el fin de comprobar el rendimiento del sensor, se realizaron varias pruebas relacionadas con el análisis en el dominio del tiempo y de la frecuencia, de las señales adquiridas a través del sensor. Además se evaluaron la pérdida de muestras y la relación de potencia señal/ruido.

4.3.1. Inyección de señales y pérdida de muestras

Como primera prueba, se realizó la inyección directa de señales senoidales artificiales sobre el sensor. Cada señal fue adquirida por la HMI en LabVIEW, grabada en un archivo con formato CSV (Comma-Separated Values), y posteriormente analizada off-line a través de MATLAB [23].

Se probó tres senoides con frecuencias f cercanas a la mínima, media y máxima frecuencias de las señales sEMG estipuladas en la subsección 4.2.1, es decir $f \in \{20, 242,5, 480\}$ Hz. En las gráficas en el dominio del tiempo de la Figura 4.7, los círculos muestran los instantes de muestreo de la señal; en las gráficas en el dominio de la frecuencia, cada espectro evidencia un componente principal en la frecuencia de la señal, y otro componente pequeño en 60Hz, que corresponde a la interferencia causada por el suplemento eléctrico.

Con esta prueba también se pudo evaluar la pérdida de muestras del sistema sensor-computador e_m . Se programó al sensor para que detenga la transmisión luego de enviar 10000 muestras tomadas desde las señales senoidales inyectadas. Luego, a través del tamaño de los archivos CSV generados, se verificó que un 0,05 % de las muestras fueron perdidas. La métrica usada consiste en

$$e_m = \frac{m_c}{m_s} \times 100 \% \quad (4.2)$$

donde m_c es el número de muestras adquiridas en el archivo CSV, y m_s , el número de muestras enviadas por el sensor.

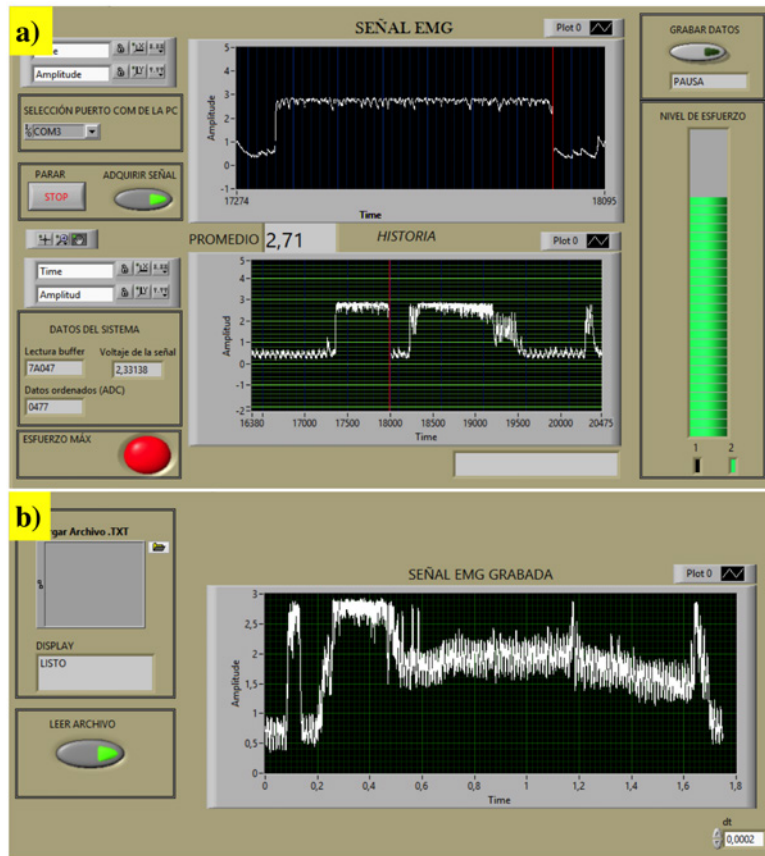


Figura 4.3: HMI: a) adquisición y almacenamiento de sEMG, b) visualización de archivos sEMG almacenados

4.3.2. Banda sEMG y relación señal/ruido

El prototipo de banda utilizado para esta prueba se puede observar en la Figura 4.5. Como se evidencia, el sensor inalámbrico y la alimentación han sido colocados en una banda que tiene ajuste personalizado; los sensores se han situado en bandas independientes, también ajustables.

La evaluación se realizó sobre el músculo recto femoral (muslo) y según [17], los electrodos fueron colocados en el 50% de la línea entre la espina iliaca anterior superior y la parte superior de la rótula (Figura 4.6).

Las gráficas en el dominio del tiempo y de densidad espectral de la señal sEMG, obtenidas considerando la contracción y relajación del músculo, se pueden apreciar en la Figura 4.7. Es evidente la presencia de una componente de interferencia a 60Hz.

La relación señal/ruido (SNR, Signal-to-Noise Ratio), usada para evaluar la calidad de la señal obtenida por el sensor propuesto, fue medida sobre el mismo conjunto de datos, obteniéndose como resultado que $SNR = 41,83dB$. Para ello se usó el modelo

$$SNR = 20 \log_{10} \frac{S_s}{S_r}, \tag{4.3}$$

donde, SNR se expresa en decibelios, S_s es la media cuadrática de la señal y S_r es la media cuadrática del ruido.

4.3.3. Discusión y trabajos futuros

Los resultados evidenciados en las Figuras 4.4 y 4.7, muestran que no existe distorsión y que el muestreo se realiza a un rango adecuado. La componente de interferencia a 60Hz indica que el filtro necesita ser

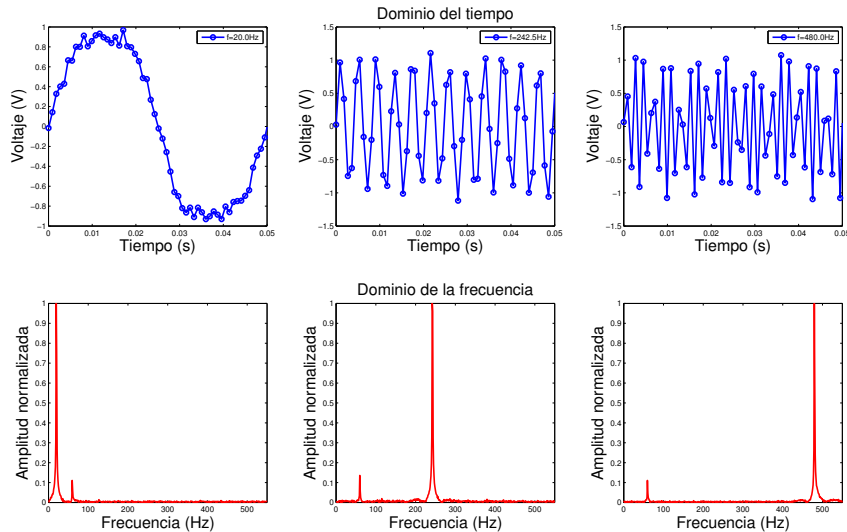


Figura 4.4: Inyección de señales senoidales artificiales

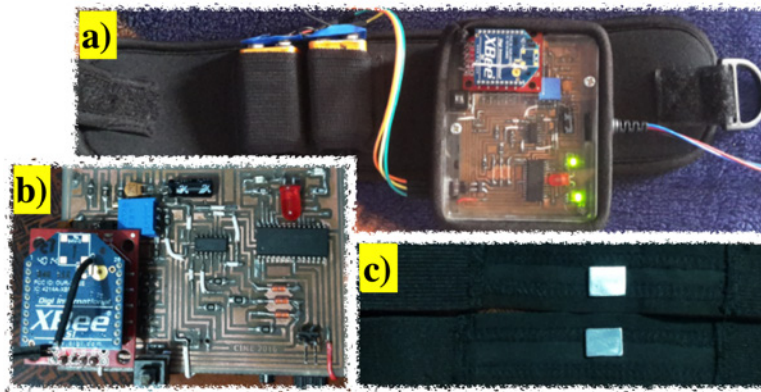


Figura 4.5: Sensor inalámbrico de señales sEMG: *a)* banda con sensor y alimentación, *b)* placa del sensor, *c)* bandas con electrodos

levemente reajustado, sin embargo este valor se podría absorber con la implementación de un filtro por software.

Por otro lado, la mínima pérdida de muestras del sistema sensor-computador evidencia que el sensor es confiable, ya que un bajo porcentaje como el obtenido, es despreciable. El SNR relativamente alto, es comparable con el de prototipos similares, disponibles en [5] - [10].

En relación a las métricas aplicadas, en trabajos futuros se podría implementar pruebas basadas en reconocimiento de patrones, para clasificar movimientos y/o gestos realizados por un voluntario. Así se demostraría que las señales sEMG obtenidas con el sensor inalámbrico, son portadoras de información útil.

4.4. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un prototipo para la adquisición, acondicionamiento y transmisión inalámbrica de señales sEMG. Los resultados obtenidos permiten concluir que el presente desarrollo es capaz de capturar señales sEMG con igual calidad que otros trabajos similares, pero con la ventaja de ser de bajo costo y portátil. Para aumentar el rendimiento del sensor, se plantea como trabajo futuro la utilización de un procesador digital de señales en lugar del microcontrolador, permitiendo: *a)* disminuir

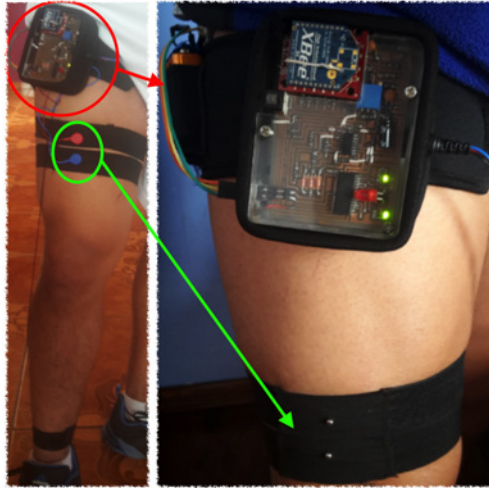


Figura 4.6: Colocación de la banda sEMG sobre el músculo recto femoral

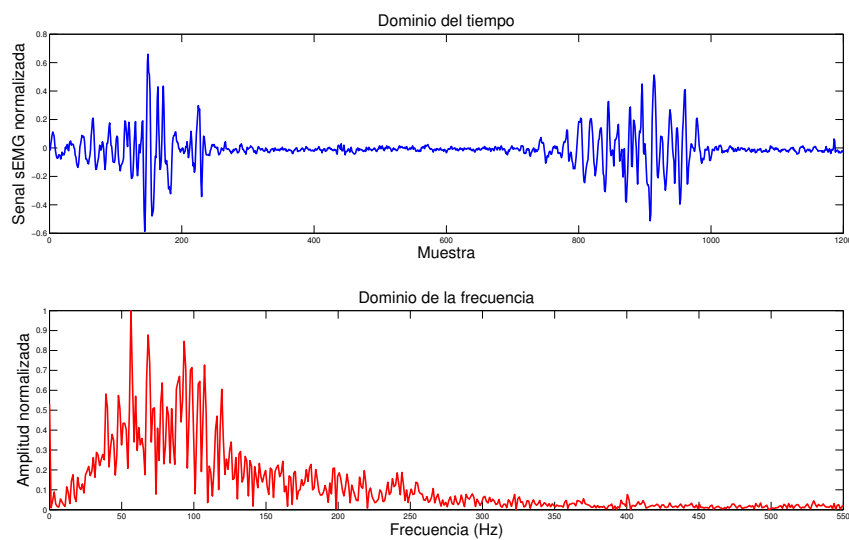


Figura 4.7: Señal sEMG adquirida en el músculo recto femoral

la latencia en el procesamiento de las muestras, *b*) incrementar los ADC para adquirir más de una señal a la vez, *c*) aumentar la frecuencia de muestreo, y *d*) elevar la calidad de la muestra, al aumentar su resolución.

Referencias

1. De Luca, C. (1979). Physiology and mathematics of myoelectric signals. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, no. 6, pp. 313-325.
2. Merletti, R., & Parker, P. (2004). *Electromyography: Physiology, Engineering, and Noninvasive applications. Wiley IEEE Press Engineering in Medicina and Biology Society, Sponsor.*
3. Jiang, N., Dosen, S., Muller, K. & Farina, D. (2012). Myoelectric control of artificial limbs - is there a need to change focus?. *IEEE Signal Processing Magazine*. Vol.29. Nro. 5, pp.152-150.
4. Fougner, A., Stavadahl, P., Kyberd, Y., Losier, G. & Parker, P. (2012). Control of upper limb prostheses: terminology and proportional myoelectric control - a review. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. Vol. 20, Nro. 5, pp.663-667.

5. Youn, W. & Kim, J. (2009). Development of a compact-size and wireless surface EMG measurement system. *ICCAS-SICE, IEEE*, pp. 1625-1628
6. Imtiaz, U., Bartolomeo, L., Lin, Z., Sessa, S., Ishii, H., Saito, K., Zecca, M. & Takanishi, A. (2013). Design of a wireless miniature low cost EMG sensor using gold plated dry electrodes for biomechanicsresearch. *Mechatronics and Automation (ICMA), 2013 IEEE International Conference on. IEEE, 2013*, pp. 957-962
7. Imperatori, G., Cunzolo, P., Cvetkov, D. & Barretino, D. (2013). Wireless surface electromyography probes with four high-speed channels. *Sensors Journal, IEEE, Vol. 13, Nro. 8*, pp. 2954-2961.
8. Ohyama, M., Tomita, Y., Honda, S., Uchida, H. & Matsuo, N. (1996). Active Wireless Electrodes for Surface Electromyography. *18th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 295-296.
9. Yen, C., Chung, W., Lin, K., Tsai, C., Lee, S. & Chen, T. (1999). Analog integrated circuit design for the wireless bio-signal transmission system. *ASICs, APASIC '99. The First IEEE Asia Pacific Conference*, pp. 345-346.
10. Moon, I., Lee, M. & Mun, M. (2004). A novel EMG-based human-computer interface for persons with disability. *Mechatronics, ICM '04. Proceedings of the IEEE International Conference on*, pp. 519-52.
11. Microchip. (2016, Octubre 8). Microchip PIC18F2550. Recuperado en URL:<http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F2550>.
12. Digi. (2016, Octubre 8). Transceptor XBee. Recuperado en URL: <https://goo.gl/eHAaHm>.
13. Sparkfun. (2016, Octubre 20). XBee Explorer. Recuperado en URL: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/exploring-xbees-and-xctu>.
14. National Instruments. (2016, Octubre 20). Software de Desarrollo de Sistemas NI LabVIEW. Recuperado en URL:<http://www.ni.com/labview/esa/>.
15. Beneteau, A., Di Caterina, G., Petropoulakis, L. & Soraghan, J. (2014). Low-Cost Wireless Surface EMG Sensor Using The Msp430 Microcontroller. *Proceedings of the 6th European Embedded Design in Education and Research*, pp. 264-268.
16. Pramudita, K., Setiawan, F., & Siswant. (2014). Interface and display of Electromyography signal wireless measurements. *The 1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering*.
17. Stegeman, D., Hermens, H. (2003). Standards for surface electromyography: the European project "Surface EMG for Non-Invasive Assessment of Muscles (SENIAM)", pp. 108-112. Recuperado de URL:<http://www.med.uni-jena.de/motorik/pdf/stegeman.pdf>.
18. Zin Ma Ma Myo, M., Min Aung, Z. & Min Naing, Z. (2009). Design and Implementation of Active Band-Pass Filter for Low Frequency RFID (Radio Frequency Identification) System. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, Vol I*, pp. 364-367.
19. Lejkowski, W., Andrzej, P., Dobrowolski, & Olszewski, R. (2014). The measurement system for analyzing heart sounds with ECG reference signal.
20. Laplante, P. (1992). Real-Time Systems Design and Analysis. *IEEE Press*.
21. Tituaña, M. (2010). Implementación de un prototipo de comunicaciones mediante la utilización del estándar IEEE 802.15.4. *Facultad de Ingeniería Electrónica. ESPE. Sede Sangolquí*, pp. 72-147. Recuperado en URL: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/134>.
22. Digi. (2016, Octubre 23). XCTU Next Generation Configuration Platform for XBee/RF Solutions. Recuperado en URL:<https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>.
23. MathWorKs. (2016, Noviembre 4). Start using MATLAB and add-on products today.

Capítulo 5

PROPUESTA DE SISTEMAS DE CONTINUIDAD DEL NEGOCIO (BCP/DRP) ANTE EMERGENCIAS, ENFOCADO A LAS VULNERABILIDADES TECNOLÓGICAS, HUMANAS, FÍSICAS EN LAS PYMES DE IBARRA.

FRANKLIN SOSA

Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra, Ecuador.

Resumen: La propuesta de sistemas de continuidad del negocio (BCP “Business Continuity Plan”/ DRP “Disaster Recovery Plan”) ante emergencias, está enfocado a determinar las vulnerabilidades tecnológicas, humanas, físicas en las Pymes de Ibarra, que se encuentran expuestos a las diferentes amenazas. El desarrollo de esta propuesta se enfoca a buscar soluciones frente a los eventos adversos mediante acciones que permitan la continuidad del negocio, permitiendo que las empresas puedan conocer un nivel de impacto que podrían sufrir al exponerse a estas condiciones y que alternativas deberían asumir, para reducir el impacto que se pueda generar. Al determinar la vulnerabilidad en las empresas y aplicar el Sistema de BCP/DRP, permite considerar que acciones de prevención y preparación que deben implementar basándose en el sistema que consta de 6 fases aplicado las estrategias de recuperación y continuidad de las operaciones, enfocándose a reducir el impacto y tiempo que pueden generar los eventos adversos. La propuesta de sistemas de continuidad del negocio, frente a las vulnerabilidades, se diferencia de los sistemas tradicionales o existentes, ya que implica tener un proceso de identificación heurística de relación de la exposición con el nivel de protección y recursos, y la valoración de impactos aplicada mediante la formulación de una ecuación que consta de la sumatoria de eventos, y relación de la vulnerabilidad de estos. En esta aplicación de la propuesta, se da un esquema de aplicación del 60 %, por intervención del recurso humano, 35 % a las condiciones de infraestructura que debe tener y 5 % a la generación de los planes e instrucciones. En la actualidad las organizaciones, no dan importancia en aplicar programas de recuperación y continuidad del negocio, debido a que no tienen claro un proceso de identificación y evaluación del impacto que podría tener, dejándolas desprotegidas y al borde de la quiebra, el momento de llegar a presentarse los eventos adversos [2].

Palabras Claves: Aceite usado de cocina, Biodiesel, control de pH y temperatura, diseño de planta de producción, transesterificación.

5.1. Introduction

El Ecuador es un país que está expuesto a riesgos adversos, por la presencia de amenazas; naturales, condiciones antrópicas, exposición a desperfectos tecnológicos, rechazo a régimen político o socio cultural que puede ocasionar un impacto catastrófico en las organizaciones, donde no se toman acciones preventivas. Si tomamos en cuentas estas afectaciones a nivel de impacto productivo, podríamos mencionar que muchas organizaciones dejaran de existir, ya que no podrán soportar y recuperarse de acuerdo al impacto que se haya presentado.

Las organizaciones que en el Ecuador se preocupan por no solo mantener un plan de emergencia o de autoprotección, y consideran mantener un Sistema de Continuidad del Negocio son muy pocas, debido a que en la actualidad, solo se cumple con los requerimientos técnicos legales mínimos, que conllevan a cumplir acciones muy limitadas. [2]. Las organizaciones que mantienen un enfoque de continuidad son las de servicios e intervención financiera y de soporte tecnológico e informáticos, por la complejidad y criticidad de mantener esos recursos operables, que en un principio eran requerimientos obligatorios, pero que posteriormente se analizaron para asegurar operaciones de escenarios críticos. El resto de organizaciones, no tiene claro que nivel de impacto podría conllevar el que se genere un evento adverso de grandes magnitudes, no se cuenta con una cultura preventiva y se carece de métodos cuantitativos que permitan entender la importancia de aplicar un sistema BCP y DRP a través de un análisis de vulnerabilidad que garantice una resiliencia.

Este tipo de opinión se valoró en una muestra de las empresas Pymes de Ibarra, para poder sugerir una herramienta que permita evaluar de forma cuantitativa la vulnerabilidad y posteriormente sugerir la aplicación de la propuesta de sistemas de BCP y DRP, para continuidad del negocio que sea efectiva a la realidad de la organización de acuerdo al nivel de impacto expuesto. Se buscó aplicar en estas organizaciones y sector, ya que la ciudad de Ibarra se encuentra en etapa de crecimiento Industrial según datos INEC 2013, y al encontrarse en esta situación el enfoque de prevención es muy limitado, además los controles por los entes gubernamentales no son continuos dejando una brecha para la toma de decisión por parte de los empresarios de forma voluntaria en aplicar o no, este tipo de sistemas, y creando un nivel de vulnerabilidad importante, que no es tomado en cuenta en la organización. [3].

EL aplicar la propuesta del sistema de continuidad del negocio, frente a vulnerabilidades, permite mostrara al empresario el nivel de impacto al que se encuentra y permite sugerir en base a un nivel de fases de aplicación del BCP y DRP, que acciones debe tomar. [2].

5.2. Fases de la propuesta planteada

La propuesta, permite tener una identificación de las amenazas de acuerdo a la relación comparativa con la evaluación de las vulnerabilidades existentes y obtener un nivel de impacto cuantitativo, que permita a las organizaciones, poder decidir las acciones que se debe tomar para evitar consecuencias catastróficas que antes no las consideraban. Este Sistema consta del siguiente modelo sugerido, como se muestra en la figura 5.1:

La aplicación de este Sistema donde se determina el impacto que podría tener por la vulnerabilidad frente a las amenazas existentes, permite proponer la aplicación del sistema BCP, DRP basado en seis fases para la aplicación que genere la continuidad del negocio, basada en tiempos y recursos. Para que sea efectivo esta propuesta debe existir el nivel de involucramiento de mayor importancia por parte del personal y la dirección, luego sobre los recursos físicos como la infraestructura y ciertos aspectos tecnológicos que se requiere, y finalmente la generación de instrucciones, descriptivos de estrategias contenidas en un plan, como se muestra en la figura 5.2.

5.2.1. Identificación de Riesgos y Amenazas

Para determinar que amenazas y que riesgo se tienen, se usa la referenciación con respecto a la ubicación, y condiciones propias de la actividad económica de la organización. Se utiliza los mapas de amenazas existentes en las zonas donde están ubicadas las empresas por situación geográfica, proporcionado por el instituto Geofísico de la EPN. (Escuela Politécnica Nacional) [3]. Como se muestra en el mapa 5.3.

La identificación de las amenazas para las organizaciones, está basada a la presencia en base a la zona geográfica [4], tipo de actividad o de modificación del entorno, aspectos sociales por tendencias culturales o políticas, en fin a las variables presentes [4], [5], como se detalla a continuación en la figura 5.4.

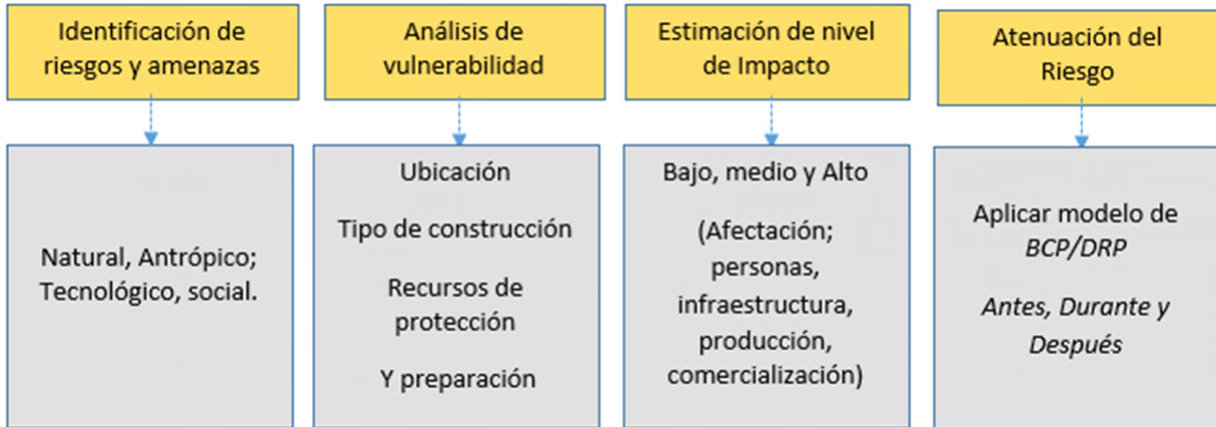


Figura 5.1: Descripción de la aplicación en función de la propuesta planteada.

5.2.1.1. *Análisis de Vulnerabilidad* En la propuesta del sistema de continuidad del negocio, frente a vulnerabilidades, para su determinación, se aplica la matriz de triple criterio para determinar, relación entre los riesgos existentes por ubicación geográfica del grupo de organización Pymes seleccionadas y tipos de recursos de protección, preparación, infraestructura, para determinar nivel de vulnerabilidad.

Para aplicar el análisis de vulnerabilidad, se utiliza un método heurístico, donde se asocia como las variables, a las amenazas frente a los riesgos [8], y los aspectos de contención frente a estas. Como se muestra en la Tabla 5.1.

Permitiendo generar un estado de situación de riesgo, que determina el grado de resistencia de la organización, frente a las situaciones adversas.

5.2.2. Estimación de nivel de impacto

Para determinar el nivel de impacto se considera mediante una ecuación la relación del riesgo asociado expuesto por el giro de actividad económica de la organización, calculado por el método de evaluación William Fine, y por el nivel de vulnerabilidad que se determinó mediante una matriz heurística de relación, determinada por las variables de preparación frente las amenazas. Dividido por la sumatoria total de la multiplicación del Riesgo Asociado y la vulnerabilidad), como se muestra en la ecuación 5.1.

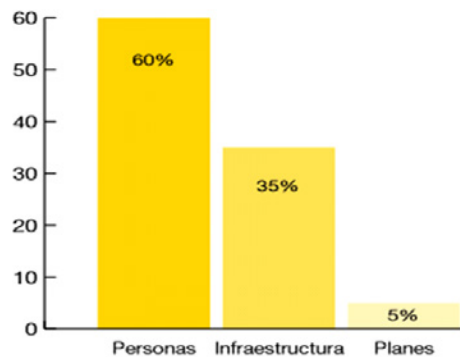


Figura 5.2: Componentes de responsabilidad e Importancia del modelo de recuperación. Fuente: Boletín Digital N°9-2008 de Espiñeira, Sheldon y Asociados. Realizado Espiñeira, Sheldon y Asociados [2].

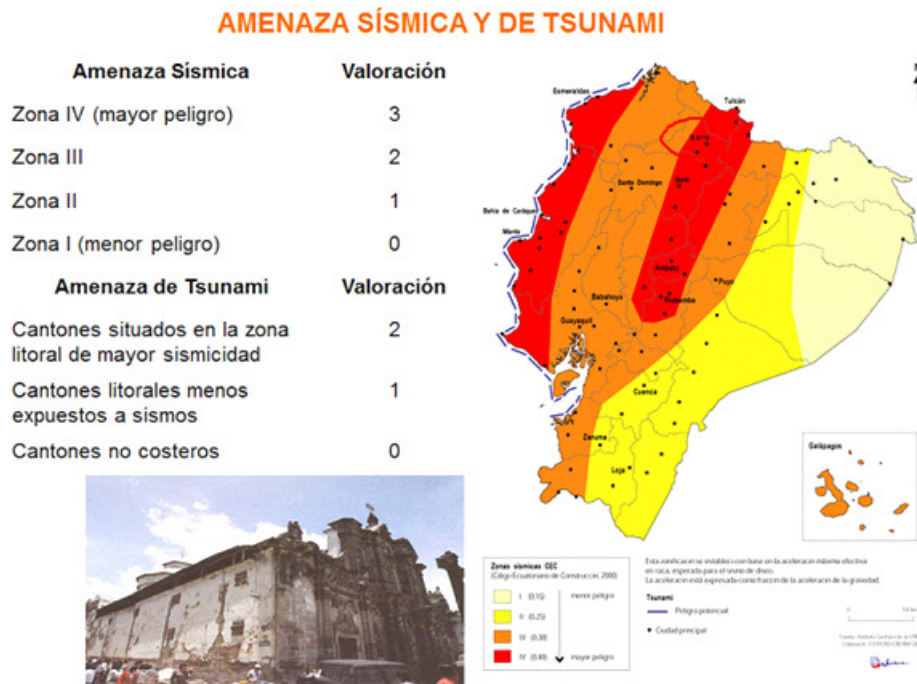


Figura 5.3: Valoración de amenaza sísmica y de Tsunami del Ecuador. [8]

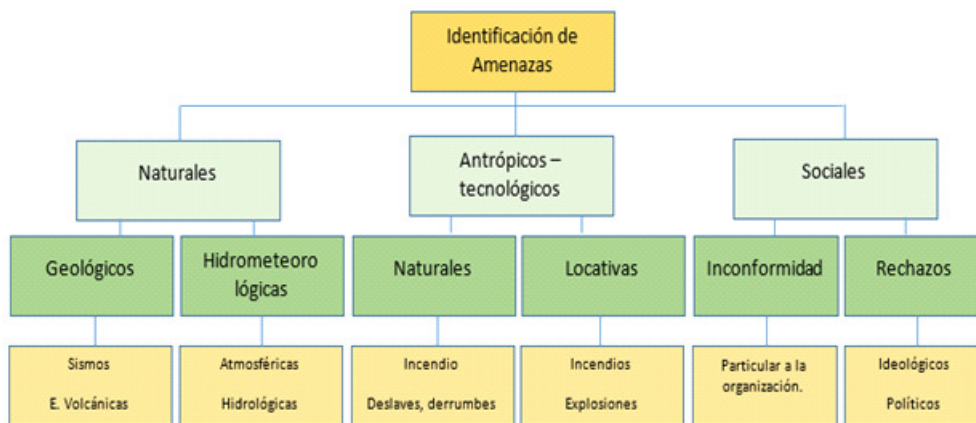


Figura 5.4: Descripción de la identificación de amenazas.

Tabla 5.1: Método Heurístico de triple criterio para definir la vulnerabilidad.

		Sistema de protección		
		Preparación óptima	Preparación mínima	Preparación incipiente
Presencia de amenaza	Baja	Situación trivial (T)	Situación Tolerable (To)	Situación Moderado (Mo)
	Media	Situación Tolerable (To)	Situación Moderada (Mo)	Situación Importante (I)
	Alta	Situación Moderada (Mo)	Situación Importante (I)	Situación Intolerable (IN)
Situación trivial (T)		No se requiere acción específica		
Situación Tolerable (To)		Se debe considerar acciones de mejoras en los sistemas de protección.		
Situación Moderada (Mo)		Se debe hacer esfuerzos para obtener el equipamiento y mejorar la situación de preparación.		
Situación Importante (I)		Se debe corregir la situación lo antes posible, ya que se ve envuelto en situaciones críticas.		
Situación Intolerable (IN)		Se debe tomar acciones inmediatamente, si se requiere evitar grandes consecuencias humanas y económicas.		

$$NI = \frac{CRA(X)V}{\sum(CRA(X)V)} \tag{5.1}$$

Donde:

Consideración de Riesgo Asociado (CRA)= Determinación de riesgo por actividad económica de la organización utilizando método William Fine. Este determina el Grado de peligrosidad= Consecuencia (X) exposición (X) Probabilidad (X) Exposición, Como se muestra en la tabla 5.2.

Vulnerabilidad (V)= Relación por método heurístico de las amenazas expuestas y el nivel de preparación (medios, equipos, sistemas) de la organización para afrontar las amenazas, como se muestra en la tabla 5.3.

Tabla 5.2: Realizado por Franklin Sosa.
Nivel de Consideración de riesgos asociado.

No existe riesgo	0
Bajo	1
Medio	2
Alto	3
Muy Alto	4

Tabla 5.3: Realizado por Franklin Sosa.
Nivel de vulnerabilidad .

T	1
To	2
Mo	3
I	4
IN	5

Con esta relación simple se determina, un nivel de impacto: bajo, medio y alto, como se menciona en la tabla 5.4.

Tabla 5.4: Realizado por Franklin Sosa.

Escala de nivel de impacto (NI).	
$i=0,03$	Bajo (B)
0,031 a 0,3	Medio (M)
$i0,31$	Alto (A)

5.2.3. Sistema de Atenuación del riesgo

Son las fases que se deberán tomar para generar el sistema de recuperación que toma en cuenta a los planes de emergencia, de actuación frente a desastres, sistemas que garanticen la continuidad del negocio, como se detalla en la siguiente figura 5.5. [10]

Para la aplicación constara de las siguientes fases:

- a) Fase I / Diseño
- b) Fase II / Descripción y conocimiento de la organización
- c) Fase III / medidas preventivas aplicar en las tres componentes; humanos, infraestructura y plan.
- d) Fase IV / descripción de estrategias
- e) Fase V/ Desarrollo e implementación, considerando el tiempo y alcance esperado.
- f) Fase VI / mantenimiento del plan, y simulacros para determinar una mejora continua.

5.3. Por qué implementar la propuesta en un muestreos de las pymes de Ibarra

La aplicación en las empresas Pymes de Ibarra se denotaron de la siguiente manera:

1.- Selección de las muestras por actividad Económica; en este proceso se determinaron los riesgos asociados que estas se encuentran de acuerdo a su nivel de riesgos.

En el proceso de selección de las organizaciones se estableció realizarlo sobre una muestra de las empresas PYMES de Ibarra, tomando en cuenta este segmento por ser organizaciones que se encuentran en un crecimiento, y que en su mayoría carecen de una administración enfocada a la prevención, y más solo a cumplir requerimientos técnicos legales.

2.-Analizar cumplimiento técnico legal a cumplir referente al tipo de organización y amenazas expuestas. En el Ecuador los requerimientos técnicos legales referentes a sistemas de prevención, son requeri-

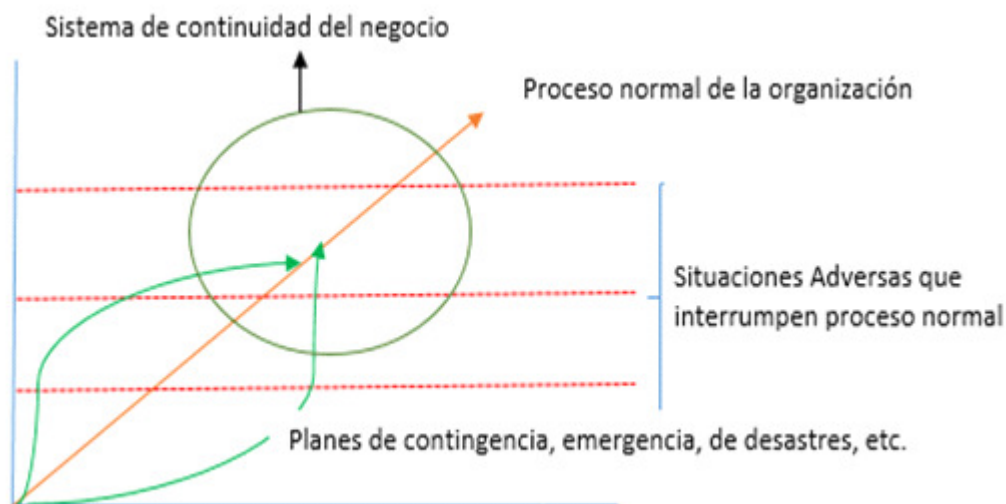


Figura 5.5: Modelo de proceso para recuperación ante eventos adversos. Fuente: Boletín Digital N°9-2008 de Espiñera, Sheldon y Asociados. Realizado: In. Msc. Franklin Sosa.

mientos generales que no se enfocan a las actividades económicas de la organización y que solo se piden en función al tamaño, y número de personas expuestas como el caso del Plan de Mitigación y prevención de riesgos contra incendios publicado en el registro oficial 114, documento que expresa condiciones a cumplir en función de prevenir incendios y cómo actuar frente a un proceso de evacuación, centrándose específicamente en implementación de sistemas e insumos.

Existe otro tipo de normativa reguladora desarrollada por la Secretaria de Gestión de Riesgos, que se enfoca a las acciones a tomar en base a los eventos adversos que se generan por causa antrópicas y naturales. Este tipo de normativa se enfoca más a los sistemas de respuesta de generación de un COE (Comité de Operaciones ante Emergencias), pero no trata en dar lineamientos particulares en las organizaciones, dejando a libre decisión que las empresas coloquen o no temas de prevención sobre todas las amenazas que puedan existir.

La regulación en normas de prevención para afrontar las diferentes emergencias que se plantean en las organizaciones que se hacen mención con carácter regulatorio se enfocan a un control de existencia general y no se enfocan a lo particular, se mencionan recomendaciones principalmente para empresas que manipulan y procesos productos químicos, dejando en un vacío a las otros segmentos de empresas de diferentes actividades económicas. A demás no se detallan métodos claro para realizar evaluaciones de las amenazas y riesgos que le permita saber a qué situación de riesgo se exponen.

3.-La determinación del segmento y sector para el análisis, se realizó bajo el criterio personal, donde se relacionó que en la ciudad de Ibarra las empresas se encuentran en etapa de crecimiento Industrial según datos INEC 2013, y que van a carecer algunas de cumplir con los requerimientos legales exigibles en este tema de prevención ante eventos adversos y que además en temas de legislación no cubren todas las amenazas existentes y en las que estas organizaciones se ven expuestas. La selección de un muestreo sobre las empresas PYMES, permite conocer la situación de las organizaciones que se encuentran en un crecimiento en sus recursos económicos, productivos, de infraestructura, y que muchas de ellas dejan al final el cumplir con sistemas de prevención ante emergencias.

4.-La importancia de implementar esta propuesta, permitirá conocer el nivel de impacto expuesto de las organizaciones de una forma cuantitativa y relacionando información de amenazas y riesgos por ubicación de zona geográfica, riesgos asociados al giro de negocio de la organización y vulnerabilidades existentes. Las cuales permitirá a los directivos de las organizaciones poder conocer su situación y tomar decisiones, en las que se sugieren la aplicación del modelo de continuidad del negocio, que no solo abarca en diseñar planes o instrucciones a seguir, ya que se debe contar con involucramiento del personal en ciertas responsabilidad, adquirir y mejorar infraestructura y aplicación de las diferentes estrategias para minimizar el tiempo de paro ocasionado por la eventualidad y poder generar la recuperación con un enfoque resiliente.

5.4. Que se encontró en la aplicación de la propuesta del muestre de las PYMES de Ibarra

Las organizaciones, que me permitieron extraer datos e información pertenecen a los segmentos de empresas de alimentos, bebidas, textil, en donde se aplicó la propuesta de:

Identificación de riesgos y amenazas

Donde se obtuvo el resultado que se muestra en la tabla 5.5

Tabla 5.5: Fuente: Base de datos MIPRO. Realizado: Ing. Msc. Franklin Sosa.

CIUDAD	ACTIVIDAD ECONÓMICA	CANTIDAD	ACCIÓN DE DISTRIBUCIÓN	NIVEL DE RIESGO	ESCALA DE RIESGO
IBARRA	ALIMENTOS PROCES (lácteos)	1,00	INTERNA Y EXTERNA	MEDIO	2
IBARRA	ALIMENTOS PROCES (alimento procesado)	1,00	INTERNA	MEDIO	2
IBARRA	LICOR	1,00	INTERNA Y EXTERNA	ALTO	3
IBARRA	TEXTIL	1,00	INTERNA Y EXTERNA	ALTO	3

Análisis de vulnerabilidad

Donde se obtuvo el resultado que se muestra en la tabla 5.6.

Tabla 5.6: Fuente: El autor. Realizado: Ing. Msc. Franklin Sosa

Amenaza	Matriz de identificación de Riesgo frente amenazas					
	Ubicación		infraestructura		Situación Social	
	Si	No	Si	No	Si	No
Sismos	X		X		X	
Erupciones volcánicas	X		X		X	
Lahares		X		X		X
Tormentas		X		X		X
Incendios Forestales		X		X		X
Derrumbes		X		X		X
Incendios tecnológicos	X		X		X	
Explosiones tecnológicas		X		X		X
Huelgas		X		X	X	
Atentados sociales		X		X	X	

Estimación de nivel de Impacto Donde se obtuvo el resultado que se muestra en la tabla 5.7.

Tabla 5.7: Fuente: Varios autores (Método William Fine, Matriz de evaluación general de Riesgos del INSHT). Realizado: Ing. Msc. Franklin Sosa.

Tipo de organización	Amenazas	CRA	V	NP	NP
Empresa Alimenticia (1)	Sismos	3	4	0,40	A
	Erupciones Volcánicas	2	3	0,20	M
	Incendios tecnológicos	2	3	0,20	M
	Aspectos sociales	1	3	0,10	M
Empresa Alimenticia (2)	Sismos	3	5	0,50	A
	Erupciones Volcánicas	2	4	0,27	M
	Incendios tecnológicos	2	4	0,27	M
	Aspectos sociales	1	3	0,10	M
Empresa textil	Sismos	3	4	0,40	A
	Erupciones Volcánicas	2	3	0,20	M
	Incendios tecnológicos	3	4	0,40	A
	Aspectos sociales	1	2	0,07	M
Empresa procesadora de alcohol	Sismos	3	4	0,40	A
	Erupciones Volcánicas	2	3	0,20	M
	Incendios tecnológicos	3	3	0,30	M
	Aspectos sociales	1	2	0,07	M

Para los niveles de impacto tenemos las categoría que va desde una situación Baja, Media y Alta. Para luego se aplique la atenuación del riesgo.

Las fases de atenuación que permiten la aplicación de los sistemas BCP (Business Continuity Plan), son las acciones a tomar para restablecer el orden y funcionalidad de la organización en un menor tiempo que no genere gran afectación a la organización para que sea sostenible. Y DRP (Disaster Recovery Plan), son acciones de recuperación ante desastres, este tiene la función de generar límites y evitar la expansión de la situación de emergencia. [10], [11]

La aplicación del nivel de atenuación de la propuesta se enfoca a un orden de fases secuenciales donde intervienen tres aspectos fuertemente consolidados como la responsabilidad y compromiso del capital humano, los aspectos de infraestructura y los planes de estrategias de acuerdo a las amenazas existentes de la fase territorial en la que se encuentren. [13]

En cada una de las organizaciones, luego de la determinación del impacto, se generó la sugerencia de aplicación del nivel de Atenuación sobre el impacto inicial que se presentó. Donde los limitantes encontrados, para la aplicación de la organización, son las acciones correctivas referentes a la infraestructura, ya que genera niveles de inversión, que serán tomadas en cuenta a futuro para asegurar el BCP y DRP. [15], [16]

5.5. Conclusiones

Se concluye que la propuesta del sistema de continuidad del negocio, es aplicable para cualquier tipo de organización, que permite cuantificar las vulnerabilidades frente a las amenazas y riesgos, permitiendo tener de una manera particular cual es el impacto que estas podría sufrir y proporcionando la estructura para tener soluciones claras que se enfocan en asegurar la permanencia y sostenibilidad de estas organizaciones frente a los eventos adversos, con las fases centradas en un modelo de resiliencia.

Este sistema de evaluación de vulnerabilidades, aplicado a la atenuación por medio del BCP y DRP, es aplicable a toda organización PYMES, e incluso a organizaciones consideradas como grandes empresas, ya que la propuesta se enfoca en una evaluación y luego en aplicación de compromisos de acuerdo al tamaño y actividad económica, donde la distribución para lograrlo, se centra en el 60 % del personal, 35 % en la infraestructura y 5 % en los detalles e instrucciones de los planes que garanticen la continuidad del negocio.

La aplicación del BCP / DRP, se enfocan en aplicar instrucciones ordenadas, con niveles de compromiso enfocadas en acciones, antes, durante y después de los eventos adversos, donde ya se generaron escenarios que permitan tomar en cuenta que procesos son los más sensibles y que acciones se toman, de esta manera reducir el tiempo de para y de reactivación de la organización.

Referencias

1. Asamblea Nacional del Ecuador. Ley de Seguridad Pública y del estado. publicado: (2009). Obtenido de: http://www.asambleanacional.gob.ec/es/system/files/ley_de_seguridad_publica_y_del_estado.pdf
2. Espiñeira, Sheldon, y Asociados; Deloitte. Guía Práctica para Pymes España. (2010). http://www.deloitte.es/guia_practica_para_pymes_espaa
3. Instituto Nacional de Tecnología de las comunicaciones, líneas técnicas de seguridad España. (2010). <http://observatorio.inteco.es>
4. CEPAL - Impacto económico del huracán Katrina ser leve y transitorio para América Latina. (2013). Cepal.org. Obtenido de: <http://www.cepal.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/prensa/noticias/comunicados/9/22859/P22859.xml&xsl=/prensa/tpl/p6f.xsl&base=/prensa/tpl/top-bottom.xsl>
5. Contacto con la Creación. (2015). CONTACTO CON LA CREACIÓN: LOS ATENTADOS EN PARÍS DEL 13/11/2015. Programacontactoconlacreacion.blogspot.com. Obtenido de: <http://programacontactoconlacreacion.blogspot.com/2015/11/los-atentados-en-paris-del-13112015-no.html>
6. ECU 911. (2014). Incendio forestal en loma de Guayabillas puso en riesgo la vida de la flora y fauna en el lugar. Servicio Integrado de Seguridad ECU 911. Obtenido de: <http://www.ecu911.gob.ec/incendio-forestal-en-loma-de-guayabillas-puso-en-riesgo-la-vida-de-la-fauna-en-el-lugar/>
7. Fierro, J. (2015). Los ataques de París y el enigma del pasaporte sirio. Seguridad internacional.es. <http://www.seguridadinternacional.es/?q=es/content/los-ataques-de-par-%C3%ADs-y-el-enigma-del-pasaporte-sirio>

8. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2013). Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de: <http://www.igeptn.edu.ec/cayambe/808-el-16-de-agosto-se-recuerda-el-gran-terremoto-de-ibarra>
9. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2014). Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de: <http://www.igeptn.edu.ec/cayambe/897-informe-s%C3%ADsmico-especial-n%C2%B01-sismo-de-quito-12-de-agosto-2014>
10. ISO 22320:2013, Gestión de Emergencias - Requisitos para la respuesta de incidentes.
11. ISO 31000:2009, Gestión de Riesgos – Principios y Guías. ISO/PAS 22399:2007, Societal security – Guideline for incident preparedness and operational Continuity management.
12. Secretaría de Gestión de Riesgos. (2016). DECLARATORIA DE EMERGENCIA POR TERREMOTO DE 7.8 GRADOS (16/04/2016). Secretaría de Gestión de Riesgos. Obtenido de: <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/declaratoria-de-emergencia-por-terremoto-de-7-8-grados-16042016/>
13. SENPLADES. Código Orgánico de Ordenamiento Territorial, Autonomías y Descentralización (COOTAD). publicado: (2010). Obtenido de: <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/C%C3%B3digo-Org%C3%A1nico-de-Organizaci%C3%B3n-Territorial-Autonom%C3%ADa-y-Descentralizaci%C3%B3n-COOTAD.pdf>
14. Alvarez, F., & Faizal, E, (2012), Riesgos Laborales, (Ediciones de la U, Ed.) (1st ed.), Bogota.
15. INTECO. (2010). Guía práctica para PYMES: cómo implantar un Plan de Continuidad de Negocio. Madrid: CELARAYN, s.a.
16. Superintendencia de Compañías. (2016). Ranking Empresarial, valores y seguros. Recuperado 15 Mayo del 2016, de <http://appscvs.supercias.gob.ec/rankingCias/>

Capítulo 6

UNA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE LA OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO.

HERRERA I., COLLAGUAZO G., LORENTE L., MONTERO Y. Y VALENCIA R.

Ingeniería Industrial, Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra, Ecuador.

Resumen: El presente trabajo consiste en la revisión de las metodologías para la optimización de la red de recolección y disposición de Residuos Sólidos Municipales (RSM) en países en vías de desarrollo, como parte de un enfoque holístico para la adecuada gestión de RSM, dentro del cual se detallan las técnicas para la optimización de las rutas recorridas por los camiones recolectores de RSM. Dando cabida al estudio del enrutamiento de los camiones recolectores de residuos sólidos municipales (WCVRP). Una extensa revisión del estado del arte de la optimización de rutas de recolección de RSM demostró la viabilidad y factibilidad de aplicar metodologías para el modelamiento de los diferentes WCVRP y los beneficios obtenidos mediante estas implementaciones en distintas localidades, se hace también una revisión del software para tratar el WCVRP tanto comercial como también de las opciones de acceso libre, a las cuales se les da mayor relevancia. Adicionalmente se presenta una clasificación esquemática de los diferentes modelos matemáticos para el tratamiento del WCVRP y se revisan las aplicaciones que han aportado mayores impactos en términos de optimización de las rutas de recolección de RSM en los últimos años, finalmente se revisan las implementaciones sobre esta temática en Ecuador.

Palabras Claves: Estado del arte del WCVRP, Gestión de residuos, optimización y mejora de la productividad, logística inversa de residuos, enfoque holístico.

6.1. Introducción

Anivel global existe un gran interés por desarrollar un enfoque holístico para la gestión integral de los RSM, que considerando todo su ciclo de vida pueda prevenir y minimizar su desperdicio, además de colaborar con el desarrollo sostenible de las poblaciones y contribuir con la mitigación del cambio climático. De acuerdo con este enfoque, las operaciones de recolección de RSM son de vital importancia para garantizar la adecuada gestión sanitaria de una población y por lo tanto deberían ser realizadas de manera óptima y sustentable [1].

En varios países norteamericanos y en países latinoamericanos en vías de desarrollo, la competencia de los RSM es competencia de instituciones gubernamentales, sin embargo en otros casos esta competencia

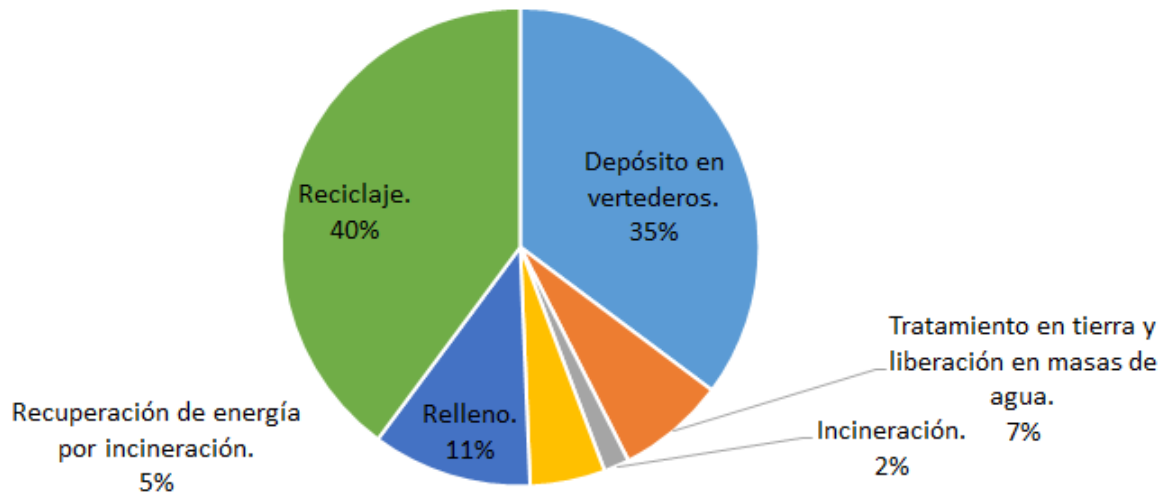


Figura 6.1: Residuos generados por la UE el año 2014, clasificados por su tratamiento [5].

se encuentra subcontratada a empresas particulares las cuales obtienen la mayor parte de sus ingresos de la recolección de residuos por medio de flotas vehiculares [2], es por ello que este ha sido tradicionalmente un tema de gran preocupación para las distintas áreas responsables de las operaciones de dichas empresas [3], lo cual les llevó a realizar profundos análisis de sus procesos internos, que les llevaron a concluir en que podían reducir sus costos operativos a través de un mejor uso de sus activos, es decir a través de un sistema integral que planifique adecuadamente las rutas que deberían seguir sus camiones durante la recolección de los residuos [4].

La anterior conclusión constituía una brecha en la administración de operaciones en empresas encargadas de gestión de residuos ya que en muchos de los casos la responsabilidad de la planificación de las rutas de las flotas vehiculares estaba asignada a los despachadores e incluso a los mismos conductores de los vehículos recolectores [3].

Sin embargo, la decisión de cambiar la responsabilidad de la planificación de las rutas hacia un sistema integral para la planificación de rutas y la incorporación de un equipo de profesionales con sólida preparación en Investigación de Operaciones produjo para en la empresa estadounidense “Waste Management” con sede en Houston, Texas. La reducción de su cantidad total de rutas asignadas a la flota vehicular y reducciones en costos operativos en el orden de 18 millones de dólares solamente en el primer año de implementación, luego este ahorro creció en forma directamente proporcional con la cantidad de rutas asignadas y el crecimiento de las áreas asignadas a la flota, consolidándose como un sistema fuente de optimización sustentable [4].

Uno de los mayores problemas de la sociedad moderna es la correcta disposición de los residuos municipales generados [3]. Recientes estudios realizados en el año 2014 por Eurostat indican que en la Unión Europea - UE aproximadamente el 35 % de los residuos se depositan en vertederos, 2 % son incinerados, 11 % se usa como relleno, 5 % se recupera energéticamente por incineración, 40 % se recicla y 7 % se dispuso de otro modo [5].

En la UE se pronostica el crecimiento en la tasa de generación de RSM y la disminución de vertederos para su disposición final, lo cual afecta a la sustentabilidad del sistema de recolección de RSM y provoca gran preocupación en la comunidad científica, razón por la cual se busca aumentar el porcentaje de recuperación de RSM a través de la recolección como una actividad relevante de la logística inversa de los residuos [6][7].

Sobre la anterior problemática se puede evidenciar que las acciones tomadas en la UE están comenzando a dar resultados a favor del ambiente, de hecho si se compara el estudio de generación realizado por Eurostat en el año 2010 con el mismo estudio realizado por esta institución en el año 2014 [5], podemos notar un aumento en el porcentaje de materiales reciclados, pasando del 38 % al 40 %, un aumento de los residuos usados como relleno del 10 al 11 %, un aumento de los materiales dispuestos de otro modo pasando del 6 % al 7 % y un aumento del material recuperado energéticamente por incineración del 4 %

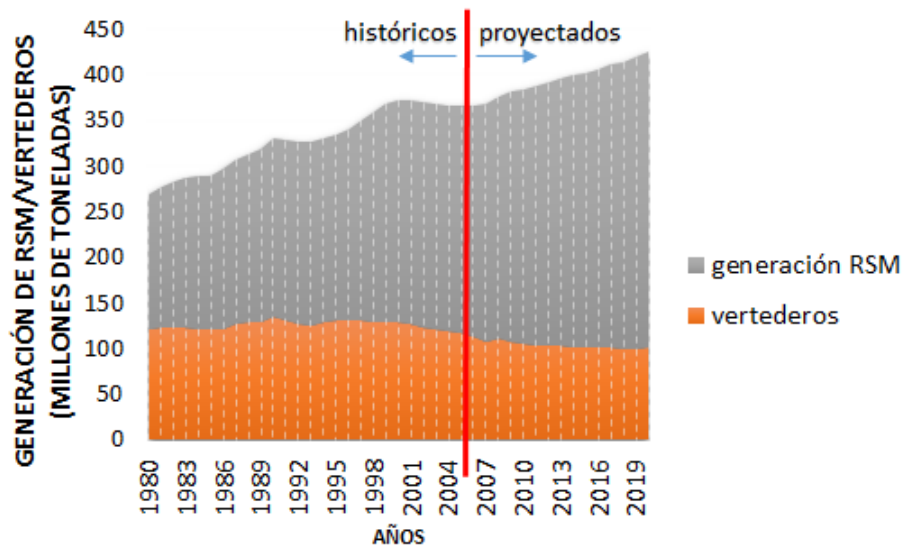


Figura 6.2: Proyección de la generación de RSM y vertederos en la UE [6].

al 5 %, lo cual ocasiona la disminución del material que se dispone en vertederos del 40 % al 35 %, lo cual contribuye a la sustentabilidad de los vertederos en la UE.

Debido a que las operaciones de recolección de RSM son abundantes y frecuentes de acuerdo con su cantidad de generación, existe la posibilidad de optimizar la gestión de las mismas mediante la aplicación de los avances de la Investigación Operativa, y de herramientas y filosofías de calidad y productividad [8], [9], [10], lo cual puede traducirse en ahorros monetarios, mejora en el aprovechamiento de los recursos, el aumento del nivel del servicio hacia los pobladores [11], y disminución del impacto ambiental ocasionado [12].

A nivel nacional en el año 2010 se creó el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos PNGIDS[13], [14]. Con el objetivo de impulsar la gestión de los residuos sólidos en los municipios del Ecuador, dotándolos con maquinaria, equipamiento técnico e incentivos para promover la gestión eficiente y recuperación de estos residuos, incluso se solicitaba que para el año 2014 el 70 % de la población ecuatoriana disponga sus residuos en un relleno sanitario técnicamente gestionado, sin embargo se amplió el alcance de este objetivo hasta el año 2017 [13].

Los últimos análisis realizados por el Ministerio del Ambiente indican que la generación de residuos en el país es de 4.06 millones de toneladas métricas al año y una generación per cápita de 0.74 kg, mientras que a nivel provincial es de 0.69 kg. por habitante, por día en zonas urbanas, mientras que en zonas rurales es de 0.54 kg. por habitante, por día [15].

Dentro de este apartado se puede recalcar que la ciudad de Ibarra puede cumplir gran parte de estos requerimientos en cuanto relleno sanitario, estación de transferencia, programa para el manejo de residuos hospitalarios, programa para implementar recipientes contenedores de residuos y un programa para la clasificación de residuos [16]. Sin embargo, se podría seguir trabajando para optimizar los servicios relacionados con la gestión de los residuos [13].

El PNGIDS [13] recalca lo estipulado en el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA, libro VI, anexo 6: norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de residuos sólidos no peligrosos es decir; contribuir con el medio ambiente y garantizar el derecho de los pobladores a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, lo cual a su vez se alinea con el Plan Nacional de Buen Vivir PNBV en cuanto a garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial, global y la sustentabilidad patrimonial [17].

En el Anexo 6 de la mencionada norma ambiental también se enfatiza que las entidades encargadas del servicio de aseo deberán establecer un programa integral para el manejo de residuos sólidos no peligrosos en el cual se consideren aspectos fundamentales como establecimiento de rutas y horarios de recolección de los residuos sólidos los cuales deben ser dados a conocer a sus usuarios [13].

Entre las buenas prácticas para la reducción de los costos operativos de recolección de RSM en países en vías de desarrollo, tenemos la reducción de las distancias totales recorridas por los vehículos de la flota vehicular, la optimización de los tiempos de los camiones, la administración del recurso humano y la fuerza de trabajo, la reducción de tiempos de carga de los camiones, la comparación financiera entre distintos sistemas de recolección, mejoras en reciclaje y tratamiento de residuos como la aplicación de logística inversa y verde, mejoras en la disposición final de los RSM, y mejoras en las instituciones encargadas de los RSM [3], [18], [19].

En el presente trabajo se estudia exclusivamente la optimización de rutas de recolección de RSM en términos de reducir las distancias recorridas por los camiones.

6.2. Definición del problema de enrutamiento de los camiones recolectores de RSM

Al problema de enrutamiento de los camiones recolectores de residuos sólidos residenciales, comerciales e industriales técnicamente se lo denomina como WCVRP (por sus siglas en inglés Waste Collection Vehicle Routing Problem); el cual básicamente trata la temática de la recolección y selección de distintos tipos de residuos al mismo tiempo y de transportarlos hacia los vertederos y rellenos sanitarios para su disposición final. Estas operaciones pueden ser realizadas por instituciones públicas o privadas. El WCVRP “básicamente contiene los siguientes elementos: una flota vehicular, paradas, instalaciones de disposición de los residuos, un depósito, y un número n de contenedores de residuos que son los puntos de recogida.

Generalmente las operaciones en el WCVRP son de recolección de RSM mientras que en el Problema del ruteo vehicular (VRP por sus siglas en inglés), y en la familia del Problemas del comerciante viajero (TSP por sus siglas en inglés) se trata principalmente el problema de la distribución de mercancías, lo cual sugiere que con el WCVRP estamos tratando un problema de logística inversa. Sin embargo, es de general acuerdo que el WCVRP puede ser tratado como un VRP [20]. Investigaciones realizadas [21], [22], [23] se orientan a minimizar las distancias de las rutas recorridas por los camiones, y otras [24] a encontrar la ubicación óptima de los recipientes contenedores de RSM.

6.3. Producción científica en torno al problema del enrutamiento de camiones de RSM

La figura (6.3), indica la cantidad de investigaciones realizadas sobre la optimización de las rutas de recolección de residuos, lo cual indica que en la última década se ha dado el mayor crecimiento en el interés de la comunidad científica por contribuir a la solución o al tratamiento del WCVRP, lo cual sugiere que este problema aún no ha sido resuelto en su totalidad y representa una oportunidad para contribuir científicamente

Uno de los primeros trabajos de investigación documentados de sobre el WCVRP fue realizado por Male, & Liebman en 1978 [25], el cual utilizando un algoritmo heurístico determinó simultáneamente las zonas y circuitos óptimos asignados para los recorridos de los camiones en una red de calles sin considerar sus direcciones, minimizando los costos ocasionados por viajar por una calle más veces de lo que esta necesitaría para que se recolecten los RSM asociados a dicha calle, además la suma de las cargas de RSM dentro de la zona asignada a cada camión no debía exceder la capacidad de carga del mismo.

Desde entonces se han desarrollado y aplicado en mayor cantidad métodos exactos y procedimientos tanto heurísticos como metaheurísticos para el tratamiento del WCVRP [26][27][28].

Sin embargo, en los últimos tres años también se puede notar un crecimiento en la aplicación de dispositivos basados en Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y en transmisión de datos, para el tratamiento del WCVRP (figura (6.4), tabla 6.1, tabla 6.2, tabla 6.3).

Los factores que afectan en la viabilidad de la implementación de dispositivos basados en Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y en transmisión de datos son los altos costos de la inversión inicial, sin embargo, esta inversión puede ser recuperada prontamente mediante los ahorros en costos de las operaciones de recolección de RSM [29].

Las metodologías más usadas para el tratamiento del WCVRP durante los últimos años fueron ArcGis-Network Analyst, Algoritmo genético o sus variantes (AG) y la optimización por colonia de hormigas

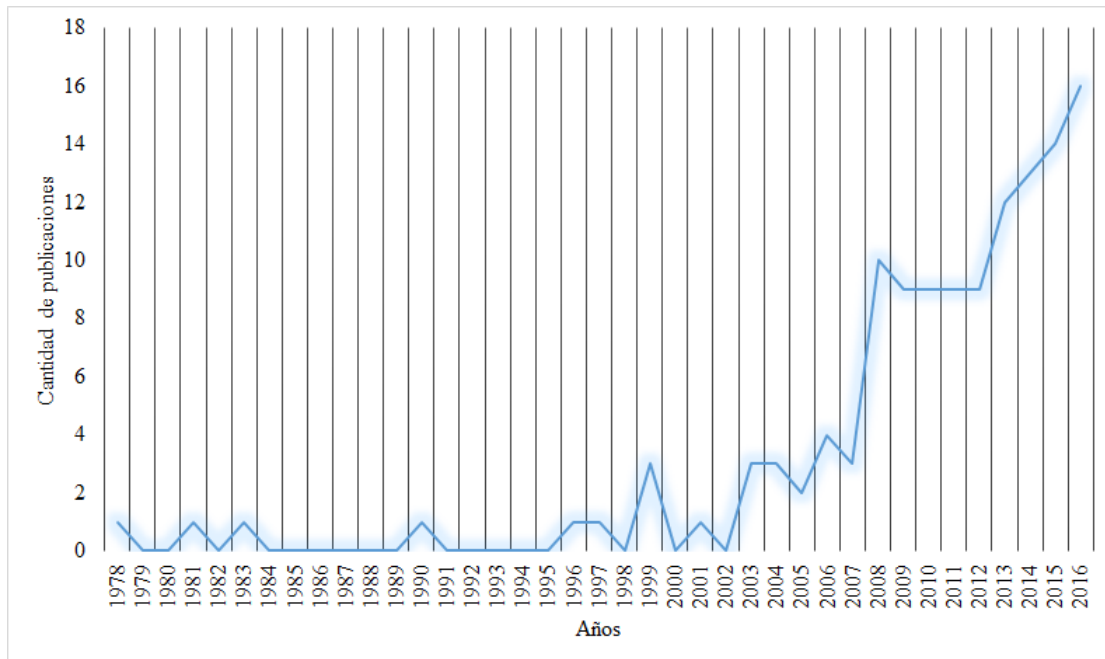


Figura 6.3: Investigaciones sobre la optimización de las rutas de recolección de residuos por año.

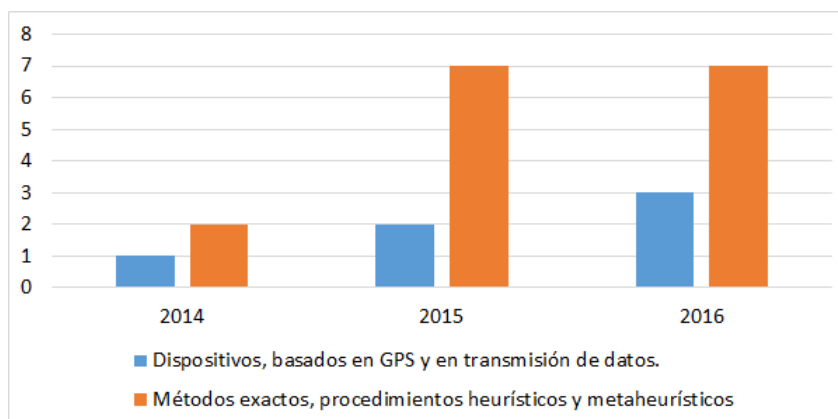


Figura 6.4: Clasificación de las metodologías para tratar el WCVRP durante los últimos tres años.

(ACO), sin embargo, se debe mencionar que la primera opción requiere de una inversión inicial, mientras que las segundas pueden ser implementadas en entornos de programación de acceso libre [30].

Las principales áreas de las cuales provienen las mencionadas investigaciones son: ingeniería, ciencias ambientales, ciencias computacionales, matemáticas y ciencias para la toma de decisiones, figura 6.6.

Los países con mayor cantidad de investigaciones en torno al WCVRP fueron India, Italia y China, a partir de lo cual es posible observar que los países sudamericanos se encuentran atrasados a nivel mundial en esta temática, lo cual constituye a su vez una oportunidad, 6.7.

6.4. Clasificación del WCVRP de acuerdo a la demanda de servicio

Para representar al WCVRP se puede utilizar un grafo G el cual contiene un depósito para los camiones, nodos n que representan a los puntos de recolección y arcos que representan las vías que permiten conectar físicamente dichos puntos de recolección w , de modo que los servicios de recolección pueden requerirse en

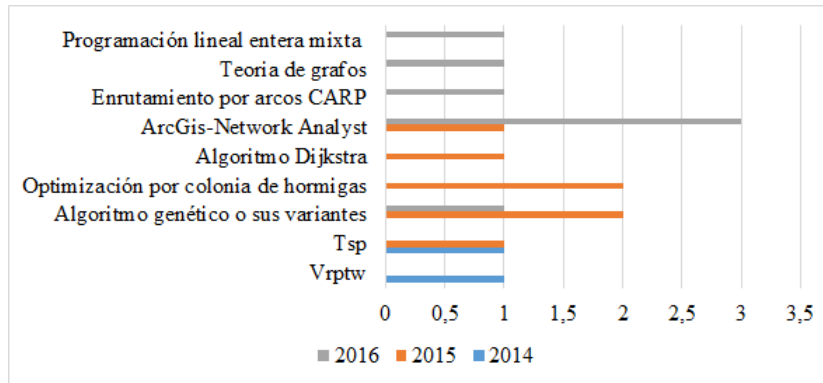


Figura 6.5: Metodologías usadas para tratar el WCVRP durante los últimos tres años.

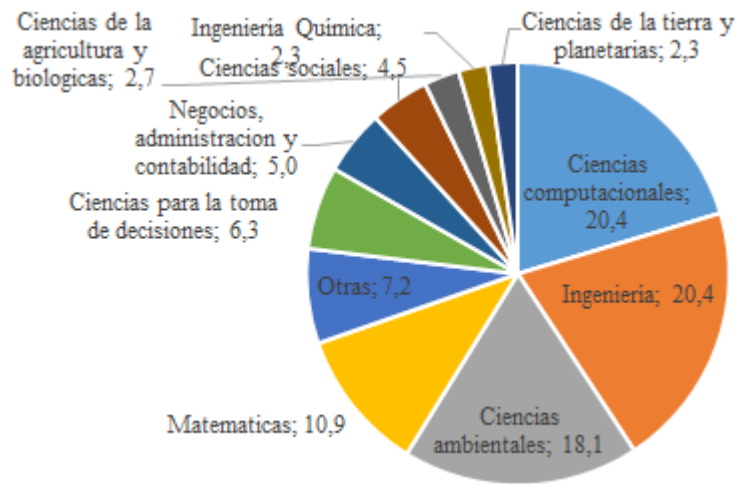


Figura 6.6: Áreas de las cuales provienen las investigaciones sobre optimización de las rutas de recolección de residuos.



Figura 6.7: Países que han contribuido con investigaciones sobre optimización de las rutas de recolección de residuos.

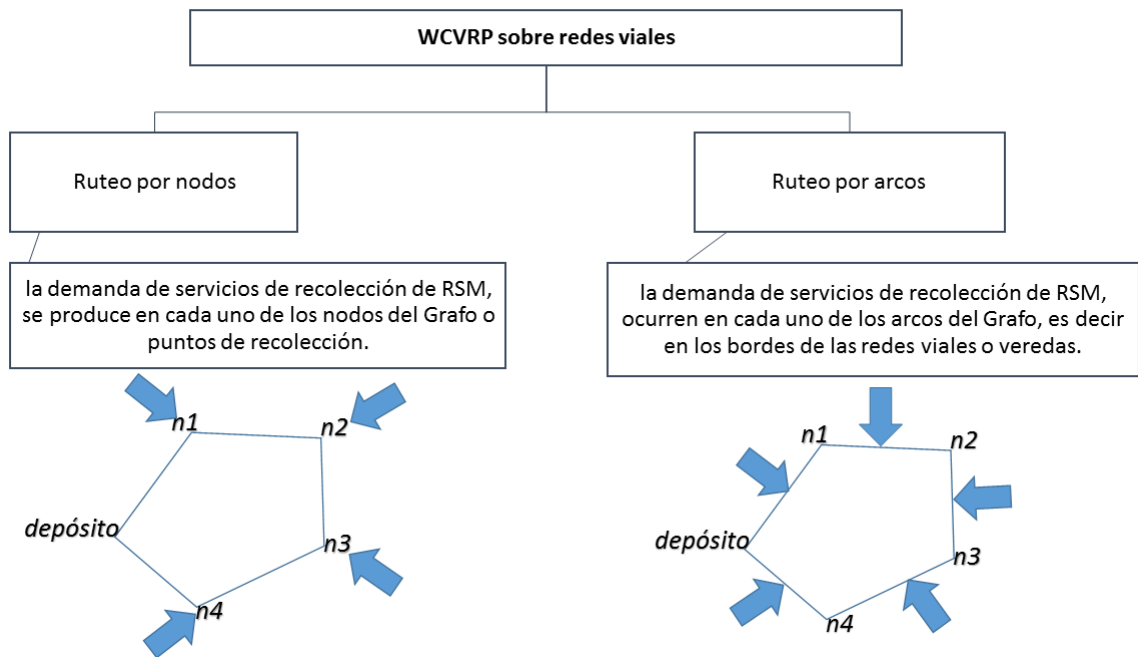


Figura 6.8: Clasificación del WCVRP de acuerdo a la demanda de servicios.

los nodos o en los arcos, con lo cual se crean dos grupos bien diferenciados de ruteo por nodos y ruteo por arcos [4].

Una forma para determinar la aplicación del ruteo por arcos radica en que en la práctica los camiones recolectores solo pueden hacer sus paradas al lado derecho de las calles, razón por la cual se hace necesario implementar un sistema de ruteo por arcos que permita al camión hacer paradas al lado izquierdo de una misma calle, figura 6.9 [4].

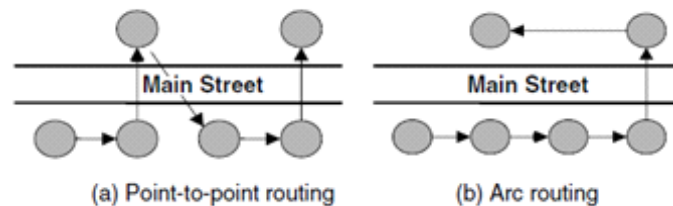


Figura 6.9: Diferencias en la aplicación de ruteo por arcos y nodos [4].

6.5. Ruteo por nodos en el WCVRP

Dentro de los WCVRP cuyo ruteo se hace por nodos tenemos a la familia del VRP y a la familia del TSP.

En 1959 Dantzig et al, presentaron formalmente el VRP, definiéndolo como: “M vehículos se encuentran inicialmente localizados en un depósito y tienen que entregar una cantidad discreta de mercancías a los n clientes, determinar la ruta óptima que será usada por un grupo de vehículos cuando visiten a un grupo de clientes” [31].

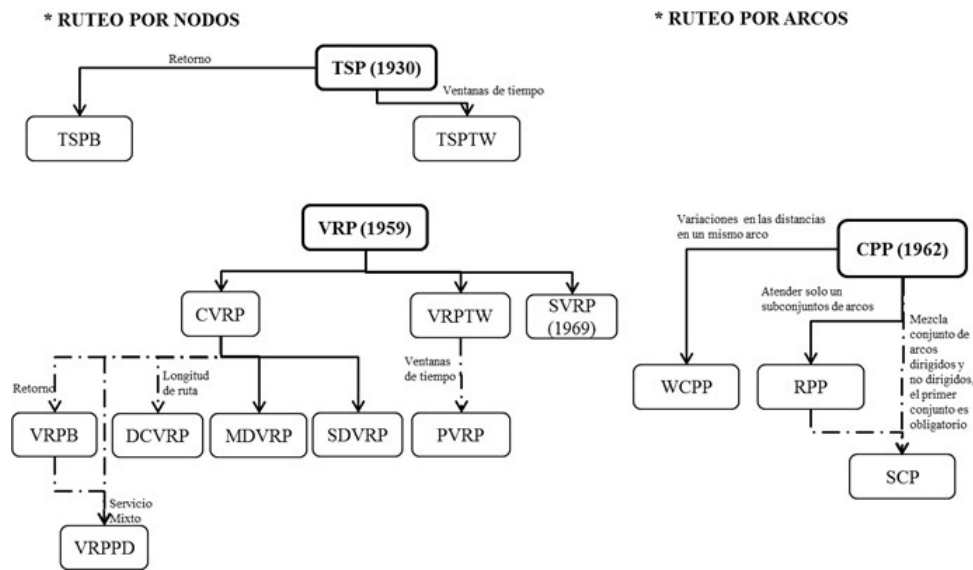


Figura 6.10: Clasificación de los problemas de ruteo aplicados al WCVRP.

El problema radica en que cada vehículo debe iniciar y terminar su recorrido en dicho depósito, visitando todos los elementos anteriormente nombrados, sin embargo, la complejidad de este problema depende de las características y cantidad de cada uno de ellos, como por ejemplo diferentes tipos de vehículos (flota heterogénea), el número de instalaciones (varias), y otros tipos de restricciones que se puedan ir agregando”.

Desde la presentación del VRP, numerosos modelos matemáticos han surgido en torno a esta problemática tratando de modelar y atender los distintos requerimientos de la problemática, por lo tanto actualmente se cuenta con una extensa base de modelos del VRP que tratan muchas de las singularidades que han surgido en torno a esta temática [32].

Los siguientes casos del VRP han sido adaptados y aplicados en el WCVRP: el problema del ruteo vehicular con ventanas de tiempo VRPTW, el problema del ruteo vehicular capacitado CVRP, el problema del ruteo vehicular capacitado con longitud de ruta DCVRP, el problema del ruteo vehicular con retornos de mercancías VRPB, el problema del ruteo vehicular estocástico SVRP, el problema del ruteo vehicular con depósitos múltiples MDVRP, el problema del ruteo vehicular con entrega dividida SDVRP, el problema del ruteo vehicular periódico PVRP, el problema del ruteo vehicular considerando recogidas y entregas VRPPD, etc. [7], [33], [27], [32], estos aspectos se pueden observar en la figura 6.10.

La familia del Travelling Salesman Problem TSP: comprende al TSP con Retornos o TSPB, TSP con ventanas de tiempo o TSPTW, Múltiple TSP o MTSP, figura 6.10.

Actualmente uno de los softwares comerciales de mayor aplicación en el ruteo por nodos para tratar el WCVRP es ArcGIS con su extensión Network Analyst [34].

6.6. Ruteo por arcos en el WCVRP

En este grupo podemos encontrar a la familia del problema del cartero chino CPP [35]: Windy Chinese Postman Problem WCPP, Rural Postal Problem RPP y al problema de la grúa apiladora SCP, [36], [37], figura 6.10.

Actualmente uno de los softwares comerciales de mayor reconocimiento en el ruteo por arcos para tratar el WCVRP es TransCAD para el modelo CARP [38].

6.7. Clasificación del WCVRP según el tipo de residuos

Golden et al, en el año 2002 [39] definieron tres principales tipos de problemas para el WCVRP excluyendo a los residuos peligrosos, estos son: WCVRP de residuos residenciales, WCVRP de residuos

Tabla 6.1: Clasificación de la literatura relevante sobre el WCVRP en el año 2016.

Clasificación	Referencia	Metodología usada	Resultados obtenidos	Lugar de la aplicación
Dispositivos, basados en GPS y en transmisión de datos.	[50]	Internet de las cosas (IOT)	Evaluaron una plataforma tecnológica en un ambiente real, logrando optimizar la recolección de RSM, mejoró el consumo de combustible de la flota vehicular e incremento su vida útil, además se generó información que puede ayudar a determinar las necesidades de la ciudad.	Málaga
	[51]	Sistema inteligente de recogida de residuos sólidos (SSWCS) con sistemas RFID.	Se demostró que con la implementación se reducirían entre 50 a 80 % de los costos en servicios de sanidad	Turquía
	[52]	Sistema de información y comunicación basado en tiempo real y tecnología GIS.	Reducción del vaciado innecesario de contenedores, vaciado de los contenedores a tiempo, reducción del impacto ambiental y mejora de la seguridad vial, mejoras en la ubicación de estaciones de recogida selectiva de residuos.	Győr, Hungría
Métodos exactos, procedimientos heurísticos y metaheurísticos.	[53]	Sistema de información geográfica (ArcGIS).	Optimización del total de residuos recolectados, optimización de rutas y distancias de desplazamiento de los vehículos empleados, reducción de contaminantes y tiempo de operación total, los mejores escenarios fueron la construcción de una estación de transferencia y la planificación del mantenimiento de los camiones.	Mostaganem
	[19]	Programación lineal entera mixta (MILP) para la selección de rutas óptimas.	Reducción del 53.7 % de los costos de recolección de productos reciclables usando camiones compactadores.	Nueva Escocia, Canadá
	[34]	Sistema de información geográfica (ArcGIS).	Determinación de la red de recolección de RSM y de sus operaciones optimizadas.	Dhanbad, India.
	[21]	Algoritmo genético.	Optimización de la longitud de la ruta de recolección y del número de vehículos usados, además se usa lógica difusa para representar la satisfacción de los residentes del hogar en torno al servicio de recolección de RSM.	Tychy, Poland
	[22]	Sistema de información geográfica (ArcGIS).	9.93 % de reducción en las distancias recorridas y reducción de costos anuales de alrededor de 226.1 millones de rupias Indias.	Chennai, India
	[23]	Software Maple con Teoría de grafos.	Encontraron la ruta optima en términos de encontrar el círculo de Euler.	Czech Republic.
	[54]	Problema P-medias, Programación Lineal entera binaria (BILP), Problema de enrutamiento por arcos capacitado (CARP), Problema de programación lineal entera mixta (MILP), y algoritmo de Hierholzer.	Reducción de las distancias de recorrido de los camiones, y de sus emisiones al ambiente lo cual generó ahorros a instituciones públicas.	Brasil

comerciales y WCVRP de residuos industriales (roll-on roll-off). También se definieron el tipo de VRP a ser considerado en cada caso (ver Tabla 6.4).

En el WCVRP de residuos residenciales se debe tomar en cuenta que la cantidad de nodos clientes puede variar entre unas cuantas decenas de nodos clientes hasta varios miles de nodos clientes, otros aspectos que pueden afectar sobre la frecuencia de servicio son el clima, la geografía, existencia de competencias y las tarifas por el servicio [39].

En el WCVRP de residuos comerciales se debe dar servicio en el orden de decenas hasta cientos de nodos clientes, los aspectos relevantes a considerar son: la necesidad de realizar varias visitas a los clientes en una misma semana con un itinerario y frecuencias de visitas más estables [39].

En el WCVRP de residuos industriales (Roll-on roll-off) se utilizan grandes contenedores de hasta de hasta 31 m³, en donde cada contenedor debe ser atendido a la vez, es decir, debe ser descargado y devuelto a la ubicación original del cliente en cada servicio. Al momento de crear las rutas en este tipo de

Tabla 6.2: Clasificación de la literatura relevante sobre el WCVRP en el año 2015.

Clasificación	Referencia	Metodología usada	Resultados obtenidos	Lugar de la aplicación
Dispositivos, basados en GPS y en transmisión de datos.	[55]	Monitoreo de los vehículos con dispositivos GPS, uso de un sistema de información geográfica google Earth.	Determinaron la variación entre las rutas planificadas y las realmente ejecutadas con lo cual fue posible determinar el impacto económico, adicionalmente les permitió ejecutar acciones para controlar de manera oportuna el desempeño del sistema y poder alinearlos con las necesidades de las ciudades.	Querétaro
	[56]	Red inalámbrica de sensores con tecnología ZigBee para intercomunicación con los contenedores en tiempo real y un sistema basado en inteligencia artificial para automatizar el monitoreo de los mismos.	Determinación del estado de contenedores en tiempo real y Disminución de costos operativos, de recolección.	Malasia.
Métodos exactos, procedimientos heurísticos y metaheurísticos.	[57]	Algoritmo genético híbrido paralelo PHGA y Sistema de información geográfica (RouteSW).	Minimización de las distancias recorridas en mapas planos y se compara con otro escenario que considera las inclinaciones del relieve, se evitan los giros en U y se indican los puntos de recogida de RSM para cada camión.	Ankara, Turquía.
	[58]	Modelo de enrutamiento multiobjetivo basado en la optimización por colonia de hormigas (ACO), acoplado con el modelo min-max y el algoritmo de Dijkstra.	Optimizar la ruta desde los puntos de generación hasta la planta incineradora de RSM.	Singapur.
	[30]	Problema de ruteo general capacitado mezclado (MCGRP) multi objetivo, algoritmos genéticos no dominados (NSGAI), búsqueda local (DBLSP) y un principio de administración clon (CMP).	Estudios experimentales demostraron minimización en costos y balanceo de las rutas en flotas de camiones heterogéneas, demostrando efectividad de la metodología propuesta en todas las pruebas.	New York.
	[59]	Solución heurística del TSP programada en matlab.	Determinación de rutas óptimas de recolección en fuente, entre centros de recolección y entre estaciones de transferencia, reducción del más del 30 % de la longitud de la ruta de recolección de RSM.	Kolkata, India.
	[60]	Optimización dinámica, algoritmo Dijkstra, sistema de información geográfica.	Se formuló un modelo matemático que describe la evolución del total de RSM depositados en los puntos de recolección, se construyeron mapas dinámicos que eliminan los puntos que no contribuyen mayormente en la generación de RSM, logrando optimizar las rutas de recolección en una zona piloto.	Galati, Rumania.
	[61]	Sistema de información geográfica (ArcGIS).	Reducción del número de viajes y distancias de recorridos en hasta un 67 %, reducción de emisiones vehiculares, determinación de la ubicación óptima del nuevo vertedero de RSM.	Kampala, Uganda.
[62]	Problema del ruteo vehicular con entrega dividida SDVRP multiobjetivo (SDVRP), ACO.	Determinación del número de zonas óptimas para la recolección, determinación de las rutas óptimas de recolección en dichas zonas, reducción en aproximadamente 68.97 % del número de visitas con poca holgura entre ellas.	Taiwán.	

problema se debe considerar aspectos como: la experiencia del conductor del vehículo, tipos de vehículos y contenedores, y también aspectos de seguridad [7].

A partir del estado del arte realizado por Han en el año 2015[7], se hizo un análisis de los trabajos de investigación más notables sobre el WCVRP que fueron realmente aplicados, adicionando un análisis de la metodología usada y los resultados relevantes obtenidos en cada uno de ellos Tabla 6.5.

Mediante una análisis de las publicaciones relevantes sobre el WCVRP (Tabla 6.4), se puede evidenciar que la mayoría de ellas han demostrado optimizaciones de costos operativos por la planificación de las rutas de hasta un 50 % en el WCVRP de residuos comerciales usando tecnologías SIG [40], optimizaciones de costos operativos de hasta 4.6 % en el WCVRP Residencial utilizando procedimientos heurísticos, y optimizaciones de costos operativos de hasta un 8 % optimizando la ubicación de los elementos de la

red de recolección en el WCVRP Residencial utilizando sistemas informáticos[24]. Lo cual demuestra el impacto positivo de dichas implementaciones para sus respectivas instituciones.

6.8. Procedimientos para dar solución al WCVRP

El WCVRP es un problema NP-hard, por lo cual es poco probable resolverlo con métodos exactos [27], razón por la cual para el tratamiento del WCVRP se han utilizado heurísticas clásicas como: algoritmos de construcción, algoritmos de mejora secuencial, métodos de dos y tres fases, y Two Lower Bounding, Mientras entre los procedimientos metaheurísticos más modernos que se han utilizado en el WCVRP tenemos: optimización por colonia de hormigas (ACO), recorrido simulado, algoritmos genéticos, búsquedas por vecindad variable y grande, y búsqueda tabú [26], [7].

Es en este campo en el cual se evidencia un gran interés a nivel mundial por el constante desarrollo de procedimientos metaheurísticos combinados con la inteligencia artificial que puedan brindar mejores soluciones con bajos costos computacionales o costos razonables [26].

6.9. Implementaciones del WCVRP en Ecuador

En Ecuador las instituciones dedicadas a la gestión de residuos sólidos son pertenecientes a los Gobiernos Autónomos Descentralizados GADs o están estrechamente relacionados con ellos [41], [42], de modo que, si se optimizan las operaciones de estas instituciones, indirectamente se transmitirían estos ahorros hacia los GADs y finalmente hacia el estado ecuatoriano.

A nivel nacional se han realizado investigaciones relacionadas al WCVRP a nivel de tesis de grado, y maestrías optimizando las rutas de los camiones recolectores en la ciudad de Cuenca mediante herramientas del Sistema de Información Geográfica SIG, lográndose significantes reducciones en costos operativos y reducciones de emisiones ambientales.[43], además a nivel nacional se ha logrado obtener la reducción de tiempos y distancias de recorrido en operaciones de distribución en perímetros urbanos a través de la aplicación de diversos modelos matemáticos y de Investigación Operativa [44], [45], [46].

Dentro de este apartado es importante mencionar que las herramientas SIG mencionadas por Cusco et al [43], son aplicaciones directas de los últimos avances para la resolución del problema del ruteo vehicular VRP con procedimientos metaheurísticos, un primer análisis de factibilidad indica la necesidad a nivel local de profundizar dentro de esta problemática, buscando además cumplir con otros parámetros de fundamental importancia inherente, como es el balanceo de las distancias recorridas por la flota de camiones, restricciones de carga de los vehículos y la adecuada zonificación geográfica de la ciudad de aplicación, para temas logísticos de recolección urbana y rural [43], [47].

A nivel nacional los residuos sólidos municipales RSM son todos aquellos residuos que están bajo responsabilidad directa de los GADS[15]. Los residuos sólidos pueden clasificarse según su origen en: sólidos generados en residencias o comunidades, comerciales, institucionales, industriales ya sea a nivel de pequeñas industrias y artesanalmente, hospitalarios, urbanos o generados en operaciones de barrido, y residuos especiales [48]. Sin embargo, otra manera de clasificar a los residuos sólidos es de acuerdo a su composición en: orgánicos, inorgánicos, mezcla de residuos y residuos peligrosos[15]. Es importante mencionar que a nivel nacional alrededor de la mitad de los residuos producidos son de tipo orgánico y que estos son recolectados en unidades vehiculares especializadas para estas operaciones[2].

Las operaciones de recolección de residuos sólidos de un poblado implican un impacto ambiental, y por ello su optimización al reducir su frecuencia diaria también influirían a reducir su impacto ambiental asociado, además el contar con un entorno limpio contribuye a elevar el nivel de servicio hacia sus pobladores o también su calidad de vida [49].

6.10. Conclusiones

Dada la evidente reducción de la capacidad de vertederos para los RSM, las mejoras en la logística inversa de los residuos constituyen una buena alternativa para la recuperación de RSM, como por ejemplo el aumento del porcentaje reciclaje, la implementación de nuevas formas de disposición final y la recuperación energética por incineración de los residuos. Estas mejoras contribuyen a la sustentabilidad de los vertederos como se evidenció en los estudios de Eurostat, y constituyen metodologías que pueden ser apoyadas e implementadas en países en vías de desarrollo.

Tabla 6.3: Clasificación de la literatura relevante sobre el WCVRP en el año 2014

Clasificación	Referencia	Metodología usada	Resultados obtenidos	Lugar de la aplicación
Dispositivos, basados en GPS y en transmisión de datos.	[63]	Red de sensores inalámbrica con tecnología de comunicación ZigBee y GPRS, y Programación Lineal Entera -ILP	Mediante simulaciones se determinó que la mejor optimización de la distancia recorrida se produjo cuando se decide recolectar los contenedores que estuvieron llenos al 80% de su capacidad total.	Malasia
Métodos exactos, procedimientos heurísticos y metaheurísticos	[28]	VRPTW considerando horarios de congestión en el tráfico vehicular, algoritmo genético	Se determinó experimentalmente en múltiples corridas la eficiencia de un algoritmo que calcula la ruta óptima, teniendo en cuenta el tráfico vehicular.	Irán
	[64]	TSP, Excel premium-solver-platform, matriz de origen y destino	Reducción del 14.61% de la distancia total recorrida	Llorin, Nigeria

Tabla 6.4: Tipos de WCVRP según Golden et al, 2002 [39], [4]

Clasificación	Tipo de residuos	Tipo de recipiente contenedor	Localización	Frecuencia de visita	Tipo de problema	Justificación
Residencial	Domésticos	Pequeños y medianos Recipientes	Red residencial	Uno o varios días por semana	Ruteo por arcos	Debido a que los camiones solo se les permite hacer sus paradas al lado derecho de la vía
Comercial	Comerciales	Grandes Contenedores de 3-6 m ³	Zonas comerciales	Una o más veces a la semana	Ruteo por nodos	Los nodos se encuentran más dispersos, se deben tomar en cuenta restricciones de ventanas de tiempo y capacidad de los vehículos.
Industrial (Roll-on-roll-off)	De la construcción	Grandes Contenedores entre 15-31 m ³	Sitios de construcción	De alta frecuencia solo en zonas específicas	Ruteo por nodos + Problema de la mochila BPP	Existen menores restricciones en el sentido de las vías, sin embargo se debe respetar las restricciones de la capacidad de los camiones

m³ = Metro cúbico

Del análisis se puede notar la mínima existencia a nivel latinoamericano y nacional de trabajos directamente relacionados al WCVRP o sus aplicaciones, así como la falta de estudios que dentro de sus objetivos equilibren tanto aspectos económicos como ambientales, lo cual constituye un nicho en el cual los profesionales relacionados a las áreas de ingeniería, matemáticas aplicadas, procesos industriales, transporte, logística, e Investigación de Operaciones pueden incursionar, y en el cual las instituciones privadas y gubernamentales deberían adquirir mayores compromisos trabajando mancomunadamente con las áreas académicas para el desarrollo sustentable de la sociedad sobre todo en países en vías de desarrollo como en el caso de Ecuador.

Para el tratamiento del WCVRP los métodos exactos y procedimientos tanto heurísticos como metaheurísticos son los de mayor aplicación en comparación con aplicaciones de dispositivos basados en Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y en transmisión de datos, esto es debe principalmente a que los primeros pueden ser modelizados en lenguajes de programación de bajo costo o de libre acceso, mientras que los segundos requieren de una gran inversión en capital inicial para su implementación, sin embargo los estudios relacionados han demostrado que dicha inversión se recupera prontamente mediante significativos ahorros en costos en operaciones de recolección de RSM, lo cual garantiza la viabilidad de su implementación en países en vías de desarrollo.

Numerosa literatura relacionada a la optimización de los sistemas de recolección recomienda la aplicación del ruteo por arcos capacitado (CARP), para el tratamiento del WCVRP de residuos residenciales, sin embargo un extenso análisis de la literatura en los últimos tres años evidenció que la metodología de mayor aplicación para estos casos fue el Sistema de información geográfica (ArcGIS) con su complemento Network Analyst que básicamente consiste en procedimientos metaheurísticos para el tratamiento del VRP de ruteo por nodos, demostrando significativas optimizaciones en las rutas vehiculares en todos los casos analizados

Tabla 6.5: Análisis de la literatura de implementaciones de WCVRP

Clasificación	Autores, año	Metodología usada	Resultados obtenidos	Lugar de la aplicación
WCVRP Residencial	Eisenstein and Lyer, 1997[65]	Proceso de decisión de Markov.	Reducción de la "capacidad de los camiones usados" de 12-16% para un conjunto de cinco zonas piloto.	Chicago-USA
	Tung and Pinnoi, 2000[66]	Heurística de Solomon M, 1987, y una combinación de O-opt y 2-opt.	Reducción del 4.6% en costos operativos, reducción de una quinta parte de su flota, aumentar el nivel de producción de su flota o volumen de recolección de residuos en un 20%.	Tailandia
	Faccio et al, 2011[29]	Tecnologías como: RFID (Sistemas de Identificación por radio frecuencia), GPRS (Paquete General de Radio Servicio) y GPS (Sistemas de Posicionamiento Global), más dispositivos.	Se obtuvieron importantes indicadores como: OR[%] Riesgo de exceder la capacidad de un contenedor, RL [%] nivel óptimo para la recogida del contenedor, nivel promedio de residuos en un contenedor [WAL%] y datos estadísticos relacionados, se estima una recuperación de la inversión en 5 años mediante la reducción de los costos operativos.	Una ciudad Italiana con aproximadamente 100000 habitantes
	Bonomo et al, 2012[40]	Técnicas de Investigación de Operaciones.	Ahorros en costos operativos por más de 200000\$ por año.	Buenos Aires
WCVRP Comercial	Kulcar, 1996[24]	Métodos de Investigación de operaciones con ingeniería de sistemas.	Escenarios que optimizaban los costos de transporte hasta un 8%, Mediante la configuración de la ubicación de los elementos de la red logística como los depósitos de los vehículos, estaciones de transferencia, puntos de recolección, puntos de disposición final, y otras restricciones geográficas y de transporte.	Bruselas
	Sahoo et al, 2005[4]	Uso de un método heurístico, usando clusterización y Sistemas de Información Geográfica – GIS.	Reducción de costos operacionales en el orden de los 18 millones de dólares en el primer año de implementación	Texas-USA
	Kim et al, 2006[67]	Algoritmo de inserción Solomon, 1987 para resolver el VRPTW, asumiendo múltiples viajes y paradas para el almuerzo.	Ahorros en costos operativos en alrededor de 18 millones de dólares en el año 2004.	Woodland-USA
	Arribas et al, 2010[68]	Optimización combinatoria, Programación entera y Herramientas GIS.	Reducción de los costos totales en un 50% durante el primer mes de estudio, reducción de la flota vehicular usada de 7 a 3, y reducción del total de trabajadores de 28 a 12.	Santiago de Chile
	J Liu & Y He, 2012[69]	Colonia de hormigas múltiple basada en la clusterización llamado algoritmo "CMAC" para resolver el problema de ruteo vehicular con ventanas de tiempo y las instalaciones intermedias aplicado en la recolección de residuos (WCVRP-TW-IF).	Optimizaciones de hasta un 7% creando rutas más compactas.	Chengdu-China
WCVRP Industrial (Roll-on roll-off)	Meulemeester et al, 1997[70]	Algoritmo de branch and bound para resolver un problema de ruteo vehicular asociado con la recolección y entrega.	Se encontró una solución óptima que usaba una flota de 5 vehículos recorriendo un total de 2014 km.	Bélgica

Dada la coyuntura local y nacional es recomendable que los proyectos de implementación sobre el WCVRP sean realizados con insumos de bajo costo. Durante la ejecución de la presente revisión se asignó mayor importancia a las alternativas de menor costo y uso de software gratuito como fue demostrado.

Referencias

1. and O. S. David C. Wilson, Ljiljana Rodic, Prasad Modak, Reka Soos, Costas Velis, Ainhoa Carpintero Rogero, Mona Iyer, Global Waste Management Outlook 2015. United Nations Environment Programme, 2015.
2. F. Zepeda, "El manejo de residuos sólidos municipales en américa latina y el caribe," OPS, Washington, D.C., 1995.
3. HUNABITAT, Collection of municipal solid waste in developing countries. 2010.
4. S. Sahoo, S. Kim, B. I. Kim, B. Kraas, and A. Popov, "Routing optimization for Waste Management," Interfaces (Providence)., vol. 35, no. 1, pp. 24–36, 2005.

5. Eurostat, “Eurostat - Data Explorer,” 2014. [Online]. Available: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>.
6. M. Mazzanti and R. Zoboli, “Municipal Waste Kuznets curves: Evidence on socio-economic drivers and policy effectiveness from the EU,” *Environ. Resour. Econ.*, vol. 44, no. 2, pp. 203–230, 2009.
7. H. HAN and E. P. Cueto, “Waste Collection Vehicle Routing Problem: A Literature Review,” *PROMET - Traffic&Transportation*, vol. 27, no. 4, pp. 345–358, 2015.
8. A. F. Benjamin Niebel, *Ingeniería industrial métodos, estándares y diseño del trabajo*, 12th ed. México: McGraw-Hill, 2009.
9. C. M. Jay Heizer, Barry Render, *Operations management*, 12th ed. 2016.
10. L. J. Krajewski, L. P. Ritzman, and M. K. Mallhotra, *Operations Management: Processes and Supply Chains*. 2013.
11. G. Hillier, Frederick; Lieberman, *Introducción a la Investigación de Operaciones*, no. 1. 2010.
12. V. Conesa, ““Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental,” “Guía Metod. para la evaluación del impacto Ambient., pp. 1–61, 1993.
13. P. Nacional, A. En, E. Cootad, G. Aut, G. Nacional, P. Nacional, P. La, I. D. E. Desechos, P. Nacional, and P. Mae, “Programa ‘PNGIDS’ Ecuador,” 2010. [Online]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>.
14. M. del Ambiente, “GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS SÓLIDOS,” 2017. [Online]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/PNGIDS1.pdf>.
15. J. Pinto, “Plan De Gestión Integral De Desechos Sólidos Para Los Cantones De Ibarra , Otavalo , Urcuquí , Antonio,” Universidad de Santiago de Chile, 2014.
16. I. Municipalidad, “Plan estratégico institucional 2010-2014,” 2009.
17. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Senplades, “Plan Nacional Buen Vivir 2013-2017.pdf,” SENPLADES-Ecuador. pp. 1–600, 2013.
18. Z. I. Schmidt Félix, Zurbrügg Christian, “Gestión municipal de residuos sólidos en países en vías de desarrollo - École Polytechnique Fédérale de Lausanne | Coursera,” 2016.[Online]. Available: <https://www.coursera.org/learn/solid-waste-management>.
19. N. Chari, U. Venkatadri, and C. Diallo, “Design of a reverse logistics network for recyclable collection in Nova Scotia using compaction trailers,” *INFOR Inf. Syst. Oper. Res.*, vol. 54, no. 1, pp. 1–18, 2016.
20. J. Beliën, L. De Boeck, and J. Van Ackere, “Municipal Solid Waste Collection and Management Problems: A Literature Review,” *Transp. Sci.*, vol. 48, no. 1, pp. 78–102, 2014.
21. A. Król, P. Nowakowski, and B. Mrówczyńska, “How to improve WEEE management? Novel approach in mobile collection with application of artificial intelligence,” *Waste Manag.*, vol. 50, pp. 222–233, 2016.
22. V. Sanjeevi and P. Shahabudeen, “Optimal routing for efficient municipal solid waste transportation by using ArcGIS application in Chennai, India.,” *Waste Manag. Res.*, vol. 34, no. 1, pp. 11–21, 2016.
23. M. Petrík and B. Stanislav, “OPTIMIZATION OF THE MUNICIPAL WASTE COLLECTION ROUTE BASED ON THE METHOD OF THE MINIMUM PAIRING,” vol. 64, no. 3, pp. 847–854, 2016.
24. T. Kulcar, “Optimizing solid waste collection in Brussels,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 90, no. 1, pp. 71–77, 1996.
25. J. W. Male and J. C. Liebman, “Districting and Routing for Solid Waste Collection,” *J. Environ. Eng. Div.*, vol. 104, no. 1, pp. 1–14, 1978.
26. R. Martí, “Procedimientos Metaheurísticos en Optimización Combinatoria,” *Matemàtiques* 1(1), 3-62, pp. 1–60, 2003.
27. P. Toth and D. Vigo, *Vehicle Routing Problem, Methods, and Application*. 2014.
28. S. Teimoori, H. K. Zare, M. Saber, and F. Nezhad, “Location-routing Problem with Fuzzy time windows and Traffic time,” vol. 1, no. 1, pp. 38–53, 2014.
29. M. Faccio, A. Persona, and G. Zanin, “Waste collection multi objective model with real time traceability data,” *Waste Manag.*, vol. 31, no. 12, pp. 2391–2405, 2011.
30. S. Kumar, M. Dario, A. Løkketangen, and G. Hasle, “A memetic NSGA-II for the bi-objective mixed capacitated general routing problem,” no. 123, 2015.
31. Ramser and Dantzig, “the Truck Dispatching Problem *,” vol. 6, no. 1, pp. 80–91, 1959.
32. P. Toth and D. Vigo, *The vehicle routing problem*, vol. 9. 2002.

33. M. Gendreau, G. Laporte, and R. Séguin, "Stochastic vehicle routing," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 88, no. 1, pp. 3–12, 1996.
34. D. Khan and S. Samadder, "Allocation of solid waste collection bins and route optimisation using geographical information system: A case study of Dhanbad City, India," *Waste Manag. Res.*, 2016.
35. G. Chaste, A. Ooms, and R. Walravens, "Chinese postman problem," pp. 1–4, 2014.
36. H. a. Eiselt, M. Gendreau, and G. Laporte, "Arc Routing Problems, Part I: The Chinese Postman Problem," *Oper. Res.*, vol. 43, no. 2, pp. 231–242, 1995.
37. H. a. Eiselt, M. Gendreau, and G. Laporte, "Arc Routing Problems, Part II: The Rural Postman Problem," *Oper. Res.*, vol. 43, no. 3, pp. 399–414, 1995.
38. N. Talebbeydokhti, H. Amiri, M. Hashemi, and S. Aza, "Optimization of Solid Waste Collection and Transportation System by Use of the TransCAD: A Case Study," vol. 2, no. 4, pp. 150–157, 2013.
39. B. Golden, A. Assad, and E. Wasil, "Routing vehicles in the real world: applications in the solid waste, beverage, food, dairy, and newspaper industries," *Veh. routing Probl.*, p. 245, 2002.
40. F. Bonomo, G. Durán, F. Larumbe, and J. Marengo, "A method for optimizing waste collection using mathematical programming: a Buenos Aires case study," *Waste Manag. Res.*, vol. 30, no. 3, pp. 311–24, 2012.
41. R. Yépez, "El Reciclaje de la Basura en El Distrito Metropolitano de Quito y su Incidencia en el Derecho Ambiental Ecuatoriano," Universidad de las Américas, 2010.
42. D. Quinaloa, "Articulación de la participación ciudadana y de las autoridades del cantón Pueblo Viejo (Prov. De los Ríos) en la gestión del manejo integral de los residuos sólidos, en función del desarrollo local," Universidad Politécnica Salesiana, 2011.
43. J. Cusco and K. Picón, "OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS MEDIANTE USO DE HERRAMIENTAS SIG," Universidad de Cuenca, 2012.
44. I. Herrera, "DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN ALGORITMO GENÉTICO PARA RUTEO VEHICULAR QUE PERMITA OPTIMIZAR LA DISTRIBUCIÓN EN UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA DE AUTOPARTES EN QUITO," Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2015.
45. S. Baquerizo, "Reducción en tiempos de ruteo para el transporte urbano (T3) para una empresa de distribución de bebidas alcohólicas y no alcohólicas en Guayaquil," Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2015.
46. F. Echeverría, C. Morán, and J. Núñez, "Implementación de un Problema de Ruteo Vehicular con Ventanas de Tiempo (VRPTW) en una empresa de venta de agroquímicos , sucursal Milagro Resumen," CICYT, no. 1, p. 9, 2013.
47. P. Keenan, "Modelling vehicle routing in GIS," *Oper. Res.*, vol. 8, no. 3, pp. 201–218, 2008.
48. G. Acurio, A. Rossin, T. Paulo, and Z. Francisco, "Diagnostico de la situación del menjo de residuos sólidos municipales en America Latina y el Caribe," *Croquis*, vol. 2, no. 34, p. 130, 1997.
49. V. C. Fernández-Víitor, Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Ediciones Mundi-Prensa, 2010.
50. J. D. P. Lozano Álvaro, Villarrubia Gabriel, López Alberto, Hernández Daniel, Revuelta Jorge, "Smart Waste Collection Platform Based on WSN and Route Optimization," vol. 473, pp. 43–54, 2016.
51. K. Cavdar, M. Koroglu, and B. Akyildiz, "Design and implementation of a smart solid waste collection system," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 13, no. 6, pp. 1553–1562, 2016.
52. Á. Titrik, "Sign-in-time Based Info-communication System for Collecting Selective Waste," *Period. Polytech. Transp. Eng.*, vol. 44, no. 1, pp. 1–4, 2016.
53. I. Abdelli, F. Abdelmalek, A. Djelloul, K. Mesghouni, and A. Addou, "GIS-based approach for optimised collection of household waste in Mostaganem city (Western Algeria)," *Waste Manag. Res.*, vol. 34, no. 5, pp. 417–426, 2016.
54. T. P. B. Vecchi, D. F. Surco, A. A. Constantino, M. T. A. Steiner, L. M. M. Jorge, M. A. S. S. Ravagnani, and P. R. Paraíso, "A sequential approach for the optimization of truck routes for solid waste collection," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 102, pp. 238–250, 2016.
55. E. Betanzo-Quezada, M. Á. Torres-Gurrola, J. A. Romero-Navarrete, and S. A. Obregón-Biosca, "Evaluación De Rutas De Recolección De Residuos Sólidos Urbanos Con Apoyo De Dispositivos De Rastreo Satelital: Análisis E Implicaciones," *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 32, no. 3, pp. 323–337, 2016.
56. H. Basri, "PT US CR," *Expert Syst. Appl.*, 2015.

57. H. Ş. Düzgün, S. U. Onur, and A. M. Asce, "Parallel Hybrid Genetic Algorithm and GIS-Based Optimization for Municipal Solid Waste Collection Routing," *J. Comput. Civ. Eng.*, pp. 1–9, 2015.
58. W. Xue and K. Cao, "Optimal routing for waste collection: a case study in Singapore," *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 8816, no. December 2015, pp. 1–19, 2015.
59. S. Das and B. K. Bhattacharyya, "Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes," *WASTE Manag.*, 2015.
60. G. Murariu, "Optimization of urban selective waste collection activity: Galati city case study," no. August 2016, 2015.
61. J. R. Kinobe, T. Bosona, G. Gebresenbet, C. B. Niwagaba, and B. Vinnerås, "Optimization of waste collection and disposal in Kampala city," *Habitat Int.*, vol. 49, pp. 126–137, 2015.
62. S. Huang and P. Lin, "Vehicle routing – scheduling for municipal waste collection system under the ' Keep Trash off the Ground ' policy \$," *Omega*, vol. 55, pp. 24–37, 2015.
63. M. A. A. Mamun, M. A. Hannan, A. Hussain, and H. Basri, "REAL TIME BIN STATUS MONITORING FOR SOLID WASTE COLLECTION ROUTE OPTIMIZATION."
64. M. A. Tijani, "Optimisation of solid waste collection routes using Premium Solver Platform Adeniyi Saheed Aremu * Ritesh Vijay," vol. 14, no. 3, pp. 222–231, 2014.
65. D. D. Eisenstein and A. V Iyer, "Garbage collection in Chicago: A dynamic scheduling model," *Manage. Sci.*, vol. 43, no. 7, pp. 922–933, 1997.
66. D. V. Tung and A. Pinnoi, "Vehicle routing-scheduling for waste collection in Hanoi," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 125, no. 3, pp. 449–468, 2000.
67. B.-I. Kim, S. Kim, and S. Sahoo, "Waste collection vehicle routing problem with time windows," *Comput. Oper. Res.*, vol. 33, no. 12, pp. 3624–3642, 2006.
68. C. A. Arribas, C. A. Blazquez, and A. Lamas, "Urban solid waste collection system using mathematical modelling and tools of geographic information systems," *Waste Manag Res*, vol. 28, no. 4, pp. 355–363, 2010.
69. J. Liu and Y. He, "A clustering-based multiple ant colony system for the waste collection vehicle routing problems," *Proc. - 2012 5th Int. Symp. Comput. Intell. Des. Isc. 2012*, vol. 2, pp. 182–185, 2012.
70. L. De Meulemeester, G. Laporte, F. V Louveaux, and F. Semet, "Optimal sequencing of skip collections and deliveries," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 48, no. 1, pp. 57–64, 1997.

Capítulo 7

LOS PATRONES DE VIAJE EN TAXI COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN DE LA MOVILIDAD URBANA.

ROSERO F., GARZÓN L., LEÓN C.

Ingeniería Automotriz, Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra, Ecuador.

Resumen: Planes de movilidad deficientes y la falta de información de patrones de movilidad humana, se han convertido en la principal problemática para los Gobiernos Autónomos Descentralizados del Ecuador (GADs) al momento de manejar las competencias de Tránsito, Transporte y Seguridad Vial local. La metodología actual usada por los GADs se basa en datos obtenidos en encuestas origen-destino, aplicadas a pequeñas muestras de la población en intervalos de tiempo demasiado pequeños, ocasionando que la mayoría de esta información carezca de calidad y veracidad, pues no logra identificar valores críticos de viajes generados en horas pico, además desconoce patrones de viaje durante los fines de semana. En el presente artículo de investigación se desarrolla una metodología de cinco etapas que permite utilizar la información de la movilidad de los usuarios de taxis como herramienta de gestión de movilidad humana de una ciudad. Para ello se utiliza un dispositivo que incorpora un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), el cual funciona como un taxímetro convencional, pero además permite la recolección de datos de origen y destino de los viajes que generan los usuarios del servicio taxis, todo en base al Sistema GPS. Mediante el análisis de viajes se logra obtener información real y dinámica de los desplazamientos en taxi. Se propone la reestructuración de las rutas y frecuencias del sistema de transporte público mediante algoritmos tipo Spreading. Al final se plantea mejorar los tiempos y distancia de bus, para motivar a los usuarios frecuentes de taxis a optar por el servicio de autobús.

Palabras Claves: Movilidad urbana, transporte público, taxímetro, GPS, Sistemas embebidos

7.1. Introducción

En países de primer mundo, los combustibles llevan impuestos adicionales a su precio real de producción, los mismos que son invertidos por el gobierno central en el mejoramiento de los niveles de servicio y en la construcción de infraestructura para los sistemas de transporte público masivo; este alto precio del combustible limita el uso indiscriminado del auto privado como medio de transporte frecuente, también

el servicio de taxis es muy restringido desde el punto de vista económico, pues los valores que se paga por la utilización de ellos es elevado respecto al servicio de autobús.

En el Ecuador sucede un fenómeno contrario, los combustibles son subsidiados por el gobierno y se comercializan a un valor inferior respecto a otros países de la región y del mundo; desde el punto de vista económico este valor se ha convertido en una gran carga financiera para el estado central, la situación económica actual del país ha hecho que dichos subsidios sean casi inmanejables para el estado central. Si se analiza la movilidad del Ecuador, los bajos precios del combustible han ocasionado que los patrones de movilidad actual, muestren claras preferencias por el transporte individual como el auto privado, el taxi o la motocicleta, dejando el uso del transporte masivo relegado a grupos sociales de escasos recursos económicos. Sin considerar que los autobuses son generalmente "más verdes" que los autos privados y los taxis, pues permiten disminuir la congestión del tráfico, el consumo de combustible, las emisiones de dióxido de carbono y del costo de viaje [2].

Los avances relacionados a la planificación del transporte se han convertido en un desafío muy serio que deben enfrentar las instituciones políticas de todas las ciudades del mundo. Actualmente en el Ecuador los Gobiernos Autónomos Descentralizados han asumido las competencias de Tránsito y Transporte y Seguridad Vial, teniendo a su cargo las tareas de planificación, control y ejecución de dichas competencias en su territorio. La autoridad cantonal tiene muchas limitaciones al momento de planificar la movilidad eficiente de sus habitantes, por una pésima administración de los sistemas de transporte principalmente autobuses urbanos y taxis.

Los métodos tradicionales de planificación de transporte público se fundamentan en el levantamiento de encuestas para entender los patrones de movilidad de las personas y su elección entre los diferentes modos de transporte [3]. A pesar de que el tiempo y los costos invertidos en la encuesta son considerables, este método no proporciona información oportuna ni un análisis detallado sobre diferentes puntos Origen-Destino (O-D) dado los entornos complejos y dinámicos de las ciudades modernas. Como resultado, tales métodos no pueden dar cabida a las demandas de viaje reales que varían sobre diferentes pares O-D y suelen hacer la planificación de ineficientes en la vida real.

El estudio propuesto tiene como objetivo central brindar a la Autoridad de Transporte local, una metodología que le permita reestructurar las rutas y frecuencias del transporte público masivo, para mejorar los tiempos de viaje de los usuarios. A su vez incentivar, a que las personas que usan con frecuencia el servicio de taxis empiecen a optar por el servicio de autobuses.

7.2. Materiales y Métodos

7.2.1. Estado del Arte

Existen estudios relacionados con el presente tema de investigación que pueden ser agrupados en tres categorías. La primera categoría se refiere a artículos donde se propone utilizar los datos de GPS de los viajes en taxis, como herramienta de Planificación de Rutas de Sistemas de Transporte masivo. El primer análisis citado en esta categoría utiliza los datos del GPS de los Taxis para la planificación de rutas nocturnas de autobuses. La metodología consta de dos fases: la primera se desarrolla un proceso agrupamiento de zonas origen con mayor demanda, y luego se propone métodos eficaces para dividir grandes áreas de demanda, mediante lo cual se identifica una posible ubicación de parada de autobús. En la segunda fase, una vez definido el origen, el destino y la ruta de los autobuses, se optimizan los tiempos y rutas [2]. Para este artículo de investigación en cambio se propone una metodología de cinco etapas que permite utilizar los datos de origen y destino de los viajes generados por los usuarios del servicio de taxis, basado en el sistema GPS. Luego con el análisis de viajes se logra obtener información real y dinámica, con lo cual se propone la reestructuración de las rutas y frecuencias del sistema de transporte público mediante algoritmos tipo Spreading.

Otros criterios bajo esta categoría generan rutas flexibles de autobuses en dos fases. En la primera fase, mediante un ligero algoritmo de agrupamiento aglomerativo y de restricciones se desarrolla y se lo aplica al conjunto de los viajes generados de los datos del GPS. Esta fase identifica un conjunto de grupos de viajes espacio - temporales muy transitados, denominado líneas calientes. En la segunda fase, a partir de estas líneas se construye un gráfico dirigido acíclico, y se propone un algoritmo para descubrir las rutas flexibles dentro del gráfico, luego mediante la aplicación iterativa del algoritmo se pueden descubrir múltiples rutas para autobuses [1].



Figura 7.1: Las cinco etapas para utilizar los viajes en taxi como herramienta de gestión de la movilidad urbana

Para lo referente a la primera categoría, los análisis efectuados se centran en la identificación y optimización de rutas deficientes de autobuses para optimizar la utilización de los servicios de transporte público, de acuerdo con la demanda real de la gente para el transporte público. Para ello, lo primero que se realiza es el análisis de patrones de movilidad integrada entre viajes en taxis y los registros de movilidad en autobús. En base a los registros levantados, se propone un modelo de elección de transporte localizada, con la que se puede predecir con exactitud la demanda de viajes de autobús y el trazado de las respectivas rutas. Este modelo tiene como objetivo cambiar la mayor cantidad de personas del transporte privado al transporte público mediante la optimización de tiempos de viaje [3].

En una segunda categoría se busca predecir la demanda de taxis mediante muestreo de datos de GPS, y en algunos casos se busca determinar los puntos de oferta y demanda de pasajeros de taxi, para optimizar el recorrido diario total que realizan dichos taxis [6], [7], [8]. En esta categoría también se definen zonas y regiones de mayor demanda de viajes de taxis, y en base a densidades de tráfico se establecen niveles de servicios y tiempo de viaje para el servicio de taxis[9], [10], [11], [12]. También existen propuestas metodológicas para que los pasajeros puedan encontrar taxis de manera eficiente[14].

En una última categoría se identifican diferentes propuestas, para evitar fraudes en los viajes en taxis, la primera con base a la información de velocidad exacta obtenida de los informes de GPS de los taxis [4]. Y una segunda propuesta introduce un sistema de sensor inteligente al taxímetro para brindar inmunidad al fraude. El sistema se basa en controladores embebidos empleados para realizar la operación de encriptage entre el sensor y taxímetro utilizando el algoritmo RC5 estándar. [5].

7.2.2. Metodología Propuesta

La metodología propuesta en el presente trabajo se compone de cinco etapas (figura 7.1):

En primer lugar se realiza una sectorización de la ciudad en cuadrantes, tomando en cuenta coordenadas de longitud y latitud, pues el sistema de posicionamiento global GPS entrega dichos valores para identificar una determinada del taxi. Los cuadrantes no necesitan ser perfectamente cuadrados, los sectores pueden ser rectangulares de acuerdo a la necesidad de cada zona de generación o atracción de viajes.

En la siguiente etapa es necesario desarrollar un dispositivo electrónico para el levantamiento y almacenamiento de cada uno de los viajes que realiza el usuario de taxi. Se optó por diseñar un dispositivo que utiliza el sistema embebido Arduino con su respectivo módulo GPS, a través del cual se puede almacenar los datos de las coordenadas de posición del taxi, el dispositivo realiza todas las funciones de un taxímetro convencional, permite facturar cada viaje e imprimir dicho documento, las tarifas se calculan en bases al horario de funcionamiento y de acuerdo a lo establecido por la autoridad competente. Las opciones adicionales que brinda el prototipo desarrollado, son el almacenaje de datos de kilometraje, distancia de

viaje, tiempos de espera, y lo más importante que son la ubicación de origen y destino de cada viaje que realiza el taxi. Todos los datos generados son almacenados en una Micro SD para ser utilizados en otro dispositivo.

En la tercera etapa se procesan los datos levantados con el dispositivo, mediante un software desarrollado en LabVIEW®, este permite realizar estadísticas de zonas de origen y destino, total de viajes realizados desde y hacia los diferentes lugares de la ciudad, además realiza cálculos generales para conocer la cantidad de kilómetros recorridos, tiempos de espera y valores totales facturados. En la cuarta etapa inicialmente se identifican los puntos críticos, son las zonas de origen y destino que presentan una mayor cantidad de viajes. Se ha tomado los conceptos del Modelamiento de cuatro etapas [13], este menciona que en el estudio de generación de viajes se tienen dos tipos de modelos, el modelo de producción tomar en cuenta variables que expliquen la composición demográfica de la población, en cambio el modelo de atracción encuentra variables que expliquen la intensidad de viajes en áreas no residencial. Además se clasifica a los viajes en dos tipos, los basados en el hogar, que comienzan o terminan en el hogar y los no basados en el hogar, es decir no comienza ni termina en el hogar. En esta etapa lo que se busca es establecer matemáticamente (Ec. 7.1) una regresión lineal múltiple que represente dicha relación.

$$O_i = 1,153E_i + 0,017C_i - 0,0004E_iL_i \tag{7.1}$$

Donde:

O_i = viajes al trabajo generados zona i

E_i = empleados que residen en zona i

C_i = taxis en zona i

L_i = Ingreso medio zona i

Siguiendo con el modelo de cuatro etapas, extraído de [13], se distribuyen los viajes de taxi entre zonas de la ciudad, la cantidad de los viajes entre un origen i y un destino j son directamente proporcionales a la Atracción de cada zona de destino, e inversamente proporcional al valor del costo de desplazamiento entre las dos zonas, esta relación se representa por un modelo gravitacional:

$$T_{ij} = P_i \frac{A_j f(c_{ij})}{\sum_{n=1}^n (A_j f(c_{ij}))} \tag{7.2}$$

Mediante el software desarrollado en LabVIEW® se identifican estos puntos de manera cualitativa en una tabla cruzada de zonas de la ciudad como se muestra a continuación en el siguiente ejemplo:

Tabla 7.1: Ejemplo de estadística de viajes en la Ciudad de Ibarra

		ZONAS DE DESTINOS										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		Azaya	Huertos Familiares	Yahuarcocha	Alpachaca	Hospital de Seguro	Estadio	El Olivo	Jardín de Paz	Hospital San Vicente	La Merced	
ZONAS DE ORIGENES	1	Azaya	12	12	36	36	42	18	86	22	42	46
	2	Huertos Familiares	18	22	22	14	50	30	70	10	46	60
	3	Yahuarcocha	38	26	8	30	30	38	32	18	58	98
	4	Alpachaca	34	24	46	12	24	38	88	38	62	42
	5	Hospital de Seguro	38	44	50	38	4	18	34	22	44	98
	6	Estadio	22	36	32	50	22	6	44	32	42	42
	7	El Olivo	64	56	38	62	65	64	8	38	62	42
	8	Jardín de Paz	24	22	24	30	34	24	20	4	56	30
	9	Hospital San Vicente	46	50	36	58	38	24	82	34	4	34
	10	La Merced	44	44	58	48	42	46	34	42	50	8

Luego los datos de la tabla 7.1. se muestran mediante un diagrama de columnas de tres ejes (Fig. 7.2), y se logra observar claramente las relaciones de viaje existente entre las zonas de la ciudad.

En la quinta etapa se propone una reestructuración de las líneas de autobuses, el objetivo en el rediseño o diseño de rutas de autobuses es encontrar un autobús que vaya desde una zona 1 hasta una zona n , pero con el máximo número de pasajeros, tal como se muestra en la figura:

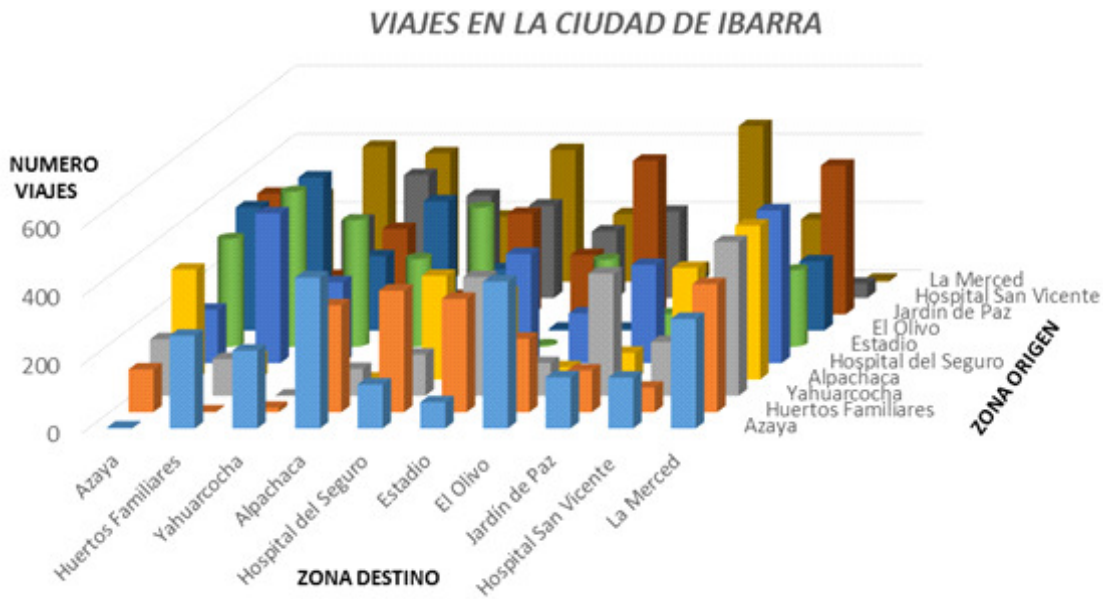


Figura 7.2: Viajes de un día típico de la ciudad de Ibarra

Las rutas también deben tener una frecuencia de operación eficiente para optimizar tiempos de viaje y costo de operación del servicio. Para conseguir estas características se propone la implementación de estaciones de transferencia, por ejemplo actualmente a un pasajero que quiere de ir de una zona C1 a C7 (Fig. 7.3) en taxi le toman 10 min de viaje con un costo de \$1.75, si toma un autobús tiene que pasar adicionalmente por las zonas C3, C4 y C6 con un tiempo de viaje 50 min y un costo de \$0,30. La propuesta es que en ciudades como en Ibarra donde su territorio es circular y los autobuses tiene rutas demasiado largas, se puede optimizar tiempos de viaje para el usuario e incentivar al usuario frecuente del servicio de taxis a optar por el servicio de autobuses.

Siguiendo con el ejemplo anterior aplicando la metodología propuesta se puede ir de C1 a C7 pero realizando un transbordo de ruta en la zona C2, como consecuencia la distancia de viaje se reduce y el tiempo de viaje también, Se estima que de C1 a C7 se puede ir en 25 minutos, disminuyendo en un 50 % el tiempo inicial y el costo de viaje se mantiene en \$0,30. La diferencia de tiempo entre el viaje en taxi y en bus se reduce significativamente de 5:1 a 2.5:1 y el costo de viaje en autobús es 82 % más barato que el servicio de taxi. El factor que más influye en el usuario al momento de tomar una decisión entre un autobús y un taxi es la distancia de viaje, este factor es una variable independiente que esta enlazada directamente con las variables dependientes tiempo y costo de viaje

En esta etapa de la metodología propuesta consiste en optimizar las distancias de viaje de autobús entre diferentes zonas de la ciudad, se propone el uso del algoritmo tipo Spreading, es un método que

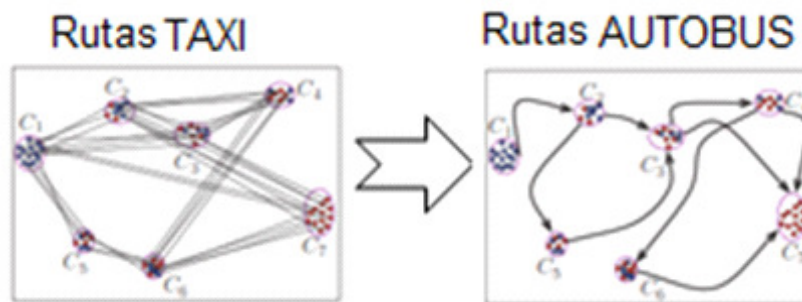


Figura 7.3: Ejemplo de viajes en taxi convertido a rutas de autobuses [2]

permite la búsqueda de redes asociativas o redes neuronales. El algoritmo contempla como paso inicial etiquetar al conjunto de nodos como zonas de origen de viaje pero con un valor de peso o prioridad, que puede ser establecido en función del uso de suelo de la zona o de factores de composición demográfica de la población. Luego mediante iteraciones se encuentran posibles rutas de vinculación entre nodos y se da prioridad a rutas con menor distancia y menor tiempo de viaje. Se puede definir esta relación [13] por:

$$T = \sum_{i=1}^{n-1} tm(s_i + 1, s_i) + (n - 2)t_o \quad (7.3)$$

$$Num = \sum_{i(j>i)}^n fm(s_i + s_j) \quad (7.4)$$

7.3. Criterios para Sectorización

Para realizar la sectorización de la ciudad se realiza una división del territorio en cuadrantes, se consideran coordenadas de longitud y latitud para los ejes. El GPS del dispositivo diseñado entrega dichos valores y se logra identificar fácilmente una posición determinada del taxi. Ahora en base al modelo de cuatro etapas [13], el criterio para realizar la división de los cuadrantes se pueden clasificar en tres aspectos:

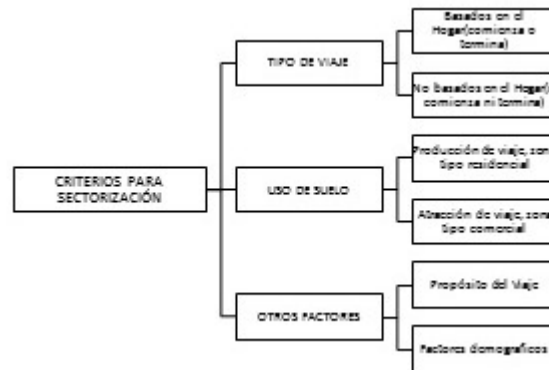


Figura 7.4: Criterios para la sectorización de una ciudad

En base a cada uno de los criterios se construye tablas con variables cualitativas con una lista de posibles zonas de atracción o producción de viajes. Luego se debe unir zonas que sean vecinas y que tengan criterios de sectorización similares, de forma heurística se sugiere que el área de cada cuadrante no sea menor de 0.2 km², ni mayor a 0.8 km² en zonas urbanas. En sectores perimetrales el área de la zona puede ser máximo 10 km². A continuación se muestra un ejemplo de sectorización en la ciudad de Ibarra.

7.4. Firmware del Dispositivo

Para el desarrollo del dispositivo se utiliza el sistema embebido Arduino y un módulo con Sistema de Posicionamiento Global (GPS), el firmware del dispositivo principalmente levanta y almacena datos relacionados a los puntos de origen y destino de los viajes en taxi. Además realiza todas las funciones de un taxímetro convencional, permite facturar cada viaje e imprimir sus respectivos comprobantes, respetando las tarifas vigentes de acuerdo al horario de funcionamiento de acuerdo a lo establecido por la autoridad competente.

Otras opciones que brinda el dispositivo son el almacenaje de datos de kilometraje, distancia, tiempos de espera. Los valores de los datos mencionados, pueden ser almacenados en la memoria extraíble, que viene incluido en el shield GPS y se logra incrementar considerablemente la capacidad de grabación normal del Arduino; los datos almacenados pueden ser transferidos hacia una PC y utilizados mediante un software para su procesamiento y análisis.

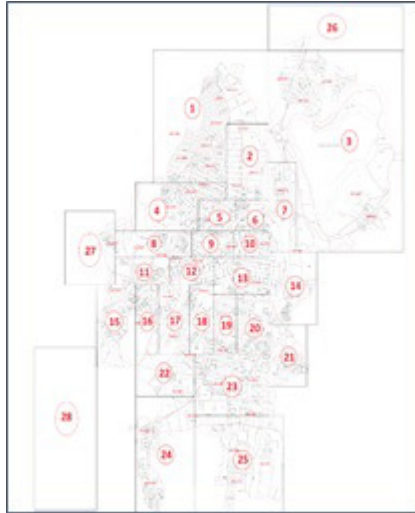


Figura 7.5: Sectorización aplicada en la Ciudad de Ibarra

7.5. Software de Procesamiento

El software fue desarrollado en LabVIEW®, es el encargado de realizar el análisis estadístico de los datos; los datos almacenados en la tarjeta de memoria son importados hacia un computador personal(PC), en el cual a través del programa creado se realizará un cálculo estadístico de tabla cruzada origen y destino (Fig. 7.6) para conocer la cantidad de viajes realizados desde y hacia los diferentes lugares de la ciudad, así también se realiza un cálculo general para conocer la cantidad de kilómetros recorridos, horas y los costos generados.



Figura 7.6: Software de procesamiento desarrollado en LabView

Además el software permite realizar la representación gráfica en mapas de los puntos de inicio y fin de los viajes de taxis registrados por el dispositivo y así identificar los puntos de mayor movilidad en la ciudad.

7.6. Resultados

Se realizó una prueba piloto de la metodología propuesta, instalando el dispositivo de levantamiento de datos en cinco taxis convencionales de la Ciudad de Ibarra durante quince días. En base a los criterios de sectorización propuestos en la metodología, se dividió a Ibarra en 28 zonas (Fig. 7.5); del total de

Tabla 7.2: Estadística de viajes en la Ciudad de Ibarra

		ZONAS DE DESTINOS										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		Azaya	Huertos Familiares	Yahuarcocha	Alpachaca	Hospital del Seguro	Estadio	El Olivo	Jardín de Paz	Hospital San Vicente	La Merced	
ZONAS DE ORIGENES	1	Azaya	12	12	36	36	42	18	86	22	42	46
	2	Huertos Familiares	18	22	22	14	30	30	70	10	46	60
	3	Yahuarcocha	38	26	8	30	30	38	32	18	38	66
	4	Alpachaca	34	24	46	12	24	38	38	38	62	42
	5	Hospital del Seguro	38	44	50	36	4	18	54	22	44	66
	6	Estadio	22	36	32	30	22	6	44	32	42	42
	7	El Olivo	64	36	38	62	65	64	8	38	62	42
	8	Jardín de Paz	24	22	24	30	34	24	20	4	36	30
	9	Hospital San Vicente	46	30	36	38	38	24	60	34	4	54
	10	La Merced	44	44	38	46	42	46	34	42	30	66

datos obtenidos se decidió probar con las zonas ubicadas desde el centro hacia el norte de la ciudad de Ibarra.

Luego de aplicar la metodología propuesta, utilizando transbordo entre rutas de autobuses se logró disminuir los tiempos de viaje en autobús en un promedio del 36,7%, además la diferencia de tiempo de viaje entre autobús y taxi disminuyó a 2.3:1. Por ejemplo un viaje desde la zona de Alpachaca hacia la zona el Olivo (tabla 7.2), utilizando el servicio de taxis toma un tiempo promedio de viaje de 12 minutos, mientras en autobús 45 minutos. Aplicando la metodología se logró disminuir a 28 minutos el tiempo de viaje en autobús.

7.7. Conclusión

En este artículo, se ha desarrollado una metodología para utilizar los patrones de viaje en taxi como herramienta de gestión de la movilidad urbana. La metodología propuesta consta de cinco etapas, primero se realiza la sectorización de la ciudad, luego el levantamiento de viajes en taxi por GPS, seguido del procesamiento de datos adquiridos, después se identifica los puntos críticos y como último paso se reestructura las rutas de Buses basado en el algoritmo tipo Spreading. La metodología establecida permite disminuir distancias y tiempos de viaje para los usuarios actuales de autobuses, y a su vez incentiva a los usuarios de taxis a optar por el servicio de autobuses, pues los costos del servicio de bus son 80% más barato que los taxis. La diferencia de tiempos de viaje entre taxi y autobús es de 2 a 1 aproximadamente, pero no es una diferencia crítica pues se estima que los viajes internos en autobús no superan los 40 minutos con un costo del servicio mucho menor. La metodología es ideal para pequeñas ciudades que tienen una población de hasta 500.000 habitantes, además sirve para ciudades donde actualmente las rutas de autobuses no tienen estaciones de interconexión, es decir puntos donde el usuario con el mismo pasaje puede cambiarse de una ruta a otra de autobuses y así logra disminuir tiempos de viaje.

En el futuro se recomienda desarrollar algunos estudios, el primero enfocado en plantear una metodología para el dimensionamiento de la capacidad de oferta del sistema de autobuses. Otro tema de estudio sería realizar una estimación de la afectación que sufriría el servicio de taxis a causa de la disminución de demanda de su servicio. Por último se sugiere el estudio de una nueva metodología para establecer los puntos de parada de los servicios de taxis y lograr minimizar distancias de viaje hasta tomar al siguiente pasajero.

Referencias

1. F. Bastani, Y. Huang, X. Xie, and J. W. Powell. A greener transportation mode: flexible routes discovery from GPS trajectory data. In Proc. Of GIS, pages 405–408, 2011.
2. C. Chen, D. Zhang, Z.-H. Zhou, N. Li, T. Atmaca, and S. Li, “B planner: Night bus route planning using large-scale taxi gps traces,” in PerCom. IEEE, 2013, pp. 225–233.

3. J. Aslam, S. Lim, X. Pan, and D. Rus, "City-scale traffic estimation from a roving sensor network," in Proceedings of the 10th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems. ACM, 2012, pp. 141–154.
4. S. Liu, L. Ni, and R. Krishnan, "Fraud detection from taxis' driving behaviors," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 63, no. 1, pp. 464–472, Jan 2014.
5. S. Jantarang, P. Potipantong, and A. Worapishet, "A low cost real-time intelligent taximeter sensor," IEEE Circuits and Systems, 2002. APCCAS '02. 2002 Asia-Pacific Conference on, vol. 1, no. 1, pp. 217–220, 2002.
6. Z. Z. Wang, X. Y. Liu, "Analysis on Difference between Supply and Demand of Urban Taxi Passenger in the Case of Carpooling", Applied Mechanics and Materials, Vols. 543-547, pp. 4378-4382, Mar. 2014.
7. XueJin Wan; Mengdan Gao; Jianchu Kang; Jianling Zhao, "Taxi origin-destination areas of interest discovering based on functional region division,in Innovative Computing Technology (INTECH), 2013 Third International Conference on , vol., no., pp.365-370, 29-31 Aug. 2013.
8. Hoque, M.A.; Xiaoyan Hong; Dixon, B., "Analysis of mobility patterns for urban taxi cabs,in Computing, Networking and Communications (ICNC), 2012 International Conference on , vol., no., pp.756-760, Jan. 30 2012-Feb. 2 2012
9. Zhongwei Deng; Minhe Ji, "Spatiotemporal structure of taxi services in Shanghai: Using exploratory spatial data analysis,in Geoinformatics, 2011 19th International Conference on , vol., no., pp.1-5, 24-26 June 2011.
10. Chyi-Ren Dow; Yu-Hong Lee; Shr-Chen Wang; Shio-Fen Hwang, "A Geo-Aware Location Based Taxi Carrying System,in Information Technology: New Generations (ITNG), 2014 11th International Conference on , vol., no., pp.53-58, 7-9 April 2014.
11. Shih-Fen Cheng; Thi Duong Nguyen, "Taxisim: A Multiagent Simulation Platform for Evaluating Taxi Fleet Operations,in Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT), 2011 IEEE/WIC/ACM International Conference on , vol.2, no., pp.14-21, 22-27 Aug. 2011.
12. Yu-Ling Hsueh; Ren-Hung Hwang; Yu-Ting Chen, "An effective taxi recommender system based on a spatio-temporal factor analysis model,in Computing, Networking and Communications (ICNC), 2014 International Conference on , vol., no., pp.429-433, 3-6 Feb. 2014
13. Castiglione J., Bradley M., and Gliebe J. Activity-Based Travel Demand Models: A Primer. The Strategic Highway Research Program of the Transportation Research Board, 2014.
14. Sheng-Tzong Cheng; Jian-Pan Li; Gwo-Jiun Horng, "Game Theory Based Recommendation Mechanism for Taxi-Sharing,in Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2014 28th International Conference on , vol., no., pp.645-650, 13-16 May 2014

Capítulo 8

GENERACIÓN DE TRAYECTORIAS DE CORTE A PARTIR DE DISTRIBUCIONES DE PIEZAS EN CHAPAS.

LORENTE L.¹, LASTRE A.², Y CORDOVÉZ A.²

¹Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.

² Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

Resumen: La presente investigación comprende el estudio de los últimos avances en los sistemas automatizados para la distribución y fabricación de piezas en chapas y los niveles de generalización y uso en los sectores industriales. Este estudio conjuntamente con el análisis de técnicas y métodos, empleados durante el corte de piezas en chapas, ha permitido el desarrollo y la implementación de un procedimiento, que concilia las restricciones del proceso tecnológico empleado, durante la obtención de las trayectorias de corte. La concepción general del sistema propuesto fue introducida y ajustada de acuerdo a las restricciones tecnológicas de la máquina de corte por plasma Merlin 6000GST, lo que garantiza la generación de trayectorias para la fabricación de piezas en chapas que han permitido una reducción en los tiempos de manufactura. Como resultado práctico, se ha obtenido una aplicación soportada sobre AutoCAD, y creada a través del lenguaje de programación AutoLISP la cual se integra a un sistema para el diseño y planificación asistido por computadora (CAD/CAPP) obteniéndose una herramienta computacional para el corte de piezas en chapas.

Palabras Claves: Falta añadir palabras claves

8.1. Introducción

La búsqueda de un método o procedimiento que garantice la generación de buenas soluciones de ordenamiento las cuales obedezcan al mejor aprovechamiento de la materia prima y ofrezcan una buena trayectoria de corte, es actualmente uno de los puntos de mayor atención para los sectores involucrados principalmente para el nesting.

El empleo de las técnicas informáticas y el desarrollo de la electrónica han tenido un gran impacto dentro de los procesos de manufactura, actualmente se emplean en una amplia gama de aplicaciones que

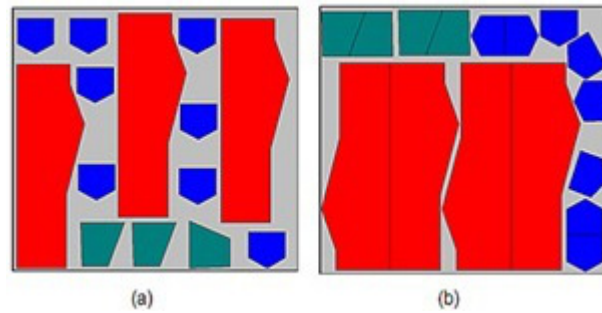


Figura 8.1: Distribuciones de piezas para el corte. (a) Distribución con bajo aprovechamiento del material, (b) Distribución con mayor aprovechamiento del material.

incluyen el control y la optimización de los procesos, manejo de materiales, ensamblaje, pruebas de los productos y numerosas actividades administrativas.

El uso y desarrollo de métodos o técnicas heurísticas, como algoritmos genéticos, redes neuronales, han sido principalmente los que han abordado de mejor manera este tema, a razón de contar con los nuevos y continuos avances de la informática como base fundamental para su funcionamiento en general.

La industria del corte se ha visto necesitada de contar con un procedimiento automatizado que garantice la generación de trayectorias para el corte de piezas en chapas, por lo que el desarrollo de esta investigación se ha centrado en el estudio y explotación de la máquina de corte por plasma Merlin 6000GST,

A partir del análisis realizado, se tiene la necesidad de contar con un procedimiento automatizado que asegure la disminución del consumo de combustible tecnológico y tiempos de manufactura, a razón de la generación de la mejor trayectoria de corte del útil, en dependencia de las condiciones tecnológicas empleadas.

8.2. Generación de trayectorias para corte de piezas en chapas

Para trabajar con una aplicación CAD/CAM destinada a la generación automática de trayectorias de corte 2D, requiere conocer las problemáticas que presentan los procesos de corte a emplear [1]. Por otro lado, los problemas aportados por la experiencia de los especialistas, y relativos a temas técnicos como el control de los parámetros tecnológicos (espesor, velocidad) de cada proceso, influyen decisivamente a la hora de generar las trayectorias de corte [2].

8.2.1. El corte bidimensional anidado (Nesting).

El corte bidimensional anidado pertenece a la clase más genérica de problemas de optimización combinatoria, en estos problemas, una o más áreas de material deben ser divididas o cubiertas por los espacios menores que describen las piezas a cortar [3], un ejemplo de esto se muestra en la figura 8.1.

8.2.1.1. Técnicas para el tratamiento del corte anidado bidimensional (Nesting). El problema del nesting bidimensional resulta un área de interés para diferentes investigadores tanto del sector académico como de la industria [4]-[5]. En general ha sido tratado por una variedad de algoritmos de búsqueda que utilizan muchas representaciones ejemplares diferentes.

- Método de Recocido Simulado [6].
 - Método Algoritmos Genéticos [7].
 - Método de Redes Neuronales [8].
 - Otros Métodos Heurísticos [7].

8.2.1.2. Métodos o técnicas empleadas para la generación de trayectorias en el corte de piezas en chapas.

- Teoría de Grafos [9]-[10].

- Búsqueda Tabú [8].
- Colonia de Hormigas [11].
- Otros Métodos Heurísticos [8].

8.2.2. Tecnologías para el corte de piezas en chapas.

Los procesos de corte de chapa pueden ser clasificados de forma general en tres grupos, pero se tendrá en cuenta para este sistema solamente los dos primeros [2], [12], [13]:

- Procesos Térmicos:
 - Oxicorte
 - Plasma
 - Laser
- Procesos de Erosión:
 - Corte con Agua
 - Corte con Agua con Abrasivos
 - Electroerosivo
- Procesos Mecánicos:
 - Punzonado
 - Cizallado
 - Aserrado

8.2.3. Estado actual del desarrollo de sistemas CAD/CAPP/CAM.

Han sido evaluadas las características principales de los sistemas CAD/CAPP/CAM destinados a la automatización del proceso de corte en el sector industrial, dentro de los cuales han sido estudiados un conjunto de sistemas como [14], [15]:

- ● Packopt
- Optimizer Anyshape
- Corte Certo
- Lantek Expert Cut
- Optimumcut-1D
- MODCOR TOP
- AutoForm-Nest
- Nest Master
- TurboNest

8.2.3.1. Principales Insuficiencias de los sistemas CAD/CAPP/CAM. Del análisis realizado del estado de desarrollo de los sistemas CAD/CAPP/CAM para la distribución y corte de piezas en chapas, se pueden resumir las siguientes insuficiencias [5]:

- Los métodos propuestos para el trabajo con las superficies reales de la pieza.
- Gran parte de los sistemas estudiados no generan trayectorias de corte de forma automática.
- Los sistemas que generan trayectorias de corte de manera automática no consideran las restricciones tecnológicas propias del proceso empleado.

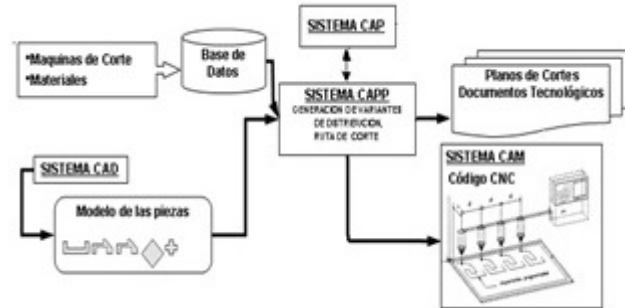


Figura 8.2: Esquema del sistema de dirección de mayor envergadura donde se ubica la distribución y corte de piezas.

A partir del análisis de los sistemas automatizados para la generación de las trayectorias de corte expuestos anteriormente, para garantizar una correcta implementación y cumplir con las exigencias de las tecnologías empleadas, surge la necesidad de plantear las vías para el perfeccionamiento de las insuficiencias planteadas:

- La implementación de métodos que permitan el trabajo con las superficies reales de las piezas de manera eficiente garantizando la obtención de soluciones con el menor tiempo computacional asociado.
- Generación de trayectorias de corte de forma automatizada, donde se garantice el cumplimiento de las restricciones tecnológicas y el menor recorrido de la herramienta durante el proceso.
- Generación del código CNC para la fabricación, según la solución de trayectoria propuesta.

8.2.4. Planeación del proceso de fabricación de piezas irregulares en superficies planas.

La integración de los sistemas CAD/CAPP/CAM [16] encargados de la distribución y corte de piezas en chapas, obedece al sistema de dirección y planificación de mayor envergadura para la manufactura de las piezas que han de ser distribuidas en chapas y cortadas [5]. La tarea de planeación del proceso de fabricación se subordina, al diseño del producto que debe fabricarse. Esta subordinación obedece necesariamente a los principios de organización de la estructura centralizada, pues se requiere fabricar exactamente la pieza que fue diseñada [17]. El sistema CAPP es el encargado de generar las diferentes opciones de tecnologías de producción en las máquinas de corte, en calidad de propuestas al sistema de dirección de la producción del taller CAP, como se muestra en figura 8.2.

Las propuestas de tecnologías de corte en cada máquina tienen que estar necesariamente asociadas a la secuencia de producción seleccionada por el sistema de dirección de la producción CAP para cada período de tiempo establecido [18]. La ejecución de las tareas productivas se debe realizar mediante la transferencia de información directiva desde el sistema CAPP al sistema CAM de cada máquina de corte del taller.

8.2.5. Análisis externo del sistema CAPP para la fabricación de piezas.

Durante la planificación del proceso de fabricación de piezas en chapas, es necesaria la consideración de información directiva proveniente del sistema general de producción, tales como, los planos de las piezas y las chapas, las restricciones constructivas, los requisitos relacionados con los volúmenes de producción y disponibilidad de materia prima asociada al lote de producción.

Este tipo de información se define dentro del sistema CAPP para la distribución de piezas como variables de coordinación, entre las cuales se encuentran:

- Configuración geométrica y especificaciones técnicas de cada una de las piezas que deben ser producidas en el periodo establecido (turno, día, para cada lote de producción establecido para cada máquina del taller).

- Materia prima (planchas) a utilizar para garantizar los volúmenes de producción, donde se incluye la recortería proveniente de procesos anteriores.
- Anidamiento de piezas en cavidades interiores: Los valores de esta variable los determina el nivel superior de acuerdo a la preferencia subjetiva de aprovechar la chapa o bien de reducir la complejidad del corte.

A partir de entrevistas efectuadas a numerosos especialistas vinculados a la producción y del estudio de la literatura especializada en los procesos de distribución y corte de piezas en superficies, predominan, en calidad de criterios de eficiencia para la generación de opciones de solución, los siguientes:

- Máximo aprovechamiento de material utilizado en el proceso:
- Mínimo desplazamiento de la herramienta de corte, determinada por el recorrido de la herramienta de corte para cada plancha de cada lote en cada máquina del taller y para opción de distribución, de esta forma se asegura el cumplimiento de las restricciones impuestas por la tecnología de corte empleada:
- Máxima “satisfacción” del fabricante por la solución propuesta, incluyéndose la introducción de posibles ajustes a la misma (indicador no formalizable).
- Máxima “satisfacción” de las restricciones impuestas por las variables de coordinación.

La máxima productividad del corte, el mínimo consumo de combustible tecnológico y el mínimo tiempo de corte se corresponden con el mínimo desplazamiento de la herramienta de corte, por lo que no se han de considerar explícitamente como indicadores de eficiencia.

Por otra parte, para cada distribución de piezas en la plancha existe un recorrido de la herramienta mínimo que, al mismo tiempo, satisface las restricciones tecnológicas. La generación de opciones de corte próximas al máximo aprovechamiento con la adición de la información relativa al recorrido óptimo correspondiente de la herramienta de corte constituye una información adicional, que permitiría al usuario discriminar cual entre las distribuciones satisface, además, el indicador de trayectoria de desplazamiento. A la vez, el usuario del sistema pudiera tomar en cuenta factores tales como la eventual conveniencia de la geometría obtenida por alguna de las distribuciones para su empleo como materia prima en posteriores procesos.

De estudios precedentes al proceso de distribución de piezas en superficies y establecimiento de la ruta o camino de corte, se consideraron como variables de decisión, las siguientes:

- Ubicación por coordenadas de cada pieza en la chapa correspondiente.
- Trayectoria del útil de corte según la distribución de las piezas en la chapa:

Entre las variables intermedias de cálculo más importantes, se destacan:

1. Aprovechamiento de la chapa.
2. Área efectiva de la chapa.
3. Códigos de piezas ubicadas.
4. Cálculo del tiempo de recorrido del útil en función de los parámetros tecnológicos utilizados.
5. Consumo de combustible tecnológico.
6. Configuración del recorte, después de la distribución.

En la presente investigación serán consideradas explícitamente las variables intermedias referentes a la etapa de generación de las trayectorias de corte (4-5). De la misma manera se analizarán los indicadores y datos que tengan carácter decisivo e influyente en estas etapas.

8.2.5.1. Descomposición de la tarea de fabricación de piezas planas en sub-tareas componentes. Del estudio de la tarea de fabricación estudiada se destacan 2 tareas interrelacionadas: la tarea de distribución de piezas en la chapa y la tarea de corte de la pieza. La primera de ellas determina los posibles valores del indicador de eficiencia: aprovechamiento de la chapa y la segunda los puntos de referencia por donde debe pasar la herramienta de corte, al seguir el perfil de las piezas y determina, por tanto, los valores del indicador recorrido de la herramienta de corte.

Sobre los valores de ambos indicadores inciden las variables relacionadas al posicionamiento mutuo de las piezas sobre la chapa.

La primera tarea tiene que ver con la determinación del posicionamiento mutuo de las piezas entre sí, mientras que la segunda tarea tiene que ver con el orden de paso de la herramienta de corte por cada contorno de las piezas, a través de los nodos que definen los cambios contorno – contorno de las piezas distribuidas.

De tal forma, se determinan las coordenadas de todos los puntos del contorno discretizado de las piezas, los cuales constituyen variables de coordinación a los efectos de la tarea común, consistente en buscar un compromiso razonable entre ambos indicadores cuantificables de eficiencia seleccionados.

Así, el modelo matemático conceptual de la tarea estudiada se puede expresar como:

$$\text{Min} \left\{ \frac{Z(Z_1(u), Z_2(u, x_n))}{h(u)} \geq 0; g_s(u, x_s) \geq 0; \forall s \in S \right\} \quad (8.1)$$

donde:

$Z_1(u) = 1 - A_p$: recortería no aprovechable de la plancha

$u =$ Vectores coordenados

$Z_2(u, x_n) =$ variantes coordenadas de recorridos por cada distribución.

x_n : nodos que definen los cambios contorno – contorno de las piezas distribuidas según se puede observar, el modelo (8.1) constituye un caso particular del modelo:

$$\text{Min} \left\{ \frac{Z(Z_1(u), \dots, Z_n(u, x_n))}{h(u)} \geq 0; g_s(u, x_s) \geq 0; \forall s \in S \right\} \quad (8.2)$$

Cuya estructura matemática se corresponde con la estructura organizativa, y de composición de soluciones, disperso – conciliada. Según se expone en [17] el modelo (8.2) describe aquellos procesos en los que la eficiencia y las condiciones de funcionamiento de todo el sistema y de cada uno de sus elementos dependen del valor de todas y cada una de las variables de coordinación, las que no son separables por los elementos del sistema.

Según se muestra en [17] la solución (8.2) se reduce a la solución de:

$$\text{Min} \left\{ \frac{Z(Q_1(u), \dots, Q_n(u, x_n))}{h(u)} \geq 0 \right\} \quad (8.3)$$

donde:

$$Q_s(u) = \text{Min} \left\{ \frac{Z_s(u, x_s)}{g_s(u, x_s)} \geq 0; \forall s \in S; \frac{u}{h(u)} \geq 0; x_s = x_s^{opt}(u) \right\} \quad (8.4)$$

Si la estructura de la tarea de dirección tiene la forma o resulta próxima a (8.2), entonces ella puede ser solucionada mediante:

- La búsqueda de solución a (8.3), para cada elemento s del sistema, para valores discretizados admisibles de las variables de coordinación u (o todos sus valores admisibles, en el caso de un número finito de valores de u discreta, como en la tarea que nos ocupa).
- La determinación de las funciones aproximatorias $Q_s(u)$ y $x_s = x_s^{opt}(u)$.
- La solución del modelo aproximatorio (8.3) con el fin de hallar valores próximos al óptimo de $u = (u_1, u_2, \dots, u_k)$.
- El cálculo de los valores de $x_s^{opt}(u)$, para $u = u^{opt}$.

La tarea (8.2) puede expresarse de una forma más precisa:

$$Z = \text{máx} \left\{ \frac{[w (z_1(u) - z_1^{id}), (1 - w) (z_2(u, x_s) - z_1^{id})]}{h(u)} \geq 0, g(u, x_s) \geq 0 \right\} \quad (8.5)$$

donde:

$z_1(u)$: función objetivo que caracteriza la efectividad de la distribución de piezas en la chapa.

z_1^{id} : valor ideal que puede alcanzar la función $z_1(u)$, sin tomar en consideración los posibles recorridos de la herramienta y su eficiencia,

$z_2(u, x_s)$: función objetivo que caracteriza la efectividad del recorrido de la herramienta de corte, la que depende necesariamente de las distribuciones posibles de las piezas en la chapa.

z_2^{id} : valor ideal que puede alcanzar la función $z_2(u, x_s)$, la que en la práctica puede tan solo ser estimada, por la dependencia del recorrido de la herramienta con respecto a la posición de las piezas.

La estructura organizativa más adecuada del sistema se denomina Estructura Disperso - Conciliada y se caracteriza por la solución independiente de las tareas de toma de decisiones, para diferentes valores de las variables de coordinación u , en el caso de las tareas discretas.

En calidad de funciones $Q_s(u)$, para $s = 1, 2$, se considera la aproximación a los indicadores $Z_1(u)$, $Z_2(u, x_n)$ derivados de la descomposición de la tarea (8.1), lo que permite, buscar solución a la tarea (8.6) de minimización del recorrido de la herramienta, entre las mejores soluciones de aprovechamiento previamente generadas en la búsqueda de solución a la tarea se puede hallar los valores más adecuados de u

$$\text{mín} \left\{ \frac{Z_2(u, x_s)}{g_s(u, x_s)} \geq 0 \right\} \quad (8.6)$$

En este caso, las restricciones $g_s(u, x_s) \geq 0$, responden a la obligatoriedad de realizar trayectorias factibles entre los nodos de cambio contorno – contorno y las restricciones tecnológicas mencionadas anteriormente.

El modelo para la generación de las distribuciones próximas a la óptima se representa en este caso por:

$$\text{mín} \left\{ \frac{Z_1(u)}{h(u)} \geq 0 \right\} \quad (8.7)$$

Donde las restricciones $h(u) \geq 0$ representan las restricciones de espacio y tecnológicas sobre las planchas para distribuir las piezas.

Así, el problema original se descompone en una primera tarea consistente en generar opciones cercanas al óptimo de aprovechamiento del material y una segunda tarea, consistente en la búsqueda, entre las generadas, de aquellas opciones que aseguran, además, valores adecuados, del recorrido de la herramienta de corte.

Dado el carácter de los procesos estudiados, el esquema de descomposición adoptado se corresponde con una organización sistémica tal, en la que cada órgano ejecuta la recepción y la elaboración de la información correspondiente y la entrega de la acción directiva a los objetos subordinados. Para la realización de la función de dirección, cada órgano local entra en intercambio informativo con los otros órganos de dirección. Como resultado de este intercambio se concilian las acciones de los diferentes sistemas entre sí. En la figura 8.3 se brinda una representación gráfica de esta estructura.

Por otra parte, el modelo (8.7) puede ser considerado como un modelo de aproximación al modelo conceptual de fabricación (8.1) por lo que, de acuerdo a las propiedades del método Aproximatorio-Combinatorio [5] su solución puede ser encontrada entre aquellas soluciones de (8.7) que se diferencian de la óptima en no más de un parámetro α . En las tareas propias de la Ingeniería resulta suficiente la generación de un número predeterminado de opciones de solución a (8.7), y para cada una de las soluciones generadas se calcula el valor de (8.1) y se reordenan las opciones de por el valor de la función de aproximación multiobjetivo seleccionada. Al conjunto de soluciones generadas se corresponde un valor de α igual a la diferencia del valor de (8.7) de la solución con peor valor menos el de la de menor valor. El método Aproximatorio-Combinatorio aporta el procedimiento de cálculo de cualquier solución aproximada [17], lo que se corresponde con el esquema de solución (8.5).

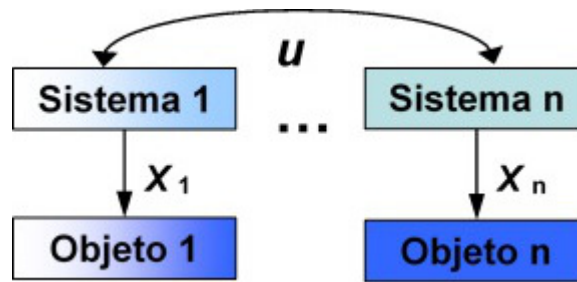


Figura 8.3: Estructura disperso conciliado.

8.2.6. Análisis interno de la generación de trayectorias de recorrido mínimo de la herramienta de corte para las opciones de distribución previamente generadas.

Para la generación de las diferentes trayectorias de corte es necesario considerar la disposición geométrica de las piezas en la chapa así como el conjunto de restricciones asociados al proceso de corte empleado. De esta manera se garantiza que el conjunto de variantes de trayectorias generadas sea racional y de posible ejecución en toda su extensión.

Este conjunto de soluciones debe de considerar además las variantes de estabilidad del corte definidas por el tecnólogo, esto se manifiesta según las características de fijación de la plancha en la máquina de corte.

En determinadas máquinas donde la fijación de la plancha se realiza por prensas de fijación o por el peso propio de la plancha, es necesario mantener una estabilidad geométrica de la misma durante el corte, para evitar que el peso sobre el pantógrafo se distribuya de manera no uniforme y proporcione poca rigidez en los puntos de sujeción de la chapa, de esta forma ocasiona movimientos no deseados de la misma durante el corte y afecta las características dimensionales y de forma de las piezas a cortar.

En las máquinas donde la sujeción de la plancha se realiza por métodos diferentes (magnetismo), esta variable de uniformidad de peso de la plancha no posee carácter directivo en la generación del recorrido de corte, puesto que la plancha siempre, sea cual sea su forma geométrica, va estar fijada lo suficientemente rígida al pantógrafo, evitándose de esta manera los posibles movimientos indeseados de la misma.

De esta manera la definición de la trayectoria de corte debe considerar lo antes expuesto ya que, la ruta de menor trayectoria puede no garantizar la mejor estabilidad de la plancha en la máquina de corte, por ello debe de definirse antes de comenzar el proceso de generación de las trayectorias la forma en que será tratada la plancha para su corte:

- Generación de trayectorias que garanticen la uniformidad de la plancha.
- Generación de trayectorias con movimiento libre sobre la plancha.

En ambos casos el procedimiento de generación de trayectorias debe encontrar las variantes de mejor compromiso entre el consumo de combustible tecnológico y los tiempos de manufactura.

8.2.6.1. Generación de trayectoria que garantiza la uniformidad de la plancha. Para la generación de trayectorias de corte que garanticen la uniformidad geométrica de la plancha, es necesario partir de las condiciones de posicionamiento de la misma en la máquina y la herramienta de corte. Es necesario definir la dirección de uniformidad de corte, lo cual establece el eje donde la plancha debe ir cortándose en forma de barrido paralelo al mismo, este barrido tendrá en cuenta el posicionamiento y vecindad entre las piezas de manera que se realice con el menor recorrido del útil posible, como se muestra en la figura 8.4.

Durante el barrido según el eje establecido, el conjunto de piezas enmarcadas dentro del paso de barrido seleccionado serán definidas como el conjunto inmediato de piezas para el corte **Ccorj**, como se muestra en la figura 8.5. A este **Ccorj** será necesario definirles un orden de corte entre las piezas que lo integran, lo cual se realizará en dependencia de la cercanía entre sus vecindades, el posicionamiento de la herramienta de corte y el eje seleccionado para el barrido. Una vez cortado el **Ccorj**, se someterá a la formación de un nuevo conjunto **Ccorj** donde se realiza un nuevo barrido de la chapa en el eje y magnitud prefijados. De esta manera se repetirá la formación y corte de estos conjuntos hasta haber cumplimentado el corte de la totalidad de las piezas.

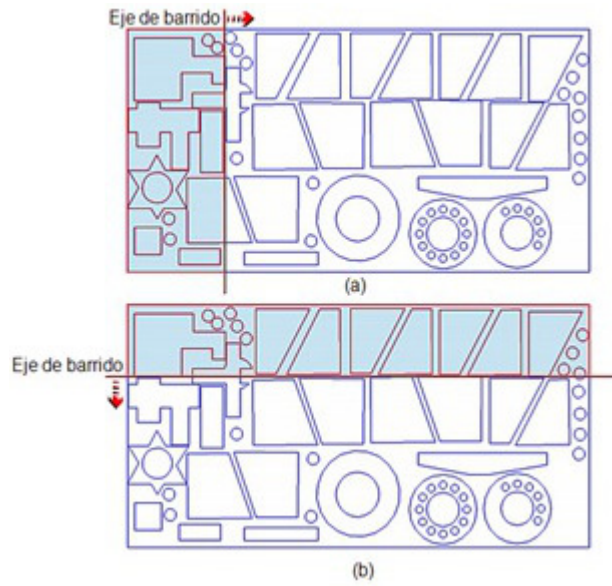


Figura 8.4: Ejes de barrido. (a) Barrido paralelo al eje Y, (b) Barrido paralelo al eje X

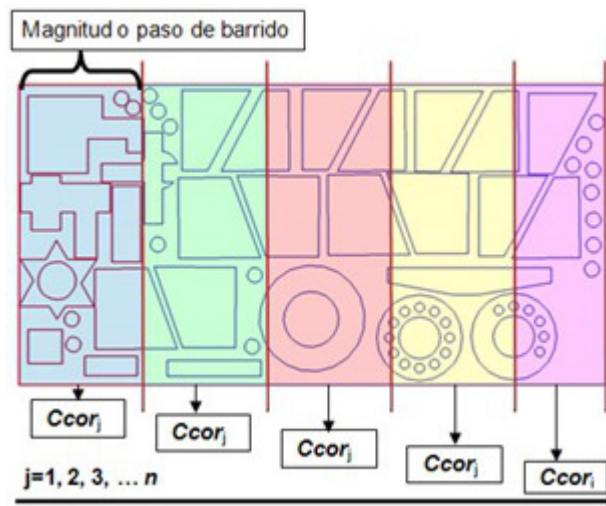


Figura 8.5: Conjunto inmediato de piezas para el corte $Ccor_j$.

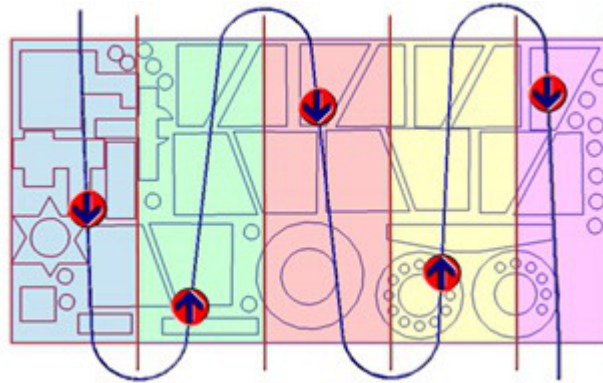


Figura 8.6: Ejemplo de la dirección del recorrido de la herramienta de corte.

Para prefijar el valor de la magnitud o paso de barrido se tiene en cuenta la pieza con mejor ubicación respecto al posicionamiento de la herramienta de corte, es decir los valores de $(X_{hcor}; Y_{hcor})$, esta pieza será denominada pieza inicial del conjunto inmediato **PiCcorj**.

A través de la **PiCcorj** se obtienen las coordenadas extremas de la misma en el sentido del eje de barrido, $(X_{ext}; Y_{ext})$, todas las piezas que posean coordenadas de su frontera dentro del rango definido por las magnitudes extremas, pertenecerán al **Ccorj** en formación.

De esta manera el movimiento general de la herramienta se realizará por los conjuntos definidos atendiendo a las variables antes mencionadas, como se muestra en la figura 8.6.

8.2.6.2. Generación de trayectoria con movimiento libre sobre la plancha. Durante la generación de la trayectoria con movimiento libre del útil de corte para las diferentes variantes de distribución en análisis, es necesaria la búsqueda del orden o secuencia de piezas que durante su corte brinde la menor distancia de recorrido, donde se cumplan además, todas las restricciones propias del proceso de corte.

Para la búsqueda de las diferentes variantes de orden o secuencia de piezas se calculan y evalúan diferentes parámetros como:

- Mínima distancia entre la posición de la herramienta de corte y la pieza a cortar.
- Vecindades más cercanas entre piezas.

Para lograr una correcta generación de la trayectoria de la herramienta es necesario definir un orden o secuencia de corte entre las diferentes piezas que integran el conjunto a cortar, lo cual se realizará en dependencia de la cercanía entre sus vecindades y la menor distancia entre el útil de corte y la pieza a fabricar.

Con el posicionamiento inicial del útil de corte se define una guía para ubicar las piezas en este orden o secuencia, y así comenzar la búsqueda de variantes de solución para la generación de trayectorias de corte. Esta se realiza por la cercanía del punto inicial de corte definido por el operario de la máquina a las piezas del conjunto, a partir de esta pieza más cercana se generan todas las secuencias posibles de piezas para el corte, además siempre se respetan las vecindades entre las mismas, como se muestra en la figura 8.7.

Para generar la trayectoria de corte se determina el vértice más cercano entre las piezas del conjunto a cortar y la posición del útil de corte, y así consecutivamente entre las piezas vecinas a la pieza fabricada, de esta manera se genera la trayectoria a seguir por la herramienta de corte, además se tienen en cuenta las restricciones del proceso.

Siempre la mejor trayectoria será aquella que garantice que los tiempos de manufactura, el consumo de combustible tecnológico y además, el perímetro de recorrido de la herramienta de corte sea el menor posible.

8.2.6.3. Cálculo del tiempo de recorrido del útil en función de los parámetros tecnológicos utilizados. Cada variante de corte está asociada a un perímetro de recorrido del útil, parámetro que permite junto con la velocidad de corte determinar los tiempos de corte.

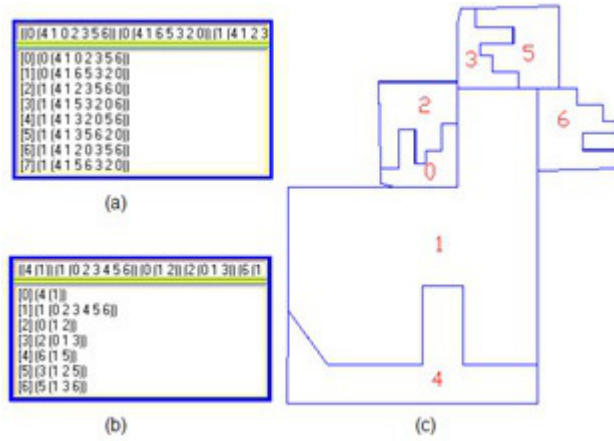


Figura 8.7: Ejemplo de variantes de generación de trayectorias. (a) Secuencias de corte entre las diferentes piezas del conjunto. (b) Vecindades entre las piezas del conjunto. (c) Conjunto de piezas.

$$\mathbf{T}_R = \mathbf{P}_{TC} / \mathbf{V}_c \tag{8.8}$$

donde:

\mathbf{T}_R : tiempo de recorrido del útil.

\mathbf{P}_{TC} : perímetro de trayectoria de corte del útil.

\mathbf{V}_c : velocidad de corte.

$$\mathbf{P}_{TC} = \sum_i^{i=n} P_{z_i} - \sum_h^{h=p} P_{zr_h} \tag{8.9}$$

donde:

P_z : perímetro de la pieza.

P_{zr} : perímetro de las zonas restringidas.

8.2.6.4. Consumo de combustible tecnológico. El consumo del combustible tecnológico es necesario obtenerlo para saber qué cantidad se emplea durante la fabricación de las piezas y así lograr el mejor aprovechamiento del mismo.

$$\mathbf{C}_{CT} = \mathbf{T}_R \cdot \mathbf{G}_{CT} \tag{8.10}$$

donde:

\mathbf{C}_{CT} : consumo de combustible tecnológico.

\mathbf{T}_R : tiempo de recorrido del útil.

\mathbf{G}_{CT} : gasto horario de combustible tecnológico.

8.2.7. Concepción del sistema para la generación de las trayectorias de corte durante la fabricación de piezas en chapas.

Durante la generación de variantes de trayectoria de corte el sistema debe identificar o clasificar cada una de ellas según determinados indicadores, entre los cuales podemos mencionar, el perímetro de recorrido, tiempo de corte y consumo de combustible tecnológico, entre otros. Estas variantes deben de brindarse al gestor del sistema, para que el mismo tenga la oportunidad de la selección de cualquiera de ellas según sus criterios de experto, o tomar como variante definitiva la recomendada por el sistema para su fabricación en el taller.

Esta concepción general del sistema, como se muestra en la figura 8.8, permite que todos los procedimientos de selección, cálculo y toma de decisiones estén interrelacionados en su función con el fin de encontrar de forma rápida y fiable el conjunto de soluciones que satisfagan en la mejor medida las condiciones y restricciones del proceso tecnológico.

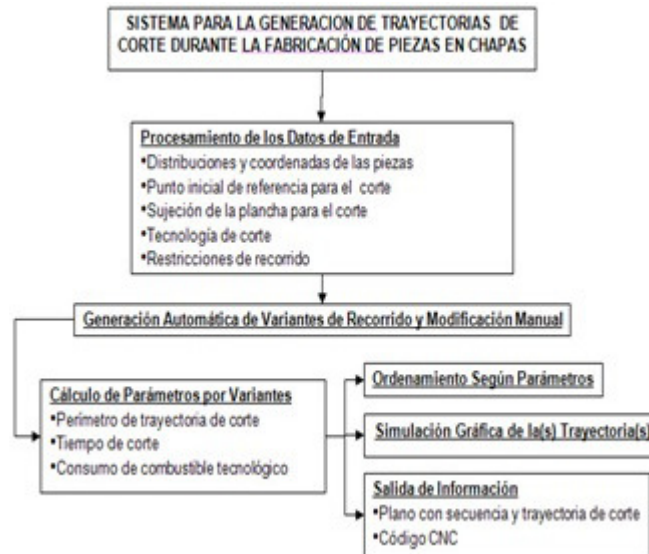


Figura 8.8: Esquema de la concepción general del sistema para la generación de trayectorias de corte durante la fabricación de piezas en chapas.

8.3. Resultados y discusión

Dadas las características de los procedimientos desarrollados, la propuesta de concepción del sistema y las insuficiencias de los sistemas automatizados expuestas anteriormente, se hace necesario establecer una estructura para el desarrollo de un sistema computacional, encargado de automatizar el proceso de generación de la trayectoria de corte, según las condiciones tecnológicas empleadas.

8.3.1. Algoritmo general del sistema para la generación de las trayectorias de corte para la fabricación de piezas en chapas.

El algoritmo general del sistema, como se muestra en la figura 8.9 comienza su tratamiento a través de la entrada de datos, los cuales pueden ser introducidos manualmente y además de fuentes externas, como conjuntos de variantes de distribuciones provenientes de sistemas CAD/CAPP, donde se cumplan con los parámetros tecnológicos propios del proceso y se tengan en cuenta las características de la máquina de corte a emplear. Después de terminada la fase inicial, se selecciona el tratamiento de la chapa para garantizar la estabilidad de la misma durante la fijación en la máquina de corte, para realizar el cálculo y generación de la trayectoria para el corte, siempre se garantiza que el consumo de combustible tecnológico y los tiempos de manufactura sean los menores posibles.

8.3.1.1. Interfaz de operación del sistema. Para el diseño de esta interfaz de trabajo se ha utilizado el editor visual de diálogos OpenDCL Studio 6.0.0.22., el cual es un software libre basado en ObjectDCL y concebido para la creación de interfaces para AutoCAD. Este sistema para la generación de trayectorias para el corte de piezas en chapas ha sido diseñado con el uso del lenguaje de programación AutoLISP, que constituye el lenguaje original de soporte en aplicaciones sobre AutoCAD [19].

La disponibilidad de que el proceso de preparación para la fabricación transcurra en el mismo sistema CAD, crea mejores condiciones para la integración de los datos de diseño con los de la preparación para la manufactura del producto, y permite el uso de un formato común para el tratamiento de la información gráfica. La posibilidad de usar el mismo ambiente de trabajo, facilita la interface de usuario y reduce el tiempo de aprendizaje para la utilización del sistema.

De esta manera, el sistema formará parte de un conjunto de módulos fundamentales de un sistema CAD/CAPP para la distribución y corte de piezas en superficies planas como se muestra en la figura 8.10, los cuales en sus funciones específicas e interrelacionadas garantizarán la generación de soluciones para la fabricación de las piezas en estas superficies [5].



Figura 8.9: Algoritmo general del sistema para el corte de piezas en chapas.



Figura 8.10: Esquema conceptual de un sistema CAD/CAPP para la distribución y corte de piezas en superficies planas.

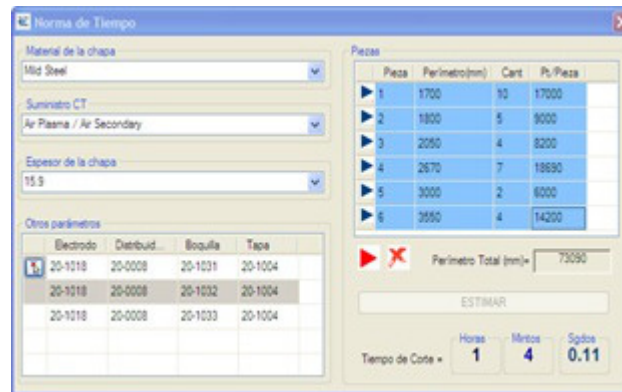


Figura 8.11: Diálogo para realizar el cálculo de la norma de tiempo.

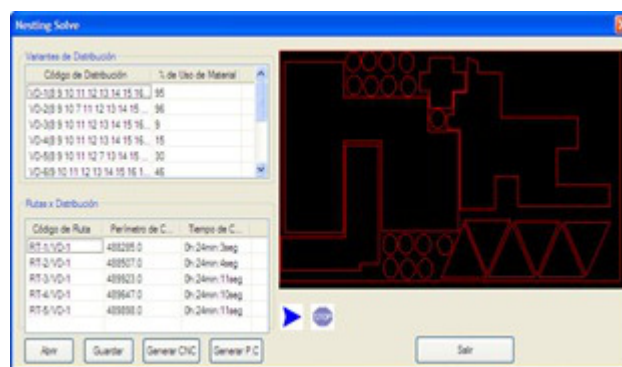


Figura 8.12: Diálogo para visualizar la generación de la trayectoria de corte por cada variante de distribución.

Como se muestra en la figura 8.11, para realizar los cálculos correspondientes a la norma de tiempo, será necesario seleccionar en el cuadro de diálogo representado varios parámetros de primordial utilidad, como el material y espesor de la chapa a cortar, entre otros. Además se proporciona la facilidad de añadir y modificar la cantidad de piezas que serán fabricadas, y obtener el perímetro total de este conjunto a cortar, aunque este dato se toma de manera automática de la variante de distribución en análisis. Posteriormente con los datos seleccionados inicialmente se realiza una estimación exacta del valor del tiempo de manufactura empleado durante el corte, parámetro de gran peso e importancia para la fabricación de piezas en chapas, pues se logra el menor consumo y se garantiza un mejor aprovechamiento.

En el cuadro de diálogo mostrado en la figura 8.12, se representan las diferentes variantes propuestas por el sistema de distribución de piezas en chapas, descritas por el código que las identifica y el valor del por ciento de aprovechamiento de material de la chapa correspondiente a cada una de ellas.

La figura 8.13 muestra un ejemplo del código CNC generado para una variante de corte seleccionada. Este diálogo permite además de la visualización del código, su almacenamiento o salva para ser ejecutado posteriormente y además se cuenta con la acción de ejecutar directamente el código generado para su fabricación en la máquina de corte, esta última variante dependerá de los protocolos de comunicación establecidos con el control numérico de la misma.

En el caso de no contar con la tecnología CNC y el corte se realice de forma convencional, será necesario la generación de los patrones que definan la dirección y orden de los diferentes cortes a realizar por el operador. Ejemplo de este tipo de plano o patrón de corte se muestra en la figura 8.14.

De esta manera se genera la información necesaria para el tecnólogo de taller, que le permitirá la ejecución de los planes de producción establecidos.

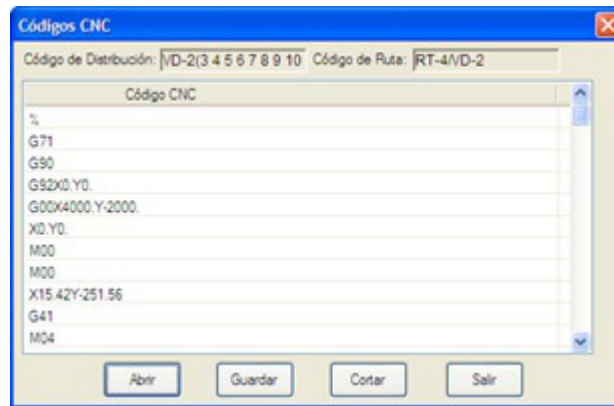


Figura 8.13: Diálogo que representa el código CNC generado.

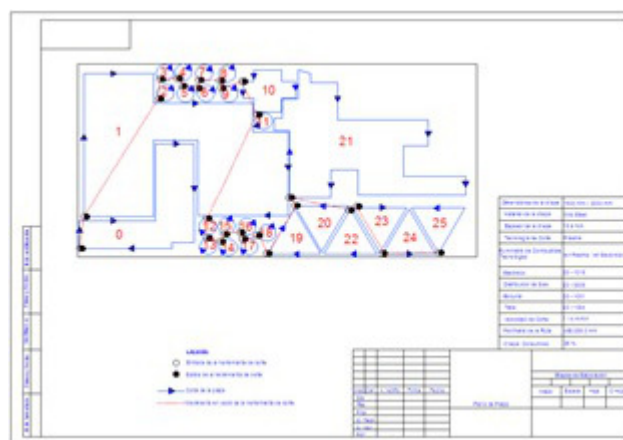


Figura 8.14: Plano o patrón para el corte a partir de distribuciones de piezas en la superficie de una chapa.

8.4. Conclusiones

Luego del análisis, estudio y desarrollo de las diferentes etapas y tareas enmarcadas en la presente investigación, con el fin de la elaboración de un procedimiento para la determinación de la trayectoria de corte mínima que satisfaga las condiciones tecnológicas empleadas durante el corte de piezas en chapas, se pueden definir como conclusiones más significativas las siguientes:

- Con el análisis de la evolución de los sistemas automatizados para la generación de trayectorias de corte y código CNC a partir de la distribución de piezas en superficies planas (Nesting), se determinaron las vías para el perfeccionamiento de las principales insuficiencias presentadas en los mismos, lo que permitió la concepción de un sistema para una mejor solución de la tarea en estudio.
- Se generan trayectorias de la herramienta de corte para la fabricación de piezas en chapas, en las cuales se cumplen con las restricciones tecnológicas del proceso de corte empleado.
- Se implementaron los procedimientos elaborados en un sistema CAD/CAPP para la distribución y corte de piezas en chapas, el cual fue introducido para su uso y explotación en la máquina de corte por plasma Merlin 6000GST.

Referencias

1. Trayectorias de herramientas de corte. Enero 2014 Disponible en: <http://www.ToolingU.com>.
2. MetalMecanica/Articulos/Articulo.asp.METALUNIVERS Marzo 2010. Disponible en: <http://www.interempresas.net>.
3. Adamowicz, M., Albano, A. Nesting two dimensional shapes in rectangular modules. *Computer Aided Design* 8 (1), 27–33. 1976.
4. Baldacci, R., M. A. Boschetti. “A cutting-plane approach for the two-dimensional orthogonal non-guillotine cutting problem”. *European Journal of Operational Research*, Volume 183, Issue 3. 1136-1149, diciembre, 2007.
5. Lastre Aleaga, A. Michel. Optimización de material y ruta de corte durante la distribución y fabricación de piezas irregulares en chapas. Tesis en opción del grado científico de Doctor en Ciencias, CE CAD/CAM, Universidad de Holguín, 2010.
6. Yuping, Z. Shouwei, J. Chunli, Z. A very fast simulated re-annealing algorithm for the leather nesting problem. *Int J Adv Manuf Technol* 25: 1113–1118. 2005.
7. Gomes, A.M., Oliveira, J.F. A 2-exchange heuristic for nesting problems. *European Journal of Operational Research* 141, 359–370. 2002.
8. Laguna M. y Moscato P. ‘Optimización Heurística y Redes Neuronales’, editado por B. A. Díaz, Editorial Paraninfo, Madrid, España, 1996.
9. Arboleda, M. R. Introducción a los grafos. Escuela de Sistemas y Computación de La Universidad del Valle. Septiembre 2008.
10. Rafa, C. Grafos. Matemática Discreta- UCM. Abril 2007.
11. Baran, B. “Comparación de un sistema de colonias de hormigas y una estrategia evolutiva para el problema del ruteo de vehículos con ventanas de tiempo en un contexto multiobjetivo”. Centro Nacional de Computación, Universidad Nacional de Asunción, Uruguay, 2004.
12. Tamborero del Pino, José M^a. NTP 495. Normas de Seguridad en oxicorte y soldadura oxiacetilénica, Centro Nacional de Condiciones de Trabajo INSHT. España, Abril 2008.
13. Códigos y lenguajes utilizados en CNC. Marzo 2014 Disponible en: <http://www.r-luis.xbot.es>.
14. Sistemas para el corte de metales. Enero 2014. Disponible en: <http://www.freedownloadmanager.org/es/downloads/>.
15. Ansuji, P. A. “Concurrent Engineering tools for product and process development”. 13th ISPE/IEE International Conference on CAD/CAM Robotics & Factories of the Future CARS & FOF’97, Colombia, 1997.
16. Ávila Rondón, R. et. al. CAPP, Elemento de Integración entre el CAD y el CAM. CYTED. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. RIBAMEC. Red Iberoamericana de Automatización de los Procesos de Mecanizado. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Del 13 al 16 de Julio de 1998.
17. Arzola Ruiz J., Sistemas Ingenieriles Computarizados. Concepción y Aseguramiento Matemático. Ciudad de la Habana, Cuba, 2001.
18. Arzola, R. J. “Análisis y Síntesis de Sistemas de Ingeniería”. ISBN-978-959-261-299-0, 2010. Disponible en: <http://www.illustrados.com>.
19. Manual de AutoCAD, Referencias de programadores en AutoLISP, AutoDesk; Inc. USA, 2016.

Capítulo 9

EVOLUCIÓN DE LOS TEXTILES INTELIGENTES: REVISIÓN DE LITERATURA

ROSETO E., ROSETO P., PAMBAQUISHPE L., CHAMBA E., Y UMAQUINGA A.

Ingeniería Textil, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas,
Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador,100150.

Resumen: Los géneros textiles han sufrido grandes cambios a una velocidad impresionante, dando como resultado a la aparición de los textiles inteligentes; la primera generación de los textiles inteligentes solamente pueden detectar las condiciones medioambientales o estímulos del mismo, la segunda generación son los textiles que tienen la capacidad de detectar y actuar frente a una determinada situación y los textiles ultra inteligentes son la tercera generación, mismos que pueden detectar, reaccionar y adaptarse a las condiciones y estímulos del medio. Un textil ultra inteligente esencialmente consiste en una unidad, la cual trabaja como cerebro, con capacidad cognitiva, que razona y reacciona, siendo la unión de diferentes áreas de conocimiento para su desarrollo y conocidos como Smart clothes. En el futuro los textiles inteligentes se presentan como la próxima generación de fibras, tejidos y productos que se producirán gracias a sus enormes posibilidades y funcionalidades.

Palabras claves: Evolución textil, textiles inteligentes, smart clothes

9.1. Introducción

Indica [1] que el 50% de los elementos que nos rodean con los cuales tenemos mayor contacto en el día a día son textiles, o por lo menos tienen involucrado un textil en su composición. Aviones, automóviles, oficinas, muebles, camas, baños, decoraciones, entre otros, y por supuesto el multivariado y multipropósito tema del vestuario; son ejemplos claros que nos muestran que los textiles tienen un gran contacto con el ser humano en su vida cotidiana. Los textiles están en constante desarrollo con el fin de obtener de ellos propiedades especiales que les hacen aptos para su aplicación en diferentes campos de la actividad humana e industrial, desde la cirugía, hasta los deportes de competición para mejorar resultados; la vestimenta de los astronautas, facilitarnos mayor confort, la construcción y el acondicionamiento de locales, vencer el frío, olvidarnos del calor, pasando por otros muchos campos en los que se aplican estas innovaciones [2].

Los textiles inteligentes forman parte de un sistema que tiene la capacidad de detectar condiciones del ambiente y sus efectos por medio de la utilización de sensores y de detectores, existen tres componentes que pueden estar presentes en los textiles inteligentes: sensores, actuadores y unidades de control [3], los sensores proporcionan un sistema el cual puede detectar las señales o estímulos exteriores, por lo tanto, en un material inteligente pasivo, sin estos sensores el sustrato o material textil no podría detectar y solo sería una tela común [4]. Los actuadores actúan sobre la señal detectada sea directamente o desde una unidad de control central [6], para ello también deben trabajar conjuntamente con los sensores [7] que es imprescindible en la realización de textil inteligente activo o de segunda generación [3][8]. A niveles complejos, es necesario que a más de sensores y actuadores se necesita una unidad que funcione como el cerebro que tenga las capacidades de cognición, razonamiento y la capacidad de activación[5], además de medios de comunicación hacia otros dispositivos o el usuario [10]. El presente trabajo está estructurado de la siguiente manera: en la sección 9.2 habla sobre la evolución de los textiles inteligentes, la sección 9.3 sobre los componentes de un textil inteligente, finalmente la sección 9.4 las conclusiones y discusión del trabajo.

9.2. Evolución de los textiles inteligentes

Se conoce con este nombre los textiles capaces de alterar su naturaleza en respuesta a la acción de diferentes estímulos externos, físicos o químicos y modifican alguna de sus propiedades [3]. Los tejidos inteligentes son materiales textiles que de alguna manera incorporan capacidades relacionadas con la monitorización mediante el uso de medios físicos o informáticos [4]. En general, la evolución se puede dividir en las siguientes etapas[5]: textiles inteligentes pasivos, textiles activos y textiles ultra inteligentes.

9.2.1. Textiles inteligentes pasivos

En el siglo XIX, nacen los textiles inteligentes con las primeras aplicaciones como telas impermeables, hidrófugas, ignífugas, entre otras. Las más importantes se pueden citar las siguientes[7]:

9.2.1.1. Textiles con protección Ultra Violeta (UV) Comprenden a los tejidos que tienen una capacidad de absorber o reflejar los rayos ultravioletas perjudiciales en términos de retención de calor pasivo por numerosos poros en el producto textil[4], ya sea mediante construcciones de micro-fibras y uso de químicos absorbentes de UV [5]. La protección a los rayos solares dependerá de muchos factores de la prenda que usemos como: tipo de material, título del hilo, tipo de tejeduría, tipo de ligamento, densidad del tejido, color de la tela, entre otros, pues depende la variación entre estos tendremos menor o mayor protección [8].

9.2.1.2. Hilados y tejidos de material compuesto de múltiples capas Los hilos y textiles compuestos de múltiples capas tienen la posibilidad física de lograr la comodidad de uso en función de absorber el sudor liberado de la superficie de la piel humana por una capa absorbente [5].

9.2.1.3. Ropa tratada con plasma La tecnología de plasma permite modificar las propiedades físicas y químicas de la superficie de un material, tales como las fibras textiles, obteniendo así resultados satisfactorios en la adhesión del polímero en el sustrato textil. [6]. Este este tratamiento no genera aguas residuales contaminables al medio ambiente y no necesita procesos de secado y curado para su permanencia en el tejido [7].

9.2.1.4. Recubierto de cerámica en textil Mejora la protección contra intemperies de temperaturas, ya sea calor excesivo o frío extremo, la base de este fluido es una dispersión de una resina acrílica especial en forma de baldosas, un cuerpo de silicio y con micro burbujas de cerámica de los cuales se controla la energía[7]. Produce ventajas como la reducción de condiciones climáticas fuertes, elimina la reflexión de la luz solar y disminuye la tendencia a la suciedad debido a su superficie de recubrimiento duro [5][6].

9.2.2. Textiles inteligentes activos

Los textiles inteligentes de segunda generación o comúnmente conocidos como textiles activos son también parte del avance tecnológico textil pues a diferencia de los textiles pasivos estos no simplemente

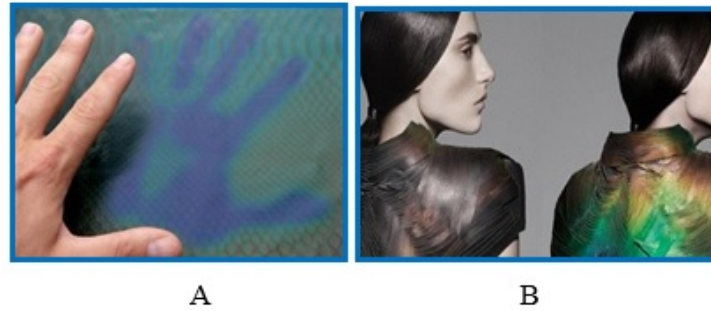


Figura 9.1: Ejemplo de textiles activos termocrómicos que reaccionan con la temperatura corporal (parte A) y con el medio ambiente (parte B).

detectan un estímulo, además de detectar, actúan a los estímulos exteriores o medioambientales al que se somete el textil. Se pueden citar: materiales como:

9.2.2.1. Materiales Crómicos Los materiales cromáticos son aquellos que sufren cambios de color cuando se someten a estímulos externos tales como la luz, el calor, corriente eléctrica, humedad, radiaciones o más estímulos; estos materiales aplicados en la industria textil se los considera de gran ayuda por sus múltiples aplicaciones[5]. Un ejemplo es la modificación del color que nos determinaría a los cambios ambientales que se somete el usuario [3][8]. Se clasifican en: fotocromáticos (sensibles a la luz), Termocrómicos (sensibles al calor) y Solvatocrómicos (sensibles a los líquidos). En la figura (9.1) se muestra ejemplos de textiles termocromáticos que reaccionan con la temperatura corporal (parte A) y con el medio ambiente (parte B).

9.2.2.2. Materiales Luminiscentes A diferencia de los materiales crómicos que cambian de color con estímulos externos, estos emiten luz [3]. Los materiales luminiscentes utilizados en la industria textil de acuerdo a su estímulo son los siguientes: Fotoluminiscencia (estímulo externo es a la luz), Opticoluminiscencia (basado en la conducción de luz), Electroluminiscencia (su estímulo externo es la electricidad)[5]. La figura (9.2) muestra la aplicación de textiles opticoluminiscentes en prendas de vestir.



Figura 9.2: Ejemplo de textiles activos opticoluminiscentes (conducción de luz) a base de fibra óptica.

9.2.3. Textiles ultra inteligentes

Los materiales textiles considerados de tercera generación o ultra inteligentes por su capacidad de procesamiento y toma de decisiones [7]. Sus cuatro componentes principales son: sensores, actuadores, unidad de procesamiento y medio de comunicación [9], estos elementos conjuntamente trabajan para brindar al usuario una función determinada, estas prendas de vestir son conocidas como “Smart cloths” [10]. Los materiales textiles y estructuras utilizados en estos textiles son posibles por una combinación exitosa de la tecnología tradicional textil, mecánica estructural, tecnología de sensores y actuadores,

avanzada tecnología de procesamiento, la comunicación, la inteligencia artificial y la biología [3] [10]. En la figura (9.3) se observa una aplicación de textil inteligente en una chaqueta que monitorea la temperatura del usuario.

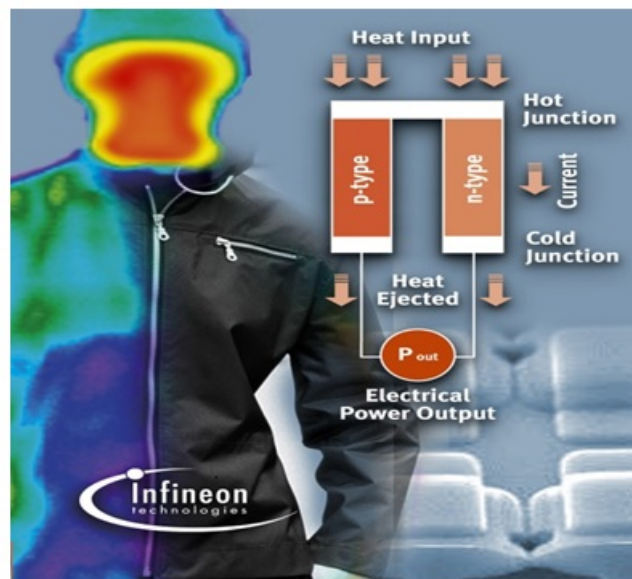


Figura 9.3: Aplicación de textil ultra inteligente para el monitoreo de temperatura del deportista.

Los materiales textiles han tenido un desarrollo tecnológico con un exitoso proceso de innovación [9] [10]. Este proceso consiste en la creación de nuevos materiales textiles en fibras, filamentos, elastómeros, tejidos, entre otras, permitiendo de esta manera la creación de productos textiles inteligentes. Los materiales con mayor aplicación son:

9.2.3.1. Materiales textiles conductores Dentro de los materiales textiles con excelente característica conductora tenemos a las fibras metálicas de acero inoxidable y cobre [9].

9.2.3.2. Fibras electro activas La propiedad conductora de las fibras, se puede encontrar localizada en su interior en forma de núcleo o en la periferia de las fibras en forma de recubrimiento. Las fibras electro activas juegan el mayor rol en el futuro de las textiles inteligentes [11].

9.2.3.3. Fibras ópticas La fibra óptica es uno de los materiales textiles más importantes para el desarrollo de textiles inteligentes [9]. Se puede identificar dos grupos de este tipo de materiales textiles con diversas áreas de aplicación, como son: Las fibras ópticas de vidrio y las fibras de polímero de cristal [11]. Varios tipos de sensores textiles ya se han desarrollado utilizando fibras ópticas basadas en los principios de rejilla o microcurvatura [12].

9.2.3.4. Material de cambio de fase (PCM) Gracias al desarrollo e investigación realizado por la NASA, el cual desarrollaron un proyecto de investigación en los conocidos materiales de cambio de fase, algunos de ellos se los utilizan en sistemas avanzados para controlar y administrar energía calorífica [13]. En los textiles se los utiliza para mantener el microclima cercano a la piel con un rango de temperatura de las diferentes partes del cuerpo [14].

9.2.3.5. Materiales de cambio de forma (SMM) Son capaces de sentir los diferentes cambios físicos como temperatura, acción mecánica, acción magnética o eléctrica [11]. El SMM se caracteriza principalmente por transformar la energía térmica en trabajo mecánico, este tipo de materiales se desarrollaron con aplicaciones en la industria biomédica e ingeniería textil .

9.2.3.6. Nano materiales La nano tecnología ha revolucionado los textiles inteligentes, generando un gran potencial de desarrollo y aplicaciones con la creación de nuevos materiales textiles [6], fibras y

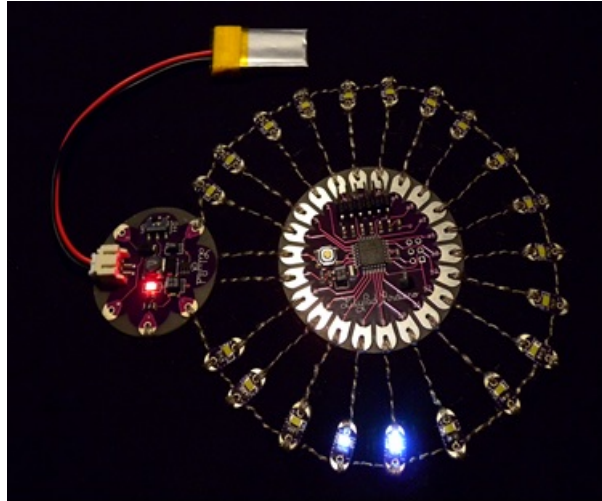


Figura 9.4: Textil ultra inteligente Arduino Lylipad en una aplicación en un tejido para monitoro de variables ambientes y de la persona con entradas, procesador, actuadores y medio de comunicación.

acabados. La innovación de la nano tecnología se presenta en la industria textil en el desarrollo de nuevos polímeros (nano fibras), incorporación de nanotubos de carbono, nano revestimientos antimicrobianos, entre otros [16]. Para los textiles inteligentes han sido la base esencial para la creación de redes de sensores incorporados en el material textil, para la detección, actuación, control y transmisión de datos de forma inalámbrica, permitiendo una interacción entre el usuario y el entorno mediante un monitoreo inofensivo con información actualizada. Los nano textiles presentan numerosas aplicaciones como la salud, deportes, aplicaciones militares y moda [16]. Los materiales incorporados con más frecuencia son la plata, dióxido de silicio, dióxido de titanio, óxido de zinc, óxido de aluminio, nano arcilla (montmorillo-nite), nano tubos de carbono, negro de carbono [17][17].

9.3. Componentes de los textiles ultra inteligentes

El avance tecnológico permite la integración de un Sistema inteligente dentro de un textil, sus componentes hacen relación a un sistema embebido que tiene entradas, salidas, sistemas de procesamiento y un medio de comunicación. En la figura 9.4 se muestra el sistema electrónico Lylipad de Arduino que tiene un procesador, entradas para insertar sensores, medio de comunicación y salidas para actuadores [7].

9.3.0.1. Componentes de procesamiento de datos La gestión de datos implica de memoria, tecnología computacional y procesamiento de datos. Los componentes electrónicos se han podido acoplar a las diferentes estructuras textiles, logrando grandes diseños funcionales de textiles electrónicos. La integración de los diferentes elementos electrónicos ha sido posible gracias a la miniaturización de estos componentes y al desarrollo de sustratos textiles con capacidad conductora [7][16]. La evolución está en el desarrollo de electrónica a base de fibras y los diferentes sustratos textiles [15]. En la literatura se encuentra investigaciones que apuntan a la creación de transistores a base de fibras textiles [17][18].

9.3.0.2. Entradas [12] indica que los impresionantes logros en la actualidad de los textiles inteligentes son por la utilización de los sensores, utilizando materiales con capacidad conductora, los cuales pueden ser fibras ópticas, nano-fibras con nanotubos de carbono, y fibras con partículas conductoras, entre otras. Para que las estructuras textiles inteligentes se consideren como sensores es necesario tomar en cuenta los mecanismos: conductividad del material, su sensibilidad al material, resistencia de contacto, número de contactos entre hilos y fibras y las características técnicas del tejido [7]. La ropa es uno de los mecanismos o sistemas capaces de proporcionar la mejor plataforma de información del cuerpo humano, esto se logra, ya que los sensores se pueden concentrar en el espacio cercano al cuerpo y ser capaz de actuar como una interfaz entre el usuario y un sistema de información electrónico. Esto se logra mediante la conversión humana fisiológica y ambiental dentro o alrededor del cuerpo humano, u otro tipo de señales que los

sensores sean capaces de receptar y convertirlas en señales eléctricas medibles [19]. Podemos encontrar diferentes tipos de sensores como son sensores de contacto o sin contacto, sensores absolutos o relativos, sensores activos o pasivos, pero la clasificación más útil se basa en el principio de detección en: capacitivos, inductivos, piezoeléctricos, ópticos, química y bioquímica y piezorresistivos [19].

9.3.0.3. Actuadores Los actuadores son sistemas que pretenden responder a una señal que ha sido procesada e interpretada por un componente de procesamiento de datos que por lo general es eléctrica, de manera consistente, rápida y eficiente en cuanto a consumo y administración de energía [18]. Los actuadores son capaces de reaccionar de diferente manera, son capaces de transformar la energía térmica en movimiento, liberando sustancias, emitir ruido, entre muchos más [19][20]. Los actuadores más conocidos son: fibra óptica, eléctricos, térmicos, mecánicos y químicos.

9.3.0.4. Componentes de Comunicación La comunicación es muy importantes en los textiles inteligentes ya que la información obtenida debe contar con una interacción con el usuario, todos los componentes activos tanto sensores como actuadores todos los elementos de información deben estar conectados e indicar sus estados para conocer su funcionamiento[20]. Una comunicación del textil con el usuario se debe contar con una interfaz entre el sistema y la persona que recoge los datos [19].

La comunicación en un textil inteligente se refiere a las redes de información y transferencia de energía entre los componentes de la ropa inteligente [4]. Se diferencian dos sistemas de comunicación a base de textiles, aquellos sistemas de corto alcance y comunicación de largo alcance, cada una con sus características y aplicaciones. La comunicación de corto alcance dentro de los textiles inteligentes se puede presentar de forma inalámbrica por medio de infrarrojo o bluetooth o por medio de cableados incorporados en la estructura textil. Con este tipo de comunicación se han diseñado ropa inteligente para monitorear los signos vitales durante el combate personal, con el objetivo de detectar heridas de bala, y así poder transmitir la información sobre el lugar de la penetración de la misma [4]. Es usado también en ropa elegante, para monitorizar en tiempo real los signos vitales de pacientes ayudando a estimar la situación de las enfermedades. Las comunicaciones de largo alcance emplean tecnología inalámbrica permitiendo una comunicación de gran superficie, esta tecnología permite la trasferencia de datos, tales como audio, fotos, videos, entre otros. La tecnología empleada es el sistema Global para comunicaciones móviles (GSM), la tecnología de tercera generación (3G) [10], así como también la incorporación de GPS. Esto permite la interacción del usuario con los teléfonos inteligentes o las computadoras portátiles [18].

9.3.0.5. Componentes de Energía suplementaria Cuando se trabaja con textiles inteligentes de tercera generación, uno de los componentes necesarios es el suministro de energía [20] que permita polarizar todos los compentes antes descritos y puedan funcionar adecuadamente. Para el almacenamiento de energía, se emplea baterías electroquímicas y pilas basadas en la capacitancia, las cuales están actualmente en uso[4]. La característica de estas baterías es que la densidad de almacenamiento es limitada, por lo que son de gran volumen o de significativa superficie y de comodidad limitada [18].

9.4. Conclusiones y discusiones

Los textiles inteligentes han ido evolucionando a medida del avance tecnológico y la necesidad de cubrir las nuevas demandas de la sociedad en las distintas áreas tales como la medicina e industrias de cualquier índole incluida la textil. Además, la tecnología y su relación con el textil no solo ha ayudado a los procesos textiles, sino a sus productos terminados y aplicaciones. Nuestra vida cotidiana en los próximos años, se regulará significativamente por dispositivos inteligentes y muchos de ellos estarán integrados en prendas o distintos sustratos textiles, esto nos lleva a pensar que la industria textil en un futuro cercano, sólo podrá mantenerse con una estrategia de generación de moda, innovación, diferenciación y de alto valor agregado, que le permita acceder a los nichos de alto poder adquisitivo. El uso de sensores, actuadores y batería cada vez deben ser de menor tamaño para evitar la incomodidad de la prenda y sea cada vez más portable.

Referencias

1. P. Cafavid, "Textiles Inteligentes. Efecto funcionales en los acabados textiles," *Acoltex*, p.11-16 (2008)

2. A. Roldán, "Textiles Inteligentes," *ACTA*, p.69-77 (2010)
3. D. López, "Desarrollo y caracterización de hilos para la fabricación de tejidos técnicos, Fundación Cotec sobre oportunidades tecnológicas. p.69-77 (2014)
4. G. Cho, "Smart Clothing, Technology and Applications, United States of America: Taylor and Francis Group," *LLC*, (2010)
5. M. K. Singh, "The state of art Smart Textiles," *Pakistan Textile Journal*, (2004)
6. C. Labay, "TREATMENT OF TEXTILE SURFACES BY PLASMA TECHNOLOGY FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS," (2014)
7. J. F. Vilaplana y S. G. Cabanes, 'APPLICATION OF THE PLASMAPOLIMERIZATION,,'" *3C tecnología*, (2014)
8. C. Colchester, "Textiles para el siglo XXI, estudio global de Textiles today," *Art Blume*, p. 7-13 (2008).
9. A. S. Lieva Van Langenhove, "Smart Textiles: An Overview, de Intelligent Textiles and Clothing for Ballistic and NBC Protection: Thechnology at the Cutting Edge, Split," *Springer*, p. 121 (2012).
10. X. Tao, "Smart fibres, fabrics and clothing, Cambridge England," *Art Bume*, p. 28 (2001).
11. X. Tao, "Smart technology for textiles and clothing—introduction and overview," *fibres, fabrics and clothing: fundamentals and applications* , p. 2-3 (2001).
12. M. Rothmaier, M. P. Luong y F. Clemens, "Textile Pressure Sensor Made of Flexible Plastic Optical Fibers," *Sensors* , (2008).
13. P. J. Guillén, "Nuevos desarrollos en fibras químicas, Terrassa," *Universidad Politécnica de Catalunya* (2000).
14. B. Sweden, "literatura y una vision conjunta de textiles inteligentes (literature e over view of smart textiles)," *Universidad de Boras Swedish School of textiles* (2010).
15. Shirley Coye, "Nano textiles inteligentes (Smart Nanotextiles)," *University of Wollongong* p. 4 (2007).
16. Umwelt Bundes Amt, "Uso de nano materiles en textiles," *FACT SHEET NANO PRODUCTS* p. 3 (2013).
17. L. V. Langenhove, "Smart Textiles: Past, Present, and Future," *Handbook of smart textiles* p. 1038-1039 (2015).
18. T. K. Ghosh, "Textile Sensors, de Manual de textiles inteligentes," *Handbook of smart textiles* p. 358-375 (2015).
19. Z. Z. Wei Ch, "Flexible Actuators," *Handbook of smart textiles* p. 382- 409. (2015).
20. Paul Kiekens, "SMART CLOTHING: A NEW LIFE (Ropa Intelihente: una nueva vida," *International Journal of Clothing Science and Technology* p. (2004).

Capítulo 10

ESTUDIO DESCRIPTIVO SOBRE HERRAMIENTAS DE DISPOSITIVOS EYE-TRACKING.

ÁLVAREZ D.¹, GÓMEZ D.¹ Y PELUFFO D.²

¹Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

²Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra, Ecuador.

Resumen: En la actualidad, el desarrollo de dispositivos basados en el seguimiento de mirada (Eye-tracking), ha experimentado una gran acogida en diversos campos, tanto de investigación como de aplicación, muestra de ello es el crecimiento en la realización de estudios investigativos en áreas como la medicina, la educación, el marketing, entre otras. En este documento, se elabora una reseña descriptiva sobre el desarrollo y aplicación que los dispositivos eye tracking han experimentado recientemente, basada en la revisión de artículos de investigación y webs especializadas que tratan el tema.

Palabras Claves: Eye-tracking, marketing, Educación, medicina, investigación.

10.1. Introducción

A través de la historia, el hombre ha visto la necesidad de desarrollar herramientas que contribuyan con el conocimiento de su propia mente; pero solo a partir de la mitad del siglo XX se ha logrado realizar mediciones sobre las funciones fisiológicas y cognitivas mediante procesos de percepción visual gracias a la evolución de la tecnología [1],[2]. Una de las herramientas que ha permitido conocer cómo trabaja el sistema visual y cómo el cerebro responde a sus estímulos, ha sido el seguidor ocular. Diversidad de campos como el mercadeo, la medicina, la educación, videojuegos, páginas web, entre otros [1], han buscado la manera de incluir sus contenidos de tal forma que sean atractivos y útiles para el consumidor. Es allí, donde se incluye el análisis de procesos visuales; requiriendo el uso de dispositivos, capaces de capturar datos sobre dichos procesos, para esa tarea se hace necesaria la inclusión del seguimiento ocular o eye-tracking.

Debido a la variedad de campos, que puede abarcar el eye-tracking, han sido varios los desarrolladores que han elaborado dispositivos para tal fin, gracias a esto se ha llevado el uso de esta técnica a numerosos estudios [2].

El eye-tracking, se considera como una solución tecnológica que pretende extraer información del usuario a través de sus movimientos oculares; se define como el conjunto de herramientas que, permiten monitorear y registrar la forma en la que una persona mira una determinada imagen, el tiempo y la secuencia de su investigación visual [2]. Existe un sin número de técnicas de aplicación de eye-tracking; éstas, a su vez cuentan con una variedad de disciplinas en las cuales pueden aplicarse como lo son: el estudio de marketing y publicidad, la investigación en la medicina y la psicolingüística entre otras [1],[2].

En las siguientes páginas; se presenta información acerca de documentos investigativos, que han tenido lugar en los últimos años y abordan el tema de eye-tracking, tanto como método para estudios de investigación, así como para el desarrollo de la tecnología misma; esto se hace mediante una revisión de artículos de investigación y webs especializadas en el tema. Para tratar la información de manera organizada; se hace necesario separarla según las aplicaciones que tenga en un área determinada, así se dividirá en:

A Marketing.

B Educación.

C Eye-trackers.

D Ciencia y Medicina.

Todo esto, con el fin de elaborar un documento que permita resaltar las capacidades de esta tecnología; además de hacer referencia a algunos dispositivos, qué dado su costo abren las puertas para futuros trabajos investigativos de bajo presupuesto.

10.2. Descripción de herramientas de eye-tracking

El auge alcanzado por la tecnología eye-tracking en los últimos años y la accesibilidad a los dispositivos que la soportan, han impulsado su investigación en distintos niveles y áreas del conocimiento; cada trabajo investigativo aporta información acerca del avance de esta tecnología, a continuación, se presentan los aportes que algunos trabajos han realizado, separados por área de investigación o aplicación.

A Marketing

Estudios realizados en el laboratorio de Neurociencias Integrativas y en el Laboratorio de Psicología Cognitiva de Potsdam; han determinado qué, el modo en que se mueven los ojos de una persona, cuando desarrolla una actividad [3], permiten obtener información importante, que se convierte en un gran indicador para saber en qué fija su mirada una persona, al observar una escena o imagen. Esto abre un campo importante en aplicaciones de marketing; pues el ojo se postula como el mejor candidato, cuando se quiere medir cambios atencionales y analizar, cuánto tiempo nos detenemos a procesar una imagen [3], de esta manera; se han realizado estudios que permiten obtener información del consumidor, en cuanto a sus preferencias de marca, etiqueta, segmentación, decisiones de promoción y precio [4].

Resultados en algunas áreas de estudio, como en el comercio de productos alimenticios; muestran que la gente, no presta atención a las etiquetas nutricionales de los productos, debido a su ubicación, lo cual hace que se consuma alimentos de manera que pueda afectar su salud a nivel físico y psicológico [5], [6]; con esta información, se realizan cambios en posiciones de etiqueta, tamaños de fuente y colores de fondo que no afecten la percepción del consumidor [7].

Otra área, donde se han desarrollado estudios con eye-tracking, es el marketing digital, por ejemplo, las industrias hoteleras; buscan examinar las preferencias de los clientes en sitios web, donde la publicidad debe captar la atención del usuario; para ello se debe analizar el fondo, el color y el estilo de escritura que debe tener cierto sitio web; para que los contenidos multimedia, puedan llamar más la atención del cliente [8]-[10].

Asher, muestra una comparación entre herramientas similares a las de eye-tracking, dando como resultado qué el movimiento de los ojos, es cien por ciento fiable, al momento de evaluar la percepción de un individuo; cuando está mirando una imagen, que es motivo de estudio, sin embargo, el eye-tracking es capaz de determinar qué se está mirando, pero no en qué se está fijando. Por esta razón, se propone la integración de esta técnica con otros sistemas de medición neuronales, que permitan contrastar la información obtenida a partir del eye-tracking [11]-[13].

B Educación

En los últimos años, se observa cómo la tecnología, ha tenido una fuerte influencia en la educación; de esta manera, se puede encontrar que con el uso de la herramienta eye tracking, existen varios métodos, que se consiguen aplicar a la hora de evaluar diferentes aspectos; que influyen en la forma como se da el aprendizaje en las personas, por ejemplo, en un estudio empírico [14], realizado a niños de 7 a 11 años; se pudo determinar, que los contenidos de multimedia que incluyan textos e imágenes, son más fáciles de asimilar, por ello un método recomendable para un mejor aprendizaje, es qué, en el diseño de contenidos multimedia, las imágenes que se incluyan, vayan acompañadas de una explicación de la misma.

Por otro lado, también es posible determinar cómo los estudiantes de mejor rendimiento; realizan una observación más detenida y ordenada de un determinado tema, de esta forma se facilita su aprendizaje y el desempeño en la solución de problemas frente a una situación. En cuanto a los estudiantes de bajo rendimiento, realizan observaciones superficiales, en otras palabras, no siguen un orden ni le dan importancia a lo que se les plantea; de ahí las dificultades que muestran en el desempeño de una situación, pues no razonan ni actúan de manera adecuada [15].

El eye-tracking, es además una herramienta muy útil; pues permite comprobar qué factores, influyen en las personas para que muestren mayor interés por cierto tema, es así como su aplicación; contribuye a saber si una persona realiza una lectura verdaderamente o simplemente pasa la vista, esto regularmente sucede, cuando, en la lectura se presentan palabras difíciles de entender y un método que ayuda a solventar estas dificultades; es poner el significado de dichas palabras, pues así al lector se le facilitara su comprensión [16].

En el caso donde el aprendizaje se realiza de manera virtual, el uso de eye tracking, ha contribuido a estipular como en las páginas web; donde se plantea mucha información y se incluyen demasiados elementos, el estudiante se siente aturdido y de esta manera se le dificulta su enseñanza, caso contrario ocurre, cuando la información es clara y las imágenes reflejan los conceptos planteados, pues es así, cómo se asimila mejor la información y se adquieren mejor y más fácil los conocimientos [17].

C Eye-trackers

El eye-tracking, es una herramienta capaz de realizar una evaluación objetiva de usabilidad, esta tecnología recibe cada vez más atención dada su utilidad [2], lamentablemente, debido a los costos elevados de la gran mayoría de dispositivos utilizados en investigación y aplicaciones, su uso ha sido restringido [18]. Actualmente, gracias al desarrollo de componentes más baratos; se ha incrementado el interés en la utilización de dispositivos de bajo coste, que permiten incluir la interacción persona-ordenador con la mirada [2], [18], [19]. Una de las áreas que despierta gran atención, es la comparación de dispositivos que tienen altas prestaciones y costos elevados con dispositivos de características reducidas que los hacen más económicos, en [20], se presenta una comparación de un dispositivo comercial de alta gama, el SMI RED 250, con un dispositivo de los más económicos del mercado, el Eye Tribe, mediante varias configuraciones donde se comparan: exactitud, precisión, frecuencia de muestreo y software. Se determina que aunque el Eye Tribe tiene potencial equiparable al dispositivo de alto costo, su baja capacidad de su software para calibrar, registrar y procesar datos disminuye su utilidad.

Otra muestra de comparación, es la que presentan Janthanasub y Meesad [18]; donde se compara un dispositivo DIY (Do It Yourself), que es implementado en una aplicación para personas con discapacidad, con dispositivos de bajo costo en el mercado como el Eye Tribe y gazePoints's GP3. Se concluye que el rendimiento del dispositivo DIY, es el menor de los tres, aun así, el costo de su elaboración es mucho más bajo, que el precio de los dispositivos dedicados de bajo coste.

A medida que los dispositivos de eye-tracking de bajo costo se popularizan, sus capacidades son puestas a prueba, es el caso de [21]; que mediante un análisis empírico de características y especificaciones técnicas, determina que tobii eyeX, tiene potencial para ser usado en aplicaciones de consumo y otras, gracias a la precisión y exactitud de algunas medidas, sin embargo, debido a su baja frecuencia de muestreo, menor a 55 Hz carece de potencial para investigar movimientos rápidos de la mirada. Pero la investigación sobre estos seguidores oculares económicos, no se limita a su hardware y es así, que en [22], se presenta un software de código abierto, con un mejor algoritmo de seguimiento de pupil; que permite al usuario adquirir y analizar los datos de un eye-tracker móvil, además de permitir reemplazar los algoritmos incluidos, con prototipos del usuario en varios dispositivos de eye-tracking móviles; se plantea a futuro un modelado 3d del ojo, soporte para una estimación de la mirada remota, más métodos de calibración y adición de soporte para otros dispositivos.

Gracias a la inclusión de cámaras de alta resolución en dispositivos móviles, el eye-tracking, se plantea como una gran alternativa a otros métodos de entrada en ese tipo de dispositivos, así en [23], se propone la inclusión de un algoritmo para la detección de mirada, en un dispositivo con sistema operativo android y en [24], un sistema de seguimiento ocular, como forma alternativa de interacción con un smartphone; el cual se realiza, mediante un programa que lleva los datos tomados por la cámara del smartphone, a ser procesados por un ordenador, en ambos casos los resultados no son los mejores, pero sientan un precedente acerca del estado de investigación en el área.

D Ciencia y Medicina

Como bien es sabido, el eye-tracking es una herramienta; que permite extraer información de un usuario, mediante el análisis de movimientos oculares, pues bien, en el campo de la medicina, existe la necesidad de explorar qué tan viable puede ser la inclusión del mismo, dado que este tendría una gran contribución, en el diagnóstico de pacientes con discapacidad, depresión y se podría aplicar en la ciencia cognitiva [25]. Es importante tener en cuenta, que para el desarrollo de este tipo de ideas, se debe analizar e investigar, la factibilidad que existe en la interacción que se da, entre humano-computador en ambientes de cuidado, para la evolución del uso e implementación de nuevos elementos.

Existen otros casos, como es el de niños con autismo; en donde es importante, medir el nivel de atención prestado por ellos, a un determinado contenido, es por ello que el eye tracking, permite que mediante el nivel de parpadeo, se establezca a qué tipo de contenidos o expresiones, ellos enfocan más su atención; otro descubrimiento realizado mediante la utilización de esta herramienta, es que cuando una persona habla con un niño autista, el punto de observación para él, es la boca, mas no se fija en los ojos y expresiones del rostro de quien le está hablando [26], ésto se relaciona con el problema para el reconocimiento de expresiones faciales, gracias a estos hallazgos, es posible determinar las causa de dicho padecimiento y de su desarrollo, así como de la realización de nuevas técnicas que permitan que el niño (a) autista, pueda mejorar sus relaciones a nivel emocional, social así como el buen desarrollo del aprendizaje.

El interés de algunos investigadores por contribuir, con el estudio de pacientes con discapacidad motriz, relacionada con ciertas enfermedades, que afectan la movilidad de extremidades y pueden llegar hasta la parálisis total del cuerpo, ha llevado a la exploración de tecnología basada en señales electro-oculares [27]. Una de las enfermedades degenerativas, es la esclerosis múltiple lateral amiotrófica [28]; que afecta a las neuronas motoras, encargadas de controlar los movimientos voluntarios, debido a ello, los pacientes pierden la movilidad total de su cuerpo, quedando en un estado vegetativo y perdiendo la comunicación con su entorno. Por esta razón el uso de eye-tracking, ayuda a la comunicación del paciente, para mejorar la calidad de vida de él y de su familia.

Existen también enfermedades como el Guillain Barré; que ataca el sistema nervioso de manera progresiva, produciendo debilidad y sensación de cosquilleo en las extremidades [29]. En este caso el desarrollo de un sistema, que permita mejorar la comunicación, mediante el movimiento de los ojos en pacientes con este tipo de enfermedades, que además, cuente con una interface con mensajes predeterminados y un teclado, mejora significativamente, la manera de interpretar por terceros, cuáles son las necesidades de dicho paciente, así como la satisfacción de las mismas.

10.3. Conclusiones

En general, la mayor parte de contenido encontrado en la revisión de la literatura, se refería al uso de dispositivos eye tracking en marketing y medicina. En marketing, el estudio del mercado, siempre indaga sobre las preferencias del consumidor, lo cual permite generar estrategias que influyen directamente, sobre el factor económico de un producto o servicio; de esta manera el eye-tracking, es un medidor potencial de información de cliente.

Por otra parte, en la salud, el estudio de enfermedades, la rehabilitación y la ayuda para mejorar la calidad de vida en pacientes con discapacidad motriz, fueron la principal razón en el uso de del eye-tracking, por lo tanto, esta tecnología, debería ser de un costo alcanzable para pacientes de bajos recursos.

En la educación, deberían emplearse más estudios con este dispositivo; para detectar a temprana etapa, problemas de falta de atención en los estudiantes.

La revisión de herramientas de eye-tracking, brinda una fuente importante de conocimiento, para realizar trabajos futuros de investigación, enfocados a un determinado tema en específico; ya que es bastante el campo de aplicabilidad de este dispositivo.

10.4. Comentarios finales y trabajo futuro

- A lo largo de la revisión de la literatura, se observa que en muchos casos los dispositivos usados o su software, no fueron suficientes para satisfacer los objetivos propuestos.
- A pesar del desarrollo que esta tecnología ha obtenido, algunos autores aún no reconocen el potencial del eye-tracking, para la interacción persona-ordenador.
- Aunque el nivel de desarrollo del eye-tracking está actualmente bastante avanzado, no es suficiente para poder ser incluido en campos, donde las aplicaciones requieren un grado muy alto de precisión y exactitud.
- Continuamente son más los dispositivos de bajo costo que llegan al mercado; por lo cual, la tecnología se vuelve cada vez más asequible, fomentando el uso y la investigación sobre este tipo de dispositivos y de sus aplicaciones.
- Se plantea como trabajo futuro, una investigación acerca de la literatura, relacionada con dispositivos de eye-tracking de bajo costo; para conocer acerca de las características, tanto a nivel de hardware como de software, que permitan conocer el comportamiento de los dispositivos, sus ventajas, desventajas y así posteriormente adquirir el dispositivo de bajo coste, que presente las características más favorables; para realizar una comparación de software de código libre compatible con el dispositivo.

Referencias

1. J. Romano B. y A. J. Schall, *Eye tracking in user experience design*, Morgan Kaufmann, 2014.
2. Y. Hassan Montero y V. Herrero Solana, “Eye-Tracking en Interacción Persona-Ordenador,” *no solo usabilidad*, N°6, 2007.
3. N. O. Fernández, G. Fernández y M. Litterio, “Movimientos Oculares y Marketing: un acercamiento al procesamiento de la información.” de EDUCA XXIV-2010, Buenos Aires, 2010.
4. R. de Oliveira Joaquim dos Santos, C. d. O. J. H., B. R. Jessica y J. de Moura E. G., “Eye Tracking in Neuromarketing: A Research Agenda for Marketing Studies,” *International Journal of Psychological Studies*, vol. 7, n° 1, pp. 32-42, 2015.
5. D. Alzate C., M. Castrillón T. y C. P. Henry, “Las etiquetas nutricionales: una mirada desde el consumidor,” *En Contexto*, n° 03, pp. 121-140, 2015.
6. K. Gidlöf, A. Wallin, R. Dewhurst y K. Holmqvist, “Using eye-tracking to trace a cognitive process: Gaze behavior during decision making in a natural environment,” *Journal of Eye Movement Research*, vol. 6, pp. 1-14, 2013.
7. S. Bogomolova, H. Oppewal, J. Cohen y J. Yao, “An eye-tracking investigation of the price label layout effect on visual attention and choice,” *Asia-Pacific Advances in consumer Research*, vol. 11, p. 104, 2015.
8. S. K. A. Robson y N. Breffni, “Show Me What You See, Tell Me What You Think: Using Eye Tracking for Hospitality Research,” *Cornell Hospitality Report*, vol. 14, n° 17, 2014.
9. N. López S., “Ensayo sobre la estructuración de los contenidos escritos en portales de empresas que tengan naturaleza pública. Caso epm.com.co,” Trabajo fin de grado, Facultad de Ciencias Sociales y Educación, Corporación Universitaria Lasallista, Caldas, 2014.
10. M. Borys, “Eye tracking in marketing research: a review of recent available literature,” *de human capital without borders: Knowledge and learning for Quality of life*, Portoroz, 2014.
11. J. Asher, “Comparing eye-tracking to 2 cheaper challengers,” *Quirk’s media*, 3 2014. [En línea]. Available: <http://www.quirks.com/articles/comparing-eye-tracking-to-2-cheaper-challengers>. [Último acceso: 8 de Noviembre 2016].
12. J. C. Rojas L., “Contribución a la evaluación emocional en el diseño de productos mediante la integración de tecnologías de seguimiento de la mirada (eyetracking), diferenciales semánticos y potenciales evocados (erps).,” Tesis doctoral, Diseño, Fabricación y Gestión de Proyectos Industriales, Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, Valencia, 2016.
13. F. Gutiérrez Cl., “Desarrollo de una aplicación para la detección de fatiga mediante técnicas de eye tracking.” Trabajo fin de grado, Escuela superior de informática, Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real, 2015.

14. Ó. Navarro M., A. I. Molina y M. Lacruz A., "Utilización de eye tracking para evaluar el uso de información verbal en materiales multimedia," *Píxel-Bit. Revista de Medios y Educación*, n° 48, pp. 51-66, 2016.
15. M. Sajka y R. Rosiek, "Solving a problem by students with different mathematical abilities : A comparative study using eye-tracking," de CERME 9 - Ninth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education, Prague, 2015.
16. d. C. A. Bibiana, D. Karatzas y O. Ramos T., "Eye Tracking for On-Screen Reading," Universidad autónoma de Barcelona, 2011.
17. A. Ramírez V., "Eye-tracking: una técnica de seguimiento de la mirada utilizada en la validación de unidades de aprendizaje," de XIII Encuentro Internacional Virtual Educa Panamá, Panamá, 2012.
18. V. Janthanasub y P. Meesad, "Evaluation of a Low-cost Eye Tracking System for Computer Input," *KMUTNB: International Journal of Applied Science and Technology*, vol. 8, n° 3, pp. 185-196, 2015.
19. S. Satish Wankhede, S. A. Chhabria y R. V. Dharaskar, "Controlling mouse cursor using eye movement," de Special Issue for National Conference On Recent Advances in Technology and Management for Integrated Growth 2013 (RATMIG 2013), Nagpur, 2013.
20. K. Ooms, L. Dupont, L. Lapon y S. Popelka, "Accuracy and precision of fixation locations recorded with the low-cost Eye Tribe tracker in different experimental set - ups," *Journal of Eye Movement Research* , vol. 8, n° 1, pp. 1-24, 2015.
21. A. Gibaldi, M. Vanegas, P. J. Bex y G. Maiello, "Evaluation of the Tobii EyeX Eye tracking controller and Matlab toolkit for research," *Behavior Research Methods*, 2016.
22. T. Santini, W. Fuhl, T. Kübler y E. Kasneci, "EyeRec: An Open-source Data Acquisition Software for Head-mounted Eye-tracking," *Proceedings of the 11th Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications* , vol. 3, pp. 384-389, 2016.
23. I. Karkanis, "Exploring Eye Tracking Techniques On Smartphones," Thesis, Uppsala University Publications, Uppsala, 2015.
24. T. Moreno M., "Diseño, implementación y validación de un sistema de control para smartphone basado en la tecnología de gaze-tracking," Universidad Autónoma de Madrid , 2013.
25. A. Klausen, R. Röhrig y L. Myriam, "Feasibility of Eyetracking in Critical Care," de *Exploring Complexity in Health: An Interdisciplinary Systems Approach*, 2016, pp. 604-608.
26. L. Yi, Y. Fan, P. Quinn, C. Feng, D. Huang, J. Li, G. Mao y K. Lee, "Abnormality in face scanning by children with autism spectrum disorder is limited to the eye region: Evidence from multi-method analyses of eye tracking data," *Journal of Vision*, vol. 13, n° 10, pp. 1-13, 2013.
27. X. G. Méndez Brito, "Diseño y construcción de un sistema de control del cursor de un computador mediante señales electro-oculográficas para personas con discapacidad motriz," Universidad politécnica Salesiana, Cuenca, 2013.
28. NINDS, "National Institute of Neurological Disorders and Stroke," Junio 2002. [En línea]. Available: https://espanol.ninds.nih.gov/trastornos/esclerosis_lateral_amiotrofica.htm. [Último acceso: 9 Noviembre 2016].
29. J. C. Polo Castro, Sistema de visión artificial basado en la detección de los movimientos del ojo, para mejorar la atención de los pacientes con síndrome de Guillain Barré, Chiclayo: Trabajo fin de grado, Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2015.

Capítulo 11

MUNDOS VIRTUALES EN ENTORNOS NO-LÚDICOS APLICADOS A LA AUTOMOCIÓN

ECHEVERRÍA R.¹ Y ROSERO R.²

¹Ingeniería en Ciencias Computacionales, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.

²Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.

Resumen: Los Mundos Virtuales son universos diseñados y desarrollados informáticamente; en el momento del máximo apogeo de estos entornos, surgieron varios tipos de Mundos Virtuales, unos con mayor o menor aceptación, siendo empleados no sólo para cuestiones de ocio o entretenimiento, sino también para fomentar y mejorar la experiencia en entornos como los educativos, capacitaciones y entrenamiento. Uno de los campos menos explotados es la utilización de escenarios de Realidad Virtual y Realidad Aumentada en el desarrollo de Mundos Virtuales para el entrenamiento en la reparación y el mantenimiento de vehículos, siendo un área importante de investigación y aplicación. La presente investigación realiza una revisión bibliográfica de los Mundos Virtuales, sus características y su campo de aplicación, proponiendo principalmente su utilización en el área de la automoción.

Palabras Claves: Mundos Virtuales, Realidad Virtual, Realidad Aumentada, Mantenimiento de Vehículos, Educación.

11.1. Introducción

Un Mundo Virtual (MV) es un entorno o un espacio de dos o tres dimensiones desarrollado mediante una computadora, que simula al mundo real y en el cual; los usuarios pueden comunicarse e interactuar mediante un personaje llamado avatar [1]-[5].

Los MV o MUVES (Multi-User Virtual-Enviroments) tienen su origen a mediados de los años 80-90; estos escenarios fueron creados informáticamente y se los denominó “metaversos” debido a la novela Snow Crash, escrita por Neal Stephenson [6], [7].

Adicionalmente, es importante definir los términos Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA); la RV es un medio que nos permite observar, explorar e interactuar dentro de un universo virtual generado por una computadora, con el objeto de que el usuario perciba sensaciones y experiencias similares a las que tendría en un entorno real, del cual se simulan ciertas características [8]. La RA es la integración o

proyección de información virtual o digital sobre el mundo real; es decir, la proyección en tiempo real en ambientes del mundo real cuyos elementos son complementados por procesos informáticos de entrada sensorial como sonido, videos, gráficos o datos de sistemas de posicionamiento global-GPS [9].

Inicialmente, los MV fueron orientados al entretenimiento, sin embargo, su utilización con fines no-lúdicos ha ido incrementando gradualmente hasta convertirse en una tendencia frecuente [10]. La inmersión de estos entornos en ambientes educativos es un tema que se viene investigando desde hace varios años, resultado de estas investigaciones son los MMOL (Massively Multilearner Online Learning Enviroments) que son escenarios que permiten la conexión entre el entretenimiento y el aprendizaje [11].

La utilización de estos entornos nos permite llevar a cabo muchas actividades que en la vida real están limitadas debido a sus altos costes, factibilidad de infraestructura, seguridad al utilizar ciertos materiales o herramientas, tecnología, etc. En un MV es posible realizar simulaciones de cualquier tipo, evitando las limitaciones de la vida real [12]; una de las áreas de aplicación en las que se puede utilizar estos entornos, es en la industria automotriz; es importante señalar que el desarrollo y la aplicación de nuevas tecnologías y herramientas para el desarrollo de productos es un factor clave en la reducción de tiempos y la mejora continua, dada esta problemática la industria ha implementado aplicaciones de realidad virtual para aplicaciones de diseño, manufactura y entrenamiento, las mismas que se articulan con los procesos y herramientas de diseño, manufactura e ingeniería asistida por computador (CAD, CAM,CAE).

Se ha demostrado que el entrenamiento en RA de las operaciones de servicio y mantenimiento automotriz es preferido por los aprendices sobre las técnicas tradicionales basados en la observación. Así también para las tareas de montaje y desmontaje, la retención de información es mayor para los operarios entrenados con RV que con otros sistemas [13].

La presente investigación busca realizar una revisión bibliográfica y conocer las principales características de los MV, su clasificación, evolución y su aplicación en entornos no-lúdicos como es el entrenamiento para la reparación y el mantenimiento de vehículos; una vez identificada la parte inicial del presente trabajo, se realizará una breve descripción de varias herramientas que se utilizan para la creación de los entornos virtuales y se propondrá un escenario de aplicación para desarrollar una práctica de entrenamiento para el mantenimiento de vehículos.

La estructura del presente trabajo es la siguiente: en la sección 11.2, se describe las principales características de los MV; en la sección 11.3, se realiza una breve progresión historia de los MV; en la sección 11.4, se describe los elementos de los MV; en la sección 11.5, se señala las plataformas que se utiliza en la actualidad para la creación de entornos virtuales; en la sección 11.6, se detalla el marco de aplicación de los MV ; en la sección 11.7, se realiza la propuesta del entorno virtual para desarrollar la práctica del mantenimiento automotriz y finalizamos con las conclusiones y trabajos futuros, en la sección 11.8.

11.2. Características de MV

Los MV son software en los cuales múltiples usuarios se encuentran conectados desde diferentes ubicaciones geográficas y pueden interactuar con otros usuarios en tiempo real [14].

Sin embargo, es importante entender las principales características de estos entornos. Existen tres características principales que fueron identificadas en investigaciones previas y pueden resumirse en [4].

- Interactividad.- el usuario puede acceder remotamente al MV a través de un equipo informático conectado a internet, en el cual se encuentran otros usuarios conectados y pueden interactuar entre sí [4].
- Físico.- los usuarios acceden a la interface que simula un entorno físico en primera persona, estos entornos generalmente están regidos por leyes del mundo real y se busca que los recursos sean limitados tal como en mundo real [4].
- Persistencia.- El entorno virtual sigue funcionando aunque ningún usuario se encuentre conectado. El sistema registra la ubicación de la persona dentro del mundo virtual, así como los objetos que pertenecen a cada usuario y las actividades realizadas y en el próximo inicio de sesión, iniciará al usuario en el punto en que finalizó la sesión anterior [4].

Adicionalmente a las características señaladas, existen otros aspectos concretos que caracterizan a los MV como los detalla en [15], tales como:

- a La representación del usuario en el MV, mediante un avatar.
- b La capacidad de crear dentro del entorno virtual una sociedad con bienes, amigos, negocios, productos, etc.
- c Propiedad y registro de las creaciones, las cuales se las puede intercambiar o vender.
- d Capacidad de comunicarse.
- e Chat de texto o VoIP en tiempo real.
- f Expresión de sentimientos del avatar (gestos).
- g Capacidad de comercializar objetos, que está ligado a la característica de propiedad.
- h Moneda del MV.

11.3. Progresión histórica de los MV

Los términos Videojuegos y MV tienden a establecerse como sinónimos. Aunque los orígenes del segundo se encuentran en el primero; en la actualidad los MV pueden relacionarse como una herramienta empleada en la industria de los Videojuegos, pero obviamente no está relegada solo a este contexto. Existe una estrecha relación entre Videojuegos y MV; los primeros son empleados para temas lúdicos y todo lo que conlleva al entretenimiento, mientras que los MV se los puede emplear tanto para el entretenimiento y en temas no lúdicos como la educación, capacitaciones, coaching y a otras áreas que se mencionaron anteriormente.

Para identificar la historia de los MV se realiza un breve recorrido en la historia de la industria de los Videojuegos, citando a las redes sociales y mencionando momentos específicos en los que se utilizó los primeros términos relacionados con la RV y los MV.

La industria de los Videojuegos inició con los Juegos Arcade, cuando Atari Interactive lanzó el juego Pong en noviembre de 1972 [16]. Aunque no fue la primera industria en ese mercado, se convirtió en el primer videojuego operado con monedas y con gran éxito [17], y rápidamente fue seguido por otros Videojuegos (Tank, Indy 500, Pac-Man, etc.); estos antiguos Videojuegos se centraban en un solo jugador compitiendo contra la computadora. Años más tarde, en 1984, fue introducido el término “cyberspace” en la novela *Neuromancer*, en la cual se describió al cyber espacio como “una alucinación consensual experimentada diariamente por billones de operadores legítimo, en todas las naciones. . . una representación gráfica de los datos extraídos de los bancos de todos los ordenadores del sistema humano. . . líneas de luz oscilaban en el espacio de la mente, clusters y constelaciones de datos como luces de la ciudad. . .” [18].

Después de este inicio de la industria de los Videojuegos y con los primeros conceptos en temas de la RV; la evolución de los Videojuegos creció a grandes pasos con los Sistemas de Consolas, cuando en 1986, el Sistema de Entretenimiento Nintendo, lanzó en Estados Unidos a los personajes Mario Bros, Donkey Kong, Zelda y Popeye [17]; inicialmente concebidos para ser Videojuegos de un solo jugador pero las próximas mejoras permitieron competir contra otros jugadores y evolucionar a consolas más sofisticadas como la PlayStation [19], y Microsoft Xbox [20], que pueden conectarse a internet, realizar juegos y conversaciones de voz con otros jugadores en tiempo real [17]; finalmente alcanzando a modernos sistemas de consolas como el Nintendo Wii, que incluye entornos dinámicos e interactivos para diferentes juegos físicos [21]. Paralelamente a este gran crecimiento de la industria de los Videojuegos, a mediados de los años 80-90, se originó el nacimiento de los MV o MUVES (Multi-User Virtual-Environments) y se los denominó “metaversos” por el término utilizado en la novela *Snow Crash* [6]-[7]; es aquí cuando inicia las diferentes investigaciones en lo referente a los entornos virtuales.

Tras de la gran aceptación de los juegos de consola y con la evolución de las tecnologías de redes, fue posible realizar los Videojuegos de Red en Área Local (LAN party) que son eventos que se realizan entre un grupo de personas en donde se experimenta la interacción social a través del juego. Los juegos LAN requieren que todos los jugadores ejecuten el mismo software; el juego en estos eventos se centró en utilizar computadoras en lugar de consolas [22]. Este punto marcó el inicio de los Videojuegos y entornos inmersivos con entornos virtuales avanzados y más elaborados que intentan brindar al jugador una experiencia realista.

De entre la gran cantidad de tipos diferentes de Videojuegos que surgieron, merecen la pena identificar algunos de los principales.

Inicialmente aparecieron los juegos estructurados, que tenían un objetivo específico y un desarrollo del juego establecido; continuando con los Juegos no estructurados que incluyen la libertad del jugador, en donde el jugador se encuentra en un entorno con libertad de movimiento y con realismo. Además, en este tipo de juegos existe la progresión del tiempo en una relación de un segundo en la vida real a un minuto en el juego, lo cual crea un entorno inmersivo (realista) a diferencia del juego estructurado. Como ejemplo de este tipo de juegos tenemos a Grand Theft Auto [23].

Por su parte, los Juegos con jugadores que generan contenido, como por ejemplo Los Sims [24], en donde el usuario tiene libertad para interactuar en el entorno pero con un control limitado de las acciones. Aunque en estos escenarios el usuario genera su contenido, el juego sigue siendo online [25].

Un tipo de juegos mezcla ambos conceptos anteriores y que ha tenido mucha acogida, son los Mundos con objetivos Designer-Provider. En ellos, los avatares (representación del perfil de los jugadores como personajes dentro del Mundo Virtual) pueden interactuar libremente en el entorno virtual, pero además pueden obtener ciertas fortalezas, ganando habilidades y experiencia. Estos juegos suelen tener una interfaz más elaborada, interactiva y llamativa para los usuarios. Un buen ejemplo de este tipo de entornos son los juegos de rol masivos online o MMORPG (Massively Multi Player Online Role-Playing Games), donde presentan misiones que los usuarios deben ir realizando a lo largo de todo el juego [26]. Algunos de estos MV han alcanzado millones de adeptos como por ejemplo World of Warcraft [27].

Después de esta breve clasificación de los Videojuegos, que nos ayuda a tener una idea general del nacimiento de los MV, es importante citar la siguiente etapa en la evolución tecnológica que ayudó a la formación de estos entornos que ahora conocemos. En este punto citaremos a los Sitios de Redes Sociales, aunque obviamente no se los puede considerar Videojuegos, han influido en el desarrollo de MV. Estos sitios permiten a los usuarios compartir objetivos de socialización e intercambio de contenidos textuales, imágenes, audio y video. Una de las características comunes de estos sitios es que permite la interacción con otros usuarios a través de chats en tiempo real, mensajería instantánea, medios de comunicación como los blogs, etc. [28].

Finalmente, tenemos los Mundos Virtuales Abiertos con la principal característica que es la interacción social entre las personas por medios de avatares que se produce en un entorno inmersivo, con objetivos escogidos por el usuario, contenido generado por el usuario y herramientas de redes sociales. Por lo tanto en un MV se combinan las características anteriores con el fin de formar amigos, relaciones sentimentales, negocios, miembros de equipos o miembros de trabajo y miembros de la comunidad online. Estas diversas características hacen de los MV un entorno colaborativo para el juego, el aprendizaje o el trabajo [29]. Según Bartle [30] “los Mundos Virtuales han surgido una evolución hasta llegar a ser los principales centros de entretenimiento, educación y comunidad” [30].

11.4. Elementos de DE MV

De acuerdo a la proyección histórica antes detallada, es importante establecer una tipología de los diferentes MV para identificar el escenario al que queremos direccionar la investigación. Esta tipología propone cinco elementos importantes en las comunidades virtuales, y busca identificar y clasificar que MV son apropiados para cada actividad y por qué. Así, [31] identifica como principales elementos los siguientes:

- Propósito (contenido de interacción): el propósito es fundamental para el funcionamiento de una comunidad virtual, se define por los intereses y en el contenido compartido entre los miembros [32]. Esto ayudará a identificar si un juego es estratégico, táctico o temático; si la red tiene un propósito específico o es abierta; si un MV se centra en una edad determinada, en un enfoque del contenido o está abierto [29]. Algunos MV ofrecen un enfoque de fantasía que se encuentran alejados de la realidad, en la que los usuarios pueden actuar de manera diferente a su verdadera forma de ser; otros MV ofrecen un entorno educativo y de formación [33].
- Lugar (lugar de la interacción): las comunidades virtuales tradicionales refieren al lugar como una ubicación geográfica específica, en donde los usuarios pueden realizar la interacción y desarrollar sentido de pertenencia, valores compartidos y entendimientos; también se considera el realismo del

entorno virtual (2D, 2.5D, 3D), el comportamiento del usuario dependerá del entorno en el que se encuentre [31].

- Plataforma (diseño de la interacción): refiere a la interacción (sincronicidad) que es un tema muy importante para las comunidades virtuales y el patrón real de interacción (interactividad); es decir, identificar si la plataforma permite la comunicación síncrona, asíncrona o las dos, ya que algunos MV prestan diferentes niveles en la libertad de comunicación e interacción [31].
- Población (patrón de interacción): refiere al tamaño del grupo y en los lazos sociales entre los miembros del grupo, también se consideran características en función de su edad, género, geografía y demografía [31].
- Modelo de ganancia (retorno de la interacción): refiere a si una comunidad virtual genera valor económico tangible, en donde el valor se define como una creación de ingresos, por ejemplo una comunidad virtual con un grupo de miembros, podría invitar a empresas a colocar anuncios publicitarios, en este caso, la comunidad generaría ingresos por alquilar el espacio para la publicidad y la empresa ganaría clientes potenciales [31].

Existen diferentes trabajos relacionados con la integración de MV en los centros de entrenamiento y capacitaciones, donde se construyen experiencias en las que la interfaz de los entornos MUVES, se unen a herramientas educativas para mejorar la comunicación entre los docentes y los estudiantes durante la interacción en el entorno [10], [34].

11.5. Plataformas de MV

Al igual que la evolución de los MV, las plataformas para el desarrollo de estos entornos han ido evolucionando. Al principio se basaban en texto como los MUD (Multi-User Domain), continuando con los MOODS (Multi-User Domain Object-Oriented) y llegando hasta la actualidad con las plataformas de MV en 3D [36].

Hoy en día se cuenta con plataformas para el diseño de MV en 3D entre las que podemos destacar Active Worlds [37], Second Life [38], OpenSim [39], OpenCobalt [40], 3DVIA Studio [41] entre otras.

11.6. Marco de aplicación

Después de identificar las características y los elementos de los MV se puede realizar un análisis, en el cual podemos imaginar a la tecnología de los entornos virtuales como un túnel que conecta el pasado con el futuro; brindando nuevos horizontes y oportunidades innovadoras. También ha tenido un alto y duradero impacto en una amplia gama de áreas como la arquitectura y diseño, ciencias de la computación, educación, comercio electrónico, ciencias sociales, ingeniería automotriz, etc. [42]; pero este continuo crecimiento no puede ir solo, y por ello se le relaciona con otras sub-áreas como son las comunicaciones, inteligencia artificial, gráficos por ordenador, RV y RA y otras tecnologías de red [36]. Actualmente y gracias a la Computación Ubicua se puede diseñar casas y vehículos inteligentes en entornos virtuales y trasladarlas a un contexto real [43].

En esta investigación nos enfocaremos específicamente a la aplicación de los MV al entrenamiento virtual para el mantenimiento de vehículos que está directamente relacionado con la educación, siendo una excelente oportunidad para que los profesores implementen pedagogías de aprendizaje centradas en el alumno, en donde el estudiante este constantemente en el proceso de aprendizaje a través de sus experiencias. Los MV ofrecen la oportunidad para que las personas interactúen con una sensación de presencia, a diferencia de otros medios de comunicación que carecen de esta característica [44].

Un ejemplo de esto es Jaguar Land Rover (JLR), cuya sede de diseño e ingeniería en Warwickshire, Reino Unido alberga el Centro de Innovación Virtual (VIC), un centro líder mundial para las tecnologías de RV para aplicaciones automotrices. Algunas de las tecnologías RV ya implementadas en JLR son: Un Ambiente Virtual Cueva (CAVE) con hardware de alto rendimiento y software fotorrealista, además de un traje de seguimiento de movimientos corporales basado en marcadores para investigaciones ergonómicas [45].

Otro ejemplo de la aplicación de la RA en la industria automotriz es el fabricante alemán Robert Bosch GmbH, este ha desarrollado la plataforma de realidad aumentada común de Bosch CAP (Common Augmented Reality Platform) que puede ser configurada con una base de datos de sistemas y componentes desde donde se extrae contenido para su visualización RA. Además de la información escrita y las explicaciones en formato de texto, la plataforma soporta imágenes, vídeo, instrucciones de seguridad y modelos 3D, diagramas de circuitos eléctricos, planos técnicos, entre otros [46].

Esto nos introduce en el contexto MV Educativos, donde los juegos y entornos son diseñados con fines pedagógicos y se busca generar ambientes para la educación, entrenamiento, capacitaciones, la cultura, el turismo, etc.

11.7. Entorno virtual para el entrenamiento en la reparación y mantenimiento de vehículos

Considerando que la formación en reparación y mantenimiento de vehículos presenta conceptos técnicos complejos, con la utilización de herramientas de RV/RA se pretende facilitar la comprensión y la retención de información. Los sistemas de entrenamiento/educación basados en RV/RA aportaría en el proceso de aprendizaje en:

- Desarrollar el conocimiento de manera directa, activa y autónoma, dándole al estudiante la posibilidad de “aprender haciendo” [47].
- Facilitar el acceso a la información, considerando que esta se proporcionaría cuando sea necesario, los estudiantes no tienen que buscarla [48].
- Reducir la probabilidad de error y aumentar el nivel de seguridad en las operaciones de montaje, desmontaje de elementos críticos, se facilita la memorización de los procesos [49].

Con estas consideraciones es necesario desarrollar una mayor variedad de entornos virtuales, utilizar simulación multi sensorial, abordar las diferencias percibidas entre los modelos virtuales y los modelos reales de vehículos o sistemas, mejorar la capacidad de captura del movimiento, implementar la tecnología 3D en red y la utilización de la realidad virtual como herramienta para la investigación de mercado [45].

En este ámbito y dados los beneficios y la versatilidad de las aplicaciones de la RV/RA en la industria automotriz, especialmente en los procesos de entrenamiento/aprendizaje para la reparación y mantenimiento de vehículos, se propone desarrollar un ambiente RV/RA con el objetivo de mejorar las experiencias de aprendizaje, transferencia de conocimientos, oportunidades de innovación. El ambiente RV/RA propuesto comprende una herramienta para examinar profundamente los componentes y sistemas constitutivos del tren motriz y chasis del vehículo desde todos los ángulos posibles para entender su funcionamiento e importancia como elementos de seguridad en el vehículo.

Por ejemplo diseñar un escenario en donde un estudiante tenga la libertad de interactuar con herramientas y el entorno para realizar el mantenimiento de un vehículo sin tener la limitación de espacio, herramientas, tecnología, costos que implican adquirir todo el equipamiento y cuidando la seguridad del usuario.

11.8. Conclusiones y trabajos futuros

Se identificó la importancia de utilizar entornos virtuales en el área educativa para realizar capacitaciones y entrenamientos, permitiendo desarrollar metodologías de enseñanza y aprendizaje centradas en los usuarios, mediante la interacción con el entorno y de una manera no tradicional.

Se identificó la gran variedad de aplicación que se puede dar a estos entornos, sin tener las limitaciones que se tiene en el mundo real, así pues, se puede romper la brecha que genera los costos, la tecnología, la situación geográfica, la seguridad, etc.

Se puede proponer una nueva metodología de enseñanza/ aprendizaje, en donde el componente educativo va relacionado con el entretenimiento, rompiendo el paradigma de que la educación por lo general suele ser aburrida y tradicional.

La implementación de entornos RV/RA en procesos de formación técnica especializada facilitan y aceleran la transferencia de conocimientos, además de la comprensión y retención de la información.

Es necesario generar un modelo informático que facilite la integración de los modelos CAD con el entorno de Realidad Virtual y Realidad Aumentada.

Como trabajo futuro para validar la investigación, se propone realizar el escenario virtual del entrenamiento para la reparación y mantenimiento automotriz y realizar un estudio experimental en el entorno desarrollado.

Referencias

1. M. W. Bell, ““ Toward a Definition of Virtual Worlds,” 2008.
2. R. Schroeder, “ Defining Virtual Worlds and Virtual Environments,” 2008.
3. R. Bartle, “ Designing Virtual Worlds,” 2004.
4. E. Castronova, *Virtual Worlds: A First-Hand Account Of Market And Society On The Cyberian Frontier*, Germany, 2001.
5. Castronova, “ Synthetic Worlds,” 2005.
6. T. Rodríguez García y B. González, *E-Learning En Mundos Virtuales 3D: una experiencia educativa en Seconf Life*, Madrid, 2011.
7. I. Márquez, *La simulación como aprendizaje: educación y mundos*, Madrid, 2010.
8. F. M. Martínez, *Modelo de Caracterización y Selección de Expresiones No Verbales para su Aplicación en Agentes Virtuales Inteligentes*, México, 2010.
9. J. Johnson, “ The Master Key,” de L. Frank Baum *envisions augmented reality glasses in 1901 , 1012*.
10. S. Barab, A. Thomas, M. Dodge, R. Carteaux y H. Tuzun, *Making learning fun: Quest Atlantis, a game without guns*, Orlando, 2005.
11. M. M. A. González, B. S. N. Santos, A. Rodríguez, J. Martín-Gutiérrez y A. R. Orihuela, “ Virtual Worlds. Opportunities and Challenges in the 21st Century,” ELSEVIER, 2013.
12. Labs_UPM. [En línea]. Available: <http://serviciosgate.upm.es/laboratoriosvirtuales/Inicio>.
13. G. L. S. B. Simone Borsci, “ Empirical evidence, evaluation criteria and challenges for the effectiveness of virtual and mixed reality tools for training operators of car service maintenance,” 2015.
14. S. Singhal y M. Zyda, *Networked Virtual Environments: Design and Implementation*, New York: ACM, 1999.
15. R. M. López, *Mundos virtuales 3D*, Barcelona: UOC, 2009.
16. D. Ellis, *A Brief History of Video Games*, Random House, 2004.
17. L. Herman, J. Horwitzk, S. Kent y S. Miller, “ The History of Video Games,” Gamespot, 10 February 2008. [En línea]. Available: <http://www.gamespot.com/gamespot/features/video/hov/>.
18. W. Gibson, *Neuromancer*, New York: Ace Books, 1984.
19. S. C. Entertainment, “ PlayStation,” [En línea]. Available: <https://www.playstation.com/>.
20. Microsoft, “ Microsoft Xbox,” [En línea]. Available: <http://www.xbox.com>.
21. Nintendo, “ Wii,” [En línea]. Available: <https://www.nintendo.es/Wii/Wii-94559.html>.
22. J. Martens y L. Jansz, “ Gaming at a LAN event: the social context of playing video games,” *New Media & Society*, pp. 333 - 335, 2005.
23. S. Murray, “ High Art/Low Life: The Art of Playing Grand Theft Auto,” *PAJ: A Journal of Performance & Art*, 2005.
24. E. Arts, “ Los Sims,” [En línea]. Available: <http://www.thesims.com>.
25. K. Kelly, *Will Wright: The Mayor of SimCity*, 1994.
26. F. Hunter y D. Lastowka, *Virtual Worlds: A Primer*, *The State of Play: Law, Games, and Virtual Worlds*, 2006.
27. Blizzard, “ World of Warcraft,” 2014. [En línea]. Available: <http://media.wow-europe.com/infographic/es/world-of-warcraft-infographic.html>.
28. D. M. Boyd y N. B. Ellison, “ Social network sites: Definition, history, and scholarship,” 2007. [En línea]. Available: <http://jcmc.indiana.edu/vol13/issue1/boyd.ellison.html>.
29. P. R. Messinger, E. Stroulia y K. Lyons, “ A Typology of Virtual Worlds: Historical Overview and Future Directions,” *Journal of Virtual Worlds Research*, vol. 1, n° 1, 2008.

30. R. A. Bartle, "Why Governments aren't Gods and Gods aren't Governments," *First Monday*, 2006. [En línea]. Available: <http://journals.uic.edu/ojs/index.php/fm/article/view/1612/1527>.
31. C. Porter, A typology of virtual communities: a multi-disciplinary foundation for future research, *Journal of Computer-Mediated Communication*, 2004.
32. J. Gusfield, "Community: A critical response," New York, 1978.
33. P. R. Messinger, E. Stroulia, K. Lyons, M. Bone, R. H. Niu, K. Smirnov y S. Perelgut, *Virtual worlds — past, present, and future: New directions in social computing*, ELSEVIER, 2009.
34. E. Edwards, J. Elliott y A. Bruckman, *AquaMOOSE 3D: Math Learning in a 3D Multi-user Virtual World*, Seattle: In *ACM CHI 2001 Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2001.
35. Á. d. Blanco, J. Torrente y B. Fernández-Manjón, *Integrating educational video games in LAMS: The <e-Adventure> Experience*, Madrid, 2010.
36. N. Gu y M. L. Maher, *Designing Adaptive Virtual Worlds*, Berlin: De Gruyter Open, 2014.
37. A. Worlds. [En línea]. Available: <https://www.activeworlds.com/web/index.php>.
38. L. Research. [En línea]. Available: <http://secondlife.com/>.
39. OpenSim. [En línea]. Available: <http://opensimulator.org/>.
40. D. University. [En línea]. Available: <http://www.opencobalt.org/>.
41. "Dassault Systemes," [En línea]. Available: <http://www.3dvia.com/>.
42. T.-Y. Liu, *Using educational games and simulation software in a computer science course: learning achievements and student flow experiences*, Taiwan, 2014.
43. H. Sang, H. Jung, T. Yoon y Y. Tan, *Towards Ubiquitous City: Concept, Planning, and Experiences in the Republic of Korea*, IGI Global, 2008.
44. T. N. M. Consortium y E. L. Initiative, *The Horizon Report*, The New Media Consortium, 2007.
45. D. S. B. W. Glyn Lawson, "Future directions for the development of virtual reality within an automotive manufacturer," de *Applied Ergonomics*, 2016, pp. 323-330.
46. Robert Bosch GmbH, "Bosch presents smart solutions for tomorrow's," 2016.
47. J. B. B. B.-G. J. Doswell, "Mobile augmented reality system architecture for ubiquitous e-learning.," 2006.
48. J. Cooperstock, "Classroom of the future: enhancing education through augmented reality.," 2001.
49. U. M. A. Neumann, "Cognitive, performance, and systems issues for augmented reality applications in manufacturing and maintenance.," 1998.

Capítulo 12

REDES ÓPTICAS PARA CENTROS DE DATOS: UNA BREVE VISIÓN

PUPIALES C., DOMINGUEZ H. Y CUZME F.

Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador, 100150.

Resumen: Las redes actuales cableadas e inalámbricas deben ser lo suficientemente flexibles y dinámicas para adaptar sus configuraciones iniciales de modo que puedan satisfacer la creciente demanda de ancho de banda que aplicaciones emergentes demandan de un centro de datos. Aunque las redes ópticas son capaces de transportar gran cantidad de información, su capacidad está aún limitada a enlaces punto a punto y a redes en las cuales solo la conmutación y enrutamiento de paquetes en el dominio eléctrico puede realizarse. Esta limitación hace que no puedan ser alcanzadas altas transferencias de datos debido a los retardos que se introducen a la red por efecto de la conversión opto – electrónica. En este trabajo se analizan varias soluciones que intentan solventar los problemas en cuanto al incremento de la tasa de datos, la reducción del consumo energético y la capacidad de enrutamiento en el dominio óptico en el ambiente interno de un centro de datos.

Palabras Claves: centro de datos, conmutación de paquetes, conmutación totalmente optica, consumo de energía.

12.1. Introducción

Un centro de datos es un conjunto de dispositivos computacionales los cuales tienen como objetivo principal el almacenar información y dar acceso remoto a la misma. Cisco define a un centro de datos como “Recursos computacionales situados en un ambiente controlado y bajo una administración centralizada la cual permite a las empresas operar bajo sus propias necesidades. Estos recursos incluyen servidores principales, servidores de aplicaciones, software, sistemas operativos, sub sistemas de almacenamiento e infraestructura de red. Estos equipos son usados para una gran variedad de aplicaciones internas y externas desde administración financiera y de recursos humanos hasta comercio electrónico y modelos negocio – negocio” [1].

La mayoría de centros de datos actuales están basados tecnología de conmutación de paquetes y topología escalable [2] donde todos los elementos están interconectados entre ellos y es posible alcanzar

hasta 1 Gbps en enlaces de acceso y 10 Gbps en enlaces de núcleo [2]. A primera vista, esta tasa de transferencia de datos y topología lucen lo suficientemente eficientes y adecuadas para brindar capacidad de escalamiento con una inversión mínima; sin embargo, la limitante de ancho de banda que presenta el cobre, las relativas bajas tasas de transferencia de datos que Ethernet ofrece y la fuerte inversión en infraestructura que representa el implementar nuevas tecnologías en un centro de datos han hecho casi imposible que los centros de datos actuales puedan brindar altas capacidades de almacenamiento y enrutamiento a altas velocidades que aplicaciones emergentes y futuras pueden necesitar.

Para poder manejar de mejor manera todos los desafíos que representa aumentar la capacidad en un centro de datos, la aplicación de una red totalmente óptica está surgiendo como la solución más prominente debido a que ésta tecnología puede soportar tasas de transferencia de datos en el orden de los Tbps, baja latencia, bajo consumo de energía y fácil escalabilidad. Adicionalmente, esta tecnología permite aumentar la capacidad de un centro de datos debido a que es posible usar multiplexación por longitud de onda, esquemas de modulación de alta eficiencia espectral y robustez y sobre todo reducir la cantidad de cables e infraestructura a instalar. Aunque esta tecnología resuelve muchos de los problemas actuales que un centro de datos enfrenta, está aún limitada a enlaces punto a punto debido a que aún no es posible ofrecer conmutación de paquetes en el dominio óptico.

Como una consecuencia de aplicaciones emergentes y aplicaciones enfocadas a la computación en la nube, la cantidad de tráfico de internet generado se está incrementando de forma continua en un 50 – 60 % cada año [3], por lo tanto nuevos centros de datos con mejores características en cuanto a velocidad, almacenamiento y eficiencia son necesarios para soportar dicha tendencia. Adicionalmente, una apropiada topología de red y tecnología de conmutación de paquetes debe ser tomada en cuenta para lograr reducir latencia, incrementar la capacidad, reducir el consumo de energía, minimizar costos operacionales y maximizar las ganancias en un centro de datos.

El objetivo de este trabajo es proveer una breve visión sobre las limitantes que un centro de datos tiene para aumentar su capacidad de almacenamiento y procesamiento de información mientras el consumo energético es minimizado y las ganancias son maximizadas. Para ello, se explora un par de propuestas que satisfacen los requerimientos de enrutamiento de capa 3 en una topología de red totalmente óptica, así como también, se contrasta los riesgos y beneficios esperados en la adopción de dichas soluciones en un centro de datos. Finalmente las conclusiones de este trabajo proveen una descripción breve del camino a seguir para que un data center pueda adoptar una topología de red totalmente óptica y así cumplir con las exigencias que la industria de comunicaciones requiere en la actualidad.

Este trabajo está dividido en cinco secciones en la cual se muestra un análisis funcional de las tecnologías involucradas, en la siguiente sección se detallan las modificaciones propuestas a topologías y tecnologías actuales en centros de datos. Posteriormente se analizan los posibles riesgos y beneficios de la adopción de conmutación de capa 3 en dominio óptico. Finalmente se concluye este trabajo con algunas ideas y sugerencias.

12.2. Análisis funcional

La tecnología de conmutación de paquetes en el dominio eléctrico presenta limitaciones cuando se requiere transmitir gran cantidad de información a altas tasas de transferencia ya que introduce un alto retardo y gran consumo de energía debido a la conversión opto – electrónica necesaria para retener y retransmitir los paquetes de datos desde los servidores de contenido hacia los conmutadores de núcleo y viceversa [4].

En un ambiente totalmente óptico es posible hacer uso de las características de variabilidad en la tasa de datos que esquemas de modulación de alta eficiencia espectral pueden alcanzar, a diferencia de tasa de datos fijas que ofrece Ethernet (50, 100, 150, 200 Gbps en el primero y 10, 40 y 100 Gbps en el segundo) [5]. La incompatibilidad entre la capa MAC de Ethernet y tecnologías de transporte óptico como OTN resulta en un ineficiente uso de las líneas de transporte óptico ya que limita la habilidad de implementar tecnologías de multiplexación como Wavelength Division Multiplexing para aprovechar de mejor manera la variabilidad en tasa de datos que ofrecen las tecnologías ópticas [5]. De hecho, WDM mejora la capacidad que es posible manejar por cada longitud de onda en 100 % cada año mientras la velocidad del procesamiento electrónico dobla su velocidad cada 18 meses [6]. Ésta diferencia entre velocidad de procesamiento y capacidad del canal crea un cuello de botella y vuelve a la conmutación de

paquetes en el dominio eléctrico inadecuado para soportar gran cantidad de tráfico en la red interna de un centro de datos.

Actualmente los conmutadores ópticos no tienen la capacidad de enrutar paquetes IP debido a la imposibilidad de leer la cabecera de dichos paquetes sin antes pasarlos al dominio eléctrico; sin embargo, topologías de red emergentes como Data Vortex [2] y Helios [9] tratan de resolver el problema de enrutamiento en un ambiente totalmente óptico para así viabilizar el uso de enrutamiento en un ambiente totalmente óptico. Adicional a la imposibilidad de enrutamiento, otro punto importante a tomar en cuenta en un centro de datos es la reducción del consumo energético que éstos tienen. De acuerdo a Greenpeace, en 2007 la demanda total de energía de centros de datos del mundo fue 330 billones de KWh, casi la misma cantidad de energía consumida en el Reino Unido en el mismo año y se estima que para el 2020 dicha demanda se incremente tres veces más [2]. La eliminación de elementos de red que consumen gran cantidad de energía como los convertidores opto - eléctricos y eléctrico - ópticos harán posible que el consumo de energía se reduzca de 13 W por puerto en un conmutador eléctrico a 240 mW por puerto en un conmutador óptico [2]. De igual manera, IBM afirma que el reemplazado de cables de cobre por fibra óptica puede reducir el consumo de energía de 8.3 MW a 1.4 MW en los centros de datos [2].

Es muy importante mencionar que no solo la reducción y/o eliminación de convertidores opto - electrónicos y enlaces basados en cobre serán suficientes para reducir de forma significativa el consumo energético de un centro de datos, sino que será necesario reducir la cantidad de equipos y componentes electrónicos que sirven para almacenar y redireccionar la información. Esta reducción contribuirá a minimizar la disipación de calor y por ende reducirá el equipamiento necesario para mantener controlada la temperatura de los centros de datos. Esta reducción se traduce en menores costos de implementación y mantenimiento en un centro de datos.

12.3. Modificaciones propuestas a sistemas existentes

Las mejoras continuas en el campo de la óptica y fotónica han contribuido al desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas que intentan eliminar la dependencia de la conversión opto - electrónica en tareas de enrutamiento de paquetes. Es claro que con tecnologías actuales es imposible desarrollar tareas de enrutamiento de paquetes en el dominio óptico; sin embargo, haciendo uso de un tipo de arquitectura híbrida donde las principales características del enrutamiento en el dominio eléctrico y óptico sean tomadas en cuenta para de ésta manera incrementar la capacidad de transmisión en un centro de datos.

Una de las tecnologías propuestas es la denominada VORTEX, la cual presenta una topología híbrida entre enrutamiento en el dominio óptico y eléctrico. La etapa de enrutamiento convierte únicamente una porción de la señal óptica en eléctrica para así leer la cabecera del paquete mientras la carga útil de dicho paquete es puesta en un estado de reposo hasta que la información de enrutamiento sea procesada adecuadamente y el paquete sea enviado al siguiente destino. Una vez que la ruta ha sido exitosamente creada, la etapa de control activa un conmutador óptico el cual enruta y transmite el paquete a su siguiente destino. Ésta técnica reduce significativamente el tiempo que toma conmutar un paquete en el dominio eléctrico únicamente y la energía requerida para dicho propósito.

El Sistema VORTEX está compuesto por conmutadores ópticos 2x2 los cuales tienen como componentes básicos a dos SOAs (Semiconductor Optical Amplifier), los cuales a su vez se encargan de la conmutación. Para optimizar el tiempo de procesamiento y reducir el tiempo de conmutación, la carga útil del paquete de datos es dividido en múltiples secciones las cuales se transmiten a altas velocidades sobre múltiples canales y diferentes longitudes de onda. De igual manera, información necesaria sobre el direccionamiento de dicho paquete necesario para el rearmado del mismo es transmitido en longitudes de onda de menor prioridad y baja tasa de transferencia [2]. En la figura 12.1 es posible visualizar una topología típica de esta propuesta.

Al igual que la topología VORTEX, HELIOS surge como otra arquitectura la cual intenta solucionar la limitación de capacidad, reducir los costos de implementación y operación y reducir el consumo de energía en un centro de datos. La arquitectura HELIOS es un árbol de dos niveles de conmutación múltiple de conmutadores de acceso y núcleo [9] prestos para provisionar ancho de banda de forma dinámica al enlace que lo requiera.

HELIOS hace uso de conmutadores ópticos basados en MEMS y de la multiplexación por división de longitud de onda para identificar el tráfico que mejor se adaptaría a un sistema totalmente óptico y dinámicamente reconfigura la red. Con esto, los dispositivos finales, es decir los conmutadores de acceso,

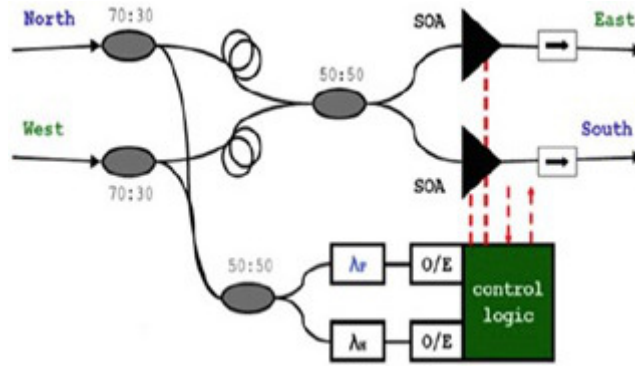


Figura 12.1: Topología Vortex [2].

no requieren modificaciones físicas aunque si modificaciones basadas en software para maximizar la tasa de transferencia que los enlaces adjuntos a estos dispositivos pueden alcanzar.

Adicional, centros de datos actuales usan enlaces que comunican los distintos elementos de su red que pueden alcanzar desde 10 m hasta 20 km [2] y usan una topología basada en capas de conmutadores eléctricos denominada scale-up, donde los servidores son conectados entre ellos usando conmutadores del tipo ToR con enlaces de 1 Gbps. Además, estos conmutadores tipo ToR están interconectados a través de conmutadores de agregación los cuales a su vez se conectan en una topología tipo árbol a conmutadores de núcleo usando enlaces de 10 Gbps [2]. A pesar de que esta topología hace relativamente fácil escalar en un futuro, los altos costos que esto representa y la limitación para alcanzar altas capacidades son dos factores muy fuertes que hacen a ésta opción no viable.

Una posible solución para incrementar la capacidad interna de un centro de datos en los enlaces punto a punto se basa en la utilización de una topología totalmente óptica donde la transmisión y la conmutación se la realiza únicamente el dominio óptico. Esto implica eliminar por completo conversores opto – electrónicos y reemplazar conmutadores eléctricos, enrutadores y cables de cobre por elementos totalmente ópticos tales como ROADMs, MEMs, laser variables y fibra óptica. Una arquitectura basada en una interconexión totalmente óptica facilita escalabilidad de enlaces ópticos ya que dependiendo de las necesidades se puede usar tecnologías de transporte de alta capacidad tales como WDM y todas sus variantes, detección coherente y esquemas de modulación de alta eficiencia espectral [2]-[4]. En la figura 12.3 es posible visualizar el cambio radical que implica una topología totalmente óptica en cuanto a equipamiento.

Basado en estas premisas, los centros de datos del futuro deberán estructurarse de la siguiente manera:

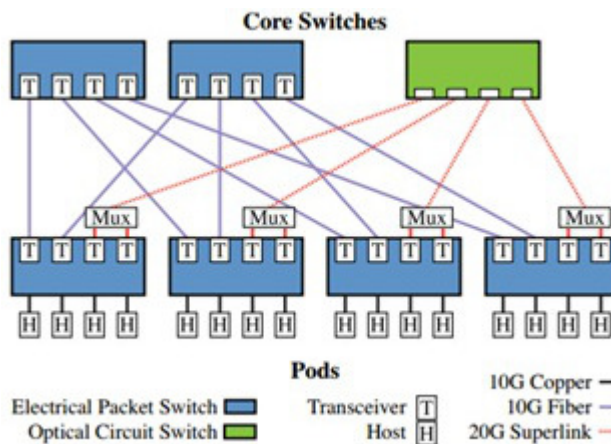


Figura 12.2: Arquitectura HELIOS [9]

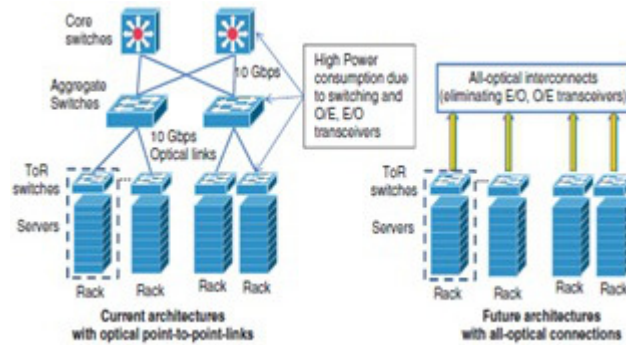


Figura 12.3: Interconexión Punto a Punto vs Interconexión óptica [2].

- Capa de Acceso: Debe comprender una conexión punto a punto desde cada servidor hacia cada conmutador ToR a través de enlaces ópticos para alcanzar tasas de transferencia moderadamente altas.
- Capa de conmutación: Debe comprender un conjunto de ROADMs los cuales interconectarán conmutadores ToR con conmutadores de núcleo. Adicionalmente, ésta capa debe incluir un circuito de decisión y control en el cual las cabeceras de los paquetes pueden ser procesadas para implementar la habilidad de enrutamiento tal como lo hace la topología HELIO [9].
- Capa de núcleo: Esta capa se encargará de enviar la información a redes externas al centro de datos usando enlaces ópticos de alta capacidad basados en tecnologías DWDM y esquemas de modulación robustos y de alta eficiencia espectral Core Layer.

12.4. Beneficios esperados

De forma general se puede decir que migrar de una arquitectura basada en conmutación de paquetes en el dominio eléctrico a una basada en el dominio óptico representa un gran desafío pero un paso importante a tomar en cuenta para centros de datos que desean mantenerse en el negocio y aumentar sus ganancias. Para soportar altas tasas de transferencia del tráfico generado en internet es necesario que centros de datos actuales dejen de lado la dependencia a enlaces de cobre y la continua conversión opto – electrónica en todas las etapas de transporte de información. Esta migración contribuirá a incrementar la capacidad de un canal óptico para conseguir velocidades de 100 Gbps hasta docenas de Tbps con el uso adicional de WDM y sus variantes [7]. Adicionalmente, una interconexión basada totalmente en equipos ópticos reducirá el consumo energético ya sea por la eliminación de conversores o por la reducción de equipamiento electrónico que disipa gran cantidad de calor y para lo cual es necesario la implementación de equipos que regulen la temperatura en los centros de datos. Esto hace que sea necesario usar menor infraestructura ya sea para mantener el centro de datos o para la conmutación de la información.

Por otro lado, a pesar que con tecnologías emergentes ya sea posible enrutar paquetes de datos en el dominio óptico, el tiempo que esto conlleva es aún muy alto comparado con el enrutamiento en el dominio eléctrico; de hecho el tiempo se incrementa de 6 -10 us [8] a 20 ms [7]. Adicional, al trabajar en el dominio óptico no es posible almacenar temporalmente paquetes de datos ya que no existen memorias que logren esto sin antes convertir la luz en pulsos eléctricos. Por tal razón, el conseguir un enrutamiento eficiente es aún muy complicado si se desea trabajar únicamente con elementos ópticos.

12.5. Conclusiones

Aunque la interconexión en el dominio óptico ofrece muchas ventajas con respecto a la interconexión en el dominio eléctrico en un centro de datos, ésta está aún limitada a enlaces punto a punto debido ya que no es posible enrutar paquetes con la tecnología actual. El migrar a una arquitectura basada en elementos ópticos únicamente en la actualidad resulta extremadamente riesgoso ya que en lugar de

minimizar costos y aumentar la capacidad y ganancias, la migración puede volverse un dolor de cabeza que puede llevar al centro de datos al fracaso.

La mejor opción para que un centro de datos pueda adaptarse a los cambios tecnológicos y la creciente demanda de capacidad para transportar gran volumen de información es migrar a una topología basada únicamente en elementos ópticos pero en varias etapas. En la primera etapa se deben reemplazar todos los enlaces punto a punto basados en cobre por enlaces de fibra óptica, esto permitirá reducir considerablemente el consumo energético, aumentar el ancho de banda disponible, aumentar la tasa de transferencia y reducir el volumen de cables necesarios para la interconexión. Con esto menor, cantidad de energía para climatizar el centro de datos será usada.

En una segunda etapa, se puede reemplazar los conmutadores eléctricos por conmutadores ópticos y añadir todos los elementos ópticos y no ópticos necesarios para transmitir y enrutar paquetes de datos. Este cambio debe ser realizado únicamente cuando la tecnología de enrutamiento esté totalmente probada y disponible para propósitos industriales; caso contrario el centro de datos debe mantenerse con la configuración descrita en la primera etapa.

Referencias

1. Mauricio Arregoces and Maurizio Portolani, *Data Center Fundamentals*. Indianapolis, USA: Cisco Press, 2004.
2. Christoforos Kachris, Keren Bergman, and Ioannis Tomkos, *Introduction to Optical Interconnects in Data Centers*, Biswanath Mukherjee, Ed. New York, USA, 2013.
3. René-Jean Essiambre and Robert W Tkach, *Capacity Trends and Limits of Optical Communication Networks*, IEEE, vol. 100, no. 35, May 2012.
4. Amin Vahdat, Hong Liu, Xiaoxue Zhao, and Chris Johnson, "The Emerging Optical Data Center," Google, Inc., La Jolla, CA, 2011.
5. Xiaoxue Zhao, Vijay Vusirikala, Bikash Koley, Valey Kamalov, and Tad Hofmeister, "The Prospect of Inter-Data-Center Optical Networks," IEEE Communications Magazine, pp. 32-38, September 2013.
6. D. J. Blumenthal et al., "Optical Packet Switching and Associated Optical Signal Processing," Communications Magazine, IEEE, vol. 41, no. 2, pp. 23-29, February 2003.
7. Guohui Wang et al., "ϕ-Through: Part-time Optics in Data Centers," SIGCOMM'10, pp. 327-328, August 2010.
8. Cisco Systems. (2014, September) Data Center Switching Solutions. [Online]. http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/data-center-virtualization/data-center-switching/net_implementation_white_paper0900aecd8053495a.html
9. Nathan Farrington et al., "Helios: A Hybrid Electrical/Optical Switch Architecture for Modular Data Centers," ACM SIGCOMM Computer Communication Review - SIGCOMM '10, vol. 40, no. 4, pp. 339-350, October 2010.

Capítulo 13

PROTOTIPO PORTABLE DE BAJO COSTO PARA EL APOYO A TERAPIAS DE BIO-REALIMENTACIÓN EN TRASTORNOS PSICOFISIOLÓGICOS

SALAZAR S.,^{1,2,3} PELUFFO D.,^{1,2,3} CANO S.,³ SALAZAR J. F., RUANO A.,³ CAMPAÑA H. Y RAMÍREZ R.

¹ Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales Manizales, Colombia

² Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador, 100150.

³ Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

⁴ Universidad de Nariño, Institución Universitaria CESMAG, FENALTEC, Pasto, Colombia.

Resumen: Este trabajo presenta el diseño y la implementación de un dispositivo electrónico de bajo costo y portable para apoyo en terapias psicológicas por estrés o ansiedad. El dispositivo se basa en la estimación de la actividad mecánica del corazón mediante técnicas pletismográficas, esto debido a que muchas de las respuestas fisiológicas humanas ante estados psicológicos como el estrés y la ansiedad resultan en variaciones del ritmo cardiaco. El dispositivo propuesto está compuesto por etapas comprendidas entre la adquisición de la señal mediante fotoplestismografía, la adecuación de la señal mediante filtros analógicos, el procesamiento digital de la señal y estimación del ritmo cardiaco mediante un algoritmo implementado en una tarjeta arduino, y finalmente una interfaz hombre-dispositivo con la que se realiza un proceso de realimentación visual y auditiva. Las pruebas y los resultados experimentales muestran la aplicabilidad del dispositivo manteniendo su bajo costo y portabilidad.

Palabras Claves: Adecuación, adquisición, bajo costo, biofeedback, biorealimentación, dispositivo portable de apoyo, filtros analógicos, fotoplestismografía, procesamiento digital, ritmo cardíaco, tratamiento trastornos psicofisiológicos.

13.1. Introducción

Las terapias basadas en la bio-realimentación (o bio-feedback) permiten al paciente trabajar activamente para restaurar su salud a través de la percepción visual y/o auditiva de información, en tiempo real, del comportamiento de algunas de sus funciones fisiológicas –cuyo estado normalmente no conoce–, estas están bajo el control del sistema nervioso autónomo y no son monitoreadas de forma continua [6]. Los tratamientos basados en este tipo de terapias ‘entrenan’ a los pacientes –asesorados por especialistas en el área– para que en alguna circunstancia pueda controlar sus condiciones fisiológicas voluntariamente, es decir se entrena al paciente para que no reincida con frecuencia en el problema de salud que lo acongoja. Es por esto que esta se constituye en una metodología muy importante para aplicar en tratamientos psicológicos ya que, después de un número determinado de sesiones, se garantiza al paciente un

control voluntario evitando no solo la reincidencia sino que también se evita la visita continua y tediosa al especialista (esto involucra programar citas, visitas cotidianas, manejo de tiempos y disponibilidad que de una u otra forma podrían resultar en un estímulo estresante para el paciente).

Los trastornos mentales y de conducta se pueden encontrar en todas las sociedades y regiones, no son exclusivos de un grupo concreto, sino que pueden afectar a cualquier persona. De acuerdo con estimaciones dadas en el informe de salud mundial de la OMS en el año 2001, alrededor de 450 millones de personas padecen de trastornos, y se dice que una de cada cuatro personas desarrollara uno o más trastornos mentales o de conducta a lo largo de su vida. Una quinta parte de los adolescentes menores de 18 años padecerá de algún problema de desarrollo, emocional o de conducta, y en niños en desventaja, la proporción es uno de cada cinco [1], [2]. Otro de los informes presentados por el departamento de salud mental y abuso de sustancias de la organización mundial de la salud (OMS), expresa que el concepto de la salud pública es “el proceso de la movilización de recursos locales, estatales, nacionales e internacionales para resolver problemas importantes de salud que afectan a las comunidades” [1], sin embargo, en muchas ocasiones la ausencia de ese movimiento de recursos se traduce en los costos elevados de las tecnologías. Para reducir la carga a la salud así como la carga social y económica que producen los trastornos psicofisiológicos, es esencial que los países presten mayor atención a la prevención y que promuevan políticas de salud eficaces, conllevando a formular leyes dirigidas a lograr una mayor asignación de recursos e inversión en procesos de investigación [1]-[3]. Dicho esto, el desarrollo de sistemas para tratamiento de patologías o trastornos psicológicos se constituye en una solución a estas problemáticas, que no son atendidos por problemas económicos, esto dado que la obtención de estas tecnologías requiere recursos elevados.

Entre los trastornos psicofisiológicos, encontramos el estrés y la ansiedad, que son los causantes de muchas patologías y afecciones psicológicas [4], [5] es por esto que se ha optado por realizar un trabajo investigativo con una solución innovadora respecto a tecnologías existentes por el hecho de ser de bajo costo, mediante métodos no invasivos y con hardware y software libre. Una propuesta innovadora, portable y de bajo costo, permite a comunidades de bajo nivel socioeconómico acceder de manera más adecuada a terapias basadas en bio-realimentación supliendo así las necesidades que tienen y que no pueden ser solventadas por otras tecnologías debido a su costo [15], [16].

La prevención de trastornos psicológicos se ha convertido en una prioridad de salud pública, por tal motivo, investigadores y científicos han estudiado formas de desarrollo en los tratamientos existentes que aporten mayor efectividad en las condiciones de trabajo con mejores resultados [16]. A pesar de que las tecnologías actuales provén dichas características, muchas de las técnicas de tratamiento de patologías contienen procedimientos médicos invasivos que de una forma indirecta afectan al paciente con secuelas no deseadas, en consecuencia, se hace necesario establecer metodologías no invasivas, resultando propuestas innovadoras para efectuar dichos tratamientos. La aplicación de métodos electrónicos al análisis de señales fisiológicas como el procesamiento de señales y la instrumentación, permite el desarrollo de herramientas que apoyen al diagnóstico psicológico, con el fin de que sean aplicables al mejoramiento de los tratamientos y la eficacia de los resultados finales en los pacientes. La incursión de estos sistemas automatizados basados en procesamiento digital de señales genera productos con alto impacto económico, por lo que se obtienen sistemas que pueden ser competitivos en mercados nacionales como internacionales.

En ocasiones, el uso de ciertas técnicas para la detección de parámetros que permitan determinar el estado de salud de un paciente por medio de una variable fisiológica produce resultados imprecisos y en varios casos conlleva a patologizaciones erróneas [7]. Algunos procedimientos médicos necesitan de herramientas que provean resultados confiables, en el caso del tratamiento de trastornos psicológicos es importante contar con dispositivos que faciliten la monitorización, seguimiento y tratamiento de pacientes con la finalidad de disminuir los efectos de dichos trastornos, que en algunos casos ha conllevado a la muerte [1], [7], [17]. Para el desarrollo de dispositivos biomédicos es importante contar con sensores que permitan sensar una variable fisiológica para que en torno a esta se puede lograr un concepto médico.

En este trabajo se propone un dispositivo, compuesto por etapas, que permite monitorizar una variable fisiológica de pacientes para el apoyo en tratamientos psicofisiológicos. Dicho dispositivo cuenta con un análisis exhaustivo de desarrollo, un dimensionamiento de componentes necesarios con pruebas de funcionamiento y calibración que garantizan la confiabilidad de los resultados. La construcción del dispositivo se realiza por etapas debido a que de esta forma puede realizar un mejor seguimiento de los costos de implementación y permite también una mejor dinámica para el dimensionamiento y cálculos ya que una etapa posterior función a partir de etapas previa siendo la principal etapa la de adquisición. Uno de los factores más importantes del dispositivo propuesto es el diseño de un sensor ergonómico para el sensado de la variable fisiológica determinada mediante la comparación de señales idóneas para dicha

estimación. Por otra parte, el dimensionamiento del dispositivo y de los componentes a utilizar permite obtener un tamaño adecuado que garantice la portabilidad del dispositivo y la reducción de los costos de implementación.

La organización de este documento es: En la sección 13.2 se aborda los materiales y métodos, aquí se describe como se adquiere la señal, los cálculos y el diseño de los filtros analógicos, el procesamiento digital de la señal y como se realiza la realimentación mediante la interfaz hombre-dispositivo. En la sección 13.3 se presenta los resultados experimentales del prototipo implementado. Por último, en la sección 13.4 se realizan algunas conclusiones e ideas para un trabajo futuro.

13.2. Diseño Del Dispositivo

Las señales más idóneas para analizar y procesar son las de signos vitales ya que son las más frecuentemente determinadas para tratamientos, para urgencias y hasta una consulta médica de control. Dentro de los signos vitales encontramos el pulso cardiaco ligado directamente a la frecuencia cardiaca dada por los latidos mecánicos del corazón, también está la frecuencia respiratoria que no es más que el número de veces que una persona respira por minuto, y finalmente tenemos la tensión arterial relacionada a la presión que ejerce la sangre contra las paredes de las arterias [9]. Según lo anterior, la relevancia que tienen los signos vitales en las aplicaciones médicas es muy significativa, por lo cual el sensor contara con una etapa de adquisición de la señal cardiaca ya que esta se puede adquirir fácilmente mediante una técnica fotoplestismografía.

Actualmente, en el mercado existen herramientas como los pulsioxímetros cuyos valores van desde los 25 dólares hasta los 150 dólares, estas herramientas presentan como única utilidad la presentación visual del ritmo cardiaco sin ningún otro tipo de prestación. También existen herramientas que son enfocadas a tratamientos de bio-realimentación (bio-feedback) y cuyos precios son de alrededor de 800 dólares hasta los 3000 dólares dependiendo si permiten aplicar a más de un trastorno como el estrés, la depresión, la ansiedad, entre otros. Como se dijo en antes, se ha propuesto el desarrollo de un dispositivo que permita apoyar terapias psicofisiológicas y que tenga por características la portabilidad y el bajo costo de implementación.

13.2.1. Etapa de Adquisición de la Señal

El fundamento principal para esta etapa parte de la fotoplestismografía, que es una técnica pletismográfica que permite la detección del flujo de sangre cutáneo y que mediante sensores permite obtener las pulsaciones del corazón representadas en variaciones de una señal eléctrica [10], [11]. Para tal fin, es necesario emitir un haz de luz infrarroja (IR) a partir de un elemento emisor y tener un fotoreceptor quien recibe dicho haz de luz (puede ser mediante reflexión o refracción) para producir una variación de corriente, que debido a la excitación producida por la luz absorbida se traduce en una señal eléctrica característica de la pletismografía, esto permite obtener medidas cualitativas de flujo sanguíneo cutáneo asociado a los movimientos mecánicos del corazón. Los trastornos de estrés y ansiedad producen respuestas como variaciones ante estímulos externos, por tal motivo las señales fisiológicas sufrirán variaciones o alteraciones y esto permitirá determinar el estado del paciente en relación a estos trastornos [5]. Con lo dicho anteriormente, se procede a diseñar los sensores que permitan la adquisición de esta variación de la actividad mecánica del corazón y convertirla o transducirla a una señal eléctrica para adecuación y procesamiento.

En la figura 13.1 se presenta el esquema circuital propuesto para el sensor, compuesto por un diodo emisor de luz infrarroja y un fotoreceptor que deben estar alineados en línea de vista ya que para este trabajo se utiliza la detección de luz mediante refracción. Como fotoreceptor se puede utilizar diferentes componentes sensibles a las variaciones de luz como una fotocelda, un fotodiodo o un fototransistor. Se determinó utilizar un fotodiodo ya que este dispositivo responde con mayor rapidez que la LDR ante transiciones de luz a oscuridad y presenta menor costo que un fototransistor a pesar de no hacerlo tan rápido como este pero si lo hace de forma comparable y dado el bajo costo que se busca en el dispositivo, este es el que mejor relación costo-beneficio presenta. Para determinar el valor de la resistencia R_2 se utiliza la ecuación 13.1 partiendo de la idea que el sistema funciona con una alimentación V_f de 5 voltios.

$$R_2 = \frac{V_f - V_l}{I_{máx}} \quad (13.1)$$

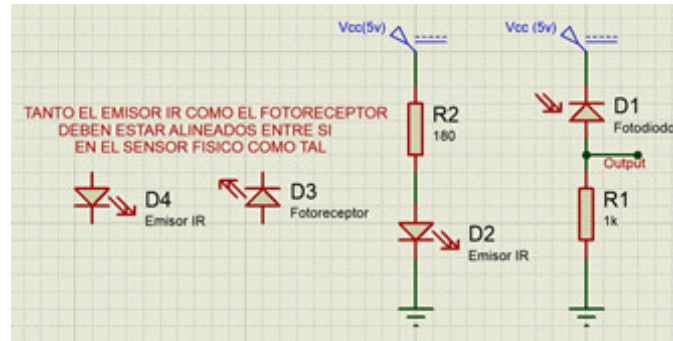


Figura 13.1: Esquema circuital del sensor a implementar, este circuito contiene los elementos necesarios para generar la etapa de adquisición de la señal mediante una técnica pletismográfica. Los sensores deben estar frente con frente para que la luz incida de forma directa.



a) Sensor a base de cepillo de silicona



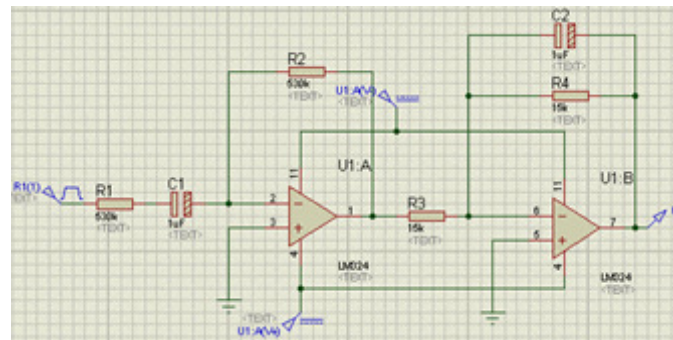
b) Sensor a base de gancho de ropa



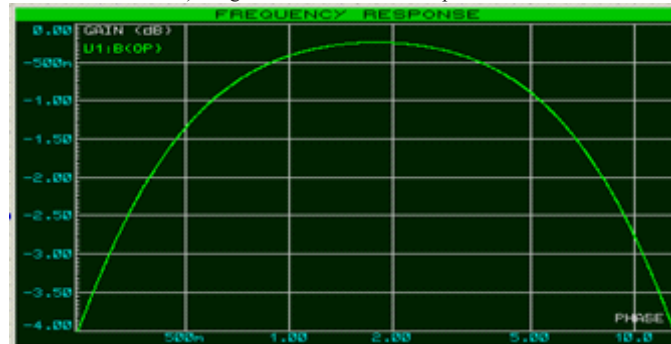
b) Sensor a base de joyería plastica

Figura 13.2: Sensores ergonómicos desarrollados. Cada uno de estos sensores permite adquirir una señal eléctrica relacionada a la actividad mecánica del corazón, por ser susceptible de ruidos se hace necesario la etapa de adecuación.

Primero se determina el voltaje de operación del led emisor V_I, que se puede encontrar en la hoja de características, al igual que la corriente máxima I_{máx} que este soporta para una máxima radiación. Para nuestro caso el voltaje de operación del led seleccionado es de 1.36 V y la corriente máxima que este soporta es de 20 mA por lo que la resistencia para su polarización es de 182 Ω. Finalmente, para la calibración del fotodiodo, se utiliza un potenciómetro de 100 kΩ y se da una variación del valor de la resistencia hasta lograr observar una onda similar a la pletismográfica estando el haz de luz incidiendo sobre el dedo.



a) Diagrama circuital del filtro pasa banda



b) Respuesta en frecuencia del filtro pasa banda

Figura 13.3: Filtro analógico pasa banda con frecuencias de corte superior de 10.5 Hz e inferior de 0.05Hz. Permite obtener los armónicos más significativos de la señal y filtrar los ruidos introducidos por el movimiento o por la fuente.

13.2.2. Etapa de Acondicionamiento y Comparación de la Señal

La etapa de adecuación de la señal es muy importante debido a que una señal mal acondicionada produce resultados erróneos, este tipo de resultados no son válidos cuando se realizan dispositivos que involucren la salud de pacientes ya que valores erróneos pueden conllevar a tratamientos no adecuados y con resultados no deseados. Principalmente, para el diseño de esta etapa se parte de que el corazón late de 60 a 100 veces por minuto bajo condiciones normales del sujeto, pero este valor depende de las características de cada individuo como la edad, su masa corporal, su tamaño, su alimentación, entre otras. La señal cardiaca normalmente se analiza mediante una representación gráfica denominada electrocardiograma (ECG), esta medición tiene un ancho de banda que va desde los 10 mHz hasta los 100 Hz [12]. Para la adquisición de la señal cardiaca se realiza un registro de la diferencia de potenciales eléctricos del corazón, ya sea mediante la diferencia entre dos puntos a lo que se denomina derivación bipolar o entre un punto virtual y un electrodo por lo que recibe el nombre de derivación monopolar [13], [14]. Según lo anterior, el sensor diseñado es del tipo monopolar pero dada su ubicación es susceptible de errores en mediciones dadas por interferencia de la línea de alimentación del sistema (señal de 60Hz) y por el movimiento del dispositivo (transitorios con duración entre 100 y 500 μ s) que se constituyen en parámetros a considerar en el diseño de esta etapa.

Para aplicaciones de bio-realimentación, tomar todo el espectro de la señal ECG es innecesario ya que un rango de frecuencias de 0.05 Hz a los 10.5 Hz permite estimar correctamente la actividad mecánica del corazón a partir de una señal eléctrica. También es importante saber que la señal cardiaca obtenida tiene una amplitud reducida por lo que es necesario realizar una amplificación de la señal ya que la mayoría de tarjetas de procesamiento trabajan con señales de entrada de 5 voltios pero para señales de entrada de valores bajos (inferiores a 2.3 voltios) se considera como una entrada LOW (estado bajo o 0). Para lograr el ancho de banda mencionado se utiliza un filtro pasa banda compuesto por dos filtros activos, uno pasa bajas con frecuencia de corte de 10.5 Hz y otro pasa altas con frecuencia de corte de 0.05 Hz, de esta forma al conectar dichos filtros en cascada se obtiene una banda de paso deseada y se evita incluir un filtro Notch de 60 Hz para eliminar el ruido de la fuente de alimentación. La figura

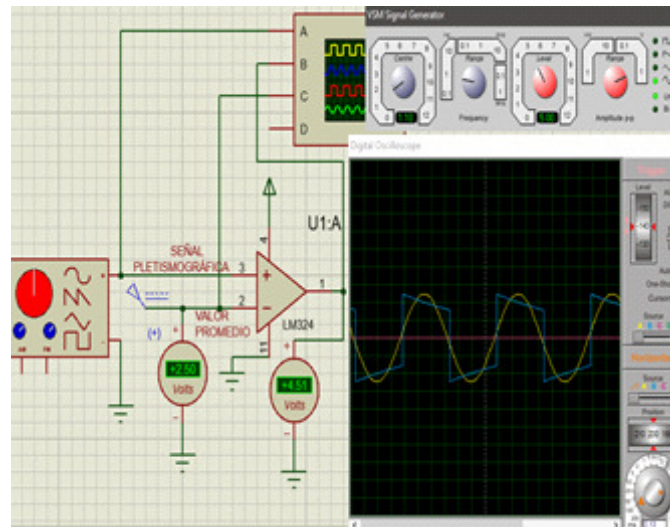


Figura 13.4: Etapa de comparación de la señal para la generación de pulsos mediante un comparador que tiene por valor de referencia 2.5 voltios con la finalidad de obtener pulsos con estados altos y bajos de igual duración.

13.3-a muestra el filtro diseñado con los parámetros descritos anteriormente, la figura 13.3-b presenta la respuesta en frecuencia del filtro.

Finalmente, una etapa de comparación es introducida para lograr generar una serie de pulsos relacionados a la onda pletismográfica obtenida, para esto, se compara la señal con su valor promedio con la finalidad de obtener pulsos equidistantes en sus estados 0 y 1 respectivamente. La figura 13.4 ilustra la etapa de comparación propuesta en la cual se puede ver en color azul los pulsos producidos por el comparador, en estado alto cuando la señal es mayor que el valor promedio y bajo cuando esta es menor.

13.2.3. Etapa de Procesamiento

El algoritmo de procesamiento es el que se encarga de realizar las operaciones necesarias para estimar la frecuencia cardiaca del paciente y emitir una señal visual y auditiva. Según lo anterior, el funcionamiento del algoritmo depende del correcto funcionamiento de los sensores, de una buena etapa de adecuación de señal y de una buena interfaz visual y auditiva para garantizar un dispositivo útil y que permita apoyar las terapias de bio-realimentación de forma comparable.

Para este caso, el dispositivo contiene una tarjeta de adquisición arduino encargada del procesamiento digital la cual calcula el ritmo cardiaco mediante un algoritmo que consiste en determinar el tiempo que ha transcurrido desde que se detectó la señal en uno de los pines de adquisición del dispositivo y compararlo con un valor de referencia de tiempo preestablecido. Posteriormente, si existe el pulso y se cumple que ha cambiado el valor de dicha señal con respecto a su estado anterior se procede a calcular su periodo mediante la diferencia entre el tiempo de inicio y el tiempo de referencia, una vez se realiza esto se actualiza el estado de referencia de tiempo mediante la función de arduino millis.

Finalmente, se refresca la memoria del estado anterior de la señal asignándole el valor actual del pulso y guardando la última señal recibida, si dado el caso se obtiene que el pulso es cero entonces se debe asignar un valor 0 a la frecuencia para evitar una indeterminación (al dividir por 0, véase ecuación 13.2) pero de no ser así entonces el periodo permitirá calcular la frecuencia según la ecuación 13.2. Dado que el tiempo que se adquiere con la función millis está en milisegundos es necesario multiplicar por un valor de 60000 ya debido a que la frecuencia se representa en pulsaciones por minutos (ppm).

$$frecuencia = \frac{60000}{Periodo} \quad (13.2)$$

13.2.4. Interfaz auditiva y de Visualización - Biorealimentación

Para facilitar la realimentación dispositivo-usuario se optó por la inclusión de dos periféricos, una pantalla LCD de 2X16 y un buzzer, de esta forma el usuario no solo recibe una respuesta visual de su estado sino que también percibe una estimulación auditiva de acuerdo a su estado [15]. Lo anterior permite utilizar el condicionamiento operante como alternativa de terapia ya que si el usuario se encuentra en un estado de estrés o ansiedad recibirá un castigo representado en un sonido de tono alto y si se encuentra en un estado ideal recibirá un premio en forma de sonido de tono bajo, de esta manera se estimula al cerebro a buscar un estado de premio y no de castigo.

Para lo anterior, una vez calculada la frecuencia cardiaca se procede a presentar en la LCD los valores tanto del pulso obtenido y del estado en el cual se encuentra el paciente para el cual se han fijado unos rangos de frecuencias representados mediante emoticones (en la sección de resultados se puede apreciar gráficamente desde la figura 9 a la 12), esto se realiza de la siguiente forma:

- Si la frecuencia esta entre 60 y 80 ppm se emite un emoticón (:)) sonriente y una mano indicando que el estado es idóneo.
- Si la frecuencia esta entre 30 y 60 ppm se emite un emoticón (:[) decepcionado y una flecha hacia arriba indicando que se debe subir las pulsaciones para estar en el nivel predefinido.
- Si la frecuencia es inferior a las 30 ppm se emite un emoticón (:\$) asustado y una flecha hacia arriba indicando que se debe subir las pulsaciones para estar en el nivel predefinido.
- Si la frecuencia es superior a 80 ppm se emite un emoticón (:() triste y una flecha hacia abajo indicando que se debe disminuir las pulsaciones para estar en el nivel predefinido.

Esto permite representar los parámetros en la LCD e inferir en el tipo de sonido que se va a generar, para esto, el especialista debe definir un umbral de referencia para el cual se presenta la respuesta. Cabe resaltar que este dispositivo es una herramienta de apoyo en las terapias por lo que es posible modificar estos intervalos de respuesta según las necesidades tanto del paciente como del especialista tratante, esto se realiza predefiniendo el valor de frecuencia a un nivel que define el especialista mediante un potenciómetro configurado como regulador del Set Point.

13.3. Resultados y Discusión

13.3.1. Adquisición y Adecuación de la Señal

La adquisición de la señal mediante la técnica fotopletismográfica propuesta resulta en un método de bajo costo y de fácil implementación. El diseño propuesto para la etapa de adecuación de la señal entre el ancho de banda y las frecuencias de corte establecidas permite obtener una onda pletismográfica acorde a la esperada. La figura 5 muestra la onda pletismográfica obtenida a partir de las mediciones realizadas con el diseño del sensor 1 (figura 13.2-a) en un sujeto de 24 años de edad, con alimentación balanceada y deportista ocasional, las figuras 13.6 y 13.7 son las mediciones realizadas en el mismo sujeto pero esta vez con los diseños 2 (figura 13.2-b) y 3 (figura 13.2-c) respectivamente.

De esta forma se prueba que se puede obtener una mejor señal de salida mediante un acondicionamiento de señal adecuado cuyo correcto funcionamiento radica en la obtención adecuada de parámetros de diseño como los que se han abordado en la sección 2b y que permiten obtener etapas de amplificación y filtrado bajo consideraciones como ruidos producidos por movimientos o introducidos por la fuente eléctrica.

13.3.2. Procesamiento Digital e Interfaz de Visualización

El correcto funcionamiento del algoritmo de procesamiento desarrollado radica en una buena señal acondicionada. Como se discutió en la sección 2c, el algoritmo de procesamiento no inicia si no es detectada la señal en el pin de entrada destinado a la adquisición. En la figura 8 se puede apreciar que una vez es detectada la señal, el algoritmo empieza su procesamiento, de lo contrario permanece en un estado stand by.

Posteriormente, una vez se detecta la señal el algoritmo procede a calcular la frecuencia cardiaca según la frecuencia de la señal de entrada. Finalmente, una vez es detectada la señal e iniciado el procesamiento



Figura 13.5: Señal pletoisomográfica obtenida con el diseño del sensor 1 en la cual se puede apreciar la onda pletoisomográfica después del filtrado realizado.

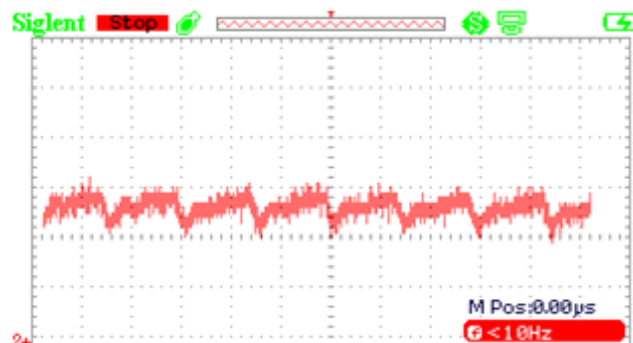


Figura 13.6: Señal pletoisomográfica obtenida con el diseño del sensor 2 en la cual se puede apreciar la onda pletoisomográfica después del filtrado realizado.



Figura 13.7: Señal pletoisomográfica obtenida con el diseño del sensor 3 en la cual se puede apreciar la onda pletoisomográfica después del filtrado realizado.

digital se presentan los resultados mediante una interfaz visual y auditiva al usuario. Los resultados de la respuesta del algoritmo ante una entrada de tren de pulsos bajo diferentes frecuencias definidas dentro de los rangos de operación del dispositivo se muestran de la figura 9 a la figura 12.

Como se puede apreciar, la respuesta del algoritmo es acorde a lo requerido, permite procesar la señal acondicionada y determinar la frecuencia cardíaca o los pulsos cardíacos de un usuario con un error de ± 1 Hz. El mismo algoritmo es el que permite presentar los datos mediante una pantalla LCD que hace las veces de interfaz visual, de esta forma, el usuario mediante inspección de su estado y su frecuencia, obtenidas a partir de una realimentación visual (o feedback) procede a realizar acciones de control voluntario que en pocas palabras es el objetivo principal del bio-realimentación y de este dispositivo.

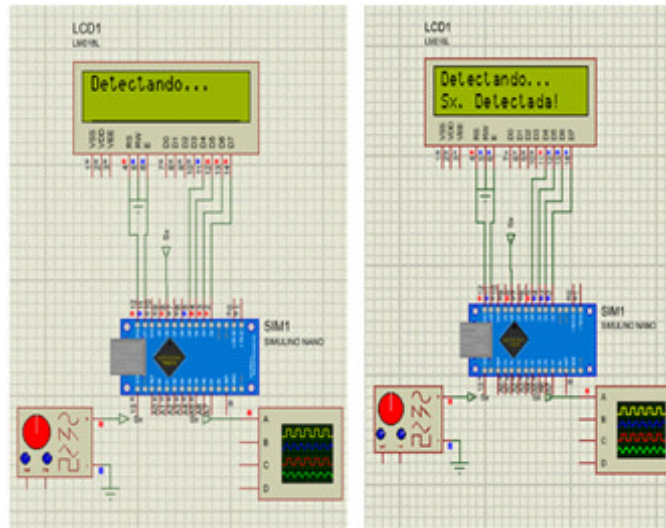


Figura 13.8: Modo Stand By mediante el cual el sistema espera detectar los pulsos para iniciar con el procesamiento digital, si la señal no se detecta el dispositivo no inicia con el procesamiento.



Figura 13.9: Presentación visual ante una entrada de tren de pulsos con una frecuencia de 25 Hz, como esta frecuencia es inferior a 30 Hz se presenta un estado triste y una flecha hacia arriba indicando que se debe subir las pulsaciones.

13.3.3. Dispositivo Electrónico Portable de Bajo Costo

Finalmente, esta sección presenta el dispositivo propuesto para el cual se ha integrado las etapas descritas en la sección 2 y se ha diseñado un armazón o caja para protección de componentes y portabilidad. Para el dimensionamiento de la caja de protección se tuvo en cuenta principalmente las medidas de la pantalla LCD, de la tarjeta arduino a utilizar (arduino Leonardo), de un potenciómetro de regulación del Set Point para la frecuencia de trabajo definida por el especialista, y de un buzzer que hace las veces de interfaz auditiva. La figura 13 ilustra algunos de los procedimientos de diseño de la caja realizado en el software Autodesk INVENTOR®.



Figura 13.10: Presentación visual ante una entrada de tren de pulsos con una frecuencia de 47 Hz, como esta frecuencia esta entre el rango de 30 a 60 Hz se presenta un estado sorprendido y una flecha hacia arriba indicando que se debe subir las pulsaciones.



Figura 13.11: Presentación visual ante una entrada de tren de pulsos con una frecuencia de 68 Hz, como esta frecuencia esta entre el rango de 60 a 80 Hz se presenta un estado feliz y una mano alzando el pulgar que indica que el estado del paciente es el deseado por el especialista.

Una vez se realizó la generación de la caja mediante una impresora 3D, se ensamblaron las partes y se realizaron las conexiones pertinentes. La integración de las etapas descritas en la sección 2 permite lograr un dispositivo portable de bajo costo para el apoyo a terapias de bio-realimentación mediante dos interfaces, una auditiva y la otra de visualización de parámetros y estados. La figura 14 presenta el dispositivo final descrito anteriormente.

Dado que los sensores contienen una mox en su extremo de conexión, permite que se pueda utilizar indistintamente uno u otro ya que estos finalmente generaran un tren de pulsos a la entrada del pin de arduino designado para adquisición, de esta forma prácticamente se estandariza la conexión del sensor al



Figura 13.12: Presentación visual ante una entrada de tren de pulsos con una frecuencia de 93 Hz, como esta frecuencia es superior a 80 Hz se presenta un estado de temor y una flecha hacia abajo indicando que se debe disminuir las pulsaciones.

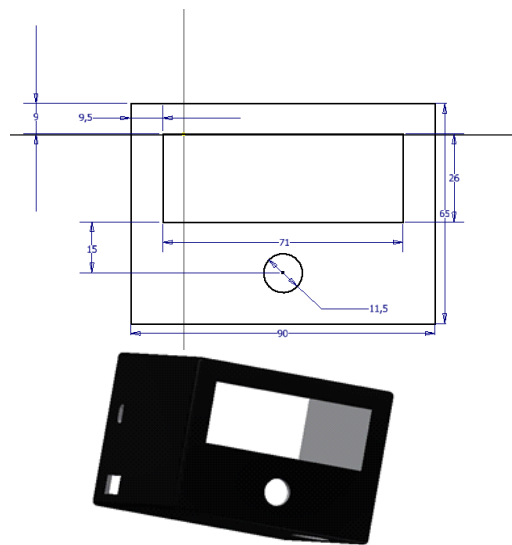


Figura 13.13: Dimensionamiento y diseño de la caja de protección para lo cual se tuvo en cuenta las dimensiones de algunos periféricos, como la pantalla y el buzzer, y componentes internos como tarjeta de procesamiento, circuitos y cableado.

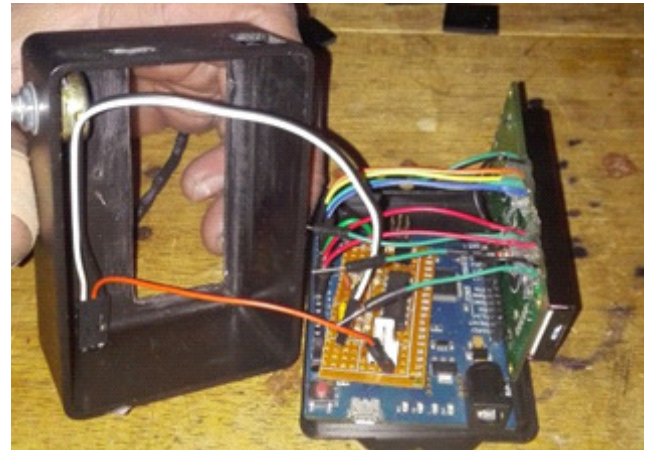
dispositivo. En la página <https://sites.google.com/site/alejocastroworks/> se puede encontrar información mucho más detallada del diseño e implementación del dispositivo, así como también archivos descargables para la producción final del mismo.

Finalmente, en la tabla 13.1 se relacionan los precios de producción del dispositivo presentado en la cual se puede apreciar que el precio es aproximadamente igual al de un pulsioxímetro básico que no provee las prestaciones que se han propuesto para el sistema.

Como se puede apreciar en la tabla 13.1, el dispositivo propuesto tiene un costo de 25.75 dólares (aproximadamente 83700 pesos colombianos) y que en comparación con herramientas que ofrecen esta



a) Dispositivo electrónico con los etapas integradas y la caja de protección



b) Integración de las etapas y proceso de ensamblado

Figura 13.14: Integración de las cuatro etapas de la sección 2 para la obtención de un dispositivo electrónico portable de bajo costo, se puede apreciar la composición interna y el cableado. Se puede apreciar que el dimensionamiento permite un diseño óptimo y garantiza tanto la portabilidad como la protección del dispositivo.

Tabla 13.1: Relación de Precios De Los Materiales.

Materiales	Costo (Dólares)
Componentes Electrónicos Para la Etapa de Sensado	2.50
Componentes Electrónicos Para la Etapa de Adecuación	4.50
Tarjeta Arduino	12.00
Interfaz H-D	5.25
Cargador de 12 voltios	2.50

misma utilidad cuyo precio es de 800 dólares (o 2'358,000 pesos colombianos) resulta en un dispositivo comparable, de bajo costo y portable.

13.4. Conclusiones

Es importante la creación de dispositivos electrónicos a partir de materiales reciclables como componentes electrónicos en desuso o elementos caseros que ya no se utilizan y que se pueden encontrar fácilmente, de esta forma se aporta al desarrollo de comunidades y se motiva en alguna proporción a la reducción del impacto ambiental. El desarrollo de dispositivos electrónicos de bajo costo permite a las comunidades de bajo nivel socioeconómico acceder a terapias más eficientes para el tratamiento de enfermedades que acongojan dichas comunidades, incluso facilitan al paciente que sea el mismo quien pueda determinar su estado y auto controlarlo o acudiendo a especialistas en el área para mejores tratamientos. Se realizó la implementación del dispositivo con resultados prometedores llamando la atención de la comunidad científica y médica. Por último, esta herramienta es de apoyo en terapias de bio-realimentación, siendo el especialista quien finalmente provee las acciones pertinentes para ejecutar un autocontrol eficiente y determina los rangos de operación del dispositivo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto de investigación “Diseño e implementación de un prototipo electrónico de bajo costo para terapias de biofeedback en tratamientos de trastornos psicofisiológicos” financiado por la Fundación CEIBA y la Gobernación de Nariño.

Este trabajo es realizado con el apoyo de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales y del “Grupo de investigación en ingeniería eléctrica y electrónica” – GIIEE de la Universidad de Nariño. Así como también a la Universidad Técnica del Norte y al psicólogo especialista en tratamientos mediante biofeedback, el profesor del CESMAG Hugo Campaña.

Referencias

1. M. Tortella-Feliu, R. M. Baños, N. Barrantes, C. Botella, F. Fernández-Aranda, J. García-Campayo, & J. Soler, “Retos de la investigación psicológica en salud mental”. *Clínica y Salud*, 27(1), 37-43, 2016.
2. C. Marín, N. Londoño, F. Juárez, F. Giraldo, & V. Ramírez, “Prevalencia de trastornos mentales y estresores psicosociales en usuarios de consulta externa en psicología de la universidad de San Buenaventura, Medellín–Colombia”. *El Ágora USB*, 10(1), 19-35, 2015.
3. R. Kohn, I. Levav, J. M. C. D. Almeida, B. Vicente, L. Andrade, J. J. Caraveo-Anduaga y B. Saraceno, “Los trastornos mentales en América Latina y el Caribe: asunto prioritario para la salud pública”, 2005.
4. E. Echeburúa, P. D. Corral Gargallo, K. & Salaberría, “Efectividad de las terapias psicológicas: Un análisis de la realidad actual”, 2010.
5. Asociación Americana De Psiquiatría, Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales-DSM 5. Médica Panamericana, 2014.
6. F. J. L. Encinas, “Técnicas de modificación de conducta”. Ediciones Pirámide, 2014.
7. F. J. Labrador, F. J., Estupiñá, & M. P. G.Vera, “Demanda de atención psicológica en la práctica clínica: tratamientos y resultados”. *Psicothema*, 22(4), 619-626, 2010.
8. M. Balaguer, “Revisando Técnicas: Control de signos vitales,” *Revista de Enfermería*, vol. 10, pp. 5-10, 2010.
9. M. L. Rocha Cabrera y G. G. Celi Orrala, “Mediciones fotopletismográficas,” 2012.
10. I. de Mir Messa, O. S. Prado, H. Larramona, A. S. Posadas & J. V. Asensi, “Pletismografía corporal (I): estandarización y criterios de calidad”. In *Anales de Pediatría* (Vol. 83, No. 2, pp. 136-e1), 2015. Elsevier Doyma.
11. M. Murugappan, S. Murugappan & B. S. Zheng, “Frequency band analysis of electrocardiogram (ECG) signals for human emotional state classification using discrete wavelet transform (DWT)”. *Journal of physical therapy science*, 25(7), 753-759, 2013.
12. G. Barge-Caballero, D. Couto-Mallón, E. Barge-Caballero, M. J. Paniagua-Martín, R. Bariiales-Villa, J. Pombo-Otero y M. G. Crespo-Leiro, “¿Cómo enfrentarse a una sospecha clínica de amiloidosis cardíaca? Un enfoque práctico para el diagnóstico,” *Cardiocre*, 2016.
13. J. García-Niebla, A. Baranchuk y A. Bayés de Luna, “Onda epsilon en el electrocardiograma de 12 derivaciones. ¿Está subestimada su frecuencia?,” *Revista Española de Cardiología*, vol. 69, n° 04, pp. 438-438, 2016.
14. M. S. Schwartz & F. Andrasik, “Biofeedback: A practitioner’s guide.”, Guilford Publications. 2015
15. C. Castellano-Tejedor, E. Barnola-Serra, I. & Martínez-Raibal. “Programa de entrenamiento en coherencia cardíaca para la reducción del estrés en personal sanitario con cervicalgia crónica: un estudio piloto”. *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 22(6), 249-252. 2015.
16. D. R. Magariños. “ESTRÉS, DEPRESIÓN Y ANSIEDAD COMO FACTORES ASOCIADOS DE LA FIBROMIALGIA Y SUS REPERCUSIONES EN LA FUNCIONALIDAD FAMILIAR.”, 2016.
17. S. Cano, D. Peluffo, J. Revelo & Á. Ruano, “PROTOTIPO DE BAJO COSTO PARA APLICACIONES DE BIOFEEDBACK”, Segundo encuentro nacional de semilleros de investigación en Ingeniería Electrónica. 2015.

Capítulo 14

CARACTERIZACIÓN DE ELECTROLITOS POLIMÉRICOS TIPO GEL BASADOS EN EL LIQUIDO IÓNICO 1-ETIL-3-METILIMIDAZOLIO BIS (TRIFLUOROMETILSULFONIL) IMIDA Y DIFERENTES CONCENTRACIONES DE $ZnSt_2$ PARA SU USO EN BATERÍAS DE Zn

TAFUR J.,¹ SANTOS F.,² PEREZ M.² Y FERNÁNDEZ A.²

¹ Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.

² Grupo de Materiales Avanzados para la Producción y Almacenamiento de Energía, Universidad Politécnica de Cartagena, España.

Resumen: Se han sintetizado membranas de electrolito polimérico compuestas de poli (fluoruro de vinilideno-co-hexafluoropropeno) ($PVdF - HPF$), un líquido iónico (1-etil-3-metilimidazolio bis (trifluorometilsulfonil) imida $[EMIM]^+ [TFSI]^-$) y diferentes concentraciones de sal de estearato de Zinc ($ZnSt_2$). Estas membranas se caracterizaron utilizando técnicas experimentales como difracción de Rayos X (DRX), Espectroscopía de Infrarrojo ($FTIR$), Análisis Termogravimétrico (TGA), Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), Espectroscopía de impedancia ($PEIS$) y por último se realizó un estudio de la conductividad iónica con la temperatura donde se obtuvo que los electrolitos poliméricos siguen un comportamiento tipo Arrhenius, lo que permite obtener los valores de Energía de activación para cada una de las membranas compuestas por diferentes concentraciones de sal.

Palabras Claves:

14.1. Introducción

En las últimas décadas, es cada vez mayor la dependencia que la sociedad tiene en una gran variedad de dispositivos portátiles como son los teléfonos móviles, ordenadores portátiles, tabletas, equipos de radio, música, fotografía entre otros. Todo esto hace indispensable el desarrollo de nuevos sistemas de almacenamiento que proporcionen altos valores de energía, tengan una larga vida útil, sean versátiles, reversibles y de bajo costo. Lo que está causando un incremento en la investigación en electrolitos poliméricos sólidos (PEs) o en fase gel ($GPEs$), debido a que pueden ser utilizados como buenos sustitutos de los electrolitos líquidos usados en dispositivos como baterías, celdas de combustible, superconductores entre otros [1], [2].

Los $GPEs$ se preparan atrapando dentro de una matriz polimérica, una solución de sales portadoras de iones en disolventes orgánicos. De esta forma, la matriz polimérica proporciona estabilidad mecánica y la sal facilita la conductividad iónica. Entre los polímeros que más se han estudiado se encuentran el

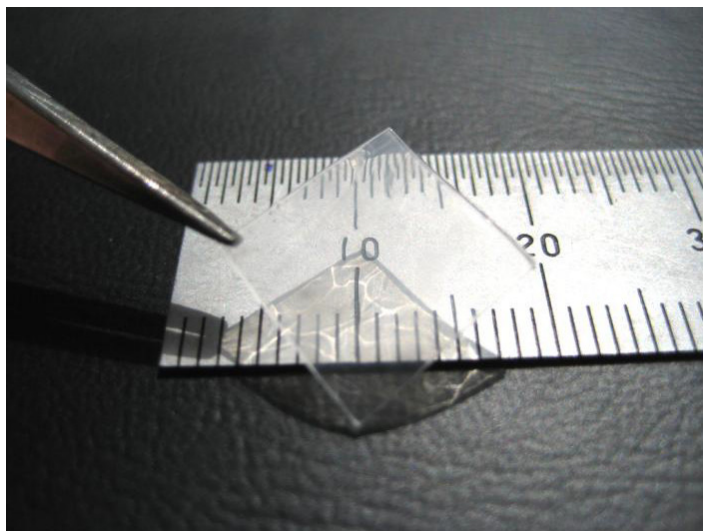


Figura 14.1: Membrana sintetizada en el laboratorio.

poli metacrilato de metilo (*PMMA*), poli acrilonitrilo (*PAN*), poli fluoruro de vinilideno (*PVDF*), poli fluoruro de vinilideno-co-hexafluoropropeno (*PVDF – HFP*) [3]. Las propiedades y morfología de los *GPEs* dependerán del disolvente, tipo y cantidad de sal que esté presente en la matriz polimérica [1]-[6].

Actualmente, los estudios de *GPEs* se centran en la utilización de líquidos iónicos (*LIs*), el lugar de soluciones salinas clásicas, motivado por las excelentes propiedades que presentan *LIs* tales como baja ó nula volatilidad, baja temperatura de fusión, altas estabilidades químicas y térmicas, o nula presión de vapor [7]-[9]. Estas características ayudan a obtener excelentes propiedades en los *GPEs* [10]. Hasta el momento, las investigaciones utilizando *LIs* se han centrado en las baterías de ion-litio [2], [3], [13]-[17], pero existen pocos estudios aplicados a baterías de *Zn* [6], [9], [11], [12], Teniendo en cuenta que el *Zn* es un material de bajo costo y que actualmente se está profundizando mucho en el estudio de las baterías de *Zn – aire*, la obtención de membranas poliméricas para su uso en este tipo de baterías es de gran importancia.

El objetivo de este artículo es sintetizar electrolitos poliméricos gelificados basados en el $LI[EMIM]^+[TFSI]^-$ y una sal como el estearato de zinc ($ZnSt_2$) para su uso en baterías de *Zn*. Posteriormente, una vez caracterizados estructuralmente y térmicamente se ha llevado a cabo un estudio de la influencia de la concentración de $ZnSt_2$ sobre la conductividad de dichas membranas.

14.2. Parte experimental

Las membranas utilizadas para este estudio están compuestas por una matriz de *PVdF – HFP* (Aldrich), sal iónica de estearato de Zinc ($ZnSt_2$) (Aldrich), y el *LI* 1-etil-3-metilimidazolio-bis (trifluorometilsulfonil)-imida, 99% $[EMIM]^+[TFSI]^-$, (*IOLITEC*). Para la preparación se utiliza una dilución del copolímero *PVdF – HFP* en tetrahidrofurano (*THF*) calentando a $55-60^\circ C$, (6 ml de *THF* por cada gramo de *PVdF – HFP*). Por otra parte, la sal de $ZnSt_2$ se disuelve en el líquido iónico (*LI*). Esta disolución la mezclamos con la de *PVdF – HFP/THF*, homogenizando a $55^\circ C$ durante 6 horas. La relación de peso del copolímero con respecto al líquido iónico es de 1:0,7. Después de agitar, la solución obtenida se vierte en una placa de Petri y se introduce en una estufa a $60^\circ C$ durante 4 horas, con el fin de evaporar el *THF* sobrante. Finalmente la membrana es almacenada en un desecador hasta el momento de usarse. En la figura 14.1, se observa uno de los *GPEs* sintetizados en el laboratorio, utilizando *THF* como disolvente.

Para los espectros de *DRX* se ha utilizado un equipo Bruker axs modelo “D8-Advance”, mientras que los espectros de *ATR – FTIR* se obtuvieron con un equipo Thermo Nicolet 5700. El equipo utilizado para llevar a cabo el estudio de *TGA* de las muestras es el analizador termogravimétrico “*TGA/DSC1HT*” de Mettler Toledo. Las muestras utilizadas para este estudio eran troqueladas a 6 mm y con un peso entre 10 y 20 mg, las cuales eran introducidas en crisoles de aluminio de $40 \mu l$ selladas con una tapa. La

temperatura de muestreo se encuentra en el rango de 30-600°C, en presencia de N_2 y con una velocidad 10°C min⁻¹. Los resultados obtenidos eran evaluados con STARe Software versión 10.0.

Las medidas de análisis *DSC* se han realizado con el equipo DSC 822E Mettler Toledo. Las muestras tenían un tamaño de 10-20mg y se introdujeron en un crisol de aluminio de 40μl con tapa, sin perforación. Todas las pruebas en *DSC* se realizaron a una velocidad de 10°Cmin⁻¹, en presencia de N_2 y usando un crisol de aluminio vacío de 40μl como referencia. Los resultados obtenidos por cada una de las muestras, se evaluaron con STARe Software versión 10.0.

Para conductividad iónica (σ), se empleó un Potenciostato/Galvanostato Biologic VSP Modular con 5 canales. Realizando medidas de impedancias, estas medidas se realizaron en condiciones de equilibrio utilizando una señal de perturbación de 10 mV y un rango de frecuencia entre 100 kHz y 40 mHz. El rango de temperatura de trabajo varió entre 278 y 253 K. La temperatura se mantuvo constante, $\pm 1^\circ C$, utilizando un Criotermóstato Julabo F25. Después de cada salto de temperatura, se esperaron 45 minutos antes de iniciar la medida con el fin de alcanzar el equilibrio térmico del sistema. A partir de la siguiente ecuación se obtienen los valores de conductividad:

$$\sigma = \frac{L}{R_b A} \quad (14.1)$$

Donde L es el espesor de la membrana, R_b la resistencia de la membrana, y A superficie de contacto del electrodo.

El cálculo de la energía de activación se suele realizar a partir de los valores de conductividad de los GPEs obtenidos a distintas temperaturas [6], [11]. Estos GPEs tienen un comportamiento de tipo Arrhenius, a partir de la siguiente expresión se pueden obtener los valores de Energía de activación (E_a):

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\left(\frac{E_a}{k_B T}\right)} \quad (14.2)$$

donde σ_0 es un factor pre-exponencial, E_a es la energía de activación, k_B la constante de Boltzman, T es la temperatura absoluta. En este caso, la representación de $\ln \sigma_0$ (S cm⁻¹) vs. 1000T/K reporta una línea recta, de cuya pendiente se deduce el valor de E_a .

14.3. Resultados y discusión

14.3.1. Caracterización estructural y morfológica.

14.3.1.1. Difracción de Rayos X (DRX) Utilizando la técnica de Difracción de Rayos X (DRX) se puede distinguir las diferentes fases cristalinas del copolímero *PVdF – HFP*. Este copolímero es uno de los más estudiados por diversos grupos de investigación, los cuales han demostrado que pueden presentar diferentes fases cristalinas, a las que denominaron fase- α , o “II”, fase- β , o “I”, fase- γ , o “III”, y fase- δ , o “IV” [2], [18].

En la figura 14.2, se muestra el espectro de *DRX* de una membrana de *PVdF – HFP* pura, la cual presenta regiones cristalinas mezcladas con regiones amorfas, los picos observados a ($2\theta = 17.8^\circ, 18.2^\circ, 19.9^\circ, 26.7^\circ, 35.9^\circ, 38.9^\circ$), se corresponden con la formación de una estructura tipo- α , que es la fase que suele obtenerse en condiciones normales [19]-[21].

Como se observa en la figura 14.2-b, el espectro de $^\circ C$ obtenido para las películas de *PVdF – HFP* con $[EMIM]^+[TFSI]^-$ o con $[EMIM]^+[TFSI]^-/ZnSt_2$, muestra un cambio significativo, que indica un aumento de la amorficidad de la membrana. Se aprecia un pico ancho en 20.1° con un hombro a $\sim 18^\circ$, el pico a 26.7° desaparece, y los picos de 35.9° y 38.9° disminuyen considerablemente. Este comportamiento sugiere que se produce un cambio de fase- α a fase- β , coincidiendo con resultados anteriormente publicados [20]. Aunque otros autores proponen una transformación de fase- α a fase- γ [22], la desaparición del pico a 26.7° , característico también de una fase- γ , parece indicar la formación de una fase tipo β .

14.3.1.2. Espectroscopía Infrarroja (ART-FTIR). La espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (*ART – FTIR*) permite obtener información muy valiosa sobre la estructura de los electrolitos poliméricos que están en estudio. En relación con la estructura del copolímero, diversos grupos de investigación han tratado de interpretar desde el punto de vista teórico y experimental los espectros de *ART – FTIR* del *PVdF* y del *PVdF – HFP* [20], [22]-[27]. Sin embargo, las conclusiones alcanzadas por los diferentes grupos a partir de cálculos teóricos y resultados experimentales parecen ser contradictorias.

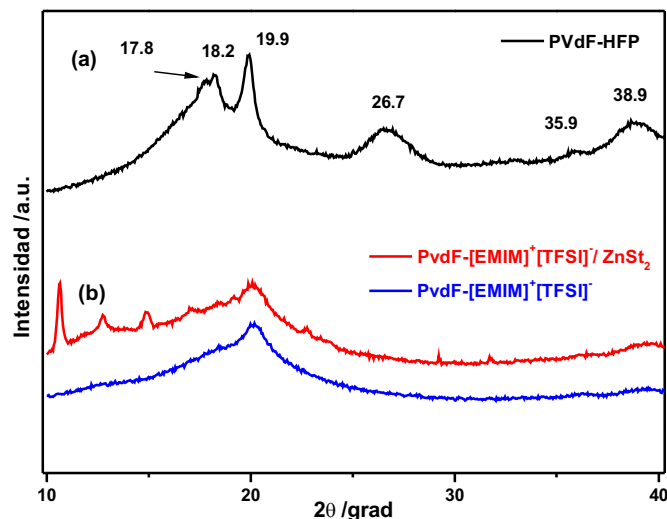


Figura 14.2: Espectros de DRX de las membranas: (a) PVdF-HFP; (b), PVdF/[EMIM]⁺[TFSI]⁻, PVdF-HFP/[EMIM]⁺[TFSI]⁻/ZnSt₂

Ye. Bormashenko y colaboradores [26] realizaron un resumen excelente de las interpretaciones aportadas con anterioridad respecto a las bandas asignadas a las fases del PVdF que se presentan con mayor facilidad: α , β , y γ .

En la figura 14.3, se muestra el espectro *ATR-FTIR* de una membrana del copolímero *PVdF-HFP* puro, donde se puede apreciar bandas a 48.5, 531.4, 611.9, 761.3, 794.4, 853.4, 870.2, 974.3 cm^{-1} , las cuales se corresponden con una fase- α [26]. Al analizar los espectros de las películas formadas por $[\text{EMIM}]^+[\text{TFSI}]^-$ o $[\text{EMIM}]^+[\text{TFSI}]^-/\text{ZnSt}_2$ se visualiza como los picos a 531, 761, 794.9, 853.9 cm^{-1} han disminuido en intensidad o desaparecen, indicando que se produce cambio de estructura con respecto a la membrana del *PVdF-HFP* puro. Este cambio de estructura puede corresponderse con la formación de una fase β o γ [20], [26], las cuales presentan bandas muy similares, aunque algunas de éstas solo pueden ser asignadas a una u otra fase. Las bandas características de la fase- β son 511, 837-840 cm^{-1} , aunque también se le atribuyen otras bandas como son 449, 463(470), 600, 1279 y 1431 cm^{-1} [28], [29].

Mientras que para la fase- γ se la asignan las bandas 483, 812, 831-838 y 1234 cm^{-1} . En los espectros que se obtuvieron se puede destacar que el pico 511 cm^{-1} no se aprecia debido a que coincide con el pico del líquido iónico, a 838-840 cm^{-1} se observa un pico de media intensidad en todas las membranas, que podría ser asignado tanto a la fase- β como la fase- γ , pero por los estudios realizados por Y. Bormashenko et al. [26] diferenciaron entre el pico de 837 cm^{-1} asignado a la fase- β y el 831 cm^{-1} asignado a la fase- γ . Según esto, es más correcto asignar esta banda a la fase- β . Estos resultados están en concordancia con los obtenidos con *DRX*, lo que demuestra que la membrana de *PVdF-HFP* está conformada por una estructura tipo- α , y al añadir $[\text{EMIM}]^+[\text{TFSI}]^-$ con ó sin sal, se produce un cambio estructural a fase- β . Aunque, hay que tener en cuenta que en una membrana pueden coexistir varias fases a la vez, lo que sí se puede afirmar que en un caso se obtiene una membrana formada mayoritariamente por un fase- α , y al añadir $[\text{EMIM}]^+[\text{TFSI}]^-$ o $[\text{EMIM}]^+[\text{TFSI}]^-/\text{ZnSt}_2$ forma por una estructura mayoritariamente tipo- β , que es una estructura polar en comparación con la fase α que es apolar.

14.3.2. Análisis térmico, TGA y DSC

Se ha llevado a cabo un estudio de la estabilidad térmica de las diferentes membranas de electrolito polimérico mediante las técnicas de termogravimetría analítica (*TGA*) y calorimetría diferencial de barrido (*DSC*). Como se observa en la figura 14.4, todas las membranas estudiadas son muy estables hasta los $\sim 400^\circ\text{C}$ y a partir de ahí se produce una brusca pérdida de peso hasta los 450°C , debido a la

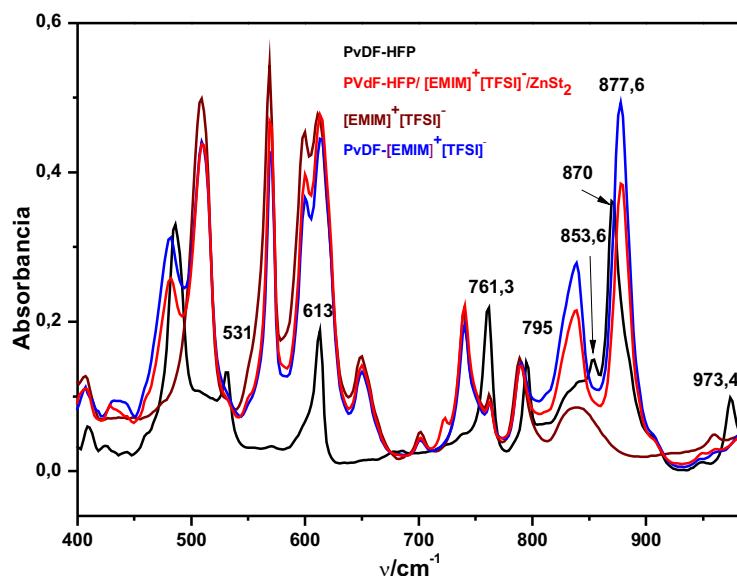


Figura 14.3: Región $400\text{--}900\text{ cm}^{-1}$ del espectro de $ATR - FTIR$ de $PVdF - HFP$, $[EMIM]^+[TFSI]^-$, $PVdF - HFP/[EMIM]^+[TFSI]^-$, $PVdF - HFP/[EMIM]^+[TFSI]^-/ZnSt_2$.

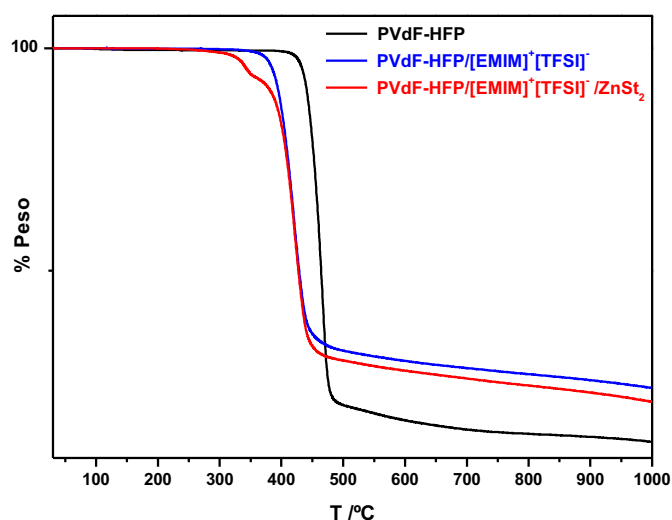


Figura 14.4: Curvas TGA de muestras de $PVdF - HFP$, $PVdF - HFP/[EMIM]^+[TFSI]^-$, $PVdF - HFP/[EMIM]^+[TFSI]^-/ZnSt_2$, en el rango de $100^\circ C$ a $1100^\circ C$.

descomposición del polímero. Se ha de notar que, aunque la película del copolímero $PVdF - HFP$ es la más estable, las demás películas no difieren más de $50^\circ C$ de ésta.

De todas maneras, en la figura 14.5, se observa que la pérdida de peso es menor del $1^\circ C$ a temperaturas menores de $250^\circ C$, para todas las membranas estudiadas. Este hecho nos indica que las membranas no contienen un solvente que sea evaporado y que es mínima la cantidad de vapor de agua que se deposita sobre la misma, si se deposita algo. Además, se demuestra que las películas son suficientemente estables en un rango amplio de temperaturas, por lo que son buenas candidatas para su uso en baterías de zinc.

Las medidas de DSC de los electrolitos poliméricos tipo gel sintetizado en el laboratorio se han llevado a cabo por calentamiento desde los $-50^\circ C$ hasta los $200^\circ C$, posteriormente se realizó un enfriamiento hasta $-50^\circ C$ y de nuevo calentamiento hasta los $200^\circ C$.

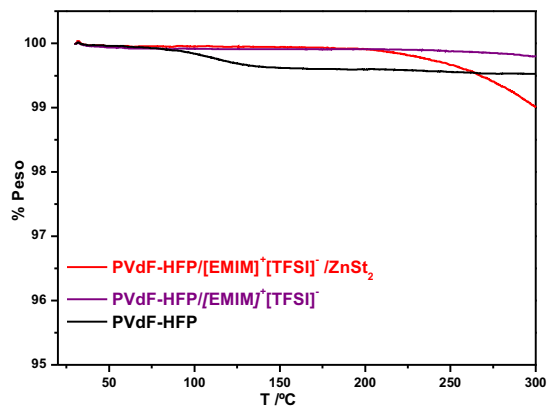


Figura 14.5: Curvas TGA de muestras de $PVdF-HFP$, $PVdF-HFP/[EMIM]^+[TFSI]^-$, $PVdF-HFP/[EMIM]^+[TFSI]^-/ZnSt_2$ en el rango de $0^\circ C$ a $300^\circ C$.

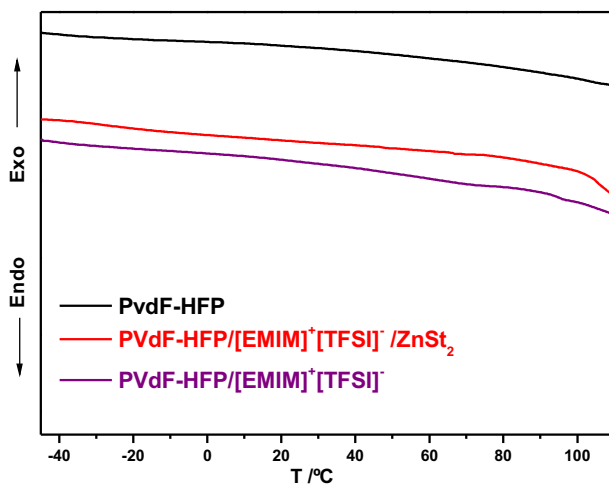


Figura 14.6: Curvas DSC de muestras de $PVdF-HFP$, $PVdF-HFP/[EMIM]^+[TFSI]^-$, $PVdF-HFP/[EMIM]^+[TFSI]^-/ZnSt_2$, en el segundo calentamiento.

En la figura 14.6, se recoge el segundo calentamiento entre los $-40^\circ C$ y los $110^\circ C$. Como puede apreciarse, para las membranas de $PVdF-HFP$, $PVdF-HFP/[EMIM]^+[TFSI]^-$, $PVdF-HFP/[EMIM]^+[TFSI]^-/ZnSt_2$, no se observa ningún cambio estructural en un amplio rango de temperaturas: desde $-30^\circ C$ hasta los $100^\circ C$. Esto demuestra que las membranas de electrolito polimérico tipo gel son buenas candidatas para su uso como separador en baterías de Zn.

14.3.3. Estudio de la conductividad iónica con la temperatura

Con el fin de hacer un estudio de la variación de la conductividad iónica σ ($S \cdot cm^{-1}$) de las membranas preparadas en el laboratorio, se ha recurrido a la técnica de espectroscopía de impedancia. Utilizando una configuración de celda $Pt/GPE/Pt$, donde GPE corresponde a las membranas descritas anteriormente, y Pt se refiere a los dos electrodos bloqueantes en ambos extremos de la célula, de modo que uno de ellos actúa como electrodo de trabajo y el opuesto como electrodo de referencia y contraelectrodo. En la figura 14.7, se muestran las representaciones de Nyquist para una película $PVdF-HFP/[EMIM]^+[TFSI]^-/ZnSt_2$ a distintas temperaturas. Desde estas figuras se puede obtener el punto de corte de la curva de impedancia con el eje de abscisas, lo que nos reporta el valor de la

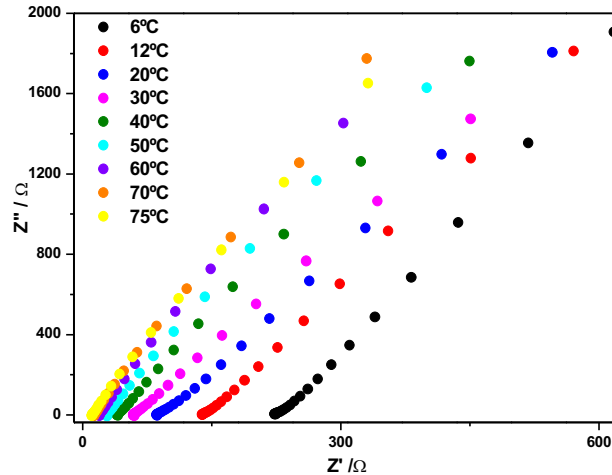


Figura 14.7: Espectroscopías de Impedancias de la membrana $PVdF - HF/[EMIM]^+[TFSI]^-/ZnSt_2$ en el rango de $6^\circ C$ a $75^\circ C$

Resistencia, R_b , a cada temperatura. Con estos valores, y mediante la aplicación de la fórmula 14.1, se han calculado los valores de conductividad, σ , de todas las membranas estudiadas.

Para cada uno de los electrolitos poliméricos se ha obtenido una grafica en la que se representa el $\ln \rho$ ($S\ cm^{-1}$) vs. $1000T/K$ figura 14.8, donde se observa como la conductividad iónica se incrementa a medida que se aumenta la temperatura, teniendo en todos los casos una variación lineal sugiriendo que todas las membranas presentan un comportamiento tipo Arrhenius [30].

En este caso, se observa como la adición de una pequeña cantidad de la sal de estearato de $Zn(0,1M)$ provoca un aumento de la conductividad. Sin embargo un mayor incremento de dicha sal produce una disminución de la conductividad iónica.

Para poder explicar este comportamiento, se tiene que recordar lo que se comento en el estudio estructural, donde se obtuvo que la adición de líquido iónico al $PVdF - HFP$ provocará una disminución de la cristalinidad de la membrana, sin embargo, cuando se añade $ZnSt_2$ (figura 14.2), se observaban una serie de picos atribuidos al estearato y que indicarían la formación de una estructura con cierto carácter cristalino. La formación de esta estructura disminuirá la conductividad iónica en el interior de la membrana, lo que explicaría el por qué las membranas que tienen mayor molaridad de la sal de $ZnSt_2$ son menos conductoras.

En la figura 14.9, se representan los espectros de DRX obtenidos para una membrana de $PVdF - HFP$ y se compara con las que han incorporado el $LI[EMIM]^+[TFSI]^-$ y distintas concentraciones de $ZnSt_2$. Como puede observarse, cuando se añade una pequeña cantidad de sal, 0.1 M, el espectro es muy parecido al obtenido para una membrana sin sal (El espectro de $PVdF - HFP$ y $LI[EMIM]^+[TFSI]^-$ se recoge en la figura 14.2). La no aparición de los picos correspondientes al estearato nos indica que no se ha llegado a formar, o se ha formado mínimamente, una estructura cristalina, y, por tanto, la conductividad será mayor, como se observa en la figura 14.8. Es destacable, además, que sólo a esta concentración la conductividad de los electrolitos poliméricos que contienen $ZnSt_2$ es mayor que la del que no tiene sal: las membranas con más cantidad de sal tienen una conductividad equivalente o menor que la del electrolito polimérico compuesto únicamente de $PVdF - HFP$ y LI . Los espectros DRX de las membranas con mayores concentraciones de $ZnSt_2$ presentan todos los picos correspondientes al estearato, lo que sugiere la formación de una estructura cristalina, la cual será perjudicial para el movimiento de iones y, por tanto, la conductividad iónica disminuirá.

La Tabla 14.1, recoge los valores de conductividad iónica para las membranas analizadas a $30^\circ C$. Se observa cómo en todas las membranas, la conductividad iónica se incrementa a medida que aumentamos la concentración de sal, hasta que, a concentraciones suficientemente grandes, 0.5M, se produce una disminución de la conductividad, provocada por el exceso de sal que induce a la formación de una estructura cristalina que impide la movilidad iónica. También se aprecian los valores de Energía de activación (E_a). Estos valores se obtuvieron a partir del comportamiento tipo Arrhenius que siguen los

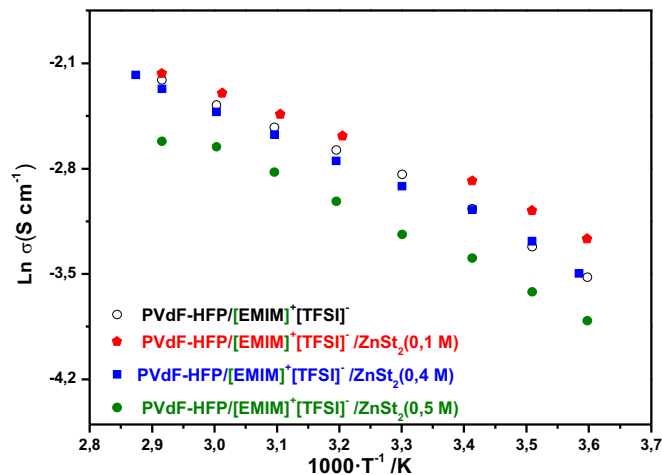


Figura 14.8: Variación de la conductividad iónica con la T^a para los electrolitos poliméricos tipo gel $PVdF - HFP/[EMIM]^+[TFSI]^-$, con distintas concentraciones de $ZnSt_2$.

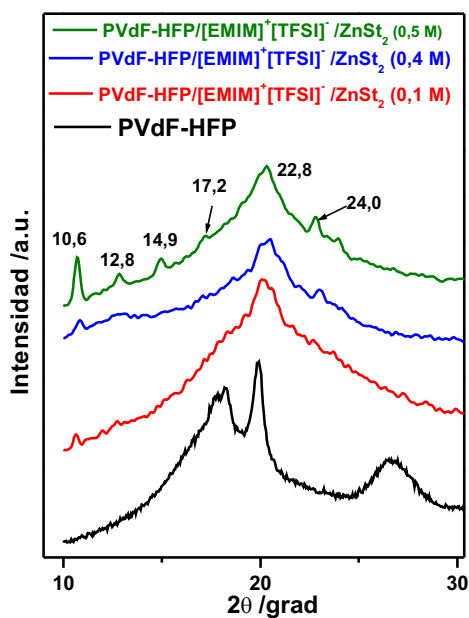


Figura 14.9: Espectro de DRX de las membranas que contienen $PVdF - HF/[EMIM]^+[TFSI]^-/ZnSt_2$.

Tabla 14.1: Valores de conductividad iónica y Energía de activación para membranas $PVdF - HFP/[EMIM]^+[TFSI]^-/ZnSt_2$.

Concentración de sal (M)	$PVdF - HFP/[EMIM]^+[TFSI]^-/ZnSt_2$		
	Rb (Ω)	σ ($S\ cm^{-1}$)	E_a (eV)
0	48,9	$1,45 \times 10^{-03}$	0,37231
0,1	43	$2,61 \times 10^{-03}$	0,31361
0,2	38	$1,91 \times 10^{-03}$	0,3258
0,4	25,4	$1,21 \times 10^{-03}$	0,34926
0,5	96,6	$5,79 \times 10^{-04}$	0,35895

electrolitos poliméricos sintetizados, y usando la ecuación 14.2 se pueden obtener los valores de E_a de cada una de las membranas analizadas. En ellas se aprecia que el valor de E_a es menor para aquellas membranas con los valores de conductividad iónica más alta, es decir, las membranas con concentraciones de 0.1 M y 0.2 M de la sal de $ZnSt_2$.

14.4. Conclusiones

Se han preparado Electrolitos poliméricos en fase gel basados en el líquido iónico $[EMIM]^+[TFSI]^-$, la sal iónica de estearato de Zinc ($ZnSt_2$), y el copolímero $PVdF - HFP$, dando como resultado una membrana flexible, con excelente estabilidad mecánica y ausencia de disolventes volátiles. Por medio de las técnicas de DRX y $ART - FTIR$ se comprobó que al añadir líquido iónico con o sin sal iónica se produce un cambio estructural, pasando de una fase más cristalina y apolar, tipo- α , a una más amorfa y polar, posiblemente la fase- β , lo que permite obtener altos valores de conductividad iónica.

Utilizando las técnicas de TGA y DSC se realizó un análisis térmico comprobando que todos los electrolitos poliméricos son muy estables hasta los $\sim 400\ ^\circ C$ y a partir de ahí se produce una brusca pérdida de peso hasta los $450\ ^\circ C$, causado por la descomposición del polímero. Además, reveló que la pérdida en peso es menor del 1% a temperaturas menores de $250\ ^\circ C$, en todas las membranas estudiadas. Este hecho indica que los electrolitos poliméricos no contienen un solvente que sea evaporado y que es mínima la cantidad de agua depositada en las mismas. En la técnica de DSC se aprecia que en todas las membranas no hay ningún cambio estructural en un amplio rango de temperaturas, entre $-40\ ^\circ C$ y $110\ ^\circ C$ confirmando que estos electrolitos poliméricos son muy estables en un amplio rango de temperaturas, por lo que son buenas candidatas para ser utilizadas en baterías de Zinc con electrolitos poliméricos tipo gel.

A partir de los resultados de la conductividad iónica se comprueba que un aumento de la concentración de sal de $ZnSt_2$ provoca una disminución de la conductividad, debido a la pérdida de amorficidad de la membrana. Esto se corroboró por medio de los estudios de DRX de los electrolitos poliméricos que contenían diferentes concentraciones de sal, donde se observó que, a concentraciones elevadas, 0.5 M, el exceso de sal provoca la aparición de picos atribuidos estearato y que indicaría la formación de una estructura con cierto carácter cristalino, la cual será perjudicial para el movimiento de iones y, por tanto, la conductividad iónica disminuirá. La variación de la conductividad con la temperatura de todas las membranas sigue un comportamiento tipo Arrhenius, lo que nos permitió calcular la Energía de activación. Por último, se concluye que las membranas obtenidas con concentraciones de sal de $ZnSt_2$ a 0.1 M y 0.2 M son las que presentan valores más altos de conductividad iónica y menores Energías de activación, lo que las hace las mejores candidatas a ser utilizadas en baterías de Zn .

Referencias

1. Stephan, A.M. (2006) "Review on gel polymer electrolytes for lithium batteries" European Polymer Journal. pp. 21–42. vol 42
2. Jana, P.K., Sarkar, S., Chadhuri, B.K. (2007) "Maxwell-Wagner polarization mechanism in potassium and titanium doped nickel oxide showing giant dielectric permittivity" J. Phys. D: Appl. Phys. pp. 556-560. Vol. 40.
3. J. Y. Song, Y.Y. Wang, C.C. Wan, J. Power Sources 77 (1999) 183-197.

4. Y.M.B. Ismail, H. Haliman, A.A. Mohamad, *Int. J. Electrochem. Sci.* 7 (2012) 3555–3566.
5. Scrosati, B. (1993) *Applications of Electroactive Polymers*. Chapman and Hall. London.
6. Tafur, J.P., Fernandez Romero, A.J. (2014) “Electrical and spectroscopic characterization of PVdF-HFP and TFSl—ionic liquids-based gel polymer electrolyte membranes. Influence of ZnTf2 salt”. *J. Membr. Sci.* pp. 499-506, vol. 469.
7. Carmichael A.J., Seddon K.R., *J.Phys. Org. Chem.*, 13(2000) 591-595.
8. Singh, P.K.; Sabin K.C.; Chen, X. Ionic liquid–solid polymer electrolyte blends for supercapacitor applications. *Polym. Bull.* 2015, doi:10.1007/s00289-015-14843.
9. Ho C.C.; Evans, J.W.; Wright, P.K. Direct write dispenser printing of a zinc microbattery with an ionic liquid gel electrolyte. *J. Micromech. Microeng.* 2010, 20, doi:10.1088/0960-1317/20/10/104009.
10. Kim, G.-T., Appetecchi, G.B., Carewska, M., Joost, M., Balducci, A., Winter, M., Passerini, S. (2010) “UV cross-linked, lithium-conducting ternary polymer electrolytes containing ionic liquids” *J.Power Sources*. pp 6130. vol 195.
11. J.J. Xu, H. Ye, J. Huang, *Electrochem. Commun.* 7 (2005) 1309-1317.
12. Tafur, J.P., Santos, F., Fernandez Romero, A.J. (2015) “Influence of the ionic liquid type on the Gel Polymer Electrolytes properties” *Membranes*. pp. 752-771. vol 5
13. J.H. Shin, W.A. Henderson, S. Passerini, *Electrochem. Commun.* 5 (2003) 1016.
14. J.H. Shin, W.A. Henderson, S. Passerini, *J. Electrochem. Soc.* 152 (2005) A978.
15. J.H. Shin, J.-H. Shin, W.A. Henderson, G.B. Appetecchi, F. Alessandrini, S. Passerini, et al., *Electrochim. Acta* 50 (2005) 3859.
16. G.-T. Kim, G.B. Appetecchi, F. Alessandrini, S. Passerini, *J. Power Sources* 171 (2007) 861.
17. G.-T. Kim, G.B. Appetecchi, M. Carewska, M. Joost, A. Balducci, M. Winter, S. Passerini, *J. Power Sources* 195 (2010) 6130.
18. D. M. Esterly, “Manufacturing of Poly (vinylidene fluoride) and Evaluation of its Mechanical Properties,” 2002.
19. D. M. Esterly, B. J. Love, Phase Transformation to -Poly (vinylidene fluoride) by Milling.
20. R. Gregorio Jr., R. C. Capitaó, *J. Materials Science* 35 (2000) 299-306.
21. Tang Wanjun, Chen Donghua, *Powder Technology* 181 (2008) 343-346
22. R. P. Vijayakumar, Devang V. Khakhar, Ashok Misra, *J. Polym Sci part B: Polym Phys* 49(2011) 1339-1344
23. S. Abbrent, J. Plestil, D. Hlavata, J. Lindgren, J. Tegenfeldt, Å. Wendsjö, *Polymer* 42 (2001) 1407-1416.
24. Zhi-Yin Wang, Hui-Qing Fan, Ke-He Su, Zhen-Yi Wen, *Polymer* 47 (2006) 7988-7996.
25. Helena M. G. Correia, Marta M. D. Ramos, *Computational Materials Science* 33 (2005) 224-229.
26. Ye. Bormashenko, R. Pogreb, O. Stanevsky, Ed. Bormashenko, *Polymer Testing* 23 (2004) 791-796.
27. T. Boccaccio, A. Bottino, G. Capannelli, P. Piaggio, *J. Membrane Science* 210 (2002) 315-329.
28. S. Ramesh, Ong Poh Ling, *Polym. Chem.* 1 (2010) 702-707.
29. Chun-Hui Du, Bao-Ku Zhu, You-Yi Xu, *J. Mater. Sci.* 41 (2006) 417-421.
30. PeiXia Yang, Lei Liu, LiBo Li, Jun Hou, YanPing Xu, Xuefeng Ren, MaoZhong An, Ning Li. *Electrochimica Acta* 115 (2014) 454– 4

Capítulo 15

PROPUESTA DE ANÁLISIS VISUAL DE DATOS EN BIG DATA USANDO REDUCCIÓN DE DIMENSIÓN INTERACTIVA

UMAQUINGA A.,¹ PELUFFO D.,¹ ROSERO P.,¹ CABRERA M.,^{2,3} ALVARADO J.^{2,3} Y ANAYA A.^{2,3}

¹ Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.

² Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, Pasto, Colombia.

³ Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia.

Resumen: En la actualidad se puede evidenciar un crecimiento exponencial del volumen de datos, dando lugar al área emergente denominada Big Data. Paralelamente a este crecimiento, ha aumentado la demanda de herramientas, técnicas y dispositivos para almacenar, transmitir y procesar datos de alta dimensión. La mayoría de metodologías existentes para procesar datos de alta dimensión producen resultados abstractos y no envuelven al usuario en la elección o sintonización de las técnicas de análisis. En este trabajo proponemos una metodología de análisis visual de Big Data con principios de interactividad y controlabilidad de forma que usuarios (incluso aquellos no expertos) puedan seleccionar intuitivamente un método de reducción de dimensión para generar representaciones inteligibles para el ser humano.

Palabras Claves: Big Data, reducción de dimensión, análisis visual.

15.1. Introducción

El crecimiento del volumen de datos de diferente tipo (estructurados, no estructurados, semiestructurados) es exponencial y actualmente en términos de almacenamiento alcanza el orden de petabytes, y exabytes. Dichos datos son generados por diferentes fuentes, entre ellas: Los seres humanos, la comunicación máquina a máquina (también denominada como M2M), los grandes datos transaccionales, la información biométrica [1], [2], entre otros. El gran volumen de información se debe a los avances electrónicos e informáticos, como sensores, satélites, bandas magnéticas, GPS, tecnologías web, cloud computing, y redes sociales [3], [4].

Uno de los desafíos del manejo de información que presenta el mercado es analizar, descubrir y entender más allá de lo que sus procesos y herramientas tradicionales reportan sobre su información [1]. En efecto, si la información no puede ser fácilmente interpretada, se genera un mayor consumo de recursos tecnológicos, económicos, tiempo, y talento humano (presencia requerida de expertos en análisis de datos).

Las técnicas comunes de tratamiento de datos no permiten recuperar la información oculta en su totalidad o no tienen la capacidad para tratarlos, en consecuencia la visualización de datos en muchos casos se vuelve imprescindible, en especial, en las etapas de análisis en donde se realizan las hipótesis significativas sobre los datos [5] [4], de forma que los usuarios (no necesariamente expertos) puedan obtener representaciones visuales que permitan analizar de forma intuitiva los resultados [6], [4]. La tarea de presentar y/o representar datos, de manera comprensible, intuitiva y dinámica, no es una tarea trivial, puesto que dichos datos en muchas ocasiones se encuentran dispersos, y proceden de diversas fuentes. Además, al ser combinados pueden generar un nuevo conjunto de datos de estructura inconsistente e impredecible [7].

Para lograr descubrir el conocimiento inmerso en Big Data (grandes volúmenes de datos), la visualización de datos/información (denominado VI/ IV/ Info Vis/ Data Vis) pretende representar los datos de forma inteligible con el objetivo de ayudar a los usuarios en la exploración, la comprensión y el análisis de datos a través de la inspección visual progresiva e iterativa [8] [9]. Una forma de lograr esto, es a través de técnicas de reducción de dimensión (RD), que le permite transformar los datos en representaciones visuales de objetos en 1, 2 ó 3 dimensiones [10] desde el punto de vista de la percepción humana [11] y podría representar una mejora substancial en el costo computacional. De ahí la importancia de contar con métodos de reducción de dimensión (denominados MRD) que garanticen eficiencia en los resultados y en el tiempo de procesado [12].

Uno de los mayores problemas que enfrenta la representación visual es la alta dimensionalidad o dimensión, es decir, un número significativamente grande de variables o atributos que caracterizan a un objeto. Además, las herramientas de VI /IV, en su mayoría, implican etapas de pre procesamiento, uso de métodos de minería de datos como rol importante [13], [10], [14], [15], post procesamiento y/o la visualización. Sin embargo, no todas las herramientas integran todas las etapas mencionadas, terminando en resultados abstractos de la información. Asimismo, las herramientas que integran todas las etapas no tienen especial énfasis en la visualización, por lo que los resultados, a pesar de que involucran un análisis visual, también tienden a ser abstractos [16], [17] o ambiguos, y tan sólo algunas pocas pueden usarse sin conocimiento a priori acerca de los datos [18], [4].

En efecto, los métodos de reducción de dimensión (MRD) son desarrollados bajo determinados parámetros de diseño y criterios de optimización preestablecidos, los cuales, al ejecutarse como procesos en caja negra, carecen de propiedades tales como la interacción síncrona con el usuario y la capacidad de control en etapas de ejecución de algoritmos, permitiendo modificar los parámetros solo en la etapa inicial o después de alguna retroalimentación al finalizar el proceso del algoritmo en ejecución, ocultando los pasos intermedios que permiten una mejor comprensión y acercamiento a la técnica u algoritmo empleado, es decir, si el usuario desea modificar los parámetros de ingreso de la técnica a aplicar, es necesario ejecutarla nuevamente desde su inicio y por tanto se perderían todos los cálculos procesados, por lo que el usuario se ve obligado a realizar una serie de pasos de ensayo y error a modo de retroalimentación para encontrar los parámetros que generen la construcción más óptima del modelo y que permita evaluarlo al final del proceso.

En el presente trabajo, se presenta una metodología de visualización interactiva y eficaz de datos, usando un modelo matemático-geométrico de combinación de técnicas kernel no supervisadas de reducción de dimensión que presente un buen compromiso entre el desempeño en la representación de los datos y el costo computacional.

Esta metodología de visualización interactiva de datos combina diferentes métodos de RD no supervisados y representados en matrices kernel, y permite realizar la mezcla de métodos de forma interactiva, a través de una combinación lineal de las correspondientes matrices kernel cuyos coeficientes se relacionan con las coordenadas geométricas de los puntos interiores de una determinada figura geométrica de tal forma que sea de uso fácil e intuitivo inclusive para un usuario no experto, ya que le permite seleccionar un método específico o combinarlos de acuerdo a sus necesidades .

El resto del documento se organiza como se explica a continuación: En la Sección 15.2, se realiza una breve revisión de los métodos de reducción de dimensión existentes y de técnicas de visualización. En la Sección 15.3, se presenta la explicación de la metodología de visualización propuesta. En la Sección 15.4, aspectos de discusión. Por último, en la Sección 15.5 se expone las principales conclusiones de la investigación realizada.

15.2. Breve revisión de los métodos de reducción de dimensión existentes, y técnicas de visualización

15.2.1. Métodos de reducción de dimensión (MRD)

Los MRD favorecen a la compresión de la información subyacente, eliminación de redundancia y mejora de los procesos de clasificación y visualización de los datos, implicando un costo computacional razonable [12].

Entre los métodos clásicos de RD, se encuentra el análisis de componentes principales - principal component analysis (PCA) [19] y classical multidimensional scaling (CMDs), los cuales se basan en criterios de conservación de la varianza y la distancia, respectivamente [20]. Recientemente, los métodos de RD se enfocan en criterios orientados a la preservación de la topología de los datos. Normalmente, dicha topología se representa mediante una matriz de similitud o afinidad que representa el grado de relación o conexión entre los puntos coordenados (coordenadas cartesianas que representan los datos). Desde un punto de vista de teoría de grafos, los datos pueden representarse a través de un grafo ponderado (grafo con un valor de peso por cada adyacencia o arista) y no dirigido, en el cual los nodos representan los puntos coordenados, y la matriz de similitud o afinidad contiene los pesos de cada arista.

Los métodos pioneros en incluir similitudes son Laplacian eigenmaps (LE) [21] y locally linear embedding (LLE) [22], los cuales son de tipo espectral, es decir que usan la información de los valores propios y vectores propios de una matriz cuadrada obtenida como una nueva representación de los datos originales.

Por otra parte, dado que la matriz de similitud normalizada puede interpretarse como distribuciones de probabilidad, han surgido otros enfoques basados en divergencias, tales como stochastic neighbour embedding (SNE) [23], y sus variantes y mejoras, tales como t-SNE que usa una distribución t-Student y JSE que usa la divergencia de Jensen-Shanon. [24] [25].

En la figura 15.1, se muestra los espacios de baja dimensión resultantes de aplicar algunos métodos de RD sobre un conjunto de datos artificiales que representa un cascarón esférico. Este conjunto de datos es simple y la tarea de reducción consiste, de algún modo, en desdoblarse la esfera, es decir, generar una representación plana de la esfera conservando la relación entre puntos vecinos.

Debido a su naturaleza topológica, los métodos basados en similitudes son susceptibles de ser naturalmente representados a través de matrices kernel [26]. En el estudio realizado en [27] se comprueba que las aproximaciones kernel son versátiles y adecuadas para representar métodos de reducción de dimensión.

15.2.2. Técnicas de visualización

Existen decenas de herramientas de software que usan un sinnúmero de técnicas de visualización [9] [10], entre ellas las técnicas de dimensión lineal o no lineal, que se basan en métodos matemáticos, geométricos, estadísticos, y topológicos [28] [29].

A continuación, se presenta un breve resumen de algunas clasificaciones de técnicas de visualización:

- Según algunos autores [30] [31], las direcciones de las técnicas estándar de visualización pueden clasificarse en:
 - Gráficos en 1,2,3 dimensiones
 - Técnicas iconográficas
 - Técnicas geométricas
 - Técnicas orientadas al pixel
 - Técnicas basadas en gráficos o jerarquías
- El autor [32] sugiere la siguiente clasificación, que es considerada por [9] [10]:
 - Geometric Projection:
 - Scatter Plots
 - Scatter Plots Matrix
 - Landscape
 - Projection pursuit
 - Prosection View
 - HyperSlice
 - Parallel Coordinates
 - Icon-Based:
 - Chernoff Faces
 - Stick Figures
 - Shape-Coding
 - Color Icons
 - TileBars
 - Pixel-Oriented:
 - Recursive Pattern Technique
 - Circle Segments Technique
 - Spiral- & Axes-Techniques

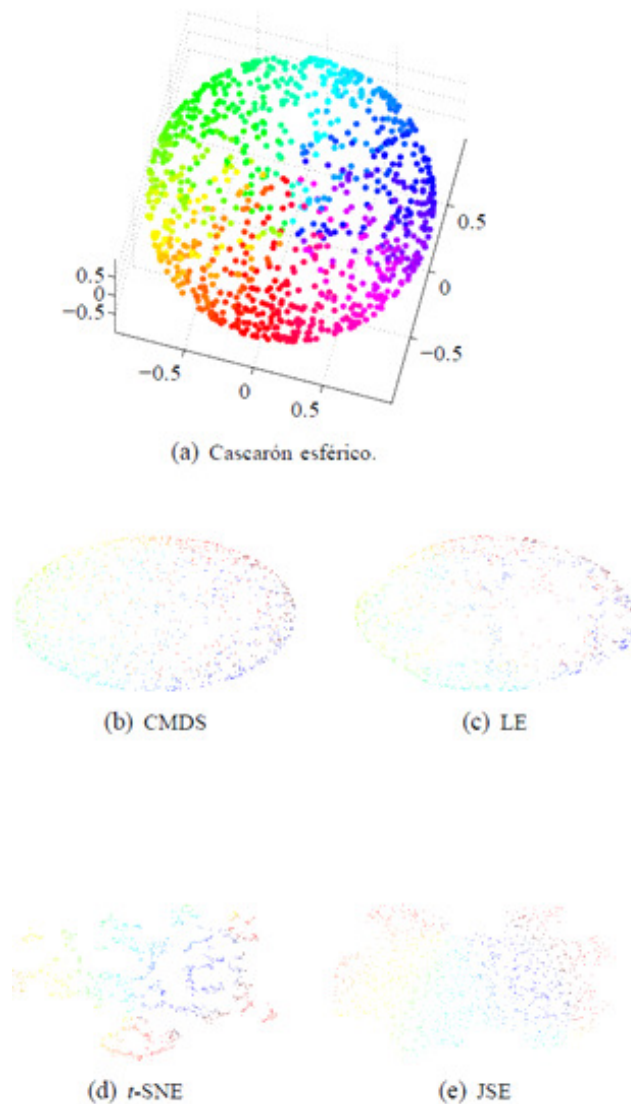


Figura 15.1: En las figuras se muestra los espacios de baja dimensión de un cascarón esférico obtenidos de aplicar: (b) *classical multidimensional scaling* (CMDS), (c) *Laplacian eigenmaps* (LE), (d) *t-Distributed stochastic neighbor embedding* (t-SNE), (e) JSE.

- Hierarchical:
 - Dimensional Stacking
 - Worlds-within-Worlds
 - Tree map
 - Cone Trees
 - Info Cube
- Graph-Based:
 - Basic Graphs (Straight-Line, Poly-line, Curved-Line, ...)
 - Specific Graphs (e.g., DAG, Symmetric, Cluster, ...),
 - Systems (e.g., Tom Sawyer, Hy+, SeeNet, Narcissus, ...)
- Adicionalmente, [31] realiza un estudio considerando la clasificación por el método analítico de esta manera:
 - Comparison:
 - With shaft:
 - ◊ Bar Graph,
 - ◊ Stacket Bar Graph,
 - ◊ Histogram,
 - ◊ Multi-Set Bar Chart,
 - ◊ Population Pyramid,
 - ◊ Radial Bar Char,
 - ◊ Stacket Area Graph,
 - ◊ Line Graph,

- ◇ Bubble Chart,
 - ◇ Box Plot,
 - ◇ Span Chart,
 - ◇ Marimekko Chart,
 - ◇ Nightlingate Rome Chart.
- Shaftless:
 - ◇ Proportional Area Chart
 - ◇ Pictogram Chart
 - ◇ Dot Matriz Chart
 - ◇ Tree Map
 - ◇ Donut Chart
 - ◇ Choropleth Map
 - ◇ Tally Chart
 - ◇ Chord Diagram.
- Pattern:
 - ◇ Bar Graph
 - ◇ Stacket Bar Graph
 - ◇ Histogram
 - ◇ Multi-Set Bar Chart
 - ◇ Population Pyramid
 - ◇ Stacket Area Graph
 - ◇ Line Graph
 - ◇ Bubble Chart
 - ◇ Scatter Plot
 - ◇ Box Plot
 - ◇ Dot Matriz Chart
 - ◇ Arc Diagram.
- Proportion:
 - Between values:
 - ◇ Stacket Bar Graph
 - ◇ Proportional Area Chart
 - ◇ Bubble Chart
 - ◇ Bubble Map
 - ◇ Dot Matriz Chart
 - ◇ Cicle Packing
 - ◇ Nightlingate Rome Chart
 - ◇ Word Cloud.
 - A whole:
 - ◇ Stacket Bar Graph
 - ◇ Tree Map
 - ◇ Marimekko Chart
 - ◇ Pie Chart
 - ◇ Donut Chart
- Part of a whole:
 - Stacket Bar Graph
 - Tree Map
 - Marimekko Chart
- Pie Chart
- Donut Chart
- Concepts:
 - Ven Diagram
 - Mind Map
- Hierarchy:
 - Tree Map
 - Cicle Packing
 - Tree Diagram
- Location:
 - Bubble Map
 - Flow Map
 - Choropleth Map
- Text:
 - Individual data:
 - ◇ Time Table.
 - Organizational:
 - ◇ Tree Diagram.
 - Time:
 - ◇ Timeline.
- Relationship:
 - Bar Graph
 - Stacket Bar Graph
 - Radial Bar Char
 - Stacket Area Graph
 - Line Graph
 - Bubble Chart
 - Scatter Plot
 - Tree Diagram
 - Marimekko Chart
 - Arc Diagram
 - Ven Diagram
 - Radial Chart
 - Chord Diagram.
- Distribution:
 - Geographic:
 - ◇ Flow Map.
 - Frequency:
 - ◇ Histogram,
 - ◇ Multi-Set Bar Chart,
 - ◇ Bubble Chart,
 - ◇ Box Plot,
 - ◇ Pictogram Chart,
 - ◇ Dot Matriz Chart,
 - ◇ Tally Chart, Timeline.
 - Population / text:
 - ◇ Population Pyramid
 - ◇ Word Cloud

- Movement:
 - Flow Map
- Over time:
 - Histogram
 - Area Graph
 - Stacked Area Graph
 - Line Graph
 - Bubble Chart
 - Nightingale Rome Chart
 - Time Table
 - Timeline
- Por su parte [33] sugiere los siguientes tipos de técnicas:
 - Numeric Data:
 - Bar-line -Pie-Chart
 - Histogram
 - Scatter plot
 - Parallel Coordinates
 - Scatter Plot Matrix
 - Geo-Related Data:
 - Projection on Map
 - Network Data:
 - Tree Map
 - Other Graphs.

Si bien, son varias las técnicas de visualización existentes, los estudios que analizan las técnicas utilizadas en herramientas de tipo open source [34], comerciales[33], evidencia para éste último, la dificultad para analizar algunas de sus herramientas por la falta de apertura en las respuestas de cuestionarios de estudio y la limitación de análisis con versiones de prueba. [33] [9].

15.3. Metodología de visualización propuesta

En esta propuesta se presenta la integración sinérgica de dos áreas: Reducción de dimensión y visualización de información. Específicamente, se propone un nuevo sistema de visualización basado en reducción de dimensión, siguiendo las reglas de la percepción humana, en las cuales se tiene en cuenta el color, la intensidad, la luminosidad, el sombreado, el brillo, el contraste, la textura, la forma, la orientación, el movimiento, la estereoscopia, entre otros conceptos, para proponer un diseño visualmente significativo para la cognición humana. Este nuevo método de visualización interactiva de datos consiste en la combinación de diferentes métodos de reducción de dimensión no supervisados y representados en matrices kernel.

15.3.1. Combinación de MRD usando un modelo matemático-geométrica

La combinación de MRD propuesta se basa en un modelo matemático-geométrico que permite realizar la mezcla de métodos de forma interactiva, a través de una combinación lineal de las correspondientes matrices kernel, cuyos coeficientes se relacionan con las coordenadas geométricas de los puntos interiores de una determinada figura geométrica. Así, un usuario -incluso, no experto- podría fácil e intuitivamente seleccionar un método en específico o realizar una combinación de métodos que satisfaga sus necesidades por medio de la exploración de una figura geométrica y de la selección de puntos de la superficie de la misma. En la figura 15.2, se muestra gráficamente la aplicación de un posible modelo matemático-geométrico con un enfoque basado en polígonos, en donde, en general los métodos son representados por un conjunto de funciones $\{f_1, \dots, f_M\}$, donde M es el número de funciones.

Una manera de mezclar dos funciones es la deformación continua de una función en otra, usando principios básicos de homotopía [35]. Un modelo simple de homotopía es $h(f_1, f_2, \lambda) = \lambda f_1 + (1 - \lambda) f_2$ donde λ es un parámetro de homotopía, que en términos de una interfaz serviría de barra deslizante. Gráficamente, este modelo podría representarse como una línea de longitud 1 trazada entre dos puntos que representan las funciones, como se aprecia en la figura 15.2-a. Este modelo podría extenderse naturalmente a más de dos métodos de forma que tres funciones se representarían con un triángulo (figura 15.2-b) cuatro funciones con un rombo (figura 15.2-c), y así sucesivamente. Para efectos de visualización de datos a través de métodos de reducción de dimensión, los términos a combinar serían matrices kernel correspondientes a los métodos. Por tanto, la matriz $\hat{\mathbf{K}}$ resultante de la mezcla de un conjunto de M matrices kernel $\{K^{(1)}, \dots, K^{(M)}\}$ podría escribirse como $\hat{\mathbf{K}} = \sum_{m=1}^M \alpha_m \mathbf{K}^{(m)}$, donde α_m es la ponderación correspondiente al método m . Los coeficientes de ponderación deberán estar asociados con las coordenadas geométricas de los puntos al interior de la superficie del polígono. En la figura 15.3 se muestra un ejemplo del modelo con 4 métodos y sus correspondientes parámetros geométricos. El parámetro

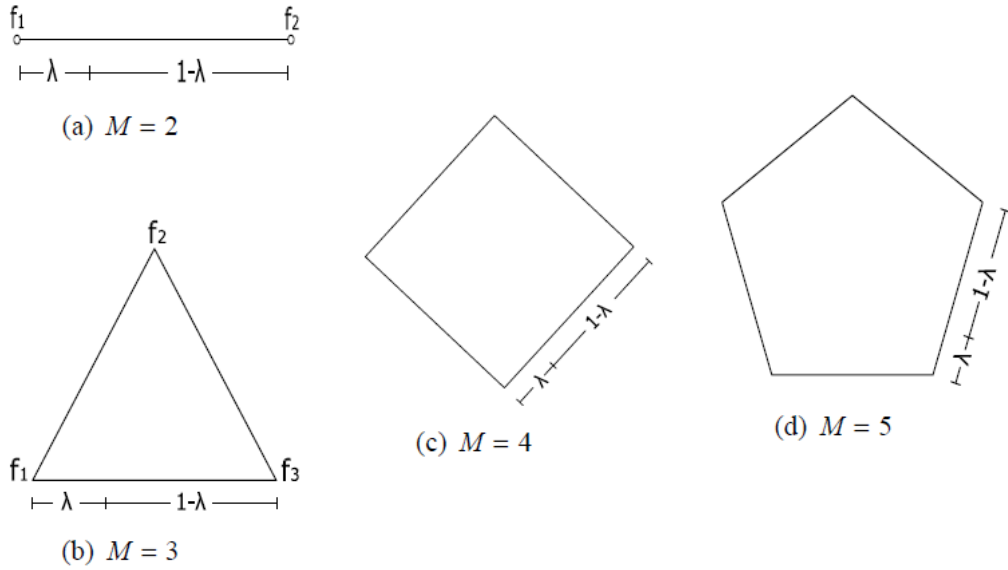


Figura 15.2: Enfoque poligonal para mezcla de un conjunto de funciones $\{f_1, \dots, f_M\}$. El parámetro λ configura la mezcla de dos métodos.

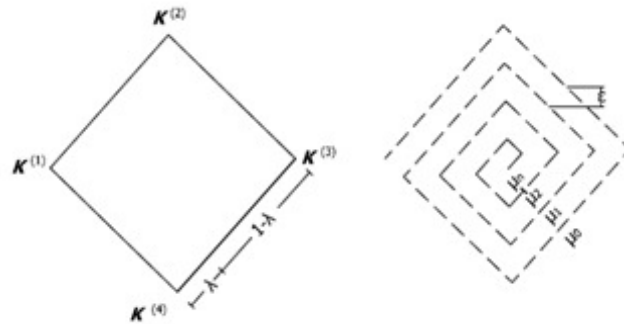


Figura 15.3: Homotopía geométrica para 4 métodos kernel. Este modelo permite al usuario combinar métodos seleccionando puntos dentro de la superficie del polígono. Cada punto es localizado por medio de su correspondiente par (λ, μ) , el cual a su vez está asociado con un conjunto de M coeficientes α_m .

de homotopía λ , los niveles de profundidad al interior de la superficie $\{\mu_1, \dots, \mu_n\}$ y el parámetro de resolución de profundidad ϵ determinan los coeficientes α_m .

Como se mencionó previamente, el método KPCA permite obtener espacios de baja dimensión a través de cualquier método de RD, siempre y cuando éste último pueda representarse adecuadamente en una matriz kernel. No obstante, la ejecución del algoritmo KPCA y el cálculo de las matrices kernel pueden significar un costo computacional elevado de acuerdo con la complejidad de los datos, y por tanto podría afectarse el propósito de lograr una interactividad síncrona con el usuario. Además, la representación resultante de los datos debe ser altamente controlable de forma que se ajuste lo mejor posible a los criterios y necesidades del usuario.

Dicho esto, el método propuesto de visualización de datos debe alcanzar un buen compromiso entre desempeño en la representación de los datos y costo computacional.

15.4. Discusión

Este trabajo busca solventar las dificultades mencionadas, siendo un puente entre el dominio de dos contextos de investigación, como lo son la RD e IV, dos campos que hacen parte del Aprendizaje de máquina (Machine learning), específicamente de Minería de datos (Data Mining) y Reconocimiento de patrones (Pattern recognition) y se refieren

respectivamente a la representación y visualización de información cuantitativa multivariada, especialmente con un número significativamente grande de variables. Esto se puede hacer importando los conceptos de controlabilidad e interacción que están en el dominio de la IV y proyectándolos al RD para hacer un método de pattern recognition controlable e interactivo, ya que el objetivo de la IV, es desarrollar métodos gráficos que presenten la información más relevante para el usuario, bajo criterios de controlabilidad, donde el usuario pueda decidir cuál es el mejor modo de representar la información subyacente de sus datos en base a su objetivo de análisis, utilizando una interfaz que responda rápidamente a los cambios de parámetros, es decir, utilizar las propiedades de la visualización para hacer más legibles los resultados de la reducción de dimensión, así como más cercanos al usuario a través de combinaciones de diversos métodos de manera interactiva y amigable, de tal forma que permita la consecución

gradual del objetivo en donde los pasos intermedios sean abordados en base a las teorías de la percepción humana, dando lugar a nuevos diseños de interfaces que permitan: Operaciones mentales con un rápido acceso a grandes cantidades de datos fuera de la mente, inferencia cognitiva, reducción de la demanda de la memoria de trabajo y co-participación de la máquina en una tarea conjunta, mediante el cambio gradual de las visualizaciones de forma dinámica a medida que avanza el trabajo [36].

Uno de los factores más importantes del método propuesto es la interactividad síncrona que permitirá que los métodos RD se ajusten de acuerdo al criterio del usuario, quien -aún sin conocer específicamente los métodos que se han aplicado- podrá obtener resultados confiables, involucrando un costo computacional bajo.

Este trabajo podría representar un aporte en el área de Aprendizaje de máquina (Machine learning), y Reconocimiento de patrones (Pattern recognition) en términos de realizar una visualización eficiente permitiendo a un usuario, no experto o sin previo conocimiento de los métodos, obtener resultados visuales de fácil interpretación mediante el uso de una interfaz interactiva de fácil manejo que requiera de un costo computacional adecuado y que responda eficientemente a las necesidades planteadas.

15.5. Conclusiones

En este trabajo se presenta una metodología para el análisis visual de datos de alta dimensión en un contexto de Big Data. El objetivo de esta metodología es facilitar al usuario la tarea de seleccionar y/o sintonizar los parámetros de una técnica de visualización de una forma interactiva. En particular, en este trabajo la visualización se basa en reducción de dimensión y la interactividad está dada por la posibilidad del usuario de seleccionar los pesos o factores de ponderación de una combinación lineal de matrices kernel que representan métodos de reducción de dimensión. Como trabajo futuro, se proponer realizar interfaces interactivas y visuales que permitan evaluar el modelo.

15.6. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Técnica del Norte, a la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, y a la Universidad Surcolombiana.

Referencias

1. “¿Qué es Big Data?”, 18-jun-2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.ibm.com/developerworks/ssa/local/im/ques-big-data/index.html>. [Consultado: 09-nov-2016].
2. J. J. Camargo-Vega, J. F. Camargo-Ortega, y L. Joyanes-Aguilar, “Knowing the Big Data”, Fac. Ing., vol. 24, núm. 38, pp. 63–77, ene. 2015.
3. “El Impacto de las Redes Sociales en la Propiedad Intelectual”. [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=189020164008>. [Consultado: 09-nov-2016].

4. J. C. Alvarado-Pérez, D. H. Peluffo-Ordóñez, y R. Therón, “Bridging the gap between human knowledge and machine learning”, *ADCAIJ Adv. Distrib. Comput. Artif. Intell. J.*, vol. 4, núm. 1, p. 54, oct. 2015.
5. E. Bertini y D. Lalanne, “Surveying the Complementary Role of Automatic Data Analysis and Visualization in Knowledge Discovery”, en *Proceedings of the ACM SIGKDD Workshop on Visual Analytics and Knowledge Discovery: Integrating Automated Analysis with Interactive Exploration*, New York, NY, USA, 2009, pp. 12–20.
6. D. Larose, *Discovering Knowledge in Data: An Introduction to Data Mining*. 2014.]
7. W. Dai y P. Hu, “Research on Personalized Behaviors Recommendation System Based on Cloud Computing”, *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 12, núm. 2, pp. 1480–1486, ago. 2013.
8. S. Liu, W. Cui, Y. Wu, y M. Liu, “A survey on information visualization: recent advances and challenges”, *Vis. Comput.*, vol. 30, núm. 12, pp. 1373–1393, dic. 2014.
9. A. C. Umaquina, D. Peluffo, J. C. Alvarado P., y M. V. Cabrera A., “Estudio descriptivo de técnicas aplicadas en herramientas Open Source y comerciales para visualización de información de Big Data.”, en *Generando Ciencia: Memorias de las I Jornadas Internacionales de Investigación Científica UTN*, 2016.
10. J. C. Alvarado-Pérez, H. Bolaños-Ramírez, D. H. Peluffo-Ordóñez, y S. Murillo, “Knowledge discovery in databases from a perspective of intelligent information visualization”, en *2015 20th Symposium on Signal Processing, Images and Computer Vision (STSIVA)*, 2015, pp. 1–7.
11. P. Shirley, M. Ashikhmin, S. Marschner, y T. Munzner, *Fundamentals of Computer Graphics*. CRC Press, 2009.
12. J. A. Hernández, “Métodos de reducción de dimensionalidad: Análisis comparativo de los métodos APC, ACPP y ACPK”, *Uniciencia*, vol. 30, núm. 1, pp. 115–122, 2016.
13. M. F. Usama, “Mining Databases: Towards Algorithms for Knowledge Discover”, vol. 21, pp. 39–48, 1998.
14. S. Vallejos, “Minería de Datos”. 2006.
15. J. C. Riquelme, R. Ruiz, y K. Gilbert, “Minería de Datos: Conceptos y Tendencias”, *Intel. Artif. Rev. Iberoam. Intel. Artif.*, 2006.
16. P. C. Wong, “Visual data mining”, *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 19, núm. 5, pp. 20–21, sep. 1999.
17. A. Kerren, A. Ebert, y J. Meyer, Eds., *Human-centered Visualization Environments*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007.
18. Y. Wang y Q. Li, “Review on the Studies and Advances of Machine Learning Approaches”, *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 12, núm. 2, pp. 1487–1494, feb. 2014.
19. “Estudio comparativo de métodos espectrales para reducción de la dimensionalidad: LDA versus PCA Comparative study between spectral methods for dimension reduction LDA versus PCA”. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/311450410_Estudio_comparativo_de_metodos_espectrales_para_reduccion_de_la_dimensionalidad_LDA_versus_PCA_Comparative_study_between_spectral_methods_for_dimension_reduction_LDA_versus_PCA. [Consultado: 24-ene-2017].
20. I. Borg y P. J. F. Groenen, *Modern Multidimensional Scaling: Theory and Applications*. Springer Science & Business Media, 2005.
21. M. Belkin y P. Niyogi, “Laplacian Eigenmaps for Dimensionality Reduction and Data Representation”, *Neural Comput*, vol. 15, núm. 6, pp. 1373–1396, jun. 2003.
22. S. T. Roweis y L. K. Saul, “Nonlinear dimensionality reduction by locally linear embedding”, *Science*, vol. 290, núm. 5500, pp. 2323–2326, dic. 2000.
23. G. Hinton y S. Roweis, “Stochastic Neighbor Embedding”.
24. “Type 1 and 2 mixtures of Kullback–Leibler divergences as cost functions in dimensionality reduction based on similarity preservation (PDF Download Available)”. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/257352201_Type_1_and_2_mixtures_of_Kullback-Leibler_divergences_as_cost_functions_in_dimensionality_reduction_based_on_similarity_preservation. [Consultado: 10-nov-2016].
25. J. A. Lee, D. H. Peluffo-Ordóñez, y M. Verleysen, “Multi-scale similarities in stochastic neighbour embedding: Reducing dimensionality while preserving both local and global structure”, *ResearchGate*, vol. 169, abr. 2015.
26. J. Ham, D. D. Lee, S. Mika, y et al, “A kernel view of the dimensionality reduction of manifolds”, en *Twenty-First International Conference on Machine Learning 2004. Proceedings*, 2004, pp. 369–376.
27. D. H. Peluffo-Ordóñez, J. A. Lee, y M. Verleysen, “Generalized kernel framework for unsupervised spectral methods of dimensionality reduction”, en *2014 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining (CIDM)*, 2014, pp. 171–177.

28. V. Snášel, J. Nowaková, F. Xhafa, y L. Barolli, “Geometrical and topological approaches to Big Data”, *Future Gener. Comput. Syst.*
29. G. Carlsson, “Topology and data”, pp. 255–308.
30. D. A. Keim, “Information visualization and visual data mining”, *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 8, núm. 1, pp. 1–8, Enero 2002.
31. F. P. A. Pereira, “Big data e data analysis: visualização de informação”, Universidade do Minho, 2015.
32. Keim Daniel, “Visual Techniques for Exploring Databases”.
33. L. Zhang et al., “Visual analytics for the big data era - A comparative review of state-of-the-art commercial systems”, en *2012 IEEE Conference on Visual Analytics Science and Technology (VAST)*, 2012, pp. 173–182.
34. J. R. Harger y P. J. Crossno, “Comparison of open-source visual analytics toolkits”, en *IS&T/SPIE Electronic Imaging*, 2012, p. 82940E–82940E.
35. J. Haarmann, M. P. Murphy, C. S. Peters, y P. C. Staecker, “Homotopy equivalence of finite digital images”, *ArXiv E-Prints*, vol. 1408, p. arXiv:1408.2584, Agosto 2014.
36. E. R. Tufte, *The Visual Display of Quantitative Information PAPERBACK: Second Edition PAPERBACK*. Graphics Press, 2001.

Capítulo 16

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE VEGETACIÓN UTILIZANDO IMÁGENES AGRÍCOLAS: UNA REVISIÓN DE MÉTODOS

GARCÍA-SANTILLAN I.,^{1,2} PUSDÁ M.² Y PAJARES G.¹

¹ Departamento de Ingeniería de Software e Inteligencia Artificial. Facultad de Informática. Universidad Complutense de Madrid, España.

² Carrera de Ingeniería en Sistemas. Facultad de Ingenierías en Ciencias Aplicadas. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.

Resumen: En el presente estudio se realiza una revisión exhaustiva de la literatura respecto a los métodos para la identificación automática de la vegetación y la discriminación del cultivo/maleza utilizando imágenes digitales, haciendo énfasis en el rendimiento en términos de robustez, exactitud y tiempos de ejecución. Los métodos resultan ser útiles para la cuantificación de la maleza y posterior aplicación de tratamientos selectivos, así como también, como un paso previo a la detección automática de líneas de cultivo utilizado en el guiado autónomo de vehículos agrícolas y el análisis del suelo/cultivo a través de sensores adicionales. Diferentes aspectos pueden afectar el proceso de identificación, como por ejemplo: las condiciones variables de iluminación en entornos agrícolas (días soleados, nublados y despejados) y diferentes alturas y volúmenes de las plantas. Además se presenta una comparativa entre las diferentes técnicas existentes en términos de ventajas y desventajas, así como también se propone unas posibles líneas de investigación donde se puede incursionar siguiendo la temática.

Palabras Claves: Identificación de vegetación, guiado automático, visión por computador, segmentación de imágenes.

16.1. Introducción

Los sistemas de visión por computador aplicados a las tareas agrícolas son de gran interés y utilidad [1] [2]. La aplicación de esta tecnología en el agro puede disminuir el tiempo de las labores manuales y los costos de producción [3], así como también el uso de químicos que deterioran el suelo y contaminan el medio ambiente [4], [5].

Los procesos automatizados están ganando una gran relevancia hoy día. Al respecto, la identificación de la vegetación, así como la discriminación del cultivo/maleza ha recibido especial dedicación en la agricultura de precisión. Las plantas localizadas dentro de los espacios entre hileras de cultivo (inter-fila) pueden ser consideradas como malezas con alta probabilidad, requiriendo la aplicación de tratamientos selectivos o su remoción [6] [7]. Adicionalmente, la identificación de la maleza localizada en el mismo



Figura 16.1: Sistema visual (cámara) instalada en un vehículo agrícola (tractor).

surco (intra-fila) es importante. Esto puede ser de gran utilidad para la cuantificación de la maleza y la posterior aplicación de tratamientos selectivos, así como también como un paso previo a la detección automática de líneas de cultivo [8], utilizado en el guiado autónomo de vehículos agrícolas y el análisis del suelo/cultivo a través de sensores adicionales. Sin embargo, esta tarea es compleja debido a que el cultivo y la maleza están usualmente entrecruzados y solapados en el surco, así como también tienen una alta similitud en sus firmas espectrales (colores verdes).

La calidad de la imagen es afectada por las condiciones de iluminación no controladas (sombras, brillos) en entornos agrícolas. Además, diferentes alturas y volúmenes de plantas en las diferentes etapas de crecimiento afectan el proceso de identificación de cultivo/maleza debido a que las hojas de las plantas del cultivo se extienden más allá de los surcos y pueden ser interpretadas como maleza localizada entre las hileras. Varias soluciones han sido propuestas para cubrir con tales situaciones adversas con el objetivo de discriminar la vegetación y el suelo, así como también el cultivo y la maleza [9], [10], [11], [12]. Sin embargo, debido a la dificultad intrínseca involucrada en los entornos agrícolas, un esfuerzo de investigación extra es todavía requerido, principalmente para discriminar el cultivo y la maleza sin requerir de un proceso de entrenamiento exhaustivo y tedioso como ocurre con las técnicas de aprendizaje supervisado.

Debido al interés y la importancia del tema en la comunidad científica, el objetivo del presente estudio es realizar una revisión exhaustiva de la literatura respecto a los métodos para la identificación automática de la vegetación y la discriminación del cultivo/maleza utilizando imágenes digitales adquiridas en los campos agrícolas. El tipo de investigación utilizada es la documental, la cual permite indagar, interpretar y presentar los datos e información sobre los métodos existentes y que sirve de base para la propuesta de nuevas técnicas o trabajos a futuro. Las fuentes documentales provienen principalmente de libros y artículos científicos publicados en editoriales y revistas de prestigio internacional.

16.2. Revisión de métodos

Esta sección está dedicada a la revisión de los métodos para la identificación de la vegetación a partir de imágenes digitales provenientes de un sistema de visión instalado a bordo de un vehículo (figura 16.1) que navega en un campo de cultivo (16.2-a). Básicamente existen dos enfoques: (i) La discriminación de la vegetación (cultivo y maleza) y el suelo, como se muestra en la figura 16.2-b. (ii) La discriminación del cultivo y la maleza, como se ilustra en la figura 16.2-c. Las diferentes técnicas existentes en la literatura están basadas en las siguientes categorías: índice espectral visible, umbralización, aprendizaje y wavelet [13].

16.2.1. Métodos basados en el Índice espectral visible

Estos métodos tienen el objetivo de obtener una imagen en escala de grises con alto contraste resaltando la vegetación, es decir, conteniendo píxeles brillantes para las plantas y píxeles oscuros para el suelo y demás restos (piedras, árboles, cielo). A partir de la imagen en escala de grises, una segmentación final es efectuada aplicando un umbral. Estas técnicas fueron diseñadas para cubrir con la variabilidad de la

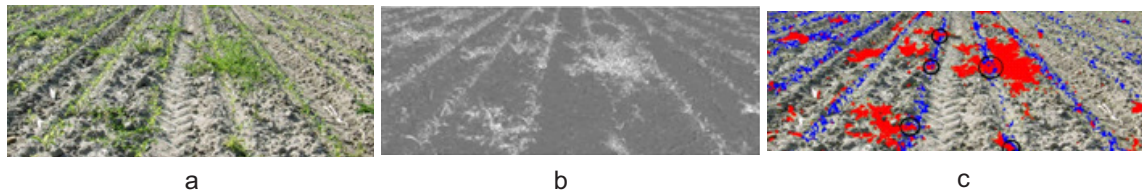


Figura 16.2: a) Imagen agrícola RGB; b) Discriminación de la vegetación: cultivo y maleza en píxeles brillantes y el suelo en píxeles oscuros; c) Discriminación del cultivo en azul y la maleza en rojo.

luz natural de los entornos agrícolas. [14] analizaron varios índices de contraste en imágenes a color: $R-G$, $G-B$, $(G-B)/|R-G|$, $2G-R-B$. El último es conocido como exceso de verde (ExG, excess green) y resultó ser adecuado para tratar la variabilidad de la iluminación, incluyendo días soleados con y sin sombras, aunque es computacionalmente más costoso. En [5], usaron el índice de color de extracción de vegetación (color index of vegetation extraction) $CIVE = 0,441R - 0,811G + 0,385B + 18,78745$ para segmentar un cultivo de habas y remolacha dulce bajo una vista cenital. En [15] combinó el ExG y el exceso en rojo (excess red) $ExR = 1,4R - G$ (propuesto por [16]) para crear un nuevo índice conocido como exceso en verde menos exceso en rojo (excess green minus excess red index) $ExGR = ExG - ExR$. En [17] crearon el índice de diferencias normalizadas (normalized difference index) $NDI = (G - R)/(G + R)$, el cual usa un cociente para distinguir las plantas de otros elementos. Una comparativa entre los índices ExG, ExGR y NDI puede ser encontrada en [18]. En [19] usaron una combinación lineal con los coeficientes $r = -0,7$, $g = 0,588$, $b = 0,136$ los cuales fueron obtenidos por usar algoritmos genéticos. En [20] describieron un enfoque para estimar un mapa de densidad de maleza y cultivo usando el índice de vegetación (vegetative index) $VEG = G/(RaB1 - a)$ con $a = 0,667$. Recientemente, en [21] obtuvieron una imagen en escala de grises mejorada combinando los índices ExG, ExGR, CIVE, VEG, NDI y reduciendo el número de variables usando el análisis de componentes principales (PCA, principal component analysis) el cual disminuye la complejidad computacional y determina el peso que contribuye cada índice.

16.2.2. Procedimientos basados en Umbralización

Estos métodos comúnmente asumen un problema bi-clase donde las plantas y el suelo deben ser identificados. En [22] maximiza la varianza entre los píxeles de las clases del cultivo y del suelo. Este proporciona un umbral que es auto-ajutable, tratando bien las imágenes que son capturadas bajo diferentes condiciones de iluminación. En [23] discriminaron las malezas y el cultivo usando una combinación lineal con coeficientes $r = -0,884$, $g = 1,262$, $b = -0,311$ y la imagen en escala de grises fue binarizada usando el valor medio de la intensidad en lugar del método de Otsu debido a que este último produce una infra-segmentación, es decir, la vegetación resulta ser disminuida ligeramente. En [24] usaron una combinación lineal (COM) de cuatro índices de vegetación: EXG, ExGR, CIVE y VEG con la siguiente contribución 0.25, 0.30, 0.33 y 0.12 respectivamente. Los resultados obtenidos por aplicar la combinación de los índices son mejores que cuando se aplican cada uno separadamente. La desventaja es el tiempo de procesamiento por un factor de cuatro. En [25] usaron una combinación lineal de tres índices de vegetación: EXG, CIVE y VEG con las contribuciones 0.36, 0.47 y 0.17 respectivamente y luego aplicaron una doble umbralización utilizando el método de Otsu. La primera umbralización separa la vegetación del suelo y la segunda separa las plantas de maíz y las malezas. En [26] propusieron un Sistema experto para identificar el verdor inspirado en la técnica de agrupamiento borroso. Este consiste de dos fases: (i) la fase de aprendizaje para determinar un umbral dinámico para cada imagen y (ii) la clasificación donde una simple regla de decisión fue aplicada. En [27] presentaron un método para estimar la cantidad de maleza en cultivos de cereal. La discriminación fue realizada por una segmentación basada en regiones usando un análisis de color y la similitud espacial en los píxeles. El primer procedimiento probó ser confiable mientras que el segundo necesita ser optimizado.

16.2.3. Enfoques basados en Aprendizaje

Estos métodos son realizados a través de procesos de aprendizaje supervisado y no supervisado. En [10] propusieron un método para identificar plantas en campos de maíz basado en Máquinas de vectores

soporte (SVM, support vector machine) y separar los píxeles en dos clases (plantas enmascaradas y no enmascaradas). Los vectores de soporte establecen los límites entre estas clases. La fase de entrenamiento es efectuada fuera de línea y la clasificación en línea. El método es útil para pre y pos-tratamientos con tasas de éxito del 93.1%. En [11] usaron SVM y una base de datos (conocimiento) conteniendo muestras previamente clasificadas. El rendimiento fue evaluado utilizando el porcentaje de clasificación correcta y el coeficiente de Yule. En [9] clasificaron malezas y cultivo usando SVM también, alcanzando el 97% de precisión. Un total de 14 características que describen el cultivo y la maleza en las imágenes fueron evaluadas para determinar la combinación óptima que proporciona la tasa de clasificación más alta.

Por otro lado, en [12] propusieron un enfoque de aprendizaje no supervisado usando una doble umbralización y la técnica LVQ (Learning Vector Quantization) para separar la maleza y el cultivo, a través de un proceso de entrenamiento fuera de línea y una clasificación en línea. El método probó ser útil para los tratamientos selectivos en aplicaciones de tiempo real. En [24] usaron agrupamiento borroso para discriminar plantas y suelo y luego en una segunda etapa, el cultivo de la maleza. El enfoque no supervisado fue también usado en [26] para separar las plantas verdes y el suelo y [28] para segmentar regiones de interés a partir de ExR y ExG.

16.2.4. Técnicas basadas en Wavelets

En el procesamiento de imágenes agrícolas es necesario resaltar los detalles (bordes) y detectar las texturas analizando la imagen desde diferentes ángulos. Por lo tanto, dos categorías son establecidas: (1) análisis del contenido de la frecuencia, considerado como una señal para separar las bajas (suaves variaciones en color) y las altas frecuencias (bordes que dan detalles). En [29] propusieron un método para discriminar cultivo y malezas aplicando la transformada wavelet. Ellos compararon el rendimiento de cuatro familias de wavelets: Daubechies, Meyer, Biorthogonal y Gabor. El primero superó al resto en términos de precisión y tiempo de procesamiento en imágenes reales y sintéticas.

(2) Análisis de características de texturas bajo la presunción de que diferentes plantas (cultivo y maleza) responden de una manera diferente al filtrado de paso bajo/alto. En [30] discriminó entre suelo y cultivo en campos de maíz usando el análisis textural wavelet, considerando que las frecuencias espaciales son diferentes dependiendo de la textura. Una combinación de técnicas de clasificación basada en redes neuronales (perceptrón multicapa) fue aplicado usando descriptores de textura como entrada, logrando una tasa de clasificación del 94.77%. En [13] propusieron un método combinado para distinguir suelo y vegetación basado en la transformada discreta wavelet (DWT, discrete wavelet transform), específicamente usando la familia Daubechies (Haar). Ellos combinaron la siguiente información: (i) el vector de las plantas aplicando ExG y (ii) información espacial de la textura a través de la transformada wavelet y descriptores estadísticos de primer orden (por ejemplo: media y desviación estándar). El enfoque obtiene una nueva imagen ExG mejorada que proporciona mejores resultados en la binarización. El porcentaje promedio de error fue del 7.12%. En [31] propusieron un método para identificar el cultivo usando la transformada wavelet en paquetes (WPT, wavelet packet transform) combinado con la distancia Bayesiana ponderada basada en la textura del cultivo y características de las hojas. Ellos calcularon coeficientes de energía de varias bandas de frecuencia, obteniendo después la transformada y realizando la discriminación de plantas en tasas de hasta el 94.63%. En [32] usaron una combinación de una wavelet de Gabor con la distribución del campo gradiente (GFD, gradient field distribution) para identificar tipos de malezas bajo la presunción que las malas hierbas de hoja ancha y estrecha despliegan diferentes características. La precisión de la clasificación total fue del 93.75%.

16.3. Comparación de métodos

Una vez revisada la literatura existente, algunas ventajas y desventajas de las diferentes técnicas utilizadas para la identificación de la vegetación son resumidas en la tabla 16.1. La elección de una determinada técnica debe ser evaluada particularmente para cada contexto de aplicación, es decir, para los tipos de datos conocidos en el campo. Se debe prestar atención a varios factores tales como: la variabilidad de los datos de la imagen, presencia de ruido, disponibilidad de ejemplos para el entrenamiento y pruebas, niveles aceptables de precisión, aplicación en tiempo real, entre otros [2].

Tabla 16.1: Comparación de los enfoques utilizados en la identificación automática de la vegetación.

Enfoque	Ventajas	Desventajas
Basado en el índice espectral visible	Índices de vegetación bien probados en diferentes cultivos y condiciones de iluminación. Ha demostrado ser robusta a la variabilidad de la iluminación propio de los entornos agrícolas (días soleados, nublados y claros). Costo computacional moderado y adecuado para trabajar en tiempo real.	Su coste computacional puede incrementar dependiendo de la combinación lineal de los índices de vegetación y otras técnicas adicionales.
Basado en Umbrales	Proporcionan un umbral que es auto-ajutable, adecuadas para imágenes capturadas bajo diferentes condiciones de iluminación.	Pueden producir infra-segmentación, es decir, la vegetación resulta ser disminuida ligeramente.
Basado en Aprendizaje	Han presentado buenos resultados tanto en la tasa de clasificación como en el tiempo de ejecución	La fase de entrenamiento en el aprendizaje supervisado es efectuada en un proceso fuera de línea que suele ser exhaustivo y tedioso.
Basada en Wavelets	Extraen patrones característicos que resultan adecuados para la clasificación, asumiendo que diferentes plantas (cultivo y maleza) responden de una manera diferente al filtrado de paso bajo/alto.	La discriminación basada en el análisis textural se ve afectado por la densidad vegetal en estado crecido. Se debe experimentar con el nivel de descomposición, el tipo de wavelet madre y qué bandas de frecuencia determinan o contienen la información necesaria para la clasificación.

En la figura 16.3 se muestra un diagrama de flujo básico que puede aplicarse a un sistema de visión por computador para la identificación automática de la vegetación. A continuación, se explican cada una de las fases:

1. La captura de la imagen se realiza a través de una cámara (CCD, CMOS) en proyección en perspectiva o cenital, configurando adecuadamente los parámetros intrínsecos y extrínsecos del sistema visual. Las imágenes pueden ser adquiridas en color (espectro visible) o en escala de grises (infrarrojo cercano). Además se puede disponer de filtros físicos para una mejor adquisición y calidad de la imagen.
2. El pre-procesamiento consiste en mejorar ciertos aspectos de la imagen, así como la eliminación de cierta información innecesaria para mejorar la precisión y el tiempo de procesamiento. Algunas operaciones que se suelen realizar en esta etapa son: La operación "apertura" (erosión + dilatación) que tiene el efecto de eliminar las estructuras delgadas, partículas irrelevantes y el ruido; y la operación "cierre" (dilatación + erosión) que puede ser usado para consolidar objetos mediante la eliminación de pequeños huecos. Este proceso es parametrizado de acuerdo a la etapa de crecimiento de las plantas del cultivo.
3. La segmentación de la imagen permite separar la vegetación (cultivo y maleza) del resto de la imagen (como suelo, piedras, cielo, árboles). Es un proceso muy crítico ya que de éste dependerá el éxito o fracaso de la aplicación entera. Como se indicó antes, existen varias técnicas para la extracción de verdes, algunas están basados en índices vegetativos, umbralización, aprendizaje y wavelets. Para el primer enfoque es común el uso de índices de vegetación normalizados, que acentúan el color verde de las plantas y proporcionan un cierto grado de invariancia a los niveles cambiantes de iluminación propio de las imágenes agrícolas. Para el segundo enfoque, un umbral adaptativo es utilizado cuando

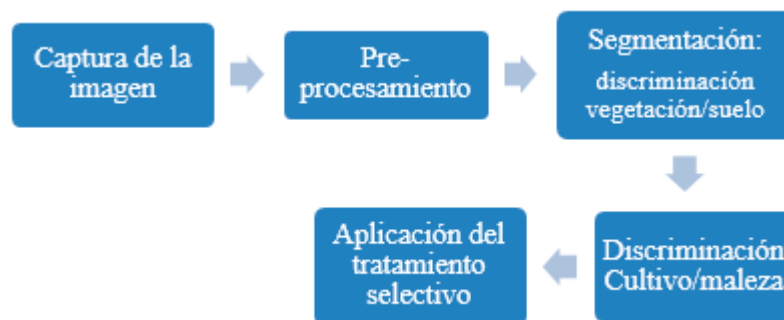


Figura 16.3: Diagrama de flujo básico para la discriminación del cultivo/maleza

la iluminación no es uniforme como sucede en el contexto agrícola. En el tercer caso, muestras relevantes y significativas de imágenes deben emplearse para el proceso de entrenamiento, validación y pruebas. En el cuarto caso las wavelets constituyen una herramienta para la extracción de patrones característicos que sean más adecuados para la clasificación. Para ello es necesario tener en cuenta el nivel de descomposición, el tipo de wavelet madre adecuada para el análisis y, finalmente, qué bandas de frecuencia de las generadas en el proceso de descomposición wavelet realmente determinan o contienen la información necesaria para la clasificación.

4. La discriminación entre el cultivo y la maleza permite separar el cultivo (maíz, papa, haba, etc.) de la maleza (corazón herido, nabo, kikuyo, etc.). La identificación de las malezas consiste en localizar la vegetación que no es parte del cultivo y que se encuentran generalmente ubicada en el mismo surco y mayoritariamente entre las hileras de cultivo. Además, estas suelen tener una distribución irregular. Para esto se utiliza también cualquiera de los enfoques antes explicados y resumidos en la Tabla 16.1.
5. La aplicación del tratamiento selectivo para la eliminación de la maleza se puede realizar a través de un procedimiento manual, mecánico, biológico o químico [33].

16.4. Conclusiones

La identificación automática de la vegetación en etapas tempranas de cultivo, puede ser de gran utilidad para la cuantificación de la maleza y posterior aplicación de tratamientos selectivos, así como también como un paso previo a la detección automática de líneas de cultivo utilizado en el guiado autónomo de vehículos agrícolas y el análisis del suelo/cultivo a través de sensores adicionales.

La mayoría de los métodos resultan adecuados para trabajar en tiempo real y pueden ser robustos a situaciones indeseables en el contexto agrícola, tales como las condiciones variables de iluminación, presencia significativa de maleza y alta similitud en la firma espectral del cultivo y la maleza.

La elección de una técnica para abordar el problema de la identificación automática de la vegetación debe ser evaluada particularmente para el contexto de aplicación (agrícola), por lo que se debe prestar atención a varios factores, tales como: la variabilidad de los datos de la imagen, presencia de ruido, disponibilidad de ejemplos para el entrenamiento y pruebas, niveles aceptables de precisión, aplicación en tiempo real, entornos no controlados de iluminación, entre otros.

El estudio de identificación de maleza ha sido abordado con imágenes bajo la proyección cenital o en perspectiva, adquiridas desde un sistema de visión a color o en escala de grises provenientes del espectro visible e infrarrojo cercano respectivamente, utilizando mayoritariamente imágenes de RGB y en minoría en otros modelos como HSI y YUV.

Los trabajos propuestos se basan mayoritariamente en el color y en menor proporción en el análisis de otras características relevantes como la textura y la forma de la hoja o de la planta (morfología).

La alta similitud en la firma espectral, sobreexposición de la cámara y la no uniformidad en los bordes de las hileras de cultivo debido al estado de crecimiento de las plantas afectan directamente a los resultados en términos de precisión y tiempo de respuesta.

16.5. Trabajos a futuro

A continuación, se listan algunas líneas específicas de investigación que pudiesen resultar de utilidad en este campo de investigación:

- La cuantificación de la densidad de maleza ubicada entre las hileras de cultivo, así como aquellas localizadas dentro del mismo surco.
- La identificación de varias especies de plantas que tienen similares tonalidades de verde, a través del análisis de otras características relevantes, a más del color, como la textura y la forma de la hoja o de la planta.
- El desarrollo de algoritmos paralelos de visión computacional aplicados a la identificación de vegetación en tiempo real, aprovechando las ventajas que ofrece el paralelismo en la arquitectura de los computadores actuales que suelen incorporar varios núcleos y subprocesos.
- La implementación de los algoritmos usando un lenguaje de programación compilado y ejecutándose en una plataforma y sistema operativo de tiempo real.

16.6. Agradecimientos

La presente investigación ha sido financiada por la Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador. Otra parte de la misma ha sido inspirada y financiada en el Proyecto RHEA financiado en el Séptimo Programa Marco de la Unión Europea [FP7/2007-2013] bajo acuerdo de subvención n° 245986 en el tema NMP-2009-3.4-1 (Automation and robotics for sustainable crop and forestry management).

Referencias

1. Brosnan, T., Sun, D.-W. Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems -a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2), 193-213. 2002
2. Davies, E. The application of machine vision to food and agriculture: a review. *The Imaging Science Journal*, 57(4), 197-217. 2009.
3. Barreda, J., Ruíz, A., Ribeiro, A. Seguimiento visual de líneas de cultivo. Thesis Master, Universidad de Murcia, Spain. Available on-line <https://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/22175/1/myPFC.pdf>. 2009.
4. Astrand, B., Baerveldt, A. J. A vision based row-following system for agricultural field machinery. *Mechatronics*, 15(2), 251-269. 2005.
5. Kataoka, T., Kaneko, T., Okamoto, H., Hata, S. (2003). Crop growth estimation system using machine vision. *Proc. IEEE Int. Conf. Advanced Intelligent Mechatronics, (AIM 2003)*, 1079-1083. 2016.
6. Emmi, L., Gonzalez-de-Soto, M., Pajares, G., Gonzalez-de-Santos, P. New Trends in Robotics for Agriculture: Integration and Assessment of a Real Fleet of Robots. *The Scientific World Journal*, vol. 2014, Article ID 404059, 21 pages. 2014.
7. RHEA. Proceedings of the Second International Conference on Robotics and Associated High-Technologies and Equipment for Agriculture and Forestry. New trends in mobile robotics, perception and actuation for agriculture and forestry (P. Gonzalez-de-Santos & A. Ribeiro Eds.). Madrid-Spain: PGM. Spanish Research Council-CAR. Available on-line <http://www.rhea-project.eu/Workshops/Conferences/Proceedings.RHEA.2014.pdf> (last accessed July 26, 2015). 2014.
8. García-Santillán, I., Pajares, G. Detección automática de líneas de cultivo: estado del arte y futuras perspectivas. En F. Rivas, S. Arciniegas, & C. P. U. Andes (Ed.), *Avances y aplicaciones de sistemas inteligentes y nuevas tecnologías* (págs. 381-398). Mérida, Venezuela: Gráficas el Portatítulo. 2016.
9. Ahmed, F., Al-Mamun, H.A., Bari, A.H., Hossain, E., Kwan, P. Classification of crops and weeds from digital images: a support vector machine approach. *Crop Protection*. 40, 98–104. 2012.
10. Guerrero, J. M., Pajares, G., Montalvo, M., Romeo, J., Guijarro, M. Support Vector Machines for crop/weeds identification in maize fields. *Expert Systems with Applications*, 39, 11149-11155. 2012.
11. Tellaeche, A., Pajares, G., Burgos-Artizzu, X. P., & Ribeiro, A. A computer vision approach for weeds identification through Support Vector Machines. *Applied Soft Computing*, 11(1), 908-915. 2011.

12. Montalvo, M., Guerrero, J., Romeo, J., Oliva, D., Guijarro, M., Pajares, G. Unsupervised learning for crop/weeds discrimination in maize fields with high weeds densities. *Proceedings of the International Conference of Agricultural Engineering (CIGR-AgEng2012)*, Valencia Spain, pp. 1-5. 2012.
13. Guijarro, M., Riomoros, I., Pajares, G., Zitinski, P. Discrete wavelets transform for improving greenness image segmentation in agricultural images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118(1), 396-407. 2015.
14. Woebbecke, D. M., Meyer, G. E., Vonbargen, K., Mortensen, D. A. Color indexes for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the ASAE*, 38(1), 259-269. 1995.
15. Camargo-Neto, J. A Combined Statistical-Soft Computing Approach for Classification and Mapping Weed Species in Minimum Tillage Systems. University of Nebraska, Lincoln, NE. 2004.
16. Meyer, G.E., Hindman, T.W., Lakshmi, K. Machine Vision Detection Parameters for Plant Species Identification. SPIE, Bellingham, WA. 1998.
17. Pérez, A. J., López, F., Benlloch, J. V., Christensen, S. Colour and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 25, 197-212. 2000.
18. Meyer, G.E., Camargo-Neto, J. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63 (2), 282-293. 2008.
19. Ribeiro, A., Fernandez-Quintanilla, C., Barroso, J., & Garcia-Alegre, M. C. Development of an image analysis system for estimation of weed pressure. In *Proc. 5th European Conf. On Precision Agriculture (5ECPA)*, 169-174. 2005.
20. Hague, T., Tillett, N. D., Wheeler, H. Automated Crop and Weed Monitoring in Widely Spaced Cereals. *Precision Agriculture*, 7(1), 21-32. 2006.
21. Montalvo, M., Guijarro, M., Guerrero, J. M., & Ribeiro, Á. Identification of Plant Textures in Agricultural Images by Principal Component Analysis. In F. Martínez-Álvarez, A. Troncoso, H. Quintián & E. Corchado (Eds.), *Hybrid Artificial Intelligent Systems: 11th International Conference, HAIS 2016, Seville, Spain*, pp. 391-401. Cham: Springer International Publishing. 2016.
22. Otsu, N. Threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 9(1), 62-66. 1979.
23. Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A., Guijarro, M., Pajares, G. Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(2), 337-346. 2011.
24. Guijarro, M., Pajares, G., Riomoros, I., Herrera, P. J., Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A. Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(1), 75-83. 2011.
25. Montalvo, M., Guerrero, J. M., Romeo, J., Emmi, L., Guijarro, M., Pajares, G. Automatic expert system for weeds/crops identification in images from maize fields. *Expert Systems with Applications*, 40(1), 75-82. 2013.
26. Romeo, J., Pajares, G., Montalvo, M., Guerrero, J. M., Guijarro, M., de la Cruz, J. M. A new Expert System for greenness identification in agricultural images. *Expert Systems with Applications*, 40(6), 2275-2286. 2013.
27. Gee, C., Bossu, J., Jones, G., Truchetet, F. Crop/weed discrimination in perspective agronomic images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 60(1), 49-59. 2008.
28. Meyer, G.E., Camargo-Neto, J., Jones, D.D., Hindman, T.W. Intensified fuzzy clusters for classifying plant, soil, and residue regions of interest from color images. *Computers and Electronics in Agriculture*. 42, 161-180. 2004.
29. Bossu, J., Gée, Ch., Jones, G., y Truchetet, F. Wavelet transform to discriminate between crop and weed in perspective agronomic images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 65, 133-143. 2009.
30. Ramírez, D. Desarrollo de un método de procesamiento de imágenes para la discriminación de maleza en cultivos de maíz. Thesis Master, Universidad Autónoma de Querétaro, México. Available on-line <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/453/1/RI000112.pdf> (last accessed February 07, 2015). 2013.
31. Chou, J.J., Chen, C.P., Yeh, J.T. Crop identification with wavelet packet analysis and weighted Bayesian distance. *Computers and Electronics in Agriculture*, 57 (1), 88-98. 2007.
32. Ishak, A.J., Hussain, A., Mustafa, M.M. Weed image classification using Gabor wavelet and gradient field distribution. *Computers and Electronics in Agriculture*. 66 (1), 53-61. 2009.
33. Corredor, J. Desarrollo de un sistema de control en la aplicación de técnicas selectivas de eliminación de maleza. (Tesis de Master), Universidad Nacional de Colombia, Colombia. 2011.

Capítulo 17

CARACTERIZACIÓN DE LAS MIPYMES EN LA ZONA DE PLANIFICACIÓN 1 DEL ECUADOR

CISNEROS M. Y RAMIRO S.

Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador, 100150.

Resumen: Se presenta a continuación una síntesis de la información empresarial del Ecuador, entre los años 2012-2013 y 2014; de manera particular el perfil empresarial de la Zona de planificación 1, conformada por las provincia de Imbabura, Carchi, Esmeraldas y Sucumbíos; Se espera que los resultados presentados contribuyan a futuras investigaciones, en la búsqueda de soluciones a problemas y necesidades empresariales locales, zonales y nacionales.

Palabras Claves: Caracterización Mipymes, Desarrollo local, Estructura empresarial, Competitividad y productividad, zona 1.

17.1. Introducción

La importancia de las Pequeñas y Medianas Empresas en América Latina adquiere cada día mayor relevancia, las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Mipymes) generan cerca del 70 % del empleo en América Latina, constituyen una fuente de innovación, son importantes contribuyentes a la producción y una alternativa para la generación de ingresos para la población. (Revista Ekos, 2012)

Sin embargo, no resulta fácil contar con información suficiente que permita conocer de su existencia, actividad económica, tamaño, participación en ventas entre otros. (Y. Saavedra G., 2011)

El Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Unión Europea (UE) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) han coincidido en señalar como objetivo estratégico el aumento en la competitividad de la Pequeña y Mediana Empresa (Pyme), para lo cual han formulado una serie de programas y acuerdos; corroborando con esto la importancia que tiene este tópico para el desarrollo de las naciones en la actualidad. (García, 2012)

Entre los programas se pueden citar (SELA, 2006):

Con apoyo del BID

a Programa de Mejoramiento de la Competitividad.

- b** Apoyo a Empresas Asociativas Rurales.
- c** Promoción de Procesos de Producción Más Limpia.
- d** Fortalecimiento a la Competitividad de la Micro y Pequeña Empresa Confeccionista.

Con apoyo del PNUD

- a** Apoyo a las Pequeñas y Medianas Empresas de Frontera-ADE

Con el apoyo de la CAF.

- a** Papel de las universidades en la competitividad del Ecuador.
- b** Implementación de pre incubadoras de empresas competitivas.

Por su parte, el gobierno nacional ha propuesto una diversidad de acciones orientadas al cambio de la matriz productiva, entendida como “La forma cómo se organiza la sociedad para producir determinados bienes y servicios no se limita únicamente a los procesos estrictamente técnicos o económicos, sino que también tiene que ver con todo el conjunto de interacciones entre los distintos actores sociales que utilizan los recursos que tienen a su disposición para llevar adelante las actividades productivas. A ese conjunto, que incluye los productos, los procesos productivos y las relaciones sociales resultantes de esos procesos, denominamos matriz productiva.” (SENPLADES, 2012)

El presente artículo tiene por finalidad presentar la investigación descriptiva que permitió caracterizar las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Mipymes) de la Zona de Planificación 1 del Ecuador.

Para lo cual se han considerado variables e indicadores que permiten realizar comparaciones en el ámbito nacional e internacional.

Las variables de uso internacional se agrupan en cuatro grandes grupos (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2015):

Variables de identificación. - Acorde a la CAN, estas variables permiten identificar a las empresas y establecimientos económicos, entre ellas se encuentran los números de identificación, nombre, dirección, detalles de contacto y forma jurídica.

Variables de estratificación. - La CAN, en la Resolución 1273 del manual de recomendaciones sobre los directorios de empresas con fines estadísticos de la Comunidad Andina recomienda considerar dentro de estas, las siguientes variables: actividad, tamaño, ubicación geográfica.

Variables demográficas. - Que permiten determinar el nacimiento, cierre y supervivencia de las empresas.

Otras variables. - En esta categoría se incluye información adicional que se pueda considerar relevante para la construcción de un registro empresarial.

En la presente investigación se han considerado los siguientes indicadores.

- a** Figura Jurídica
- b** Número de empresas
- c** Distribución geográfica
- d** Obligación de llevar contabilidad
- e** Sector Económico
- f** Tamaño
- g** Ventas
- h** Actividad de Comercio Exterior
- i** Número de empleados.

Se realizó la revisión de documentos de planificación nacional, regional y provincial, como:

- a** Plan Nacional del Buen vivir

- b Plan Nacional de desarrollo
- c Agenda de desarrollo zonal
- d Agenda de transformación productiva territorial.
- e Plan de desarrollo y Organización Territorial de las provincias de Imbabura, Carchi, Esmeraldas y Sucumbíos.
- f Bibliografía empresarial y económica relacionada con el desarrollo de las Mipymes.

Se consultaron páginas web de Gobiernos Autónomos Descentralizados provinciales y cantonales, Servicio de Rentas Internas, Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, bases de datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, y de la Superintendencia de Compañías.

Tomando como referencia las bases de datos del INEC y de la Superintendencia de Compañías, se seleccionaron aquellos datos que presentaron consistencia, fiabilidad y validez para la consecución del objetivo propuesto.

En lo referente al contexto empresarial de las Mipymes, entre otros, cabe citar el estudio sobre las “Perspectivas económicas de América Latina 2013. Políticas de Pymes para el cambio estructural”, que señala: Las pymes constituyen actores claves para incrementar el crecimiento potencial de América Latina, se caracterizan por una gran heterogeneidad en su acceso a mercados, tecnologías y capital humano, así como su vinculación con otras empresas, factores que afectan su productividad, capacidad de exportación y potencial de crecimiento. (Organización Para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2013) Lo citado enfatiza en la importancia que tienen las Mipymes para el desarrollo de una región o país.

17.2. Desarrollo

17.2.1. Contexto empresarial Nacional

Ecuador en el año 2014 contó con 843.644 empresas, en el año 2013 con 810.272 empresas, y en el año 2012 con 732.221 empresas. La tasa de crecimiento empresarial del año 2012-2013 fue del 10.66 %, que corresponde a 78.051 empresas, mientras que la tasa de crecimiento del año 2013-2014 fue del 4.12 % correspondiente a 33.372 empresas, es decir se redujo la tasa de crecimiento empresarial, entre las posibles causas se pueden citar la revaloración del dólar, contracción del crédito internacional, caída del precio de las materias primas, base de las exportaciones ecuatorianas. El déficit fiscal impacta también en el gasto público y el dinamismo del sector de la construcción, todo esto se complementa con una previsible desmejora en la recaudación de impuestos por la caída general de ingresos y actividades económicas. (Peralta, 2015)

De conformidad con la información de la base de datos del INEC años 2012, 2013 y 2014, el sector empresarial sufrió los siguientes cambios:

El sector económico de Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca paso de un peso relativo del 12.24 % en el 2012, al 10.61 % en el 2014, con una disminución absoluta de 84 empresas y un decrecimiento porcentual del 1.63 % en su participación.

El sector económico de Comercio paso de un peso relativo del 37,47 % en el año 2012 al 36,58 % en el 2014, es decir pese a su crecimiento absoluto de 34.182 empresas, sufrió una disminución porcentual en su participación del 0.89 %.

El sector económico que creció de manera absoluta como relativa fue el Sector Económico de Servicios, paso de 38,37 % en el 2012 con 280.927 empresas al 40,78 % en el 2014 con 344.013, es decir aumento su participación en el 2,41 % con 63.086 empresas.

La suma del sector Servicios; Comercio; Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca; y las Industrias Manufactureras representó el 96.04 % del sector empresarial. (INEC, 2015)

En el año 2013 la mayoría de sectores económicos decrecieron, los sectores, Industrias Manufactureras, Comercio y Construcción, crecieron, pero a una tasa menor que el año 2012. (INEC, 2014)

El año 2012 fue un buen año para el sector empresarial, todos los sectores económicos crecieron en su número de empresas. (INEC, 2012)

En el Figura 17.1, se puede observar los sectores económicos y su variación en la participación empresarial de cada año.



Figura 17.1: Actividad Empresarial por Sectores Económicos Año 2012-2013-2014. Fuente: INEC.

Según los indicadores del Foro Económico Mundial, en los últimos cuatro años, el Ecuador se ha ubicado en los últimos puestos en lo referente a competitividad, lo cual podría estar relacionado con un bajo nivel de asociatividad entre empresas. Esto puede explicarse porque la competencia está basada en la explotación de los factores de producción, esto es recursos naturales y mano de obra barata, por lo que el capital social es muy débil, sin embargo, la globalización ha influenciado para que las empresas comprendan que sólo en base a la innovación y generación de valor es que se puede generar una competencia eficiente a nivel nacional, regional y mundial. (King, 2012)

Uno de los puntos más débiles para el crecimiento de Ecuador es el bajo nivel de la productividad total de los factores (PTF), elemento que explica más de un 70 % de la brecha de ingreso con Estados Unidos. Aquí es donde toma relevancia el rol de la innovación como motor de crecimiento económico y productividad. (Schwartz, 2014)

17.2.2. Contextualización de la Zona de Planificación 1

El Sistema Nacional Descentralizado de Planificación Participativa constituye el conjunto de procesos, entidades e instrumentos, que permiten la interacción de los diferentes actores sociales e institucionales para organizar y coordinar la planificación del desarrollo en todos los niveles de gobierno. (SENPLADES, 2015)

Las zonas de planificación se conformaron como un nivel intermedio entre el nivel local y el central, cuyo propósito es efectivizar el proceso de desconcentración, su misión es gestionar la planificación zonal generando nuevas políticas, metodologías, y herramientas. (SENPLADES, 2013)

La Zona de Planificación 1 cuenta con una superficie de 42.065 km² que equivale al 15,46 % de la superficie nacional. Está conformada con las provincias de Esmeraldas, Carchi, Imbabura y Sucumbíos. Posee una población de 1'273.332 habitantes lo que representa el 8.8 % de la totalidad nacional (INEC, Censo 2010). (SENPLADES, 2016)

Su población se encuentra conformada, con el 11,7 % de población indígena y 18,4 % de población afro, se encuentra distribuida en 27 cantones, 144 parroquias rurales y 39 parroquias urbanas. Limitando al Norte con la República de Colombia, con los Departamentos de Nariño y Parte del Departamento del Putumayo. (Prefectura del Carchi, 2011)

La pirámide poblacional de la Zona 1 Norte muestra que la estructura por edades de la población, tiene un envejecimiento progresivo. El perfil etario sigue caracterizándose por su juventud. El 34 % de la población tiene entre 0 y 14 años de edad; mientras que la población adulta mayor, comprendida entre los 65 y más años, bordea el 6 %. (SENPLADES, 2015)

Los principales ejes industriales existentes en la zona son (Prefectura del Carchi, 2011):

- La Industria maderera, con dos empresas localizadas en la Provincia de Esmeraldas, la mayor parte de la madera es industrializada en Quito.
- La Industria petrolera, con dos ejes principales: Sucumbíos y Esmeraldas. La explotación petrolera de Sucumbíos es conducida a través del SOTE y se conecta con el puerto y la refinería de Esmeraldas. La mayor parte de la producción petrolera es enviada al exterior, una mínima parte es procesada en la refinería para obtener gasolina, aceite y gas para consumo nacional.
- Industria azucarera, localizada en la Provincia de Imbabura, su producción está orientada al consumo nacional.
- Industria textil, en la provincia de Imbabura se encuentran las principales empresas textiles de la Zona, se orienta al mercado nacional y al sur de Colombia.

Imbabura

Con una superficie aproximada de 4.619 Km², representa el 1.63 % respecto a la superficie nacional, su altitud oscila entre los 200 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) en la parte baja del río Guayllabamba, sector de las Golondrinas; y los 4.939 m.s.n.m en las cimas de los volcanes Cotacachi e Imbabura. Su población según datos del INEC al 2015, es de 428.355 habitantes. (Prefectura de Imbabura, 2015)

Carchi

Localizada en el extremo norte del callejón interandino, con una extensión de 3.749,6 km²., al norte limita con la República de Colombia, al Sur con la Provincia de Imbabura, al Este con la Provincia de Sucumbíos y al Oeste con las Provincias de Imbabura y Esmeraldas.

La altura mínima provincial es de 100 m.s.n.m. en la zona noroccidental (Tobar Donoso); mientras que en la cima del volcán Chiles llega hasta los 4.729 m.s.n.m. Su clima es básicamente de tipo megatérmico en la zona noroccidental, y mesotérmico – húmedo y semihúmedo en el callejón interandino. Con una zona influenciada por un clima mesotérmico seco localizada en el Valle del Chota, en la parte sur de la Provincia.

Su población alcanza un total de 164.524 habitantes representan el 1.14 % de la población total del Ecuador, 82.495 viven en el sector urbano y 82.029 en el sector rural.

Políticamente, se encuentra dividida en seis cantones, 9 parroquias urbanas y 26 parroquias rurales; la capital de la provincia es Tulcán con una altura de 2.957 m.s.n.m. (Prefectura del Carchi, 2011)

Esmeraldas

Con una superficie de 15.824.52 Km², Limita al Norte con el Departamento de Nariño (Colombia); al Sur con las Provincias de Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas, Pichincha e Imbabura; al Oeste con el Océano Pacífico. Está conformada por 7 cantones y 57 parroquias rurales. Según datos del INEC La población total es de 551.165 habitantes. (Prefectura de Esmeraldas, 2015)

Sucumbíos

Según datos del INEC, la provincia de Sucumbíos cuenta con una población de 176.472 habitantes, que representa el 1,22 % de la población nacional; de los cuales 83.624 corresponden al sexo masculino, equivalente a 47,39 %, y 92.848 al sexo femenino, correspondiente al 52,61 %. (Gobierno Autonomo Provincial, 2015)

17.2.3. Las Mipymes de la zona de planificación 1

En el año 2014, la Zona de Planificación 1, contó con 65.769 empresas, con una mayor participación de la provincia de Imbabura, Esmeraldas, Carchi y Sucumbíos, en su orden:

Las actividades empresariales de mayor relevancia en la zona fueron en su orden:

El Comercio, reparación automotores y motocicletas con el 34.68 % de participación en las empresas de la zona, que equivale a 22.810 empresas; en ésta actividad la participación porcentual de Imbabura, Carchi Esmeraldas y Sucumbíos, es similar a su participación zonal.

La Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca con el 16.64 % de participación en las empresas de la zona, que corresponde a 10.942 empresas, en ésta actividad se aprecia una participación muy importante de la provincia de Esmeraldas con un 44 %, mientras que las provincias restantes comparten el porcentaje restante de manera muy equitativa.



Figura 17.2: Mapa 1 Zonas Administrativas de Planificación. Fuente: SENPLADES. Elaborado por: Investigador

Distribución de Empresas en la Zona de Planificación 1, año 2014

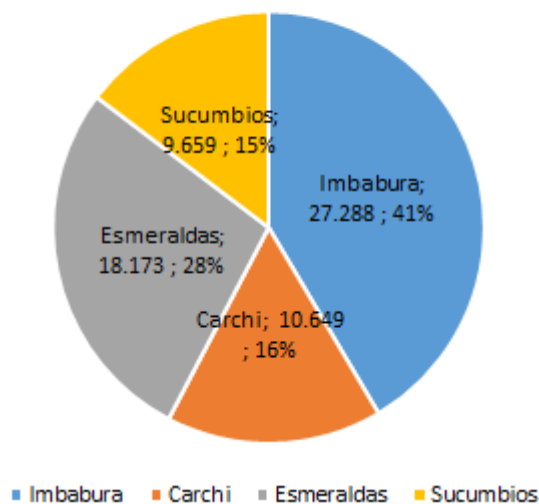


Figura 17.3: Distribución de Empresas Zona de Planificación 1. Fuente: INEC.

El Transporte y almacenamiento con el 12.60 % de participación en las empresas de la zona, que corresponde a 8.287 empresas, destaca la participación importante de Imbabura con un 47 %, seguido por Carchi con un 24 %, las provincias de Esmeraldas y Sucumbíos comparten el porcentaje restante.

Actividades de alojamiento y de servicio de comidas con el 8.18 % de participación en las empresas de la zona, que corresponde a 5.382 empresas, con una participación relevante de Imbabura y Esmeraldas con un 41 % y 29 % respectivamente, Sucumbíos y Carchi comparten el mercado restante.

Industrias manufactureras con el 7.17 % de participación en las empresas de la zona, que corresponde a 4.716 empresas, con una participación muy representativa de la provincia de Imbabura con el 66 %, le sigue Esmeraldas con el 15 % la diferencia lo comparten Carchi y Sucumbíos.

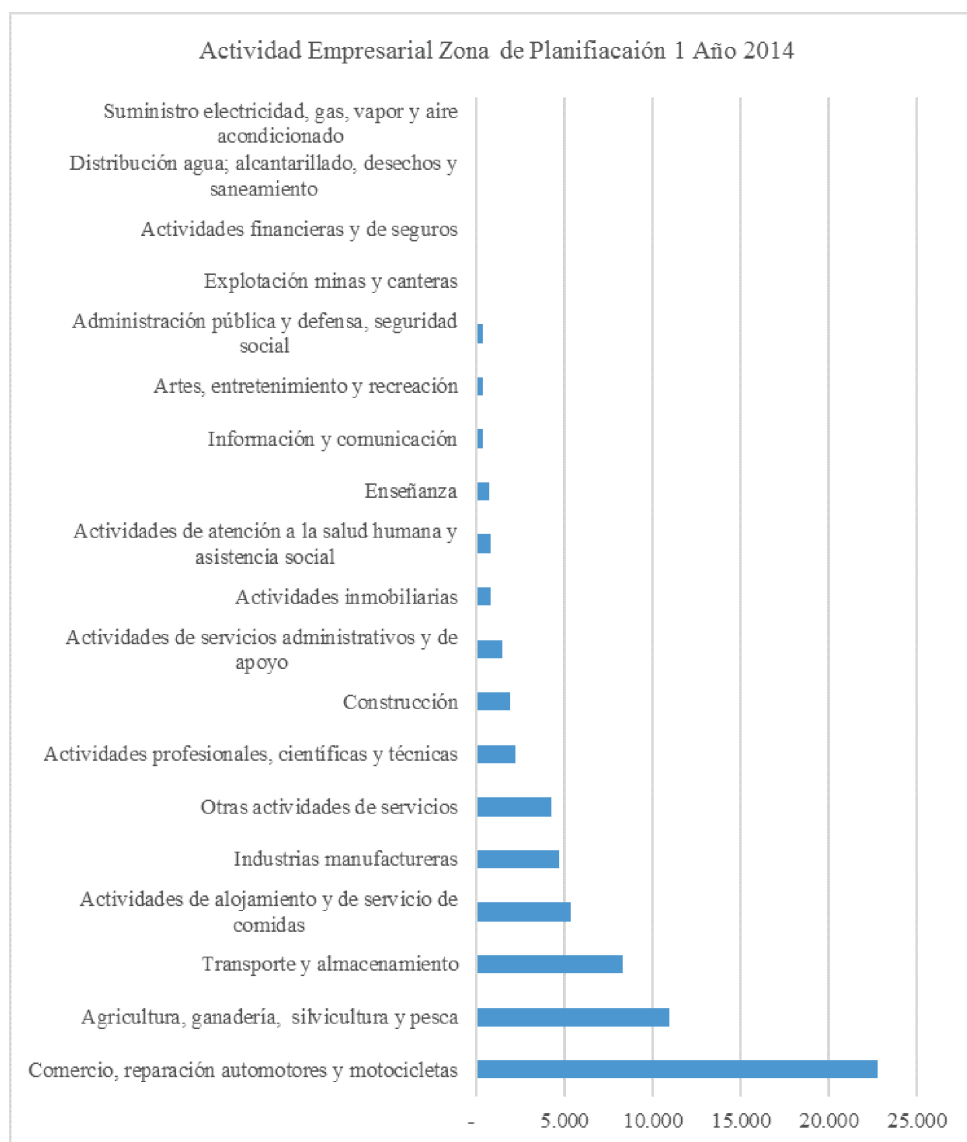


Figura 17.4: Actividades de Mayor Relevancia Zona de Planificación 1 Año 2014. Fuente: INEC.

Otras actividades de servicios con el 6.45% de participación en empresas de la zona, equivalente a 4.239 empresas, donde Imbabura participa con el 63%, Carchi con el 15%, Esmeraldas y Sucumbíos con el 13% y 9% respectivamente.

Las seis actividades enunciadas comprenden el 85% de las empresas de la Zona de Planificación 1.

En términos generales, a la zona de planificación 1, se la conoce como una zona con potencialidad turística, comercial y agrícola, con un escaso nivel de desarrollo empresarial; sin embargo, se hace necesario reconocer la potencialidad y particularidad característica de cada provincia, para la toma de decisiones en la generación de estrategias de crecimiento y desarrollo empresarial, por lo que a continuación se presenta la caracterización del sector empresarial de la zona y sus provincias, en base a los siguientes indicadores:

17.2.3.1. Tipo de unidad legal El 94.01% de las empresas de la zona de planificación 1 son Personas Naturales, mientras el 5.99% son personas jurídicas, pese a su pequeño porcentaje de participación, las Personas Jurídicas captan el 46.12% de las ventas zonales; por otra parte, el 73.26% de las Personas Jurídicas pertenece al sector económico de Servicios. (INEC, 2015)

En Imbabura el 94.78% son personas naturales, el 5.22% son personas jurídicas.

En Carchi el 95.22% son personas naturales el 4.78% son personas jurídicas.

En Esmeraldas el 93.93 % personas naturales 6.07 % persona jurídica.

En Sucumbíos el 90.62 % persona natural y 9.38 % persona jurídica.

La personería Jurídica brinda mayor grado de confianza sobre la existencia y formalidad de la empresa, pues se encuentra reconocida por la ley independientemente de las personas o instituciones que las posean o que sean miembros de ellas.

El mayor peso relativo de la existencia de Personas Jurídicas se presenta en Sucumbíos, Esmeraldas, Imbabura y Carchi en su orden.

17.2.3.2. Forma Institucional Por su forma institucional el 51.22 % de las empresas se encuentran en el Régimen simplificado RISE, el 35.71 % son Persona Natural no obligada a llevar contabilidad; es decir más del 86 % de las empresas zonales no están obligadas a llevar contabilidad, lo que nos brinda una idea acerca de la formalidad sobre la parte organizacional, contable y financiera.

A nivel de la Zona de Planificación 1 se cuentan con 297 empresas consideradas como contribuyentes especiales.

Participación empresas por provincia según su forma institucional.

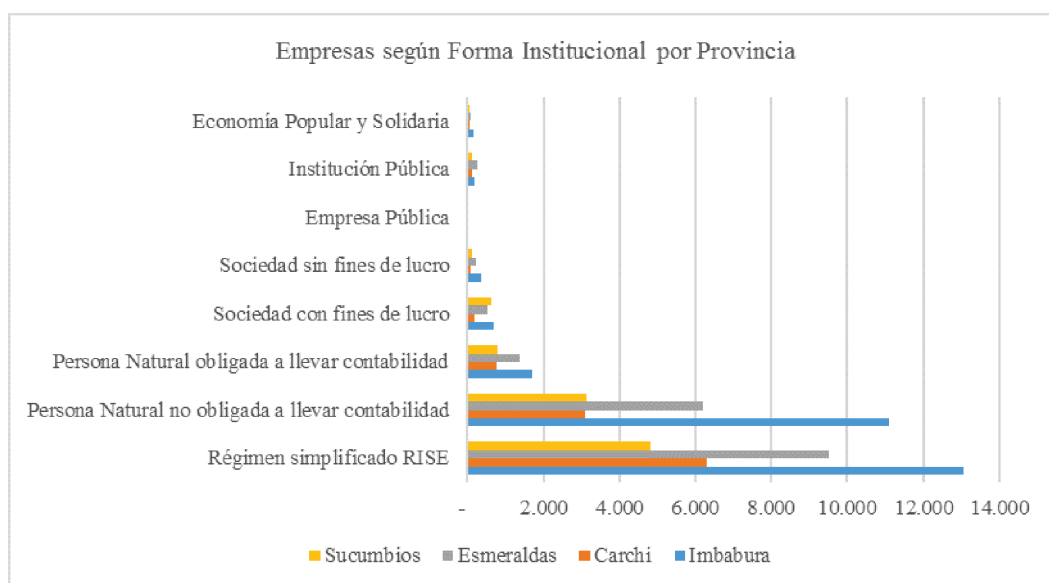


Figura 17.5: Empresas según su Forma Institucional. Fuente: INEC.

La presencia de la Forma Institucional RISE es muy significativa en todas las provincias, con mayor presencia en Imbabura, Esmeraldas, Carchi y Sucumbíos.

Existe una participación muy significativa en todas las provincias de las Personas Naturales no Obligadas a Llevar Contabilidad con gran presencia en Imbabura, Esmeraldas, Sucumbíos y Carchi en su orden.

Las personas Obligadas a llevar contabilidad tienen una participación menor en la zona, en orden de importancia se encuentran en Imbabura, Esmeraldas, Sucumbíos y Carchi.

Las Formas Institucionales restantes tienen una menor participación en la Zona y consecuentemente en sus provincias.

17.2.3.3. Participación empresas por provincia según su tamaño. La Zona de Planificación 1 cuenta con el 92.46 % de Microempresas, 6.38 % de Pequeñas empresas, 0.91 % de Medianas empresas, y 0.25 % de Grandes empresas. El mayor porcentaje de Microempresas se encuentran en los sectores Servicios con el 38.56 %, Comercio con el 33.99 %, estos dos sectores acumulan el 72.55 %.

Como se puede observar el número de Microempresas tiene presencia mayoritaria en todas las provincias, de acuerdo a su nivel de participación se encuentra en Imbabura, Esmeraldas Carchi y Sucumbíos, en su orden, a continuación, pero con mucha distancia se encuentra la Pequeña empresa. La Mediana y Gran empresa, por su número tan reducido, pasa casi desapercibida.

Participación en ventas por provincia y tamaño de empresa

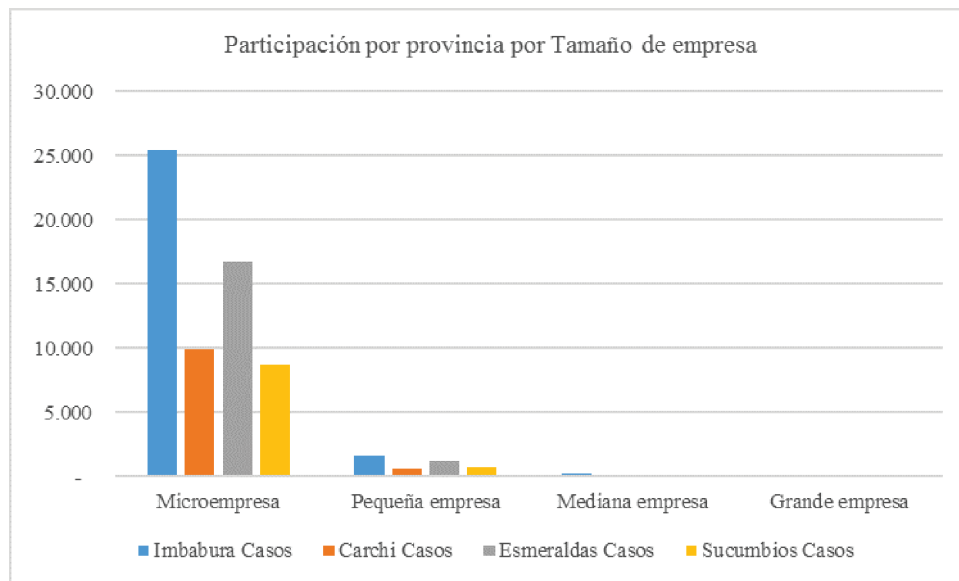


Figura 17.6: Empresas por Tamaño. Fuente: INEC.

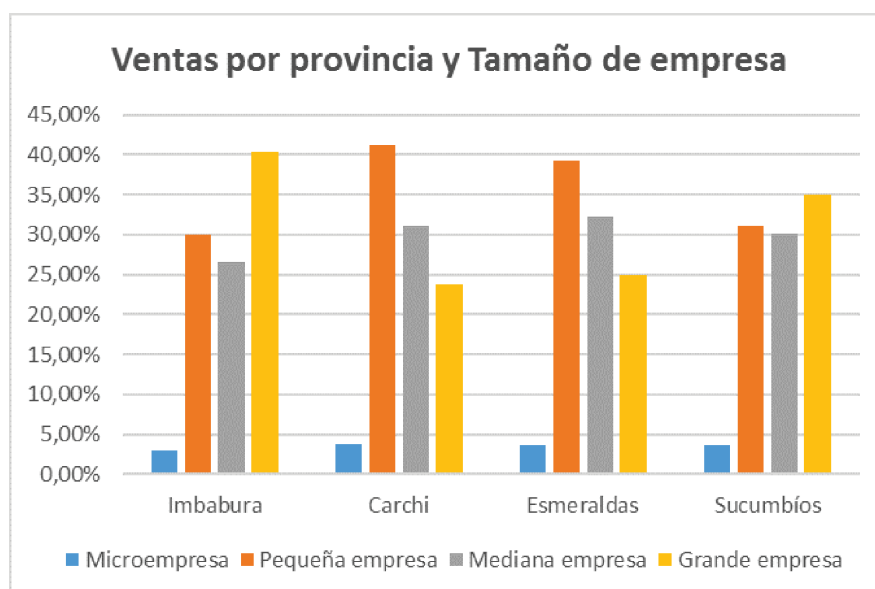


Figura 17.7: Ventas por Tamaño de empresa. Fuente: INEC.

Contrariamente a su participación por el número de empresas, la Pequeña, Grande y la Mediana empresa tienen una participación muy significativa en las ventas de cada provincia.

En Carchi y Esmeraldas la mayor participación de las ventas corresponde a la Pequeña Empresa con el 41.25 % y 39.25 % respectivamente, en tanto que en Imbabura y Sucumbios corresponde a la Gran Empresa con el 40.42 % y el 35.9 % respectivamente.

En Imbabura, luego de la Gran empresa, se encuentra la Pequeña y Mediana empresa con 30.03 % y el 26.59 % de las ventas provinciales.

En Carchi, luego de la Pequeña empresa con el 41.25 %, se encuentra la Mediana empresa con 31.10 %, y la Gran empresa con el 23.79 %. los sectores económicos con mayor participación son Comercio con 63.59 %, Servicios 25.32 %, Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca con el 6.12 %, sumados alcanzan el 95.03 %.



Figura 17.8: Empresas por Actividad de Comercio Exterior. Fuente: INEC.

La provincia de Esmeraldas distribuye sus ventas entre la Pequeña Empresa con el 39.25 %, la Mediana Empresa con el 32.23 %, y la Gran Empresa con el 24.93 %; los sectores de mayor venta son Comercio con el 51.03 %, Servicios con el 17.72 %, Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca con el 15.59 % e Industrias Manufactureras con el 12.13 %, su suma comprende el 96 %.

Las ventas en Sucumbíos se distribuyen entre la Gran Empresa con el 35.09 %, la Pequeña Empresa 31.08 % y la Mediana Empresa 30.18 %, en tanto que la Microempresa percibe el 3.65 %; la participación de los sectores económicos corresponde al Comercio el 52.06 %, Servicios el 25.76 %, y Explotación de Minas y Canteras el 10.02 %, éstas suman el 87.84 %.

La Microempresa tiene participación en todas las provincias con un valor menor al 4 % de las ventas.

Se puede observar que la actividad común en la zona 1, es el Comercio, los Servicios, la Agricultura; a excepción de Sucumbíos donde en tercer lugar se encuentra la explotación de Minas y Canteras.

17.2.3.4. Participación por Actividad de Comercio Exterior. El 98.13 % de empresas de la Zona de Planificación 1, orienta sus actividades de comercialización al mercado interno, el 1.30 % realiza actividades de importación, el 0.46 % de empresas cumplen actividades de exportación y el 0.11 % actividades de importador y exportador.

El 76.6 % de las ventas corresponde al mercado interno, el 14.8 % de las ventas corresponde a quienes cumplen actividades de importación, el 8.0 % de las ventas corresponde a quienes cumplen actividades de Importador y Exportador, el 0.5 % de las ventas corresponde a Exportadores,

El 53.9 % de las ventas corresponde a Personas Naturales, el 46.1 % corresponde a Personas Jurídicas.

Una vez más, se puede apreciar que un pequeño porcentaje de empresas captan un volumen significativo de las ventas, las personas Jurídicas con el 5.99 % de participación, captan el 46.1 % de las ventas, quienes cumplen actividades de importación con un 0.46 % de participación captan el 14.8 % de las ventas.

Se aprecia la orientación mayoritaria de las empresas provinciales hacia el mercado interno, son pocas las empresas orientadas a la importación, y menos aún las orientadas a la exportación.

17.2.3.5. Participación personas obligadas a llevar contabilidad. El 86.95 % de empresas de la Zona de Planificación 1, no tienen obligación de llevar contabilidad, en tanto que el 13.05 % si tienen la obligación de hacerlo.

Se puede apreciar que las personas no obligadas a llevar contabilidad son significativamente mayoritarias en cada provincia, los Obligados a llevar contabilidad en orden de importancia corresponden a Imbabura, Esmeraldas Sucumbíos y Carchi.

17.2.3.6. Participación en Ventas por sector. El 87.98 % de las ventas se compone de las ventas del sector Comercio, Servicios e Industrias Manufactureras, con el 54.62 %, 23.11 % y 10.25 % respectivamente.

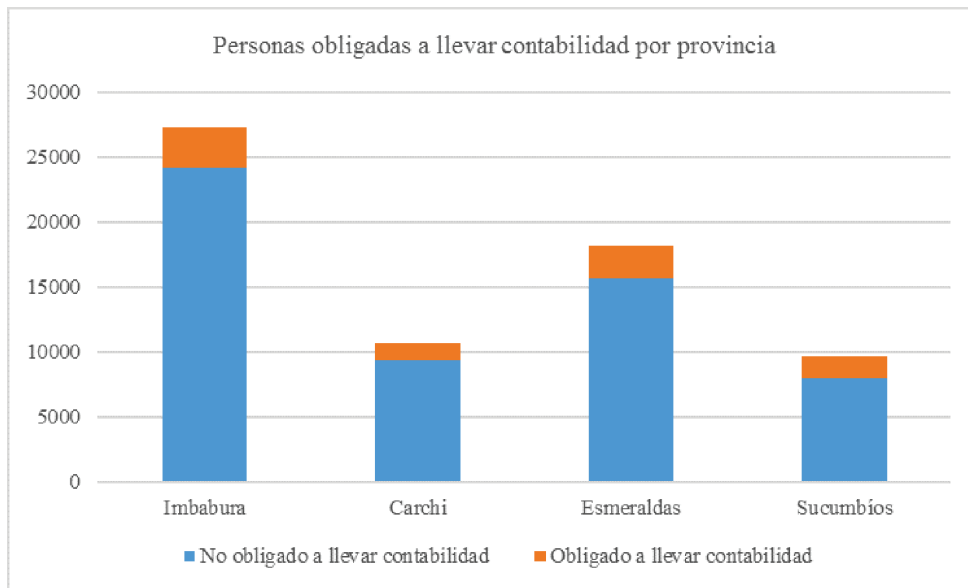


Figura 17.9: Personas Obligadas a Llevar Contabilidad. Fuente: INEC.

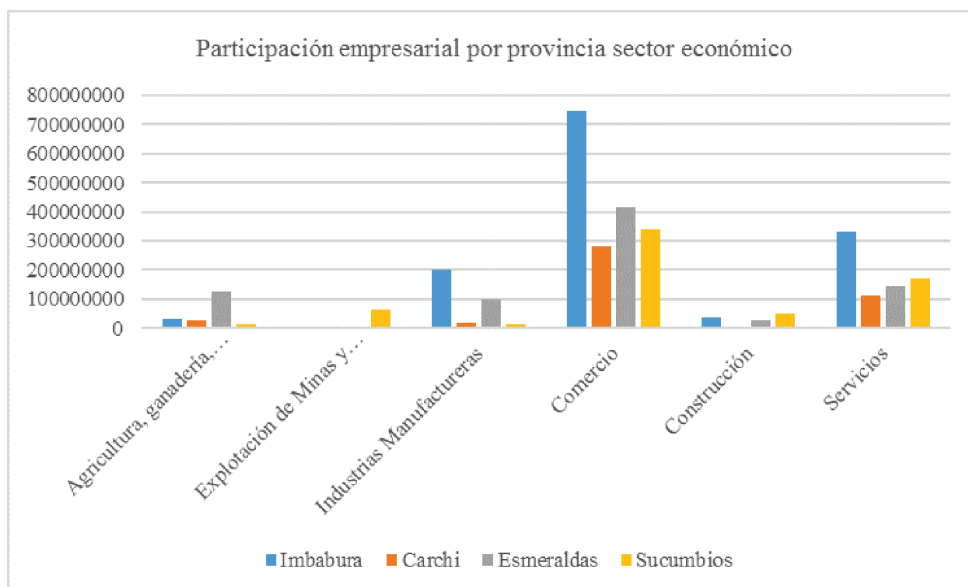


Figura 17.10: Empresas por Sector Económico. Fuente: INEC.

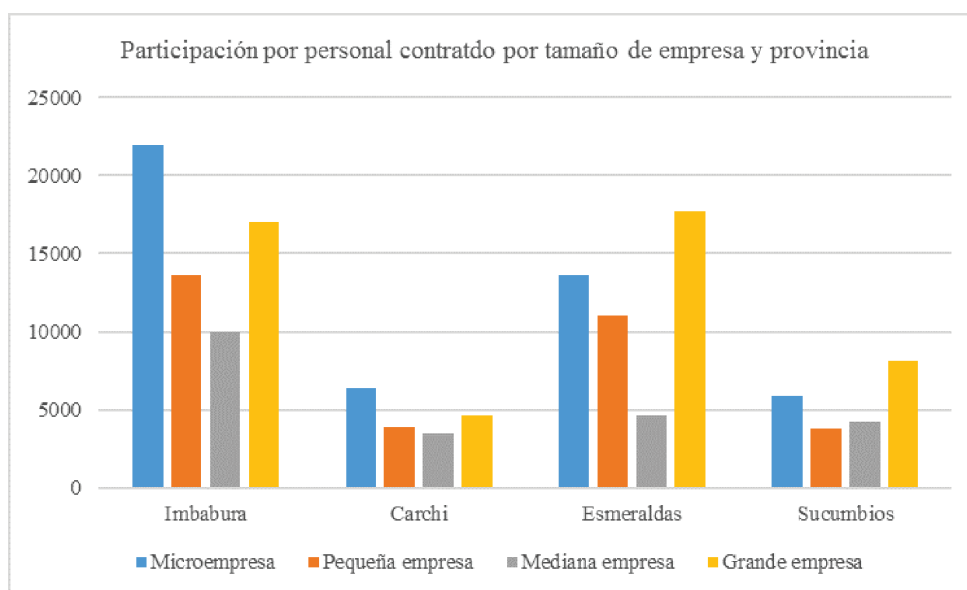


Figura 17.11: Empresas por Personal Empleado. Fuente: INEC.

El comercio, los servicios e Industrias manufactureras son actividades predominantes en la provincia de Imbabura.

En Carchi predomina el Comercio, los Servicios y la Agricultura.

En Esmeraldas tiene mayor importancia el Comercio, Servicios, Agricultura y la Industria Manufacturera en su orden.

En Sucumbios tiene mayor importancia el Comercio, Servicios, Explotación de Minas y Canteras, y Construcción en su orden.

17.2.3.7. Participación empresas por Personal ocupado. El sector económico de mayor relevancia en la contratación de personal es el sector Servicios con el 64.22 %, le sigue Comercio con 17.31 %, Industrias Manufactureras con 8.17 %, la Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca con el 6.39 %, su suma cubre el 96.09 % de empleados en la zona.

Por tamaño de empresa, el 31.82 % del personal afiliado corresponde a la Microempresa, le sigue la Gran Empresa con el 31.69 %, la Pequeña Empresa con el 21.61 %, y la Mediana empresa con el 14.89 %.

De acuerdo con su Forma Institucional el 34.86 % del personal ocupado, pertenece a la Institución Pública, el 24.27 % corresponde a las Personas Naturales No Obligadas a Llevar Contabilidad, el 16.45 % a Sociedades Con Fines de Lucro, y el 13.44 % a las Personas Naturales Obligadas a Llevar Contabilidad, entre ellas suman el 89 %.

El 40.84 % de personal contratado corresponde a las personas naturales y el 59.16 % lo asumen las Personas Jurídicas.

La participación de la Microempresa en la contratación de personal es mayor en las provincias de Imbabura y Carchi, en Esmeraldas y Sucumbios la Gran empresa es el mayor contratante.

Imbabura cuenta con 62.617 trabajadores, el 54,1 % labora en empresas con Personería Jurídica; el 56.94 % se desempeña en el sector económico Servicios, el 21.35 % lo hace en el sector Comercio, y un 13.46 % lo hace en Industrias Manufactureras.

El 35.03 % de trabajadores labora en la Microempresa, el 27.26 % en la Gran Empresa, el 21.75 % en la Pequeña Empresa y el 15.95 % en la Mediana Empresa.

Carchi cuenta con 18.369 trabajadores afiliados, el 56.57 % de estos labora en empresas con personería jurídica; el 73,36 % de ellos se desempeña en el sector económico de Servicios, el 16.77 % lo hace en el sector Comercio.

El 34.61 % trabaja en la Microempresa, el 25.22 % en la Gran Empresa, el 21.33 % en la Pequeña Empresa, el 18.84 % en la Mediana Empresa.

Esmeraldas cuenta con 47.048 trabajadores afiliados, el 63.67 % se desempeña en empresas con Personería Jurídica; el 69.30 % lo hace en el sector económico Servicios, el 13.11 % en Comercio y en Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca el 10 %.

El 37.62 % trabaja en la Gran Empresa, el 28.94 % en la Microempresa, el 23.52 % en la Pequeña Empresa y el 9.92 % en la Mediana Empresa.

Sucumbíos cuenta con 22.023 trabajadores afiliados, el 65.97 % labora en empresas con Personería Jurídica; el 66.53 % trabaja en el sector económico Servicios, el 15.27 % en Comercio y un 8.23 % en Explotación de Minas y Canteras.

El 36.98 % trabaja en la Gran Empresa, el 26.51 % en la Microempresa, el 19.17 % en la Mediana Empresa, y el 17.34 % en la Pequeña Empresa.

17.3. Conclusiones

La mayoría de empresas en la zona 1 y sus provincias son Microempresas, son informales, y se encuentran dentro del RISE, una minoría de empresas conformadas por Pequeñas, Medianas y Grandes empresas en la zona 1 son formales y se encuentran Obligadas a llevar contabilidad.

Pese a la presencia mayoritaria de la Microempresa en la Zona 1 y en cada provincia, el volumen de Ventas que captan es minoritario y su mercado es el Mercado Interno.

La presencia de las Personas Jurídicas en el sector empresarial de la Zona 1 es relativamente pequeña, sin embargo, su participación en el volumen de ventas es muy significativo.

Los sectores económicos con mayor nivel de ventas en la Zona 1 y sus provincias son el Comercio, los Servicios, la Agricultura, la Industria Manufacturera, en Sucumbíos la explotación de Minas y Canteras.

Existe escasa diversificación productiva, bajo nivel de asociatividad y productividad en las Mipymes de la Zona 1 y sus provincias, lo cual limita su crecimiento.

La Microempresa, Gran empresa, Pequeña y Mediana empresa en su orden constituyen en el orden indicado los mayores empleadores de la Zona 1

Referencias

1. García, M. S. (2012). Una propuesta para la determinación de la competitividad en la pyme latinoamericana.
2. Gobierno Autonomo Provincial. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Nueva Loja Sucumbíos Ecuador. Sucumbios.
3. INEC. (2012). Directorio de Empresas y Establecimientos.
4. INEC. (2014). Directorio de Empresa y Establecimientos.
5. INEC. (2015). Directorio de Empresas y Establecimientos.
6. Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2015). Metodología Directorio de Empresas y Establecimientos 2015. Quito.
7. King, H. J. (2012). Estudios Industriales de la micro, pequeña y mediana Empresa. Quito: FLACSO.
8. Organización Para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (2013). Perspectivas económicas de América Latina 2013. Políticas de Pymes para el cambio estructural. OCDE.
9. Peralta, P. O. (2015). Crisis y Tendencias Económicas en el Ecuador de Rafael Correa.
10. Prefectura de Esmeraldas. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Esmeraldas 2015-2025. Esmeraldas.
11. Prefectura de Imbabura. (2015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Imbabura 2015-2035 . Ibarra.
12. Prefectura del Carchi. (2011). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Carchi 2031.
13. Revista Ekos. (2012). Importancia de las Pymes en América Latina. Quito: Revista Ekos.
14. Schwartz, C. G. (2014). Analisis del Sistema Nacional de Innoivación. BID.
15. SELA. (2006). Inventario sobre programas y proyectos de innovación.
16. SENPLADES. (2012). Transformación de la Matriz Productiva.
17. SENPLADES. (2013). ATLAS CAP1 Contextos Históricos y Político Generales. Primera Ed.

18. SENPLADES. (2015). Agenda Zonal Zona 1 - Norte.
19. SENPLADES. (08 de Noviembre de 2016). Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. Recuperado el 08 de noviembre de 2016, de <http://www.planificacion.gob.ec/zona-de-planificacion-1-norte/>
20. Y. Saavedra G., M. L. (2011). Caracterización e importancia de las MIPYMES en Latinoamérica. (17).

Capítulo 18

COMPARACIÓN DE DOS INFRAESTRUCTURAS ABIERTAS DE CLOUD COMPUTING Y SU IMPLEMENTACIÓN

TREJO D., SALAZAR F., LANDETA P., ARCINIEGA S. Y REA M.

Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Universidad Técnica del Norte, Avenida 17 de Julio 5-21, Ibarra, Imbabura, Ecuador.

Resumen: Esta investigación establece un modelo de infraestructura de nube computacional alternativo frente a servicios que son provistos por grandes empresas mundiales, considerando ciertos aspectos como: servicios fáciles de gestionar, seguridad en el manejo de datos, económicamente viable y que en un futuro pueda ser implementado en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte (UTN) en la ciudad de Ibarra en Ecuador. Para esto se realiza la evaluación de dos de las infraestructuras de software libre más usadas en el mercado: OpenNebula y OpenStack. En la comparativa se determinan métricas para realizar pruebas técnicas ponderadas (como ancho de banda y latencia) y de factores económicos, obteniendo el mayor puntaje la propuesta de OpenStack.

Palabras Claves: Cloud computing, IaaS, software libre, nube privada, comparación, OpenStack, OpenNebula

18.1. Introducción

La Universidad Técnica del Norte (UTN) actualmente gestiona una nube privada basada en Microsoft Office 365, la cual genera dependencia por encontrarse administrada por una compañía externa; la disponibilidad, seguridad y transparencia de la plataforma dependen de la compañía propietaria y los parámetros sobre los cuales no se podrá tener el control debido a la necesidad de una conexión permanente de Internet, ancho de banda alto y el riesgo de que los datos almacenados se puedan perder. Por tal motivo esta investigación presenta una alternativa para que la UTN implemente una nube privada con software libre, que se sugiere sea administrada por recurso humano propio de la Institución.

La presente investigación es un aporte valioso dentro de la transferencia tecnológica y de conocimientos, que cumplan eficientemente con las necesidades básicas y garanticen la calidad de este trabajo que se realiza en la Universidad. Aquí se tratan aspectos generales del tema, como el estudio, tipos y características principales, de las tecnologías de infraestructuras como servicio de Software Libre para Cloud Computing.

El objetivo de esta investigación es evaluar dos Infraestructuras como servicio de Cloud Computing (IaaS), utilizando Software Libre OpenNebula y OpenStack para implementar en la Universidad Técnica del Norte (UTN)

Se establecen los parámetros a comparar entre las IaaS OpenNebula y OpenStack

Se construye ambientes de pruebas para realizar análisis comparativo de cada una de las tecnologías de IaaS de Cloud Computing aplicadas a Nubes Privadas.

18.2. Materiales y Métodos

Para determinar la tecnología más adecuada de una (IaaS) de software libre para nubes privadas, se debe realizar una comparativa mediante métricas ponderadas, entre los cuales se debe tomar en cuenta algunos criterios y parámetros de comparación.

La gestión de una infraestructura de nube es proporcionada por los proveedores de una Infraestructura como Servicio (IaaS), a través de un pago realizado por los usuarios y así obtener los servicios de una forma más escalable y elástica. El problema es cómo manejar y monitorear la infraestructura en la nube. Las preocupaciones son; proveedor bloquee, seguridad, disponibilidad, etc. Para superar estos problemas, se plantea una infraestructura diferente desarrollando modelos de gestión de proyectos en las siguientes secciones. [1]

- Open Nebula
- Papaya
- RESTful Cloud Management System (CMS)

Según Armstrong, D., & Djemame, K. existen varias herramientas de software para la implementación de una Infraestructura como Servicio (IaaS), por medio de las cuales se crea su propia Infraestructura como Servicio (IaaS) entre las que sobresalen las siguientes”: [2]

- Open Nebula
- OpenStack
- Cloudstack
- Eucalyptus

Para realizar el análisis tecnológico de las herramientas más utilizadas IaaS en los últimos años se ha tomado como referencia Google Trends, que es una herramienta de Google Labs, donde muestra los términos de búsqueda más populares del pasado reciente.

En la figura 18.1 se realiza una comparación con búsqueda en función de palabras claves en los últimos años, obteniendo como resultado una opción de software libre para comparar las dos herramientas.

Dentro de este análisis se pudo observar que las herramientas más utilizadas a nivel mundial son: OpenStack y OpenNebula.

Con los datos obtenidos anteriormente se seleccionan dos infraestructuras las mismas que son: OpenStack y OpenNebula, siendo estas herramientas de código abierto y que son utilizadas actualmente por empresas e instituciones de todo el mundo.

A continuación, se describen las características de las dos infraestructuras.

OpenStack es un conjunto de proyectos de software libre que pueden ser utilizados en conjunto para operar una infraestructura de red de la nube a fin de proporcionar IaaS.

El proyecto OpenStack es una combinación de tres componentes principales:

- OpenStack Compute (Nova): se utiliza para organizar, gestionar y ofrecer máquinas virtuales con muchos hipervisores, incluyendo QEMU y KVM
- OpenStack Object Store (Swift): proporciona almacenamiento redundante para objetos estáticos, este servicio es escalable para tamaños de datos masivos y teóricamente, puede proporcionar almacenamiento infinito

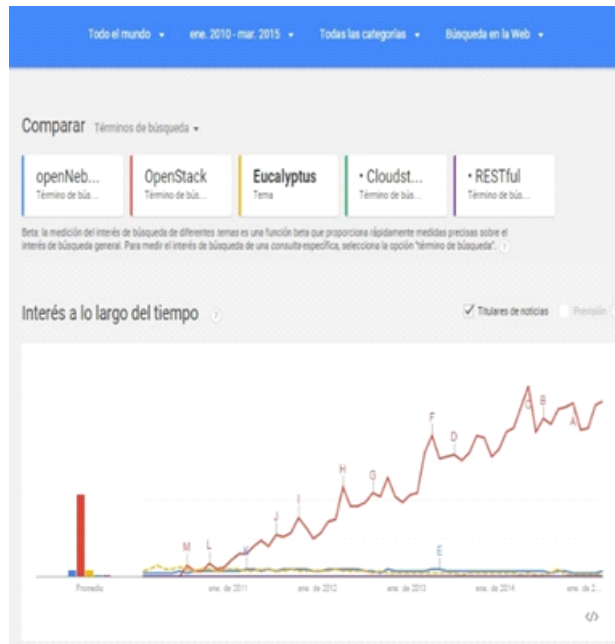


Figura 18.1: Comparación de las IaaS más utilizadas. Fuente: Google Trends

- OpenStack Image Service (Vistazo): proporciona almacenamiento para discos virtuales, kernel e imágenes, es capaz de aceptar imágenes en muchos formatos, incluyendo el popular Amazon Machine Image (AMI), Amazon Kernel imagen (AKI) y Amazon Ramdisk imagen (ARI) [4]

OpenNebula es el estándar de la industria de código abierto para la virtualización del centro de datos, ofreciendo una sencilla pero completa infraestructura que posee múltiples características con una solución flexible para construir y gestionar nubes empresariales y centros de datos virtualizados, OpenNebula ofrece muchas interfaces que se pueden utilizar para interactuar con la funcionalidad ofrecida para gestionar recursos físicos y virtuales. [5]

Hay cuatro principales perspectivas diferentes de interactuar con OpenNebula:

- Interfaces de nube para consumidores como consulta EC2, EBS OCCI y un simple Sunstone.
- Interfaces de administración para usuarios de la nube avanzada y operadores, como una interfaz de línea de comandos de Unix y el poderoso Sunstone GUI
- Extensible APIs de bajo nivel para la nube
- Integradores en Ruby, Java y API XMLRPC

Por lo que se establece como definición que OpenNebula es un software de código abierto, que permite controlar y gestionar distintas máquinas virtualmente en una nube establecida, también ofrece una flexibilidad permitiendo operar sobre distintas redes, unidades de almacenamiento o hipervisores; esta infraestructura permite crear una cloud rápidamente, ya sea a nivel público, privado o híbrido.

El Sistema operativo OpenStack ofrece una potencia de computación a través de máquinas virtuales y gestión de red.

OpenStack Object Storage, que es un software para la capacidad redundante y escalable de almacenamiento de objetos. [7]

La infraestructura OpenNebula permite construir cualquier tipo de cloud: privado, público e híbrido. Ha sido diseñado para ser integrado con cualquier tipo de red y almacenamiento, para así adaptarse a los centros de datos existentes. En la figura 18.2 se muestra como es su diseño en una cloud pública.

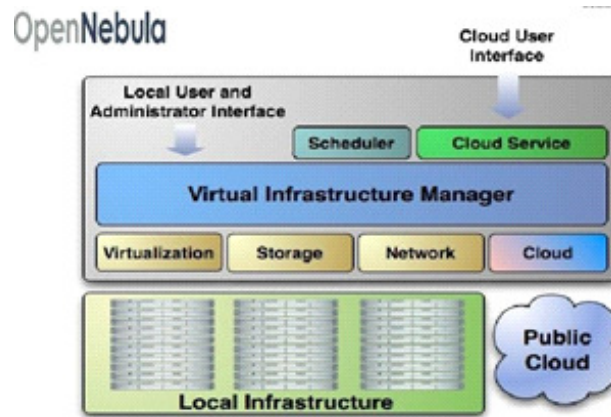


Figura 18.2: Diseño de la arquitectura de OpenNebula, Fuente: OpenNebula.org

18.3. Método de la comparativa

Para poder comparar las diferentes plataformas, en primer lugar, se definen dos categorías de parámetros:

- a) Parámetros técnicos
- b) Parámetros económicos

En la Tabla 18.1 constan los parámetros técnicos y económicos. A cada parámetro hay que otorgar valores de ponderación y escalas de valoración.

Para determinar los valores de ponderación hay que comparar la importancia de cada uno de los parámetros frente a los demás. Al hacerlo, se van asignando valores que indican si: es más, menos o igual de importante que el otro.

La valoración de importancia de cada parámetro versus los demás se califica con “1” si es más importante, con “0” si es menos importante y, con “X” si es de igual importancia. Esta valoración se visualiza en la Tabla 2

En la Tabla 18.2 también consta la sumatoria de las valoraciones (Columna TOTAL) de cada parámetro; así también las ponderaciones (Columna %) que se obtienen a partir de la siguiente fórmula:

$$\% = \frac{T}{TG} 100 \tag{18.1}$$

T = Total de las calificaciones obtenidas por el parámetro

TG = Total general de todas calificaciones

$\%$ = Ponderación obtenida por el parámetro

Nótese que hay que aplicar la fórmula tanto para parámetros técnicos como económicos.

En la Tabla 18.3 consta que las propuestas tecnológicas OpenStack y OpenNebuka son evaluadas midiendo su nivel de cumplimiento por cada uno de los parámetros técnicos. Esto se consigue mediante la siguiente fórmula:

$$PP = P * VAP \tag{18.2}$$

P = Ponderación del parámetro (%)

VAP = Valor asignado a la propuesta en una escala de 0 a 100

PP = Puntaje de la Propuesta

Esta fórmula es igualmente aplicada para las ofertas económicas, lo que se puede ver en la Tabla 18.4.

Se obtienen los Puntajes Globales de las propuestas tanto técnicas como económicas sumando todos los PP obtenidos en la fórmula 18.2, lo cual se evidencia también en las Tablas 18.3 y 18.4

Luego se aplica la siguiente fórmula:

$$PTP = (PT + PE) \tag{18.3}$$

Tabla 18.1: Determinación de parámetros técnicos y económicos.

METODOLOGÍA DE COMPARACIÓN DE OFERTAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS		
Parámetros Técnicos	Requerimientos de software y hardware	
	Información disponible	T1
	Facilidad de implementación	T2
	Compatibilidad	T3
	Preparación/producción	T4
	Soporta control de acceso basado en roles / seguridad	T5
	Software libre	T6
	Latencia	T7
	Requerimiento de memoria RAM	T8
	Requerimiento del procesador	T9
	Requerimiento de espacio en el disco	T10
	Interfaz de usuario	T11
	Aplicaciones	T12
	Interfaces	T13
	Capacidad de Gestión	T14
	Despliegue Nube	T15
	Capacidades de la empresa	T16
	Integración Datacenter	T17
METODOLOGÍA DE COMPARACIÓN DE OFERTAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS		
Parámetros Económicos	Costos	
	Costos de licencias	E1
	Costos de soporte	E2
	Costos de implementación	E3
	Costo de soporte técnico presencial	E4

Tabla 18.2: Determinación de ponderación por cada parámetro.

METODOLOGÍA DE COMPARACIÓN DE OFERTAS TÉCNICAS Y ECONÓMICAS																				
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	TOTAL	%	
Información disponible	T1	X	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	12	5,2%
Facilidad de implementación	T2	0	X	X	1	0	X	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	2,1%
Compatibilidad	T3	0	X	X	X	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	4	3,0%
Preparación/producción	T4	0	0	X	X	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	5	3,8%
Soporta control de acceso basado en roles / seguridad	T5	0	1	0	0	X	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	7	5,3%
Software libre	T6	1	X	1	1	1	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16	10,7%
Latencia	T7	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
Requerimiento de memoria RAM	T8	1	1	1	1	1	0	1	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16	10,7%
Requerimiento del procesador	T9	1	1	1	1	1	0	1	0	X	1	1	1	1	1	1	1	1	13	10,0%
Requerimiento de espacio en el disco	T10	1	1	1	1	1	0	1	0	0	X	1	1	1	1	1	1	1	13	10,0%
Interfaz de usuario	T11	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	X	1	0	0	0	0	3	2,1%
Aplicaciones	T12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	X	1	0	0	0	0	3	2,1%
Interfaces	T13	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	2	1,5%
Capacidad de Gestión	T14	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	X	0	1	1	8	6,2%
Despliegue Nube	T15	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	X	0	0	7	5,3%
Capacidades de la empresa	T16	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	X	1	8	6,2%	
Integración Datacenter	T17	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	X	8	6,2%
																			130	100%

	E1	E2	E3	E4	Total	%
Costos de licencias	E1	X	1	1	1	50,0%
Costos de soporte	E2	0	X	0	1	16,7%
Costos de implementación	E3	0	1	X	1	16,7%
Costo de soporte técnico presencial	E4	0	0	0	X	0,0%
					6	100%

PT = Puntaje Global Evaluación Técnica
 PE = Puntaje Global Evaluación Económica
 PTP = Puntaje Total de la Propuesta
 Obteniendo así la mejor propuesta evaluada con parámetros técnicos y económicos.

Tabla 18.3: Evaluación de parámetros técnicos.

Calificación de parámetros técnicos OPENSTACK				OPENSTACK		
Alternativa o Propuesta	%	Valor asignado a la propuesta (0 a 100)		%	Valor asignado a la propuesta (0 a 100)	
			Puntaje de la Propuesta			Puntaje de la Propuesta
Software libre	10,7%	90	9,7	10,7%	100	10,8
Requerimiento de memoria RAM	10,7%	60	6,5	10,7%	100	10,8
Requerimiento del procesador	10,7%	90	9,7	10,7%	80	8,6
Información disponible	10,0%	90	9,0	10,0%	50	5,0
Requerimiento de espacio en el disco	9,2%	70	6,5	9,2%	80	7,4
Interfaz de usuario	9,2%	70	6,5	9,2%	50	4,6
Capacidad de Gestión	7,6%	80	6,2	7,6%	80	6,2
Capacidad de la empresa	6,2%	50	3,1	6,2%	100	6,2
Integración Datacenter	6,2%	50	3,1	6,2%	50	3,1
Soporte control de acceso basado en roles / seguridad	6,2%	90	5,5	6,2%	100	6,2
Despliegue de Nube	5,3%	100	5,4	5,3%	80	4,3
Preparación/producción	5,3%	80	4,3	5,3%	100	5,4
Compatibilidad	3,8%	50	1,9	3,8%	100	3,8
Facilidad de implementación	3,0%	30	0,9	3,0%	60	1,8
Aplicaciones	2,3%	30	0,7	2,3%	50	1,2
Interfaz	2,3%	50	1,2	2,3%	60	1,4
Latencia	1,5%	60	0,9	1,5%	50	0,8
			80,9			87,1

Tabla 18.4: Evaluación de parámetros económicos.

Alternativa o Propuesta	%	Valor asignado a la propuesta (0 a 100)		%	Valor asignado a la propuesta (0 a 100)	
			Puntaje de la Propuesta			Puntaje de la Propuesta
Costo de licencia	50,0%	50	25,0	50,0%	100	50,0
Costo de soporte	16,6%	90	15,0	16,6%	90	15,0
Costo de implementación	11,3%	50	16,7	11,3%	80	26,7
Costo de soporte técnico presencial	2,0%	50	0,0	2,0%	60	0,0
			51,7			91,7

Tabla 18.5: Calificación final de propuestas.

Alternativa o Propuesta	%	Valor asignado a la propuesta (0 a 100)		%	Valor asignado a la propuesta (0 a 100)	
			Puntaje de la Propuesta			Puntaje de la Propuesta
Costo de licencia	50,0%	50	25,0	50,0%	100	50,0
Costo de soporte	16,6%	90	15,0	16,6%	90	15,0
Costo de implementación	11,3%	50	16,7	11,3%	80	26,7
Costo de soporte técnico presencial	2,0%	50	0,0	2,0%	60	0,0
			51,7			91,7

18.4. Resultados

La metodología de comparación efectuada califica las características tanto técnicas como económicas que sobresalen en cada una de las infraestructuras.

La Tabla 18.5 muestra la Calificación Final en base a los resultados obtenidos en los anteriores escenarios.

Se determina la propuesta #2 como la más conveniente dado que su puntaje total es el más alto 89,525641

En lo que se refiere a la medición de latencia se planteó un mismo escenario de red con los mismos parámetros de velocidad, mismo proveedor de comunicaciones, para obtener resultados reales consiguiendo como resultado lo siguiente:

Para medir el ancho de banda OpenStack se requiere la aplicación JPERF basada en Java, por lo que puede ser utilizado en cualquier sistema operativo que tenga instalado un intérprete de Java. Esta aplicación visualiza los resultados gráficamente, ver Figura 18.4.

Para OpenNebula se utiliza la misma aplicación y el resultado consta en la Figura 18.5.

Es notorio que el mejor desempeño le corresponde a OpenNebula.

18.5. Conclusiones

En este análisis comparativo fue de vital importancia el establecimiento de los escenarios de pruebas, así como los parámetros de comparación y sus métricas.

Al terminar el análisis comparativo entre las dos IaaS alternativas, se logró determinar la mejor infraestructura de software libre de manera que pueda proponerse la implementación con todos sus componentes en un servidor de la UTN-FICA.

Luego de haber realizado el análisis de métricas tanto técnicas como económicas se puede concluir que la mejor infraestructura para cloud con código abierto es Openstack.

La Computación en la Nube es un campo extenso siendo un nuevo modelo de gestión de Tecnología de la Información (TI) basada en reducir costos, optimizar y recursos dentro de la institución/empresa.

En nuestro país aún no se tiene claro el marco legal que se debe cumplir para la implementación de estas infraestructuras en entidades públicas y privadas, por lo que aún existe desconocimiento de los servicios tecnológicos y de código libre que ofrecen estas infraestructuras.

En la Universidad Técnica del Norte, al igual que en la mayoría de las instituciones o empresas alrededor del mundo, ya se utiliza la computación en la nube, por ejemplo: Microsoft Office 365, Yammer, Google Drive, Dropbox, Slideshare etc. Este estudio propone un paso orientado hacia la implementación de una Infraestructura como Servicio privada. La virtualización, estandarización y consolidación permite un ahorro de recursos.

Referencias

1. Innocent, A. A. T. (2012). Cloud Infrastructure Service Management - A Review. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 9(2), 287-292.
2. Armstrong, D., & Djemame, K. (2011). Performance Issues in Clouds: An Evaluation of Virtual Image Propagation and I/O Paravirtualization. *Computer Journal*, 54(6), 836-849.
3. Brooks, J. (2009). REVIEW: CentOS 5.3 has keen focus on virtualization (Vol. 26, pp. 33-37): QuinStreet, Inc.
4. Kostantos, K., Kapsalis, A., Kyriazis, D., Themistocleous, M., & da Cunha, P. R. (2013). OPEN-SOURCE IAAS FIT FOR PURPOSE: A COMPARISON BETWEEN OPENNEBULA AND OPENSTACK. *International Journal of Electronic Business Management*, 11(3), 191-201.
5. Moreno GÓmez, G. A. (2013). JURISDICCIÓN APLICABLE EN MATERIA DE DATOS PERSONALES EN LOS CONTRATOS DE CLOUD COMPUTING: ANÁLISIS BAJO LA LEGISLACIÓN COLOMBIANA. (Spanish). *Revista de Derecho Comunicaciones y Nuevas Tecnologías* (9), 1-28.
6. Raj, G., Kapoor, C., & Singh, D. (2013). Comparative Cloud Deployment and Service Orchestration Process Using Juju Charms. *International Journal of Engineering & Technology (0975-4024)*, 5(2), 1412-1418.
7. Wu, Z., Liu, X., Ni, Z., Yuan, D., & Yang, Y. (2013). A market-oriented hierarchical scheduling strategy in cloud workflow systems. *Journal of Supercomputing*, 63(1), 256-293. Doi:10.1007/s11227-011-0578-4
8. daniellm91 (Producer). (2012, Febrero 2). Computación en la Nube. Bitacora Sistemas Operativos UNAL. Retrieved from <https://chsos20122909032.wordpress.com/2012/11/02/computacion-en-la-nube/#respond>
9. GarcÍA, E. R. (2013). COMPUTACIÓN EN LA NUBE. (Spanish). *CLOUD COMPUTING. (English)*(17), 223-245.
10. inec (Producer). (2013, julio 05). Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC'S) 2012. Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC'S) 2012

Capítulo 19

DESAPONIFICADO DE QUINUA DEL ECOTIPO CHIMBORAZO MEDIANTE LECHO FLUIDIZADO PULSANTE.

RAMÓN CALA

Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador, 100150.

Resumen: La quinua es un grano andino de alto contenido proteico que ha logrado en los últimos años una gran aceptación en el mercado internacional. Sin embargo, la presencia de la saponina y su toxicidad en la superficie del grano hace necesaria su eliminación para el consumo humano. Este artículo trata del desaponificado seco de quinua en lecho fluidizado, de la variedad quinua tipo Chimborazo con un contenido inicial de saponina del 0,45 %, y su comparación con el métodos húmedo tradicional. Se utilizó un reactor de 10 cm de diámetro y la altura se mantuvo constante e igual a un diámetro. El equipo experimental es controlado por una Unidad de Captura, Almacenamiento y procesamiento de datos de la National Instruments, la cual realiza la interface con el reactor y su computador interno con alto nivel de automatización. Se diseñó un experimento 3 factorial donde las variables independientes fueron: la rugosidad de la superficie, velocidad del aire, frecuencia de pulso del flujo de aire y la dependiente el contenido de saponinas del producto final. El procesamiento estadístico dio valores significativos para las 3 variables independientes. Se obtuvieron valores de contenido de saponinas del 0,08 % siendo necesario un ligero enjuague para alcanzar el valor recomendado para el consumo humano del 0,06 %. Se determinó que tanto los valores proteicos como el color no cambian con el proceso de desaponificación utilizado. El método propuesto disminuye significativamente el consumo de agua respecto al método tradicional de desaponificación húmedo extensamente utilizado.

Palabras Claves: Quinua, fluidización, desaponificación, saponina

19.1. Introducción

El método tradicional de desaponificación de la quinua consiste en el lavado de los granos a mano, con frotación sobre una piedra y varios enjuagues[1]. Es un proceso trabajoso y lento, que consume de 10 a 14 m³ de agua por tonelada de grano seco. Las aguas son generalmente vertidas a cauces superficiales, con efectos ambientales muy negativos para la fauna y la flora acuáticas [2]. En la actualidad se utilizan algunos diseños de desaponificación seca con movimiento mecánico [3], pero presentan problemas con la roturas de granos y la homogeneidad del proceso.

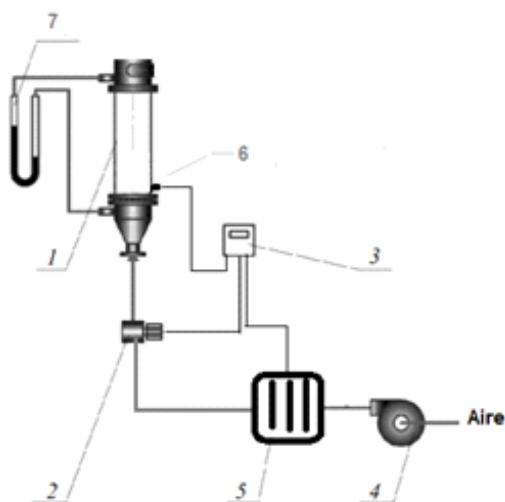


Figura 19.1: Instalación experimental

Las saponinas tienen muy diversas aplicaciones en varias industrias: detergentes, alimentos, cerveza, cosméticos y farmacéuticas. Los precios de compuestos adecuadamente purificados (75 %) son muy interesantes, por lo que su recolección y venta aumentaría el valor agregado a la Quinua [4]. Por otra parte, entre 15 y 30 % de las saponinas se pierden en estos residuos, puesto que su recuperación no es económicamente viable.

Entre los métodos más conocidos para el procesamiento industrial de granos están las técnicas de la fluidización, siendo el lecho fluidizado pulsante una de las más novedosas y utilizada con éxito en el secado y beneficiado de arroz, café y otros granos [5], [6].

19.2. Materiales y métodos

Equipamiento experimental utilizado.

Para el estudio experimental de desaponificado de quinua se utilizó un reactor cilíndrico en lecho fluidizado como se muestra en la figura 19.1.

Donde:

1. Reactor de columna cilíndrica de acrílico transparente Sistema de calefacción
2. Control de pulsaciones
3. Unidad de captura, almacenamiento y procesamiento de datos.
4. Soplador generador de flujo de aire
5. Sistema de calentamiento
6. Termocupla
7. Manómetro diferencial con columna de agua.

El reactor está construido de material acrílico transparente que permite la visualización del proceso de fluidización que se estudia, con dimensiones de 100 cm de altura y un diámetro de 10 cm y funciona con un flujo de aire a temperatura controlada,

El control de todos los parámetros medidos en el proceso, como son temperatura del lecho, humedad del grano, velocidad del flujo, frecuencia del pulso para el lecho fluidizado pulsante, se realiza con la Unidad de Captura, Almacenamiento y procesamiento de datos de la National Instruments NI cDAQ-9139, la cual realiza la inter fase con el reactor y su computador interno a través del Software LabVIEW [7].

Tabla 19.1: Distribución de los granos de quinua por tamices.

Tamices	di (mm)	Mi	Xi
2,00	2,00	0,287	0,1459707
2,0-1,7	1,85	8,7542	4,452462378
1,7-1,4	1,55	170,5232	86,72958495
1,4-1,18	1,29	3,2914	1,674034712
1,18-1,00	1,09	1,2233	0,622181036
1,00-0,180	0,59	12,5357	6,37576621

19.3. Procedimiento experimental

Para obtener los resultados de esta investigación fue necesario realizar una serie de experimentos previos que sirvieron de ayuda para fijar los parámetros que se utilizaron para el desarrollo del diseño experimental. Inicialmente se realizó el estudio de las propiedades físicas y aerodinámicas de la quinua en el lecho fluidizado.

19.3.1. Granulometría

La determinación de la composición granulométrica de la quinua resulta fundamental para la determinación del llamado diámetro equivalente del grano, debido fundamentalmente porque la quinua presenta un grano con cierta multidispersión respecto a su diámetro, encontrando una distribución de granos con diferentes valores de diámetro.

El estudio granulométrico se realizó por medio del tamizado de 200g de quinua utilizando un juego tamices estándares (norma americana).

La retención de los granos entre tamices consecutivos se muestra en la tabla 19.1.

donde:

Mi es la masa de quinua retenida entre dos tamices consecutivos

$M_t=200g$ es la masa total de quinua utilizada

X_i es la fracción de esa masa retenida respecto a la masa total de quinua $X_i=M_i/M_t$

En la figura 19.2 se muestra la distribución de la quinua de acuerdo al diámetro de sus granos

Como se puede apreciar del grafico anterior la quinua utilizada presenta cerca de un 90 % de sus granos con un diámetro de 1,55 mm.

El cálculo del diámetro medio o equivalente de la quinua se realiza por la fórmula [8].

$$d_e = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{d_i}} \quad (19.1)$$

Obteniendo el valor de $d_e = 1,5$ mm

Densidad aparente de la capa de quinua y la densidad real

Se tomaron tres muestras de quinua de masas semejantes y se dejaron caer lentamente en una probeta graduada hasta que ocupaban un determinado volumen y luego se pesaron.

Al dividir la masa de las muestras en kg, entre su volumen, en m^3 , se halló valores de la densidad de bulto.

$$\rho_a = 678kg/m^3$$

La densidad real de una partícula se define como la relación entre la masa de la partícula y el volumen del material sólido, del cual se excluye el volumen de los poros de la cáscara.

Para la determinación de la densidad real de la quinua se utilizó el método del picnómetro, utilizando aceite mineral extra fluido como liquido pigrométrico

El experimento fue replicado 3 veces y se obtuvo el valor medio de la densidad real de la quinua.

$$\rho_R = 1187,72 \pm 40kg/m^3$$

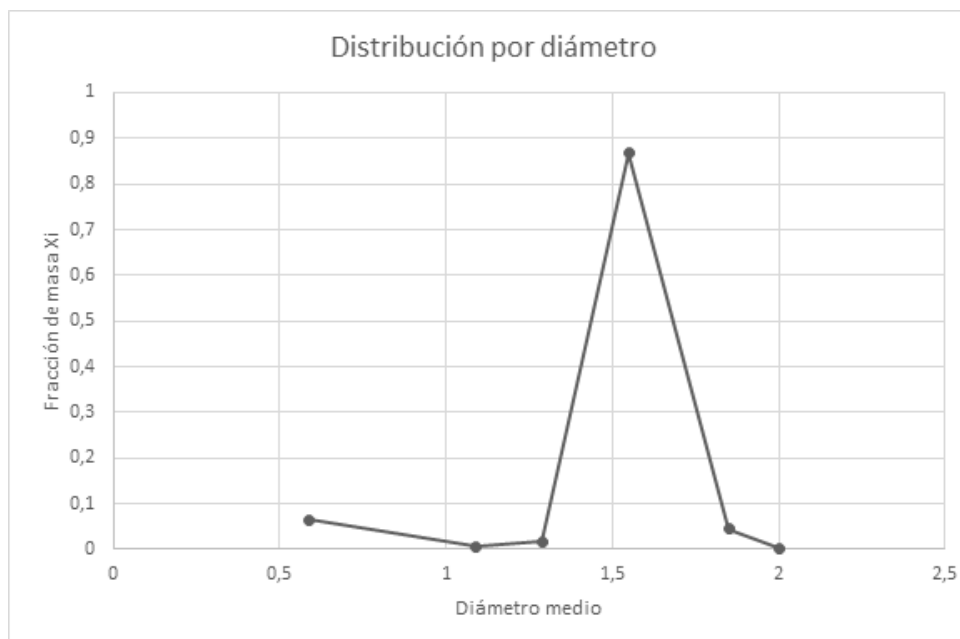


Figura 19.2: Distribución de los granos de quinua por su diámetro

La densidad aparente representa la densidad del grano de quinua sin compactar y tiene un valor menor que la densidad real de la quinua debido a la existencia de porosidad en su estructura ocupada por aire entre sus granos.

Determinación experimental de la porosidad real

Con el valor de la densidad aparente y la real se puede determinar valores de la porosidad inicial de la capa antes de la fluidización o capa inerte utilizando la fórmula (2)

$$\epsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \quad (19.2)$$

Obteniendo el valor $\epsilon = 0,42$ para la porosidad del lecho fijo o de bulto, valor acorde con los resultados obtenidos para otros tipos de granos en la literatura científica [9].

Para velocidades mayores a la velocidad mínima de fluidización del agente fluidizante a través del reactor se observa un aumento de la altura del lecho en función de la velocidad, resultados parecidos se reportan en el trabajo de Fadhil [10].

En la tabla 19.2 se muestran los valores de porosidad en función de la altura del lecho.

En la figura 19.3 se muestra la dependencia de la porosidad del lecho fluidizado de quinua en función de la altura del lecho expandido, mientras que en la figura 19.4 se muestra la dependencia de la porosidad

Tabla 19.2: Porosidad en función de la altura del lecho.

Velocidad (m/s)	Porosidad	Altura (cm)
0 hasta 0,38	0,42000	7,3
4,3	0,45013	7,7
4,9	0,48988	8,3
5,5	0,57660	10
6,2	0,69757	14
9	0,75094	17
10,5	0,77716	19
12,2	0,77716	19



Figura 19.3: Porosidad contra altura del lecho

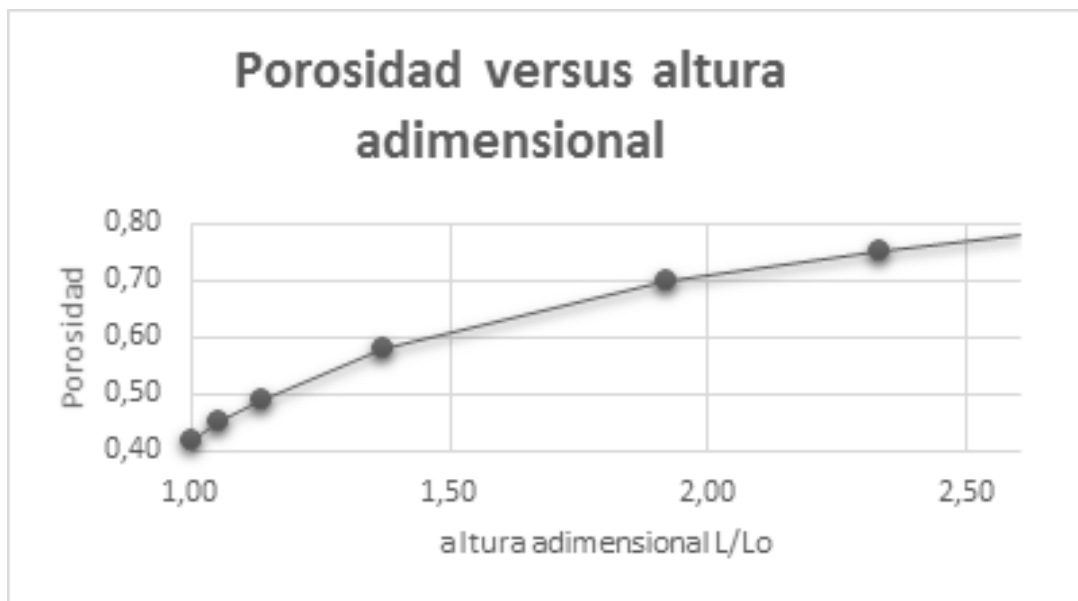


Figura 19.4: Porosidad contra altura del lecho

respecto a la altura adimensional referida a la altura correspondiente al estado de mínima fluidización o lecho inmóvil.

Velocidad mínima de fluidización

La velocidad mínima de fluidización es tomada como la velocidad media del gas en la sección transversal de la columna, como si no existiesen partículas en el lecho, a la cual se produce la transición del lecho fijo al fluidizado . En el diagrama de fase P contra v, figura 19.5 este punto crítico se denota cuando la

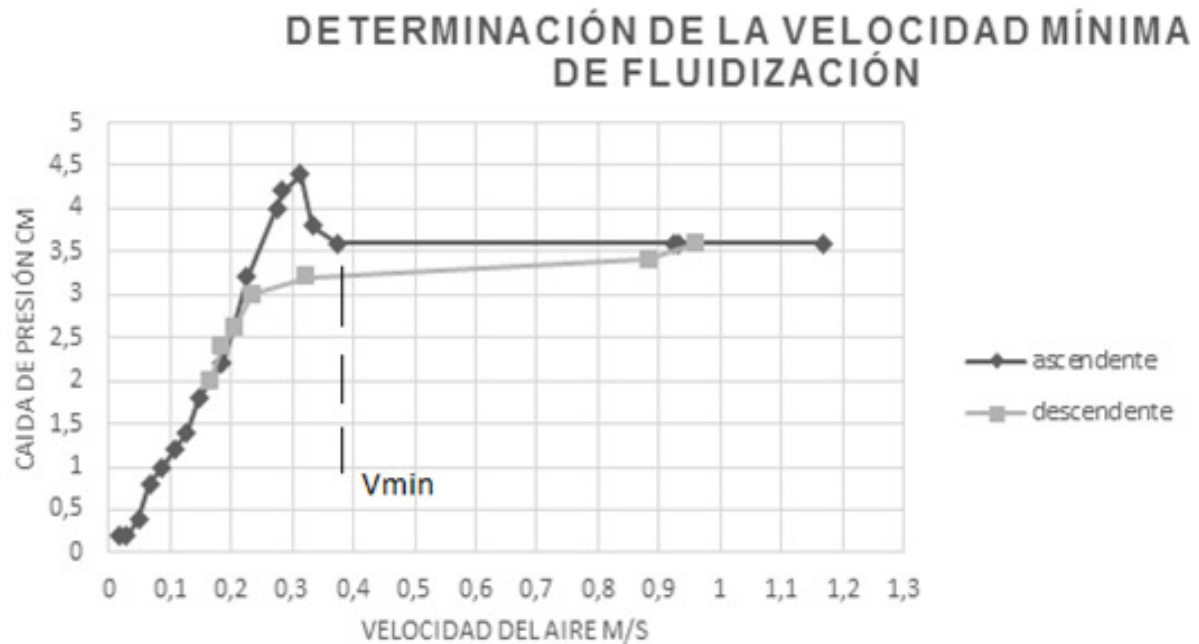


Figura 19.5: Caída de presión en el lecho en función de la velocidad del agente fluidizante

caída de presión que produce la cama de partículas deja de crecer al seguir aumentando la velocidad del gas [11].

La velocidad mínima de fluidización experimental resulto ser:

$$V_{min} = 0,38m/s$$

No se encontraron diferencias significativas en la velocidad mínima de fluidización para los diferentes diámetros del reactor.

La velocidad de arrastre de las partículas de mayor tamaño de la quinua se produce a una velocidad de 6,1 m/s pero para las partículas de menor diámetro el arrastre comienza a manifestarse a velocidades mayores a 5,5 m/s.

$$V_{arrastr} = 6,1m/s$$

Desaponificación de la quinua

Se utilizó un lecho fluidizado con partículas inertes de arena sílice, pero no se obtuvo un resultado significativo para la eliminación de las saponinas de la quinua.

Al final de todo este proceso se adicióno una superficie cónica rugosa y se evaluaron 13 tratamientos, producto de la combinación de: rugosidad de la pared cónica del reactor(A), velocidad de flujo de aire(B), frecuencia de pulso(C) y como testigo el desaponificado tradicional. Los resultados experimentales se muestran en la Tabla 19.3.

19.4. Metodología experimental utilizada

Cada unidad experimental tuvo un peso de 150g de quinua. Se procedió hacer circular el aire con valores de velocidad, rugosidad de las paredes del rector y frecuencia de pulso como se muestran en la tabla I.

Se tomaron muestras de quinua transcurridas las dos horas del proceso para proceder a determinar el contenido de saponina de las mismas mediante el método espumoso que se establece en la norma INEN 1670

Tabla 19.3: Descripción de los rangos de la rugosidad de las paredes del reactor(A), velocidad de flujo de aire (B) y frecuencia de pulso (C).

Tratamiento	Nomenclatura	Descripción
T1	A1B1C1	196 μm + 0,8m/s + 0 pul/min
T2	A1B1C2	196 μm + 0,8m/s + 100pul/min
T3	A1B1C3	196 μm + 0,8 m/s + 150pul/min
T4	A1B2C1	196 μm + 1,6m/s + 0 pul/min
T5	A1B2C2	196 μm + 1,6 m/s + 100pul/min
T6	A1B2C3	196 μm + 1,6 m/s + 150 pul/min
T7	A2B1C1	523 μm + 0,8 m/s + 0 pul/min
T8	A2B1C2	523 μm + 0,8 m/s + 100pul/min
T9	A2B1C3	523 μm + 0,8 m/s + 150pul/min
T10	A2B2C1	523 μm + 1,6 m/s + 0 pul/min
T11	A2B2C2	523 μm + 1,6 m/s + 100pul/min
T12	A2B2C3	523 μm + 1,6 m/s + 150pul/min
T13	Testigo	Desaponificado tradicional húmedo

Tabla 19.4: Contenido de saponina expresado en porcentaje (%)

Tratamientos	Repeticiones				Σ	X
		I	II	III		
T1	A1B1C1	0,40	0,39	0,39	1,18	0,39
T2	A1B1C2	0,42	0,44	0,42	1,28	0,43
T3	A1B1C3	0,39	0,35	0,39	1,13	0,38
T4	A1B2C1	0,10	0,08	0,09	0,27	0,09
T5	A1B2C2	0,12	0,16	0,16	0,44	0,15
T6	A1B2C3	0,09	0,10	0,10	0,29	0,10
T7	A2B1C1	0,38	0,39	0,38	1,15	0,38
T8	A2B1C2	0,44	0,40	0,39	1,23	0,41
T9	A2B1C3	0,39	0,45	0,40	1,24	0,41
T10	A2B2C1	0,33	0,33	0,35	1,01	0,34
T11	A2B2C2	0,35	0,37	0,39	1,11	0,37
T12	A2B2C3	0,39	0,35	0,37	1,11	0,37
T13	TESTIGO	0,06	0,04	0,03	0,13	0,04
	Σ	3,82	3,87	3,88	11,57	3,86

19.5. Resultados y discusiones

La determinación del contenido de quinua de las muestras desaponificadas se muestra en la tabla 19.4.

El análisis estadístico de los resultados obtenidos muestra significancia para las tres variables independientes utilizadas.

La quinua contiene saponinas, las que se caracterizan por ser amargas, emulsificantes y espumantes. El contenido de saponina en la quinua debe ser menor a 0,06) %, para que sea apta para el consumo humano.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA PARA LOS MEJORES TRATAMIENTOS Y LA MATERIA PRIMA.

Uno de los aspectos más importantes es la cantidad y calidad de la proteína que contiene la quinua para lo cual, una vez concluido el proceso de desaponificado se procedió a determinar la cantidad de proteína que contenían las muestras de quinua en los mejores tratamientos. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la tabla 19.5:

Tabla 19.5: Contenido de proteína en los mejores tratamientos

Parámetro analizado	Proteína
Unidad	%
Método de Ensayo	AOAC 2001.11
Muestra Inicial	12,61
A1B2C2	12,23
A1B2C3	12,21
Desaponificado tradicional	12,21

Se puede observar que el proceso de desaponificado de quinua mediante lecho fluidizado pulsante no provocó cambios en cuanto al contenido de proteína en las muestras de quinua sometidas a diferentes condiciones de operación.

Determinación de la eficiencia del proceso de desaponificado mediante lecho fluidizado pulsante y del método tradicional.

Desaponificado mediante lecho fluidizado pulsante:

$$Eficiencia = \left(1 - \frac{\% \text{ Saponina final}}{\% \text{ Saponina inicial}}\right) * 100 \%$$

$$Eficiencia = \left(1 - \frac{0,09\%}{0,45\%}\right) * 100 \%$$

$$Eficiencia = 80 \%$$

Desaponificado mediante el método tradicional:

$$Eficiencia = \left(1 - \frac{\% \text{ Saponina final}}{\% \text{ Saponina inicial}}\right) * 100 \%$$

$$Eficiencia = \left(1 - \frac{0,04\%}{0,45\%}\right) * 100$$

$$Eficiencia = 91,1 \%$$

Aunque la eficiencia es menor para nuestro proceso, con un enjuague rápido con bajo consumo de agua se logra eliminar los restos de saponina hasta los valores requeridos para el consumo humano y tiene como ventaja el disminuir la cantidad de agua utilizada por el método tradicional y por tanto la contaminación ambiental que este produce.

19.6. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos se establecen las siguientes conclusiones:

- Luego de realizar el experimento se puede concluir que el desaponificado de quinua mediante lecho fluidizado pulsante permite disminuir las saponinas hasta un 0,09 % que luego de un simple enjuague permite alcanzar el nivel de consumo humano de 0,06 %.
- La velocidad de flujo de aire influye directamente en el desaponificado de quinua ya que al existir mayor velocidad los granos de quinua interactúan entre ellos con mayor fuerza y durante un mayor tiempo con la superficie rugosa lo que hace que la saponina de la quinua sea removida en mayor cantidad.
- Se evaluó el contenido de proteína de las muestras de quinua en los mejores tratamientos demostrando que estos valores se mantienen después de haber sido sometidas al proceso de desaponificado mediante el método de lecho fluidizado pulsante.

- Los granos de quinua desaponificados no mostraron signos visibles de daños en la superficie.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable tamizar la quinua antes de someterla al proceso de desaponificado para separar cualquier tipo de material extraño como: piedras, cascarilla, plástico que interfieran en el desarrollo normal del experimento.
- Se recomienda realizar un previo enjuague a la quinua que ha sido desaponificada mediante este método para ser utilizada en cualquier tipo de receta y poder ser ingerida.

Referencias

1. M. L. López, A. Capparelli, and A. E. Nielsen, "Procesamiento post-cosecha de granos de Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Chenopodiaceae) en el período prehispánico tardío en el norte de Lipez: Potosí, Bolivia," *Darwiniana*, nueva serie, vol. 50, no. 2, pp. 187-206, 2012.
2. D. BAZILE, ESTADO DEL ARTE DE LA QUINUA en el mundo en 2013. 2014.
3. ALNICOLSA. (2014, 18 de marzo). DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA ESCARIFICADORA DE QUINUA POR VIA SECA EN UN FLUJO CONTINUO. Available: <http://taninos.tripod.com/quinoa1.htm>
4. D. C. Corzo Barragán, "Análisis y selección de diferentes métodos para eliminar las saponinas en dos variedades de *Chenopodium quinoa* Willd," 2011.
5. E. Ireland, K. Pitt, and R. Smith, "A review of pulsed flow fluidisation; the effects of intermittent gas flow on fluidised gas–solid bed behaviour," *Powder Technology*, 2016.
6. C. Q. Ledezma and R. E. Vásquez, "Evaluación de la calidad nutricional y morfología del grano de variedades amargas de quinua beneficiadas en seco, mediante el novedoso empleo de un reactor de lecho fluidizado de tipo surtidor," *Investigación & Desarrollo*, vol. 10, pp. 23-36, 2010.
7. B. G. Lipták, *Process Control: Instrument Engineers' Handbook*. Butterworth-Heinemann, 2013.
8. M. Leva, *Fluidization*. McGraw-Hill, 1959.
9. A. S. Mujumdar, *Handbook of industrial drying*. CRC Press, 2014.
10. M. Fadhil, M. S. Aris, A. H. Abbas, A. B. A. Ibrahim, and N. Aniza, "Minimum Air Fluidization Velocity Study of Specific 2-D Bubbling Fluidized Bed Reactor," *Applied Mechanics & Materials*, Article vol. 699, pp. 660-665, 11/13/ 2014.
11. J. Opatřil and J. Hrdlička, "MINIMUM FLUIDIZATION VELOCITY OF A LIGHTWEIGHT CERAMIC AGGREGATE," *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering*, Article vol. 13, no. 1, pp. 213-216, 2015.

Capítulo 20

EVALUACIÓN COMPARATIVA DE FRAMEWORKS OPENSOURCE BOOTSTRAP Y UIKIT MEDIANTE ISO/IEC 25010

JÁCOME P., ARCINIEGA S., IMBAQUINGO D. Y JÁCOME J.

Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador, 100150.

Resumen: En el desarrollo de aplicaciones web se presentan gran variedad de herramientas que reducen el trabajo y que cuentan con características particulares que facilitan la construcción en algunos tipos de aplicaciones, con el objetivo de optimizar la construcción de una aplicación web. Para simplificar la complejidad del trabajo al desarrollar y diseñar páginas web se han creado una gran variedad de Frameworks CSS con los componentes HTML5, CSS3 y JavaScript. El presente trabajo ha sido realizado con la finalidad de evaluar y comparar parámetros de calidad que ofrecen los Frameworks CSS de código abierto; Bootstrap y Uikit han sido tomados como las alternativas para el análisis y la construcción de un modelo de calidad basado en la norma ISO/IEC 25010, que categoriza la calidad del producto de software en ocho características y sus subcaracterísticas; dejando un resultado puntual que permite a los desarrolladores elegir una herramienta de trabajo que cumpla con los requerimientos del cliente y optimice el trabajo de construcción de aplicaciones web.

Palabras Claves: Comparativa, Bootstrap, Uikit, Frameworks CSS, Norma ISO/IEC 25010.

20.1. Introducción

Durante la evolución de la tecnología web se han desarrollado herramientas de diseño eficientes, sin dejar a un lado la calidad visual y la compatibilidad con los navegadores lo que obviamente representa una mejora desde el punto de vista del usuario [1]. Aunque esto representa una mejora cualitativa de la calidad de los productos, resulta necesario que las organizaciones utilicen como base algún modelo o norma para evaluar la calidad de los productos de software que desarrollan [2]. El Diseño Web Adaptativo es una metodología de desarrollo de sitios web que permite amoldar el diseño de los sitios a cada una de los diferentes tamaños de pantalla que los muestran. Éste se realiza mediante el uso de media queries y elementos flexibles, cuyas dimensiones se establecen en porcentajes en lugar de píxeles [3]. El diseño web es una tarea compleja, por esta razón y para facilitar el trabajo se han creado una gran variedad de frameworks CSS, los mismos que presentan estructuras de software compuestas por los componentes HTML5,

CSS3 y JavaScript que facilitan el diseño de las páginas acelerando el proceso de desarrollo, reutilizando código y promoviendo buenas prácticas de desarrollo. Al existir diversas opciones es necesario encontrar la mejor opción para utilizar. Para ello se ha realizado una Comparativa tomando dos frameworks como alternativas en el diseño web que son Bootstrap y Uikit para evaluar su calidad y conocer cual ofrece más beneficios y facilidades a sus usuarios.[4].

Existen comparativas entre frameworks java y otras privativas, pero ninguna de ellas utiliza la normativa ISO/IEC 25010. La normativa ISO/IEC 25010 ayuda a determinar la calidad de productos de software empresarial, la misma que presenta parámetros medibles que facilitan el trabajo de la comparativa.

20.2. Desarrollo de contenidos

A Benchmarking

Es un programa o conjunto de programas que evalúan las prestaciones de un sistema informático reproduciendo una carga de trabajo genérica en dicho sistema informático, con el propósito de realizar mejoras organizacionales [5]. Al proceso de comparar dos o más sistemas mediante la obtención de medidas se le denomina “benchmarking”. [6]. En el ámbito empresarial, es el análisis comparativo enfocado en la calidad, que utilizan las empresas para evaluar sus productos, servicios o procesos con la intención de ganar ventaja frente a sus competidores [7].

B Frameworks CSS

La web demanda diseño y funcionalidad, no solo organización estructural o definición de secciones. En este nuevo paradigma, HTML se presenta junto con CSS y Javascript como un único instrumento integrado [8]. El concepto framework se emplea en muchos ámbitos del desarrollo de sistemas de software, es una estructura de software compuesta de componentes personalizables e intercambiables para el desarrollo de aplicaciones informáticas. [9]

Tabla 20.1: Características de frameworks css [4].

Características
Diseño web adaptable
Diseño web móviles primero
Sistema de malla
Código abierto
Compatibilidad con navegadores
Integración de librerías

C Bootstrap

Bootstrap es el más popular Front-End Framework de diseño Responsive de código abierto compuesto por HTML, CSS y JavaScript que sirve como estructura de inicio en la producción de aplicaciones web, simplificando este largo proceso de diseño en los sitios. [10]

D Uikit

Framework de código abierto, ligero y modular para el desarrollo de interfaces web rápidas y potentes que ofrece una colección completa de HTML, CSS y componentes JavaScript fácil de usar, personalizar y que es extensible. [11]

20.3. Metodología y análisis de resultados

La primera parte del estudio consistió en la recopilación de información de los frameworks, luego se procede a realizar una encuesta a profesionales y estudiantes de los últimos semestres de la Carrera de

Tabla 20.2: Frameworks Bootstrap [4].

Bootstrap	
Creadores	Mark Otto y Jacob Thornton
Liberado	2011
Versión actual	3.3.6
JS Framework	jQuery
Popularidad	95.672*
Repositorio	GitHub
Pre-Procesadores	LESS / SASS
Conceptos básicos	Diseño web adaptable - Móviles primero
Licencia	MIT
Modular	Si
Conjunto de iconos	Glyphicons
JavaScript	Algunos elementos
HTML5	Si
CSS3	Si
Rejilla	Columns
Tamaño de descarga	279 KB
Documentación	Extensa y detallada
Compatibilidad con Navegadores	IE 8+/ Chrome +/- Safari +/- Firefox +/- Opera +
Personalización	Personalizador GUI básico

Ingeniería en Sistemas Computacionales de la Universidad Técnica del Norte dedicados a la realización de aplicaciones web, después se procedió a comparar las características y enfoques de los frameworks con los parámetros recomendados por la norma ISO/IEC 25010 [12], para luego concluir determinando la herramienta que ofrece más ventajas a los desarrolladores para la construcción de aplicaciones web.

A Modelos de calidad

Para evaluar la calidad de software, no sólo se refiere al software en sí; se refiere a todos los elementos que se construyen a lo largo del ciclo de vida de un proyecto [13]. El desarrollo y evaluación de productos Web es una tarea difícil considerando todas las características y atributos deseables que se espera deba contener, por lo cual es recomendable contar con un modelo de calidad que sirva tanto para diseñar como para evaluar sitios [14]. Debido a la gran cantidad de dimensiones del software que se podrían evaluar; se han desarrollado los conocidos modelos de calidad, que tienen como objetivo facilitar la evaluación del software, organizando y definiendo que atributos de calidad son importantes [15].

B Norma ISO/IEC 25010

El modelo de calidad del producto definido por ISO/IEC 25010 se encuentra compuesto por las ocho características de calidad que se muestran en la figura 20.1.

C Construcción del modelo de calidad basado en la norma ISO/IEC 25010

A partir del análisis de los criterios recomendados por la ISO/IEC 25010, se presenta el modelo realizado en el estudio en las tablas 20.4 hasta la Tabla 20.11, considerando las categorías y subcategorías del estándar internacional.

D Análisis de resultados

En la figura 20.2 se representa el resultado de las encuestas de la ventaja de utilizar frameworks



Figura 20.1: Calidad del producto de software [12].

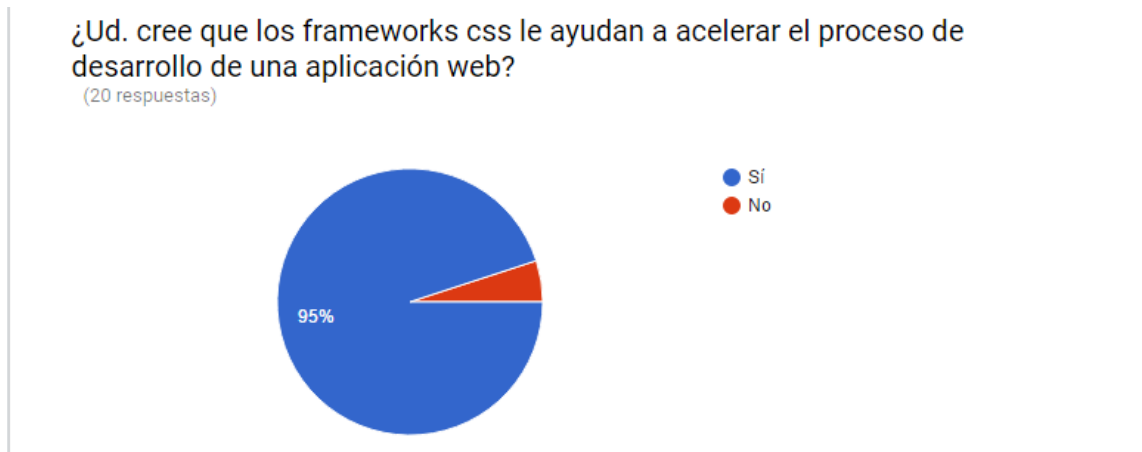


Figura 20.2: Resultados del benchmarking

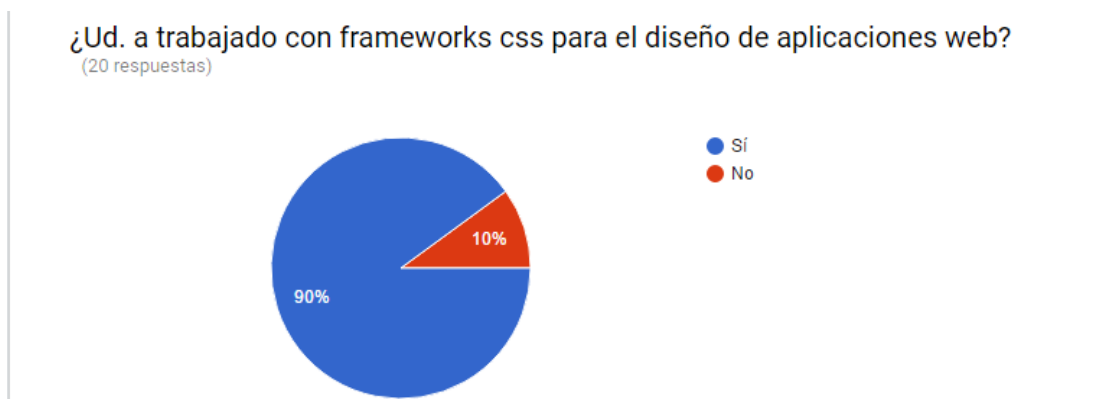


Figura 20.3: Resultados del benchmarking

Tabla 20.3: Frameworks UIKIT. [4]

UIKIT	
Creador	YOOtheme
Liberado	2013
Versión actual	2.26.2
JS Framework	jQuery
Popularidad	6.713 *
Pre-Procesadores	LESS / SASS
Conceptos básicos	Diseño web adaptable - Móviles primero
Licencia	MIT
Modular	Si
Conjunto de iconos	Font Awesome
JavaScript	Muchos elementos
HTML5	Si
CSS3	Si
Rejilla	columnas
Tamaño de descarga	KB
Documentación	Buena documentación
Repositorio	GitHub
Compatibilidad con Navegadores	IE 9+/ Chrome +/ Safari +/ Firefox +/ Opera +
Personalización	Personalizador GUI avanzado

Tabla 20.4: Adecuación funcional.

Subcategoría	Categoría: Adecuación funcional		
	Atributos	Bootstrap	Uikit
Compleitud funcional	Crea páginas web estáticas	Si	Si
	Crea páginas web dinámicas	Si	Si
	Crear páginas web adaptables	Si	Si
	Diseño pensado en móviles primero	Si	Si
Corrección funcional	Agregar funciones por el usuario	Si	Si
	Agregar efectos y animaciones	Si	Si
	Agregar y crear documentos	Si	Si
Pertinencia funcional	Manipular, modificar archivos	Si	Si
	Componentes reutilizables	Si	Si
	Utilización de plantillas	Si	Si
	Componentes responsive	Si	Si
	Sistema de Grid	Si	Si
	Tamaños en la Grid	Si	Si

En la figura 20.3 se muestra el resultado de la encuesta en lo relacionado con la utilización de frameworks en el desarrollo de aplicaciones web.

En la encuesta realizada a profesionales y estudiantes dedicados al desarrollo de aplicaciones web, en su mayoría conocen la importancia y ventajas que ofrecen los frameworks conjuntamente con los lenguajes de programación en el proceso de desarrollo de software. En la figura 20.4 se representa

Los resultados obtenidos con la evaluación de los frameworks CSS Bootstrap y Uikit en el modelo de calidad ISO/IEC 25010 fueron reflejados en la acumulación de puntos, tal como se muestra en la

Tabla 20.5: Eficiencia de desempeño

Subcategoría	Categoría: Eficiencia de desempeño		
	Atributos	Bootstrap	Uikit
Comportamiento temporal	Tiempo de carga cliente-servidor	4	3
	Utilización de recursos		
	Necesita jQuery	Si	Si
	Necesita Respond.js	Si	No
	Necesita Modernizr	No	No
	Necesita Normalize	No	No
	Necesita Javascript	Si	Si
	Número de componentes	11	17
	Preprocesadores	Si	Si
	LESS	Si	Si
	SASS	Si	Si
	Incorporación de AJAX	Si	Si
	Iconos propios	Si	Si
	Cambiar tamaño íconos	No	Si
	Fuente propia	Si	Si

Tabla 20.6: Compatibilidad

Subcategoría	Categoría: Compatibilidad		
	Atributos	Bootstrap	Uikit
Coexistencia	HTML5	Si	Si
	CSS3	Si	Si
	Javascript	Si	Si
Interoperabilidad	PHP	Si	Si
	Java	Si	Si
	C#	Si	Si
	Python	Si	Si
	Ruby	Si	Si

Tabla 20.7: Usabilidad

Subcategoría	Categoría: Usabilidad		
	Atributos	Bootstrap	Uikit
Adecuación	Información real en sitio web	Si	Si
	Actualización contenido	Si	Si
Aprendizaje	Guía del uso	Si	Si
	Índices del contenido	Si	Si
Forma de usar	Documentación	5	3
	Tutoriales	Si	Si
	Artículos	Si	Si
	Rapidez	Si	Si
	Componentes	Si	Si
	Plantillas	Si	Si
	Soporte	Si	Si
	Licencia MIT	Si	Si
	Licencia GPL	No	No
	Licencia BSD	No	No
Licencia MPL	No	No	
Licencia Apache	No	No	
Errores	Modificación por el usuario	Si	Si
Estética de la interfaz de usuario	Código fuente	2	3
	Errores en el código CSS	30	27
	Errores en el código Javascript	85 %	66 %
	Versiones comprimidas del código	Si	Si
	Compilación del código	Si	Si
	Léxico	Si	Si
	Sintáctico	Si	Si
Semántico	Si	Si	
Accesibilidad	Peso de archivos .min.css	119 KB	99 KB
	Peso de archivos .min.js	37 KB	54 KB

Tabla 20.8: Fiabilidad

Subcategoría	Categoría: Fiabilidad		
	Atributos	Bootstrap	Uikit
Madurez	Tiempo de vida	5	3
	Número de versiones	31	18
	Búsquedas	3	1
	Popularidad	5	2
	Aplicaciones realizadas	Si	Si
	Aplicaciones implementadas	Si	Si
Disponibilidad	Utiliza tecnología CDN	Si	Si
	Descarga del framework	Si	Si
	Repositorio GitHub	Si	Si
	Versionamiento	Si	Si
Tolerancia fallos	Permite acceder a la información con fallos en el sistema	Si	Si
	Realiza respaldos	No	No
Recuperación	Capacidad de recuperar información	No	No

Tabla 20.9: Seguridad

Subcategoría	Categoría: Seguridad		
	Atributos	Bootstrap	Uikit
Confidencialidad	Protección de datos	No	No
	Acceso solo a usuarios especificados	No	No
	Es seguro frente a internet	No	No
	Cifrado en la información	No	No
Integridad	Información correcta en la base de datos	No	No
	No permite modificaciones de datos	No	No
No repudio	Comunicación confiable cliente-servidor	No	No
Autenticidad	Evita la suplantación de identidad	No	No
	Autenticidad generada por el usuario	Si	Si

Tabla 20.10: Mantenibilidad

Subcategoría	Categoría: Mantenibilidad		
	Atributos	Bootstrap	Uikit
Modularidad	Es modular	Si	Si
	Crear componentes	Si	Si
	Eliminar componentes	Si	No
	Modificar componentes	Si	Si
Reusabilidad	Componentes re-usables	Si	Si
	Plantillas	Si	Si
Analizabilidad	Identificar errores en el código	No	No
Modificación	Código abierto	Si	Si
	Software libre	Si	Si
Pruebas	Pruebas con plantillas	Si	Si

Tabla 20.11: Portabilidad

Subcategoría	Categoría: Portabilidad		
	Atributos	Bootstrap	Uikit
Adptabilidad	Internet Explorer	Si	Si
	Google Chrome	Si	Si
	Mozilla Firefox	Si	Si
	Safari	Si	Si
	Opera	Si	Si
	Navegadores móviles	Si	Si
Instalación	Manual de instalación	Si	Si
	Soporte	Si	Si
Reinstalación	Puede ser remplazado	Si	Si
	Actualización de versiones	Si	Si

Tabla 20.12: Puntos acumulados de los frameworks [4]

Característica	Bootstrap	Uikit
Adecuación funcional	13	13
Eficiencia de desempeño	59	53
Compatibilidad	8	8
Usabilidad	28	28
Fiabilidad	51	31
Seguridad	1	1
Mantenibilidad	9	8
Portabilidad	10	10
Total puntos	179	152

Tabla 20.5 y en la figura 20.2, resultando como mejor opción en la calidad el framework Bootstrap y recomendando su utilización.

20.4. Conclusiones

El análisis comparativo o benchmarking realizado entre los Frameworks Bootstrap y Uikit, permitió la selección del framework con mayor calidad para el desarrollo de aplicaciones web.

La recopilación de la información disponible en las páginas oficiales de Bootstrap y Uikit amplió la información los Frameworks CSS y a definir sus características y funcionalidades.

El benchmarking de calidad planteado para el presente proyecto fue realizado y completado sin dificultades dejando como resultado a Bootstrap como la mejor opción para el desarrollo de aplicaciones.

La norma ISO/IEC 25010 es muy importante para el análisis comparativo de características para evaluación de calidad de un producto de software.

Referencias

1. Á. M. Valbuena Aponte, “Guía Comparativa De Frameworks Para Los Lenguajes Html 5, Css Y Javascript Para El Desarrollo De Aplicaciones Web,” *J. Chem. Inf. Model.*, p. 67, 2014.
2. A. González Reyes, M. Andre Ampuero, and A. González Hernández, “Análisis comparativo de modelos y estándares para evaluar la calidad del producto de software,” *Rev. Cuba. Ing.*, vol. 6, no. 3, pp. 43–52, 2015.
3. F. I. Murcia, “Diseño Web,” 2013.
4. P. Jácome, “Benchmarking de los frameworks: Bootstrap y Uikit,” 2016.

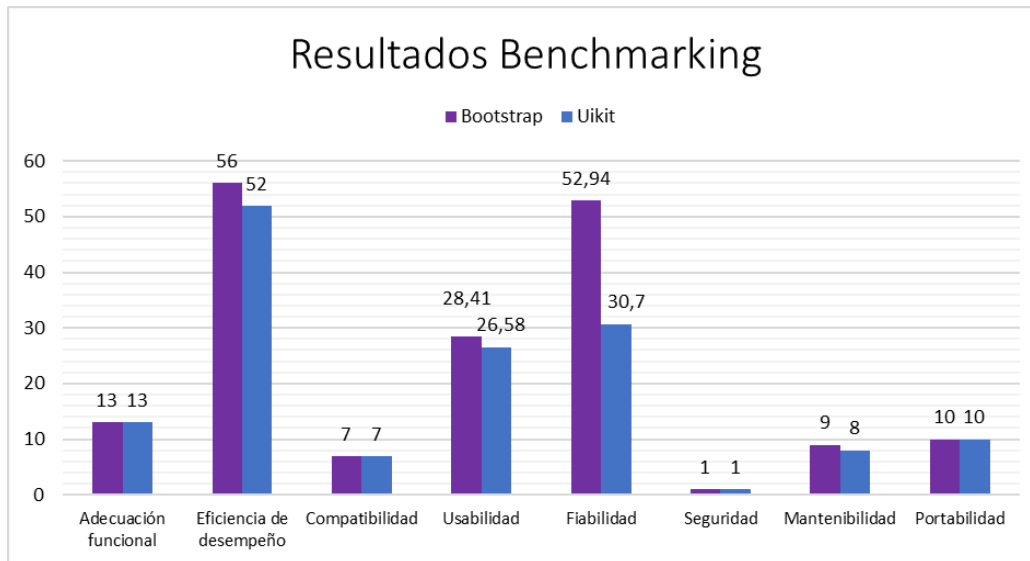


Figura 20.4: Resultados del benchmarking [4].

5. M. J. Spendolini, "El proceso de benchmarking," pp. 1–6, 2006.
6. J. J. Merelo Guervós, "Selección y Configuración de Sistemas Informáticos: Benchmarking," pp. 1–19, 2015.
7. C. N. de I. de la C. CNIC, "Centro Nacional de Información de la Calidad," pp. 1–13, 2013.
8. J. D. Gauchat, El gran libro de HTML5. CSS3 y Javascript, vol. 354, no. 9. 2012.
9. J. J. Gutiérrez, "¿Qué es un framework Web?," Available http://www.lsi.us.es/~javierj/investigacion_ficheros/Framework.pdf Accessed May, vol. 12, pp. 1–4, 2014. Bootstrap, "Bootstrap," 2016. [Online]. Available: <http://getbootstrap.com/>.
10. Uikit, "Uikit," 2017. [Online]. Available: <https://getuikit.com/docs/introduction>.
11. ISO/IEC, "ISO 25010," 2017. [Online]. Available: <http://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010>.
12. J. Corrochano, "La Calidad del Producto Software," I Jorn. sobre Calid. del Prod. Softw., 2013.
13. M. V. Alfonso, Pedro L.; Mariño, Sonia Itatí; Godoy Guglielmone, "Evaluación de la calidad en sitios web bancarios," pp. 388–391, 2013.
14. A. Durango, Diseño de Software, 2da ed. 2014.

Capítulo 21

SISTEMA PARA MONITOREO DE CULTIVOS, CON BASE EN GIS

CAICEDO F.,^{1,2} FREIRE C.,^{1,3} POTOSÍA W.^{1,3} Y CALDERÓN F.^{1,2}

¹ Instituto de Posgrado, Universidad Técnica del Norte

² Opzemt, Operadora Agrícola S.A

³ Cookie Development and Marketing, Desarrolladora de software y marketing digital

Resumen: Se define la necesidad de un sistema para el monitoreo de cultivos, con base GIS que permita recolectar, exhibir, manejar, analizar y producir datos espacialmente referenciados, del sistema para monitoreo de cultivos en el Ecuador para que sean utilizados dentro del proceso de toma de decisiones que conlleva la dirección estratégica en las empresas agropecuarias. Dentro del proceso de desarrollo se lleva a cabo tareas de selección de metodologías, establecimiento de arquitecturas y comparación de herramientas de desarrollo que permiten crear software de calidad en base a estándares internacionales y que permiten la interpretación exacta de la información geográfica y técnica recolectada a través de la investigación en el campo agrícola. Un Sistema de Información Geográfico SIG, en el concepto moderno, es un sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados con coordenadas espaciales o geográficas, utilizando medios computarizados o manuales.

Palabras Claves: Sistema de información geográfica, crop management, software de manejo de cultivos, sistema de monitoreo de cultivos.

21.1. Introducción

La combinación de los sistemas de geroreferenciación con la agricultura ha dado lugar al desarrollo y aplicación de la agricultura de precisión. Estas nuevas tecnologías permiten comparar los datos obtenidos en tiempo real con los datos e información de posicionamiento del agricultor, y mediante análisis de un gran volumen de información geoespacial, permite la toma de decisiones sobre la planeación más óptima de los cultivos, mapeo topográfico, muestreo de los diferentes tipos de suelo, tuteo de los tractores que se utilizarán en las labores agrícolas y mapas de rendimiento.

El geoposicionamiento, con base en GIS, en el monitoreo de cultivos permite además trabajar en condiciones climáticas extremas, de baja visibilidad causada por niebla, polvo, penumbra, entre otros.

El monitoreo de cultivos parte de la recolección y alimentación continua de información: generación de base de datos, organización, jerarquización y acopio de información, gestión de base de datos, elaboración

de las variables e indicadores por cultivo según el caso pe.: caso maíz duro (Loja), caso papa (Carchi), caso fréjol (Valle del Chota), caso mango (Valle del Chota) entre otros, donde es necesario medir las actividades para identificar logros y debilidades del estudio a tiempo y tomar las medidas correctivas.

Este ciclo se realiza durante todo el estudio identificando que se está haciendo y cuanto se ha logrado estableciendo finalmente informes y notas técnicas para continuar con el proceso de evaluación.

Durante la fase de evaluación se busca definir los sistemas de producción, el diseño metodológico y los análisis de resultados según cada caso, identificando características como georeferencia, costos de producción, semillas, insumos y rendimientos.

Igual que en el proceso de monitoreo es necesario identificar: actividades, logros, fortalezas y debilidades, valoración y reflexión sistemática sobre el diseño, ejecución, eficiencia y efectividad de los sistemas de producción. Se lo realiza durante todo el proceso y se responde a las interrogantes de ¿qué ha obtenido?, ¿cómo se ha obtenido?, ¿por qué se ha obtenido?, ¿Cuáles han sido los resultados?

Durante este proceso se hacen evidentes ciertos indicadores de impacto, de efecto y de producto:

Indicadores de impacto: Pueden ser cuantificados con medidas de cantidad, Número de sistemas de producción por cultivo, cantidad de jornales por cultivo, nivel de formación de los productores, porcentaje de labores mecanizadas y manuales. Pueden ser cualificados por percepción de productores sobre asistencia técnica, satisfacción con los sistemas de riego, determinando juicios de riego.

Indicadores de efecto: Generalmente reflejan cambios de comportamiento o el efecto de las acciones y corresponden al nivel de los resultados.

Indicadores de producto. Están asociados al nivel de acciones o medios, con cumplimientos medidos (monitoreo).

En vista de los requerimientos observados durante todo el proceso de producción se hace necesario un producto de software que sistematice el manejo de la información en base de herramientas de información geográfica.

21.2. Método

A El software de monitoreo de cultivos en el Modelo de Gestión Estratégica

Dentro del proceso de toma de decisiones que conlleva la dirección estratégica se definen cuatro etapas que colaborarán al diseño de un software de monitoreo de cultivos en el Ecuador, para culminar con la implementación y control de la planeación. A continuación, se presentan las tablas de resultados obtenidos en cada etapa de la planeación junto a las herramientas utilizadas en los mismos.

En la figura 21.1, se describe el modelo de gestión para la toma de decisiones de entidades agropecuarias.

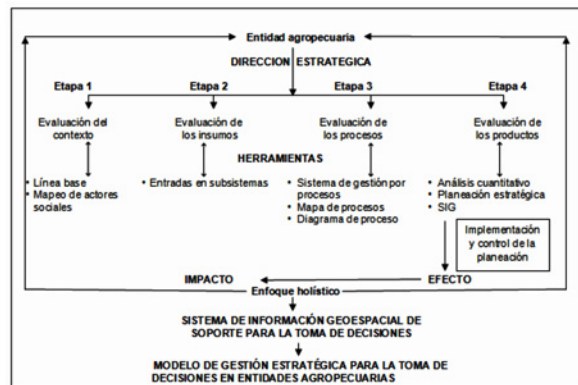


Figura 21.1: Modelo de gestión para la toma de decisiones de entidades agropecuarias.

- Etapa 1 - Evaluación de contexto (Tabla 21.1).

En esta etapa se determina los actores sociales en los sistemas mecanizados, y las líneas base sobre los cuales se efectúa la planeación.

Tabla 21.1: Etapa 1

Evaluación del contexto
Mapeo de actores sociales en los sistemas mecanizados
Nacional
SENAGUA
SENECYT
Ministerio de Industrias y Productividad
Ministerio de Hidrocarburos
Ministerio de Transporte y Obras Publicas
Ministerio de Inclusión Económica y Social
Ministerio de Finanzas
Ministerio de Comercio Exterior
MCPEC
MAE
Zonal
Coordinaciones zonales de las diferentes secretarías
Universidades y centros de formación académica
Sistema financiero (Programas de financiamiento y apoyo, redes bancarias, otra)
Empresas procesadoras a nivel zonal (FACUNDO, PRONACA, PEPSICO)
Mercados mayoristas
Distrital
Centros de Mecanización
Sistemas de producción de cultivos priorizados a nivel distrital
Sistema financiero (Cooperativas, Bancos)
Asistencia técnica de entidades de apoyo (MAGAP, FAO, IICA, OTRA)
Empresas procesadoras a nivel distrital (COMPAPA, IANCEM, MALCA, OTRA)
Mercados mayoristas
Circuito
Sistemas de producción local
Sistema financiero local (Cajas de ahorros, otras)
Entidades de apoyo (ONGs y Ogs)
Asociaciones y corporaciones de productores
Pequeños y medianos productores
Línea base
Evaluación cronológica de las tarifas por servicios mecanizados en Ecuador
Evaluación de los sistemas de producción mecanizados

- Etapa 2 - Evaluación de insumos (Tabla 21.2).

Se describe las entradas que fueron obtenidas de las fuentes respectivas, tales como resultados de estudios y políticas.

Tabla 21.2: Etapa 2

Evaluación insumos
Entradas de subsistemas
Nacional
Política agropecuaria ecuatoriana
*Códigos y leyes; COTAD, Código de la producción, Ley de tierras, otros.
Contribución del sector agropecuario con relación a:
La producción nacional
La generación de empleo
El comercio exterior
Zonal
Mecanismos de aplicación de la política agropecuaria ecuatoriana
Alianzas de la academia; universidades y centros de formación académica
Delineamiento de estrategias para el sistema financiero (Programas de financiamiento y apoyo, redes bancarias, otras)
Alianzas con empresas procesadoras a nivel zonal (FACUNDO, PRONACA, PEPSICO, OTRA)
Reglamentación para sistemas de comercializaciones en mercados mayoristas
Distrital
Normativas de funcionamiento para centros de mecanización públicos y privados
Determinación de los sistemas de producción de cultivos priorizados a nivel distrital
Determinación de tasas en el sistema financiero (Cooperativas, Bancos)
Estructura de apoyo y sinergias en asistencia técnica de entidades de apoyo (MAGAP, FAO, IICA, OTRA)
Compromisos y normativa para empresas procesadoras a nivel distrital (COMPAPA, IANCEM, MALCA, OTRA)
Normativa de funcionamiento de mercados mayoristas
Circuito
Evaluación de costes del sistema de producción local
Evaluación de eficiencias y accesos al sistema local (Cajas de ahorro, otras)
Eficiencia e impacto de la entidad de apoyo (ONGs y Ogs)
Eficiencia e impacto Asociaciones y corporaciones de productores
Eficiencia e impacto Pequeños y medianos productores
Entradas en subsistemas
Eficiencia e impacto de la evaluación cronológica de las tarifas por servicios mecanizados en Ecuador
Eficiencia e impacto de la evaluación de los sistemas de producción mecanizados

- Etapa 3 - Evaluación de Procesos (Tabla 21.3).

Se describen los procesos que se llevan a cabo de manera nacional, zonal y distrital.

Tabla 21.3: Etapa 3

Evaluación de los procesos	
Sistema de gestión por procesos	
Nacional	Proceso
Política agropecuaria ecuatoriana	Definido por GPR, Modelo triple hélice, investigación aplicada.
Contribución del sector agropecuario con relación a:	
La producción nacional	
La generación de empleo	
El comercio exterior	
En la reproducción social	
Zonal	
Mecanismos de aplicación de la política agropecuaria ecuatoriana	
Alianzas con la academia, universidades y centros de formación académica	
Delineamiento de estrategias para el sistema financiero (Programas de financiamiento y apoyo, redes bancarias, otras)	
Alianzas con empresas procesadoras a nivel zonal (FACUNDO, PRONACA, PEPSICO, Otra)	
Reglamentación para sistemas de comercializaciones en mercados mayoristas	
Distrital	
Normativas de funcionamiento para centros de mecanización públicos y privados	
Determinación de los sistemas de producción de cultivos priorizados a nivel distrital	
Determinación de tazas en el sistema financiero (Cooperativas, Bancos)	
Estructura de apoyo y sinergias en asistencia técnica de entidades de apoyo (MAGAP, FAO, IICA, OTRA)	
Compromisos y normativa para empresas procesadoras a nivel distrital (COMPAPA, IANCEM, MALCA, OTRA)	
Normativa de funcionamiento de mercados mayoristas	
Círcuito	
Sistema de producción de cultivos	Caracterización del sistema y proceso
Provincial	- Infraestructura
	- Establecimientos agrícolas
	- Suelos, clima, vegetación
Establecimiento agrícola	- Productor y su familia
	- Sistema de producción de cultivos
	- Sistema de producción animal
Sistema de producción de cultivos	- Preparación de suelo básica
	- Nivelación y siembra
	- Controles durante el cultivo
	- Cosecha
Nivelación y siembra	- Rastra profunda
	- Rastra tenue
	- Siembra
	- Rodillada

- Etapa 4 - Evaluación de Productos (Tabla 21.4).

Evaluación de los sistemas de producción mecanizados de cultivos priorizados en Ecuador. Se hace énfasis en lo referente a costos de actividades mecanizadas y costos de mano de obra por labor.

Con ayuda de los resultados de esta etapa, se pretende llevar a cabo la implementación de un sistema de software que permita la fácil gestión y evaluación de productos dentro de un plano informático escalable y factible para la actividad agrícola del país.

Tabla 21.4: Etapa 4

Evaluación de los productos		
Análisis cuantitativo		
Nivel	Tipo de análisis	Fuentes de información
Nacional	Incidencia de pobreza por consumo, según área de residencia	TOU 2007 - 2010, BCE, INEC ENEMOU 2007 - 2013
Zonal	Evolución de la tenencia de la tierra entre 1954 - 2013	PRONEREG (MAGAP) CEDIG, 2000 INIAP, 2008
Distrital	Proyecciones de población 2015 - 2025	
Circuito	Calidad de empleo por sectores económicos. Zonificación agro productiva según niveles de aptitud de la tierra	
Centros de mecanización agrícola	Evaluación cronológica de las tarifas por servicios mecanizados en Ecuador Niveles de mecanización según cultivo Costos de la mecanización según nivel y cultivo Costos de jornales por hectárea según nivel de mecanización y cultivo Análisis de costos por hora máquina	Información primaria y secundaria de los centros

B Metodología de investigación

En lo referente a las técnicas utilizadas en el estudio de investigación descriptiva, se utilizaron las siguientes: observación directa, entrevistas formales con grupos focales a los directores y técnicos de los centros mecanizados, se levantaron 2500 encuestas durante 8 años a productores, distribuidores de maquinaria y equipos agrícolas en el Ecuador en las zonas de influencia.

C Metodologías de desarrollo de software

Dentro del proceso de desarrollo de software se ha vuelto interesante para el desarrollador el trabajar con metodologías ágiles, que facilitan la recolección de información, esto se ve reflejado en la reducción de tiempo de construcción de sistemas informáticos.

El uso de una metodología ágil aumenta la productividad aplicando sistemas de asignación de tareas hacia quienes las ejecutan y facilitan la distribución de la información, ayuda a evitar la sobrecarga de procesos realizando una evaluación constante del trabajo y permite gestionar el riesgo de incumplimiento con las fechas de entrega utilizando ciclos continuos de progreso, esto permite que se pueda ajustar el trabajo dándole un enfoque a las zonas de alto riesgo.

D Selección de metodología

Es necesario considerar los criterios en función de los conocimientos del equipo:

- Grado de conocimiento
- Soporte orientado a objetos
- Adaptabilidad a cambios
- Basado en casos de uso
- Documentación adecuada
- Facilidad para la integración entre las etapas de desarrollo
- Relación UML

Tabla 21.5: Evaluación de metodologías

Criterio	%	RUP	MSF	RAD	XP	TOTAL
Grado de conocimiento	20	15	10	10	10	45
Soporte orientado a objetos	10	10	10	10	10	40
Adaptable a cambios	15	10	15	10	15	50
Basado en casos de uso	10	10	5	10	5	30
Posee documentación adecuada	15	15	15	15	10	55
Facilita la integración entre las etapas de desarrollo	10	10	10	10	10	40
Relación con UML	10	10	8	8	8	34
Permite desarrollo de software sobre cualquier tecnología	10	10	10	10	10	4
Total	100	90	83	83	78	

- Permite desarrollo de software sobre cualquier tecnología

Partiendo de los conocimientos del equipo se determinan peso por cada criterio. En el artículo científico denominado “Criterios de selección de metodologías de desarrollo de software” [1] los autores citan la tesis de grado de Ríos y Suintaxi, donde se propone la siguiente tabla de pesos.

- 20 % para “grado de conocimiento”
- 15 % para “adaptable a cambios” y “posee documentación adecuada”
- 10 % para el resto de criterios

Donde se elabora un cuadro de resumen evaluando las siguientes metodologías:

- RUP, Rational Unified Process
- MSF, Microsoft Solution Framework
- RAD, Rapid Application Development
- XP, Extreme Programming

En la Tabla 21.5 se observa el resultado de la evaluación, la metodología con el puntaje más elevado por parte del equipo apunta a la metodología RUP.

E Proceso Unificado de desarrollo (RUP, Rational Unified Process)

La metodología RUP (Rational Unified Process) ofrece un conjunto de técnicas para desarrollar y mantener software de calidad, en base a estándares de desarrollo reconocidos en el campo de desarrollo de software con el objetivo de cumplir los requisitos funcionales del cliente. RUP está dirigido por los casos de uso UML (Lenguaje Unificado de Modelado), se es adaptable y centrado a una arquitectura de software dependiendo el tipo de producto y permite un diseño iterativo e incremental del software.

RUP proporciona un enfoque hacia la organización de tareas y responsabilidades dentro de una organización de desarrollo, el objetivo principal de esta metodología es asegurar la producción de software de calidad que cumpla con los requerimientos del cliente en conjunto con un cronograma y presupuesto predecible.

1. Arquitectura de RUP

A continuación, se presenta la arquitectura general de la metodología RUP en el libro “The IBM Rational Unified Process for system Z” [2] de la compañía IBM:

En la Figura 21.2, se muestra la arquitectura con dos dimensiones:

- El eje horizontal representa el tiempo y muestra los aspectos del ciclo de vida y su despliegue. El ciclo de vida se divide en cuatro fases: Inicio, Elaboración, Construcción y Transición. Cada una de

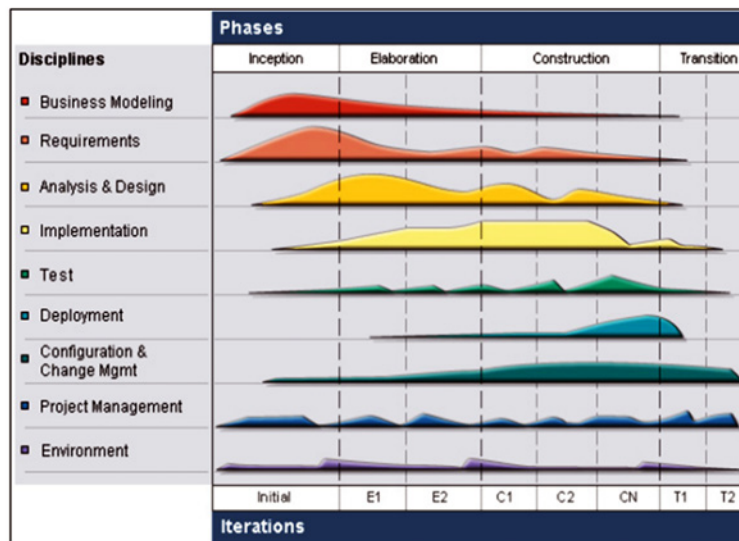


Figura 21.2: Arquitectura general de RUP

las fases se divide en una o más iteraciones, el número de iteraciones que tendrá cada fase dependerá del estudio a desarrollarse a excepción de la fase inicial, la cual posee solamente una iteración.

- El eje vertical representa las disciplinas del estudio, así tenemos, la recolección de requerimientos, análisis y diseño, implementación, pruebas, entre otras disciplinas dependiendo del estudio.

2 Ciclo de Vida de RUP

- Fase Inicial: Esta fase se enfoca en definir el alcance del estudio y entender qué se va a desarrollar.
- Fase de Elaboración: Se construye una versión ejecutable de la arquitectura de la aplicación.
- Fase de Construcción: Tiene como fin, construir una versión Beta del producto, completando el esqueleto de la aplicación con la funcionalidad respectiva.
- Fase de Transición: Se busca proveer la versión final de la aplicación a los usuarios finales.

3 Artefactos

En cada una de las fases de RUP, se realizarán una serie de artefactos que facilitan la comprensión del análisis y diseño del Sistema. Estos artefactos son los siguientes.

- Fase de Inicio:
 - Documento Visión
 - Especificación de Requerimientos
- Elaboración:
 - Diagramas de caso de uso

- Construcción
 - Diagrama de clases
 - Modelo Entidad – Relación (Si así lo requiere)
 - Diagrama de Secuencia
 - Diagrama de Estados
 - Diagrama de Colaboración
 - Modelo de Dominio
 - Mapa de comportamiento a nivel de hardware.

F Desarrollo Sistema CMSUTN

Se plantea el desarrollo de un sistema denominado Sistema de Monitoreo de Cultivos UTN (CMSUTN, Crops Monitoring System UTN) en base a herramientas para el manejo de información geográfica que permitirá a los usuarios, proveedores o productores disponer de información actualizada sobre los insumos y productos utilizados en los cultivos, ubicar zonas de plantación según el tipo de cultivo, entre otras características.

1. Características principales

- Recolección de datos sobre cultivos de importancia y geo localizarlos por medio de waypoints (coordenadas basadas en GPS)
- Determinar zonas de alto rendimiento
- Monitoreo de sistemas de producción
- Seguimiento a los costos de producción
- Datos sobre el rendimiento de la producción
- Producción por hectáreas
- Tendencias de cultivo
- Catastros de zonas de producción
 - Altitud
 - Área
 - Temperatura
 - Humedad
 - Distribución geográfica
 - Producto
 - Enfermedades, plagas y malezas
 - Insumos
 - Problemas en cosecha y post-cosecha

2 Ventajas

- Visualizar y analizar la información por medio de mapas y gráficos para generar reportes sobre el estado de los cultivos.
- Determinar de forma gráfica las zonas de producción con problemas mediante colores, identificando plagas o malezas.
- Capacidad de generar información precisa y comparable.

- Ahorro de tiempo al disponer de información ordenada sobre la situación agrícola.

3 Herramientas para el desarrollo

Esta sección contiene la descripción resumida y esquemática de los productos de software SIG de licencia libre que se utilizarán en el Sistema de Monitoreo de Cultivos de la UTN, el objetivo del presente documento es mostrar de manera sencilla y rápida una visión de la situación de cada herramienta a utilizar en el sistema propuesto luego de haber evaluado las alternativas de software libre existentes.

4 Resumen de Herramientas SIG

a) Contenido de la tabla resumen

Tabla 21.6: Contenido de la tabla resumen

Nombre	Descripción
Tipo	Tipo de herramienta a utilizar
Descripción	Descripción del producto de software y principales características.
OGC	Principales Servicios OGC que consume.
SVER	Última versión estable
DVER	Última versión disponible al público
LIC	Tipo de Licenciamiento
WEB	Página Web
LENG	Lenguaje de Programación utilizado
VAL	Valoración del producto según la página web http://www.ohloh.net . Se indica una puntuación del 1 al 5

b) Tabla Resumen de Herramientas para el desarrollo

21.3. Análisis de resultados

Tras analizar la aplicación final de CMSUT se llega a la conclusión de que la forma de obtener la información es de manera automática que, y la interacción del ser humano es mucho más limitada, además que existe un alto grado de precisión en los cálculos realizados.

En primer lugar, se presenta una pantalla web que describe dividido en menús cada una de las características disponibles a ser analizadas juntamente con un panel de referencia geográfica e información de calendario.

La sección reportes muestra de forma gráfica los resultados buscados sobre la información de costos y rendimientos de forma individual y colectiva.

El sistema implementará reportes basados en los costos de mecanización según los cultivos, ésta a su vez, realiza una clasificación en base al tipo de productor, con dos ejes específicos; el horizontal para el nivel de producción, y el eje vertical para las labores o actividades realizadas en un tiempo determinado.

La figura representa un informe obtenido en relación a los costos ya sean estos unitarios o totales, tomando en cuenta los valores fijos y variables, el volumen de ventas y otras características.

En la Figura 21.9, se muestra la capacidad de reportes acerca del análisis costo-beneficio total de una serie de productos o cultivos en tiempos determinados, de la misma manera, en la Figura 10, es posible realizar esta operación, pero de manera individual.

21.4. Conclusiones

- Los pequeños y medianos productores en su sistema de producción tienen mecanizado el laboreo primario y en parte la siembra y fertilización.

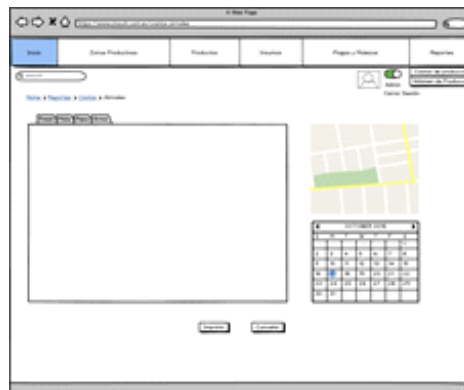


Figura 21.3: Página de inicio CMSUT

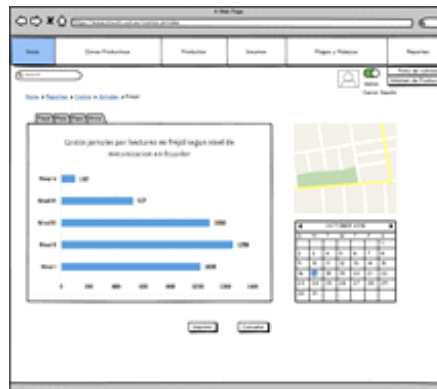


Figura 21.4: Costos jornal por hectáreas Fréjol

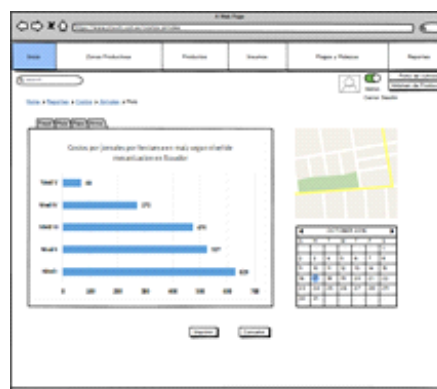


Figura 21.5: Costos jornal por hectáreas Maíz



Figura 21.6: Costos jornal por hectáreas papa

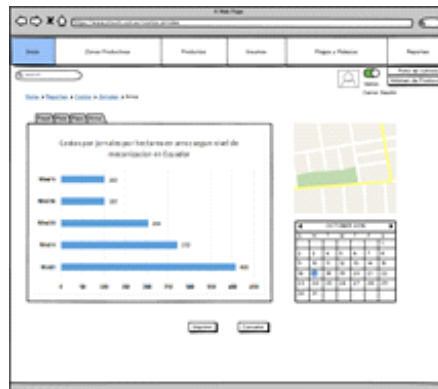


Figura 21.7: Costos jornal por hectáreas Arroz

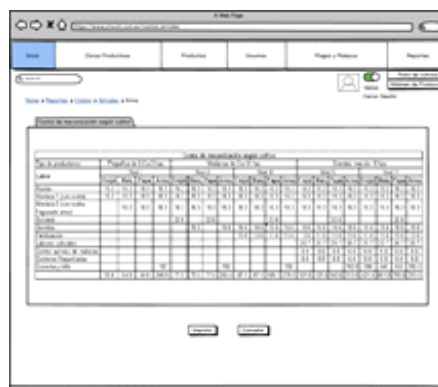


Figura 21.8: Costos de mecanización según cultivo



Figura 21.9: Análisis costo beneficio Total



Figura 21.10: Análisis Costo Beneficio Individual

Tabla 21.7: Tabla Resumen de Herramientas para el desarrollo

Nombre	Tipo	Descripción	OGC	SVER	DVER	LIC	LENG	WEB	VAL
PostGis	Herramienta de repositorio	Módulo para el motor de bases de datos PostgreSQL que añade soporte para tipos geográficos.	SFS SQL	2.3.1 24/07/09	2.4.0	GPL	C++ SQL	http://postgis.refractions.net	5
PostgreSQL	Herramienta de repositorio	Sistema de gestión de base de datos relacional que soporta tipos de datos geográficos.	SFS SQL	9.6.0	9.6.0	BSD/MIT	PL/PgSQL C++	https://www.postgresql.org	5
MapServer	Servidor GIS	Servidor de mapas en Internet que destaca por la calidad de su implementación en la especificación WMS. Calidad en la implementación de WMS. Uso de numerosas librerías open source como GDAL, OGR, PROJ4, etc. Utilizado por numerosos clientes web como ka-map, Chamaleon, etc.	WMS, WFS, WCS, WMC, SLD, GML, SOS	7.0.2	7.0.2	MIT	C/C++	http://mapserver.gis.umn.edu	4.75
Geonetwork	Servidor de catálogo y editor web de metadatos	Aplicación que proporciona servicios de gestión de información espacial. Facilita el acceso a recursos de cartografía, bases de datos espaciales y metadatos asociados a través de un único punto de entrada. Evita duplicidad de información y fomenta su intercambio. Permite trabajar con datos descentralizados. Implementación de ISO 19115, ISO19139	CSW	3.0.5	3.2.0	GPL	Java	http://www.geonetwork-opensource.org	4.75
gvSIG	Cliente de sobremesa	SIG de escritorio orientado al manejo de información geográfica. Lectura de numerosos formatos raster (geoTIFF, ECW, etc.) y vectoriales (shapefile, dxf, dwg, postgis, oracle locator, MySQL, etc.) Acceso a datos remotos (WMS, WCS y WFS) Extensiones: piloto raster, gestión de CRS's, piloto redes, Cliente ArcSDE, prototipo metadatos, Piloto 3D, etc.	WMS, WCS, WFS, CSW, GML, Gazette er,	2.3	2.3	GPL	Java	http://www.gvsig.com	
Openlayers	Cliente Web-GIS	Cliente ligero sin dependencia de servidores de mapas concretos. Simplicidad de uso Soporte de tiles y caché Acceso a mapas de Google Maps y Yahoo Maps	WMS, WFS	3.18.2	3.18.2	BSD	Javascript	http://openlayers.org	5
gvSIG Mobile	Cliente Móvil	Plataforma gvSIG		0.3	0.3	GPL	JAVAME	http://www.gvsig.com	
GeoTools	Librería desarrollo	Librería basada en estándares abiertos que proporciona mecanismos para manipulación de información espacial. Interfaz de acceso a datos vectoriales. Interfaz de acceso a datos raster. Uso de JTS en el modelo geométrico. Módulo para transformación de coordenadas (CTS). Renderizado, simbología y filtros.	SI	15	15	LGPL	Java	http://www.geotools.org	4.1
DebianGIS	Plataforma SIG Libre	Distribución libre de paquetes SIG para aplicaciones y usuarios sobre Debian. Ampliado listado de paquetes.		8.5.0	8.5.0	OpenSource		https://www.debian.org/blends/gis/	

- La inversión en maquinaria es fuerte para un pequeño productor, justificándose la existencia de los centros de mecanización.

- El punto de equilibrio para los conjuntos agrícolas en permiten establecer rangos de precio acordes a los precios de mercado que el paga por servicios mecanizados.

- Los criterios técnicos y económicos de gestión de los centros de mecanización, permiten que los servicios mecanizados sean sustentables.

- Los pequeños y medianos productores pueden hacer uso del Sistema de Monitoreo de Cultivos Base GIS, en base a la calidad de la información recolectada en sus procesos de producción; recibiendo a cambio la información exacta que el sistema provee.

Recomendaciones

- Que los productores mecanicen todas las labores del sistema de producción.

- Fortalecer las capacidades asociativas de los centros de mecanización agrícola, en materia de respaldo a la inversión en maquinaria agrícola.
- Que el productor planifique los servicios mecanizados en función del uso anual sobre las 400 Mth para ganar rentabilidad en el negocio.
- Que el productor determine indicadores técnico—económicos locales para fortalecer el modelo de gestión de los centros mecanizados.

Referencias

1. Chen, W. "Linear Networks and Systems" (Book style). Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123–135.
2. Conan, J. "The Weight Spectra of some Short Low-Rate Convolutional Codes", IEEE Trans. Comm., Vol. 32, pp. 1050-1053, September 1984.
3. Miller, E. "A note on reflector arrays (Periodical style—Accepted for publication)," IEEE Trans. Antennas Propagat., to be published.
4. Péraire, C. Edwards, M. Fernandes, M. Mancin y Carroll, K. "The IBM Rational Unified Process for System", U.S.: RedBooks, 2007.
5. Poor, H. "An Introduction to Signal Detection and Estimation". New York: Springer-Verlag, 1985, ch. 4.
6. Proakis, J. "Digital Communications", McGraw-Hill, 3rd Ed., 1994.
7. Smith, B. "An approach to graphs of linear forms (Unpublished work style)," unpublished.
8. Tinoco, O. Rosales, P. y Salas J. «Criterios de selección de metodologías de desarrollo de software,» Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial, n° ISSN: 1560-9146, p. 73, 2010
9. Wang, J. "Fundamentals of erbium-doped fiber amplifiers arrays (Periodical style—Submitted for publication)," IEEE J. Quantum Electron., submitted for publication.
10. Young, G. "Synthetic structure of industrial plastics (Book style with paper title and editor)," in Plastics, 2nd ed. vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 15–64.

Capítulo 22

ANÁLISIS DE LA GESTIÓN INDUSTRIAL EN LAS MIPYMES DE MANUFACTURA DE IMBABURA (NOVIEMBRE 2016)

MONTENEGRO O. Y ORTEGA P.

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.

Resumen: La productividad es un factor determinante para lograr la competitividad sostenible, por lo que, se considera un importante indicador para la medición del crecimiento económico de las organizaciones empresariales. El uso eficiente de los recursos (mano de obra, capital y equipo) dentro de las empresas, se traduce en mejor nivel de salarios, mayores retornos para los inversionistas y mayores contribuciones al Estado. En la presente investigación se analizó las organizaciones del sector industrias manufactureras especialmente aquellas que presentan mayor actividad en la provincia de Imbabura, los resultados obtenidos servirán para la realización e implementación de planes de mejoramiento de la productividad, calidad y mejoramiento continuo de las organizaciones productivas. Del análisis realizado se ha determinado que el crecimiento del número de empresas o el crecimiento de las mismas se debe a que: no aplican controles de calidad debido a los costos elevados para su implementación; no determinan cuantitativamente los factores que inciden en la calidad; no se lleva un registro del consumo de materiales por pedido por lo que no se puede medir la productividad; y no aplican herramientas adecuadas para determinar los principales problemas que aquejan a la empresa.

Palabras Claves: gestión, industrial, mipymes, manufactura, productividad, calidad.

22.1. Introducción

Imbabura está ubicada al norte del Ecuador; su capital es Ibarra y está conformada por los cantones de: Antonio Ante (43.518hab), Cotacachi (40.036 hab.), Ibarra (181.175), Otavalo (104.874 hab.), Pimampiro (12.970 hab.) y Urcuquí (15671 hab.) [1], con una población total de 398 244 habitantes, según los datos del INEC. [2]

Los sectores productivos más importantes son: el comercio al por mayor y menor (47 %); en segundo lugar están las industrias manufactureras (23 %); y en tercer lugar el transporte y almacenamiento (14 %); el 16 % restante de la población se dedica a actividades como: servicios profesionales, científicos y técnicos, salud y asistencia social, alojamiento y alimentación, arte y entretenimiento, agricultura y ganadería, enseñanza, financieras y seguros y construcción .[3]

Tabla 22.1: Clasificación de la Mipymes [6]

TIPO DE EMPRESA	EMPLEADOS	EQUIVALENTE EN VENTAS (USD)	ACTIVOS MÁXIMOS (USD)
Micro empresa	1 – 9	Menos de 100 000	Hasta 100 000
Pequeña empresa	10 – 49	100 000 a 1 000 000	100 001 a 750 000
Mediana empresa	50 – 199	1 000 000 a 5 000 000	750001 a 3 999 999
Gran empresa	+ 200	Más de 5 000 000	+ 4 000 000 %

La Población Económicamente Activa (PEA) es de 198 mil habitantes, representando el 50 % de la población total. A nivel de la Zona 1, representa el 41 % de la PEA regional y un 3 % a nivel nacional. La producción fué de 686 millones de dólares (año 2007), lo que la constituye en la tercera provincia dentro de la región con mayor generación de ingreso después de Sucumbíos y Esmeraldas, pero la primera provincia con mayor generación de ingresos procedentes de actividades no petroleras.[4]

Las Mipymes representan un 90 % de las unidades productivas y participan en el 50 % de la producción; en el año 2004 el sector de mayor peso era el de petróleo y minas, con 13,2%. En 2014, esta situación cambió, de tal manera que la manufactura tiene el mayor peso en el Producto Interno Bruto (PIB) con 11,8%, demuestra la importancia que tiene este sector en la economía ecuatoriana y de qué manera es un elemento fundamental en el desarrollo productivo del país.[5]

La Superintendencia de Compañías utiliza la clasificación de las MIPYME´s fundamentada en la Decisión 702 de la Comunidad Andina CAN [6], de acuerdo a la Tabla 22.1 se categoriza las organizaciones, en función del número de trabajadores, por el nivel de ventas o por la cantidad de activos.

En las industrias manufactureras para obtener productos necesariamente se debe transformar la materia prima en productos; mientras más eficientemente se realice esta tarea, más productivo es el proceso, conforme lo define Heizer y Render [6].

El Ecuador pasó una etapa de bonanza económica envidiable, pero, en este sentido la dolarización y los ingresos por el alto precio del petróleo no lograron promover la productividad, la competitividad ni mejorar el acceso a mercados financieros, [7] determinando así que el problema general en América Latina no es la falta de inversión, sino, el bajo crecimiento de la productividad [8].

En el informe presentado por el Foro Internacional de Economía [9] se analizaron los factores que impulsan la productividad y crecimiento en 138 países, cuyos resultados se muestran en la Tabla 22.2, se puede apreciar que, los países que tienen mayor productividad son Suiza, y Estados. Además, en el periodo 2014 - 2016 los puestos se han mantenido excepto por el avance de Suecia y el Reino Unido.

En los países en desarrollo el aumento de la producción proviene directamente de las inversiones de capital, los recursos naturales y la energía; en los países de altos ingresos, provienen de la productividad, la tecnología reduce los costos de mano de obra y de recursos, lo que les permite aumentar la producción sin aumentar significativamente los factores de producción [11].

Tabla 22.2: Ranking IGC 2016-2017 [11]

PAÍS	2016-2017	2015-2014	TENDENCIA
Suiza	1	1	→
Singapur	2	2	→
Estados Unidos	3	3	→
Holanda	4	5	↑
Alemania	5	4	↓
Suecia	6	9	↑
Reino Unido	7	10	↑
Japón	8	6	↓
Hong Kong	9	7	↓
Finlandia	10	8	↓

Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT) [10], indica que entre los años 1990 - 2011 el crecimiento mundial fue del 6%; mientras que entre 2012 - 2014 el crecimiento fue solo el 2,7%, presentándose el mayor declive en las economías emergentes.

Según Informe de Competitividad Global del 2016-2017 [9], los países como: Chile, Panamá, México, Perú, Jamaica, R. Dominicana, Nicaragua, Argentina, Paraguay y Venezuela mejoraron su ranking; Costa Rica, Brasil, Ecuador, Trinidad y Tobago, El Salvador, Bolivia retrocedieron; mientras que Colombia, Uruguay, Guatemala y Honduras se mantuvieron.

Según la (OIT) [11], en su Informe Panorama Laboral de América Latina y el Caribe en el 2015 los problemas económicos se deben a: la baja productividad, la poca diversificación productiva, la falta de incentivos a la innovación, el poco valor agregado, la predominancia de micro y pequeñas empresas, la falta de empresas medianas, las deficiencias en calidad, no pertinencia de la educación y la formación profesional. Además como denominador común son regiones en las que existen pocas empresas muy productivas y muchas de productividad extremadamente baja como artesanos u organizaciones con un trabajador [12].

El Ranking de Competitividad el Ecuador, llegó del puesto 94 al 105 en el 2011 y mejoró hasta el año 2014 en el que llegó al puesto 71, en 2016 otra vez cayó de puesto al 76, (Tabla 22.3) ha mejorado notablemente hasta llegar al puesto 71 (el Índice de Competitividad se redujo de 4,18 a 4,07), estos indicadores muestran como el Ecuador utiliza sus recursos y su capacidad para proveer a sus habitantes un nivel de prosperidad [13].

Tabla 22.3: Evolución del Índice de Competitividad Global del Ecuador [15]

Año	Ranking de Competitividad	Índice de Competitividad
2016	76	4,07
2014	71	4,18
2013	86	3,94
2012	101	3,82
2011	105	3,65
2010	105	3,56
2009	104	3,58
2008	103	3,57
2007	94	3,62

La productividad media laboral de la industria manufacturera del Ecuador alcanzó los \$34.664 dólares en el año 2008, 13 industrias presentaron niveles de productividad inferiores a esta media (transporte, cuero, prendas de vestir, entre otros), 8 industrias presentaron valores superiores (fabricación de metales, cauchos y plásticos, minería, productos en madera, química, entre otros) [14].

En comparación con las empresas de mayor tamaño, las Mipymes son menos competitivas, debido a bajo acceso a mercados, la internacionalización de las Mipymes está directamente relacionada con las buenas prácticas, servicios dinámicos, sostenidos, continuos y diversos [15]. Las empresas exportadoras son el sustento del aparato económico nacional debido a las ventas al exterior por su mayor tamaño relativo y competitividad [16]. Otro de los aspectos que reducen la productividad, se denomina presentismo, es decir los trabajadores asisten, pero no cumplen sus funciones por razones de salud [17].

La capacidad de mantenerse en los mercados de la Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI) se presenta muy débil para el caso ecuatoriano, ya que predomina la condición de exportaciones no continuas a estos mercados [18]. Un aspecto positivo es sin duda la tendencia al crecimiento de las ventas ecuatorianas al mercado regional, pero, con pocos productos representativos y la irregularidad manifiesta en casi todos ellos, destacándose las ventas a los mercados de Colombia, Perú y Chile [18].

Tabla 22.4: Número de empresas y personal ocupado en Imbabura (INEC, 2015)

Años	2012	2013	2014	2015
Número de empresas	22.212	25.575	27.414	27.559
Personal ocupado	52.860	58.664	60.741	59.710
Número de empresas manufactura	2.480	2.910	3.148	3.384
Personal de empresas de manufactura	8.030	8.358	7.808	7.856

Según el INEC el número de empresas que se han creado en Imbabura se ha reducido de manera notablemente como se aprecia en la Tabla 22.4., los motivos de la mortalidad se deben a: escasa forma-

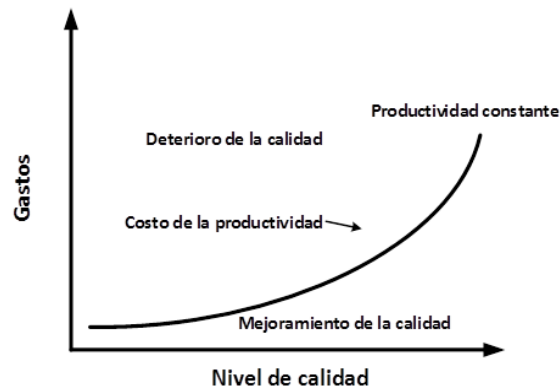


Figura 22.1: Relación entre la calidad y la productividad [22].

ción, poca producción, insuficiente sistemas de información, desconocimiento del mercado, problemas de comercialización, falta de vinculación e innovación y poco financiamiento [19].

Las características del mercado actual generan grandes retos para las empresas, que se ven en la necesidad de buscar nuevos métodos y estrategias que les permita ser más competitivas, uno de los métodos más eficaces para alcanzar esta ventaja competitiva, es la adopción de un modelo de enfoque basado en la gestión por procesos [20].

La calidad de un producto es una serie de promesas de beneficios por los que se ha pagado y que se han de validar con su uso, se generan expectativas sobre su desempeño respecto a la calidad, ecología, seguridad, economía, fiabilidad, compatibilidad, interoperabilidad, eficiencia y eficacia, el proceso para demostrar cumplimientos con los requisitos se llama control de calidad, básico para entregar un producto conforme [21]. El mejoramiento de la productividad de manera constante mejora la calidad a un bajo costo relativo, se representan por la Figura 22.1.

Las organizaciones deben buscar continuamente mejorar la eficacia de los procesos, más que esperar a que un problema lo revele, el sistema en su conjunto puede alcanzarse utilizando el ciclo PHVA con un enfoque dirigido a aprovechar las oportunidades y prevenir resultados no deseados [23].

El problema detectado en la provincia de Imbabura es que el número de trabajadores en las empresas de manufactura se está reduciendo, así como las ventas totales, debido a la baja productividad, calidad y gestión poco técnica.

La investigación determinará los controles que hacen falta y los que funcionan de manera parcial para mejorar la calidad de los productos, servicios y la productividad de las empresas del sector industrias de manufactura al cual pertenecen 7.856 trabajadores directos y 40.000 personas de manera indirecta.

El objetivo del presente trabajo es determinar el nivel de control que se realizan en las organizaciones, enfocados en cuatro variables: gestión por procesos, calidad, productividad y mejoramiento continuo, en las organizaciones del sector de la industria manufacturera en la provincia de Imbabura.

Los resultados obtenidos servirán para la realización e implementación de planes de mejoramiento de la productividad, calidad y un manejo técnico de los procesos en las organizaciones productivas.

22.2. Materiales y métodos

En esta investigación descriptiva se realizaron entrevistas a una muestra de 43 organizaciones de un total de 1666, pertenecientes al Sector Industrias Manufactureras, tales como: fabricación de prendas de vestir, panaderías, fabricación de muebles, fabricación de productos de metal, fabricación de productos textiles y la publicidad, entre otras como se aprecia en la Tabla 22.5 [24], según la Ecuación 22.1.

$$n = \left(\frac{Z * S}{E} \right)^2 \quad (22.1)$$

donde

Z es el valor asociado al grado de confianza.

S es la desviación estimada de la muestra.

E es el error permitido.

El error se calcula con la ecuación 22.2.

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (22.2)$$

Aplicando la ecuación 22.2 se tiene:

$$\sigma_x = \frac{28,82}{\sqrt{11}} = 8,68$$

El z que se utiliza es del 95 %, entonces $z = 1,96$

Aplicando la ecuación 22.1 se tiene:

$$n = \left(\frac{1,96 * 28,82^2}{8,68} \right) = 42,43$$

Las entrevistas se realizaron en cada una de sus cabeceras cantonales, durante los meses de mayo a agosto del 2016, la información fue otorgada por el propietario, el representante o el técnico del proceso [25].

En el presente estudio se explican los resultados de las entrevistas en base a una entrevista con 54 preguntas a los propietarios, representantes o técnicos del proceso técnico en función de: Gestión por Procesos (establecimiento de actividades y procesos), Calidad (implementar parámetros), Productividad (implementar los indicadores) y Mejoramiento Continuo (mejorar los indicadores) para marcar las áreas que presentan debilidades, cada variable de describe en la Tabla 22.4.

Se recabó la información mediante la visita in situ y la entrevista respectiva, se procesó la información obtenida y se analizó los resultados en los cuatro parámetros analizados.

22.3. Resultados

22.3.1. Composición del sector estudiado

En lo que a composición se refiere en el PIB manufacturero ecuatoriano, la elaboración de alimentos y bebidas es la industria más importante en el país con un peso de 38 %, luego le sigue la industria química con un 11 %, siendo una actividad considerada prioritaria en las políticas gubernamentales. En tercer lugar, se encuentran los productos minerales no metálicos (9 %) seguidos por la industria textil y de cuero (7 %) y metálica (7 %). [26]

El Sector Industria Manufacturera tiene como principales actividades a: la fabricación de prendas de vestir con el 23 %, seguido por las panaderías 15 %, en tercer lugar, se halla la fabricación de muebles con el 8 %, a continuación, está la fabricación de productos de metal con un 7 %, y por último se encuentra la fabricación de productos textiles con el 7 % y la publicidad con el 4 % que juntos representan el 64 % de las unidades productivas de Imbabura. [25]

Las Actividades de Manufactura cuentan con 11.006 establecimientos, de los cuales el 74,2 % corresponde a la fabricación de prendas de vestir, el personal ocupado total de las actividades relacionadas al sector textil asciende a 115.937 personas (68.215 mujeres y 47.722 hombres). En los establecimientos de Comercio se encuentran ocupadas 62.352 personas que generan ingresos promedio por un valor de \$63.000, en Manufactura 46.562 personas con \$116.000 y en Servicios 7.023 personas que generan \$12.000, Imbabura es la quinta provincia con mayor cantidad de establecimientos después de Pichincha, Guayas, Tungurahua y Azuay, de acuerdo al Censo Económico del 2010 [27]. Según el cantón existe una prevalencia en empresas con cierta actividad económica como se aprecia en la Tabla 22.6.

22.3.2. Ámbitos Analizados

22.3.2.1. Gestión por procesos Se consultó sobre: los productos que ofrecen, las actividades del proceso, el tiempo por actividad, la distancia recorrida por el producto y por la materia prima, la asociación de las actividades, flujogramas, y si tenían diferenciado los procesos estratégicos de los claves y de soporte y los resultados se describen en la Figura 22.2.

Tabla 22.5: Descripción de las variables de la entrevista

AMBITO	VARIABLE	
Gestión por Procesos	Productos que se ofrece	
	Actividades para obtener el producto	
	Tiempo por actividad	
	Distancia recorrida del trabajador	
	Distancia recorrida por la materia	
	Asociar actividades en procesos.	
	Flujograma	
	Estratégicos (proporcionan guías)	
	Claves (agregan valor)	
	De soporte (proporcionan recursos)	
Calidad	Que medir	
	Como medir	
	Equipos de medición	
	Balanceo de procesos	
	Productividad	
Productividad	Eficiencia	Tiempo
		Calidad
		Energía
		Agua
	Eficacia	Producción
		Reprocesos
		Devoluciones
		Desperdicios
Mejoramiento Continuo	Causas de desperdicios	Procesos innecesarios
		Exceso de inventarios
		Sobreproducción
		Creatividad no utilizada
		Excesivos movimientos
		Transporte
		Excesiva información
		Esperas
	Obtención de información	Reclamos
		Devoluciones
		Sugerencias
		Control visual
	Costos ocultos	Gastos de garantías
		Deterioro del producto
		Ventas perdidas
		Horas extras para corregir errores
		Fallas en proceso
		Mala voluntad
		Inventario adicional
		Errores en documentos
Descuentos perdidos		
Retrasos		
Inventario obsoleto		
Bienes dañados		
Costo de fletes		
Despachos incorrectos		

Tabla 22.6: Empresas por actividades económicas del sector manufactura de Imbabura

ACTIVIDAD ECONÓMICA	Ibarra	Otavaló	Antonio Ante
Confección de prendas de vestir	162	99	211
Panadería	158	70	37
Carpintería	118	32	20
Fabrica artículos de hierro	86	43	21
Fábrica de textiles	11	53	72
Publicidad y diseño	54	22	9
Bloquera	27	31	0
Artículos de cuero	2	4	1
Vulcanizadora	42	14	0
Elaboración de alimentos y dulces	55	8	0
Lavado y lubricación de autos	33	15	6
TOTAL	748	391	377
%	44,90	23,47	22,63

NOTA: se resalta en amarillo las actividades prominentes

Tabla 22.7: Empresas por actividades económicas del sector manufactura de Imbabura (continuación...)

ACTIVIDAD ECONÓMICA	Cotacachi	Pimampiro	Urcuquí	TOTAL
Confección de prendas de vestir	2	5	0	479
Panadería	20	12	14	311
Carpintería	2	4	1	177
Fabrica artículos de hierro	5	0	0	155
Fábrica de textiles	1	1	0	138
Publicidad y diseño	1	0	0	86
Bloquera	2	0	6	66
Artículos de cuero	59	0	0	66
Vulcanizadora	4	3	1	64
Elaboración de alimentos y dulces	1	0	0	64
Lavado y lubricación de autos	2	2	2	60
TOTAL	99	27	24	1666
%	5,94	1,62	1,44	100,0
Desviación Estándar				28,82

NOTA: se resalta las actividades prominentes

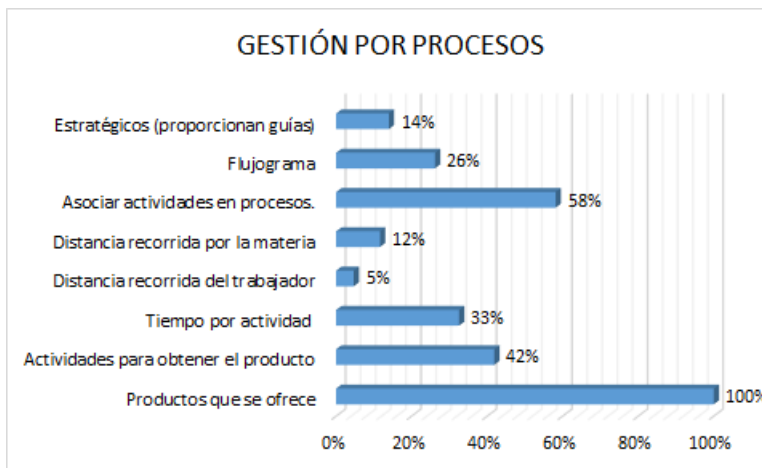


Figura 22.2: Resultados de las encuestas en Gestión por procesos

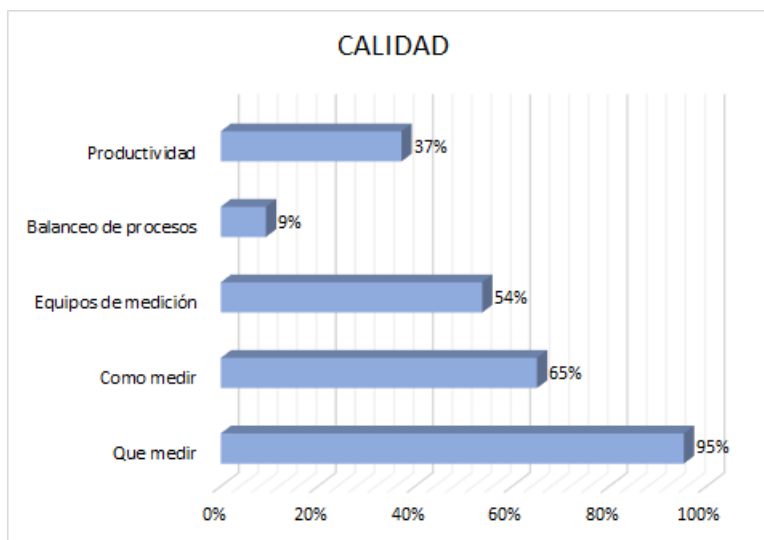


Figura 22.3: Resultados de las encuestas en Calidad

En este ámbito se detecta que las empresas no tienen un análisis del transporte que se hace dentro de la organización de las materias primas y en sí del desplazamiento que realiza cada uno de los trabajadores al desarrollar su tarea, en la mayoría de empresas no se toma en cuenta esta fuente de pérdida de tiempo porque el área física del local es pequeña.

Otro punto a analizar es que no tienen procesos estratégicos ni de apoyo, lo que provoca que se trabaje en el día a día sin las metas que la empresa se proyecta a largo plazo; la falta de procesos de apoyo debilita el control de calidad y el manejo del personal.

En el área de gestión por procesos las organizaciones no disponen de los procedimientos desgregados por actividades ni disponen del estudio de tiempo para planificar las actividades ni para determinar las actividades que retrasan el proceso o mejor conocidas como actividades cuello de botella.

22.3.3. Calidad

Se consultó sobre: criterios de calidad medibles, cuantificación de parámetros, equipos de medición, balanceo de procesos y la percepción de productividad; los resultados se presentan en la Figura 22.3.

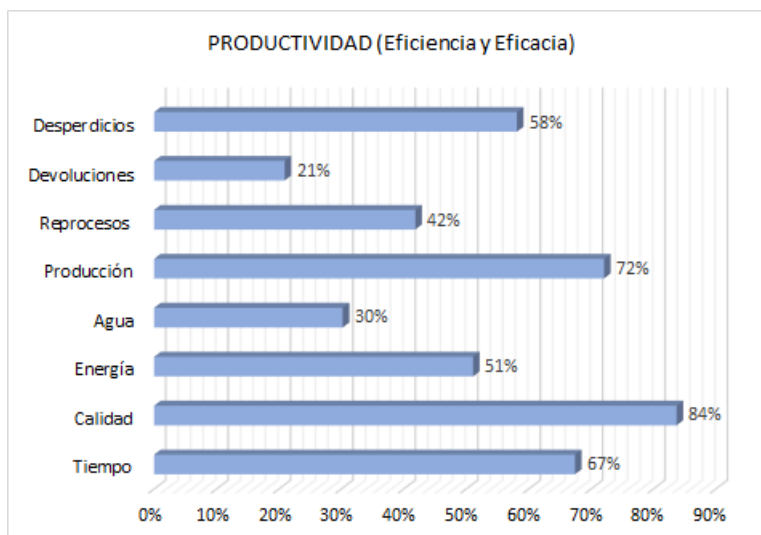


Figura 22.4: Resultados de las encuestas en Productividad

En el ámbito de calidad las empresas tienen métodos de medición e instrumentos básicos y no lo usan con la frecuencia debida, por la misma razón es que no disponen de indicadores reales ni de procedimientos de control de calidad para mantener el indicador con la vigencia necesaria.

En el área de calidad los parámetros están definidos de manera cualitativa y no tienen procedimientos de medición; para los parámetros cuantitativos los equipos de medición y los procedimientos no son los adecuados debido a que: no tienen procedimientos de medición ni verificación, no se almacenan en lugares idóneos, no se cumplen las condiciones ambientales para los ensayos, no se registran ni analizan los datos recopilados.

22.3.4. Productividad

Se consultó sobre: el tiempo de ciclo del producto, parámetros requeridos de calidad, estrategias de reducción de consumo de energía y agua; los resultados se presentan en la Figura 22.4.

El 25 % de las empresas no tienen un control sobre los desperdicios generados, es decir no están contabilizados ni pesados, no se lleva un registro de los mismos, ni tampoco se elaboran estrategias para minimizar.

El 18 % tienen entre sus desperdicios el denominado reproceso, un producto terminado debe volver a reprocesarse para que cumpla con los requisitos solicitados, están conscientes que el costo es mucho más alto o prefieren realizar un producto nuevo.

El 16 % de las organizaciones pueden definir lo que es en realidad la productividad, si no se describe de manera adecuada no se puede implementar procesos de mejoramiento basados en indicadores y peor aún que el mejoramiento se mantenga en el tiempo.

El 23 % de las organizaciones tienen estrategias de reducción de consumo de energía, principalmente con el uso de energías alternativas como la iluminación natural, el empleo de equipos de mejor eficiencia y de ser más conscientes en apagar las máquinas que no se utilizan.

El 13 % de las organizaciones no tienen estrategias de reducción del consumo de agua, ya que el agua no es empleada en el proceso, más bien es de uso higiénico.

El 9 % de las organizaciones aceptan tener productos de devoluciones de sus productos, pero aseguran que este problema tiene tendencias a la baja.

En el ámbito de productividad el 37 % de las empresas definen adecuadamente el término productividad, el 58 % de las organizaciones reconocen que tienen desperdicios, pero, ninguna tiene registrado el desperdicio generado por lo que no está cuantificado, lo que hacen es almacenar por posibles usos en el futuro; el 72 % de los entrevistados tienen planes en caso de aumento de demanda, la misma que es mano de obra extra; el 84 % piensa que necesita mejorar su calidad.

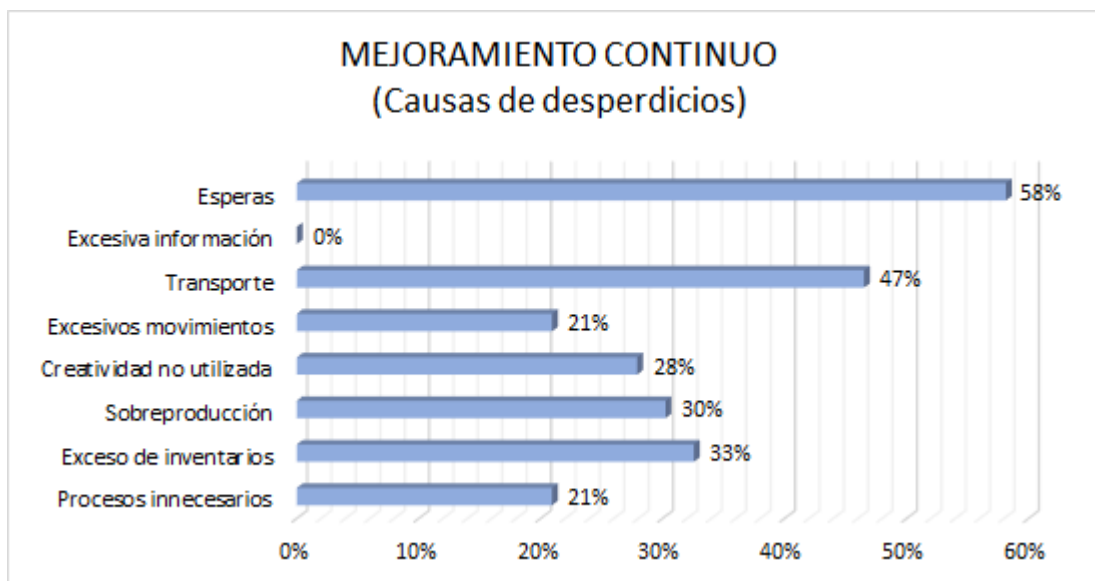


Figura 22.5: Resultados de las encuestas en las Causas de Desperdicios

22.3.5. Mejoramiento Continuo

En el ámbito de mejoramiento continuo se analizó las causas de los desperdicios, la obtención de la información y los costos ocultos.

22.3.5.1. Causas de desperdicios Se consultó sobre: existencia de procesos innecesarios, exceso de inventarios, sobreproducción, creatividad no utilizada, excesivos movimientos, transporte, excesiva información y esperas entre procesos; los resultados se expresan en la Figura 22.5.

El 25 % de las organizaciones tienen problemas de que sus clientes deben esperar antes de recibir el producto, ya sean por causas propias o por que reconocen que los proveedores no cumplen con los plazos de entrega de la materia prima.

El 20 % reportan desperdicios definidos como transporte, dicese al movimiento de materia prima dentro de la misma empresa, esto es más frecuente entre las empresas que han crecido de manera acelerada y que sus instalaciones físicas se adecuaron en la casa de manera desorganizada y para elaborar un layout adecuado necesitan de alta inversión en instalaciones nuevas.

El 14 % de las organizaciones tienen exceso de inventarios, pero, asumen que ese desperdicio es beneficioso debido a que los proveedores se retrasan en los envíos de materiales, de igual manera pasa con la sobre producción.

Otro 12 % tiene personal que es cambiado de actividad en momentos que un proceso está retrasado hasta retomar el orden.

La principal causa de generación de desperdicios son las esperas en el 25 % de las organizaciones debido a que no se entregan los productos en el tiempo acordado, seguido por el transporte con el 20 %, se define como el movimiento de la materia prima desde la bodega al taller y por las distintas áreas, además de consumir tiempo consume mano de obra y genera tiempos ociosos ya que en el transporte desconcentra a varios trabajadores.

22.3.5.2. Obtención de información Se consultó sobre: los reclamos, las sugerencias y el control visual; los resultados se aprecian en la Figura 22.6.

El 37 % de las organizaciones tienen sugerencias e manera verbal o vía correo electrónico, pero, no indican el tratamiento que se la brinda.

El 17 % de las organizaciones tienen reclamos por sus productos, pero no tienen un tratamiento formal para eliminar o reducir la no conformidad de los productos.

La principal forma de obtener información sobre las deficiencias de la empresa en el 93 % es el control visual y en el 86 % las sugerencias de los clientes de manera verbal o por correos.

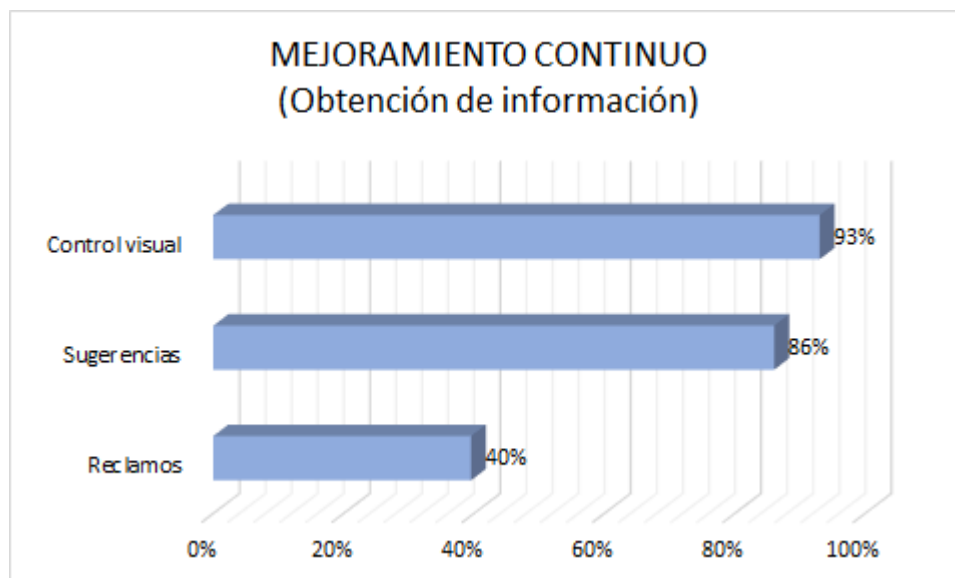


Figura 22.6: Resultados de las encuestas en la Obtención de la Información

22.3.5.3. Costos ocultos Se consultó sobre: pagos de garantías, deterioro de productos, ventas perdidas, horas extras para corregir errores, fallas en proceso, Mala voluntad, Inventario adicional, Errores en documentos, Descuentos perdidos, Retrasos, Inventario obsoleto, Bienes dañados, Costo de fletes, Despachos incorrectos, Concesiones a clientes y Capacidad adicional del proceso; los resultados se enuncian en la Figura 22.7.

El 35 % de las organizaciones reportan que la capacidad instalada supera a su producción normal, pero eso importante para momentos que demandan de alta producción y que están conformes con ese exceso.

El 19 % reportan que hacen el envío del producto hacia sus clientes y consta como un servicio al cliente.

El 17 % asume que ha tenido ventas perdidas, la mayoría de veces porque están con exceso de trabajo o por que no disponen de materia prima, debido a tiempo incierto de entrega de la materia prima.

El 15 % tienen personas con mala voluntad, señalan una de las causas más importantes para no contratar personal extra o como se los denomina aprendices.

Otro 15 % tiene inventario adicional que lo cree necesario para absorber el tiempo entre la solicitud de materia prima y la entrega, existe otro problema un poco más grave, que la empresa proveedora no dispone regularmente de la materia prima requerida, se acusan que para que un pedido entre en proceso debe tener un monto mínimo requerido.

Un 10 % de organizaciones presenta que los productos que mantienen en stock se han deteriorado por efectos de malas condiciones ambientales en la bodega de productos terminados.

El principal costo oculto encontrado en el 81 % de los encuestados es la capacidad extra que tiene para producir, pero, que normalmente no se lo usa seguido por el 44 % por el costo en fletes que generalmente se considera un servicio al cliente, otro costo oculto se encuentra en el 40 % como ventas perdidas debidas a que están ocupados en algún pedido o por que no disponen de la materia prima ya que los proveedores no entregan la materia prima en corto plazo.

22.3.6. Recursos humanos

Se consultó sobre el grado de formación de los técnicos que están al frente del proceso principal y los resultados se muestran en la Figura 22.8.

En el 67 % de las organizaciones está como responsable un artesano, mientras que en el 16 % de las otras organizaciones están como responsables, ingenieros y en igual proporción licenciados.

El 16 % de las organizaciones tienen un solo trabajador, el 35 % tienen 2 trabajadores y otro 16 % corresponden a organizaciones con 3 trabajadores como se indica en la Figura 22.9, de la muestra se

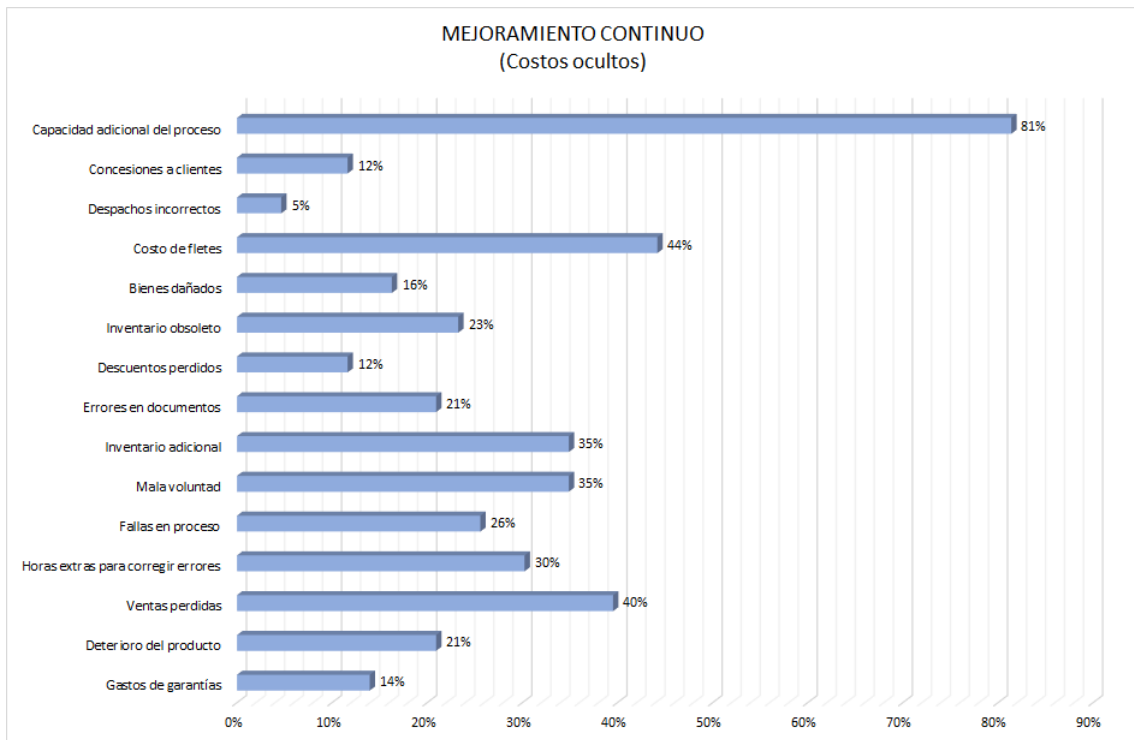


Figura 22.7: Resultados de las encuestas en Costos Ocultos

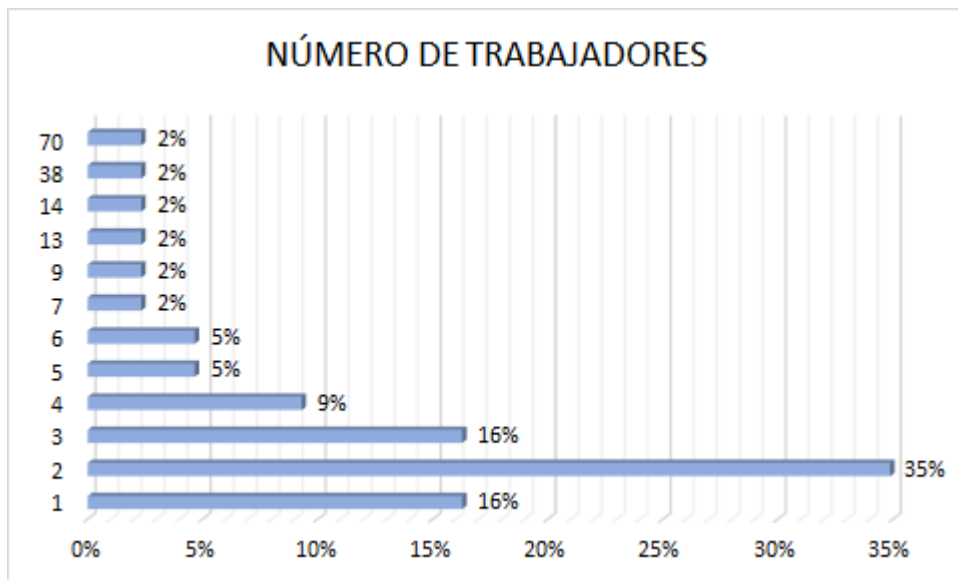


Figura 22.8: Resultados de las encuestas en técnicos encargados del proceso

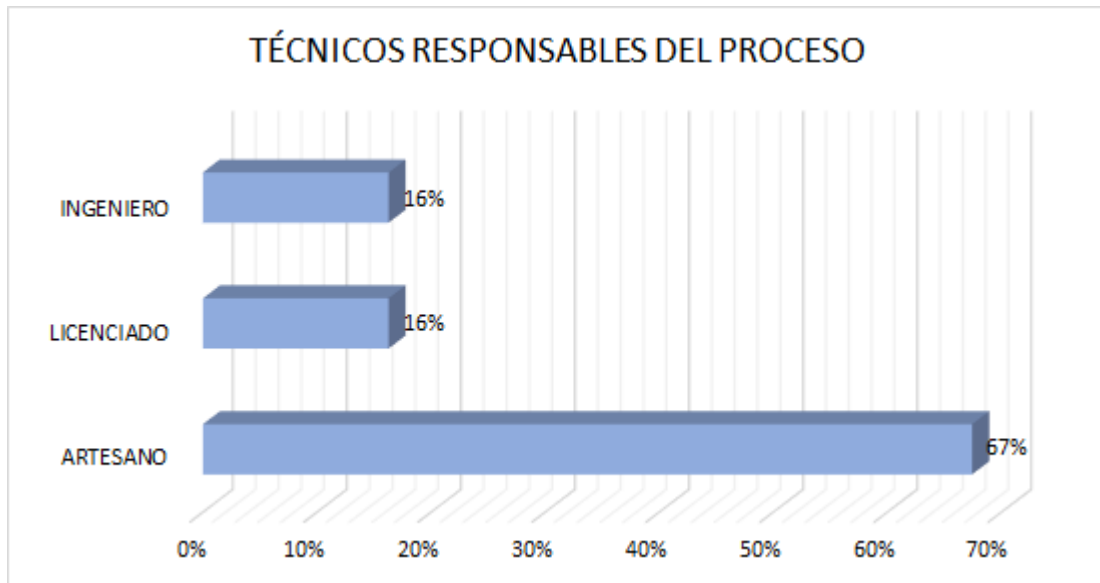


Figura 22.9: Número de trabajadores por empresa

confirma que el 90 % de las organizaciones corresponden a microempresas cuya clasificación se verifica en la Tabla 22.1.

Otro ámbito analizado es el recurso humano, en el 67 % de las empresas está al frente del proceso productivo un artesano, seguido en igual magnitud del 16 % por un ingeniero o por un licenciado.

Del estudio se concluye que el 16 % de las empresas tienen un trabajador y el 35 % tienen dos, para organizaciones de este tipo es muy costoso implementar procedimientos, controles, índices de calidad.

El elevado costo de implementar ciertas actividades de control no se puede aplicar debido a su elevado costo, para las empresas medianas y grandes tiene personal de planta para estas actividades.

22.3.7. Medio ambiente

La totalidad de los entrevistados aseguran cumplir con normas ambientales o no ser necesario porque no tienen contaminantes.

22.3.8. Conclusiones

Los altos costos de producción se deben a que:

No tienen procedimientos de manufactura que permitan mantener la calidad en los productos.

No tienen control ni registros sobre los desperdicios generados.

Cuantificar la calidad necesita de personal calificado que permitan medir, evaluar y mejorar.

Las bajas ventas impiden que la producción sea continua.

No determinar las causas de las devoluciones hace se repitan con frecuencia.

Hacer productos más de los necesarios hace que la materia prima y la mano de obra inmersa se amortice y por último se vendan a mitad de precio.

Mantener inventarios de materia prima elevados genera gastos por bodegaje y deterioro.

La productividad es baja porque:

No planifican las actividades para entregar los pedidos a tiempo.

Los pedidos no entregados a tiempo generan devoluciones y multas.

Las microempresas son evasoras de impuestos y afiliaciones al seguro.

No tienen personal calificado para implementar indicadores y estrategias de mejoramiento continuo.

No conocen los procesos de compras públicas para vender productos para el estado.

El desarrollo de sus actividades en locales no adecuados hace que el transporte de la materia prima sea elevado.

No detectar las actividades que agregan valor hace que se mantengan actividades que generan demoras. El mantener actividades cuello de botella hace que se generen tiempos ociosos en otras áreas. No entregar a tiempo hace que los clientes se molesten y eleva la probabilidad de que no vuelvan.

Referencias

1. INEC, "POBLACIÓN PROVINCIAL DEL ECUADOR INEN 2010," 2010.
2. INEC, "RESULTADOS CENSO 2010 IMBABURA," 2010.
3. P. Ortega, "INFORME TÉCNICO Nro. : CINDU-2016-03," pp. 1-2, 2016.
4. MCPEYC, "AGENDAS PARA LA TRANSFORMACIÓN PRODUCTIVA TERRITORIAL: IMBABURA," 2011.
5. F. Maldonado and G. Proaño, "LA INDUSTRIA EN EL ECUADOR," *Ekos Negocios*, vol. XI, no. 257, p. 888, 2015.
6. J. Heizer and B. Render, DIRECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE OPERACIONES. 2007.
7. L. Tobar, "ANÁLISIS COMPETITIVO DE LAS PYMES EN CUENCA ECUADOR," *Rev. Int. Adm. Finanz.*, vol. 8, no. 3, pp. 79-92, 2015.
8. E. Lora and C. Pagés, "CARA A CARA CON LA PRODUCTIVIDAD," *Fondo Monet. Int.*, p. 19, 2011.
9. K. Schwab, INFORME DE COMPETITIVIDAD GLOBAL 2016-2017, vol. 5, no. 5. 2015.
10. OIT, "PERSPECTIVAS SOCIALES Y DEL EMPLEO EN EL MUNDO," OIT, p. 27, 2016.
11. OIT, "PANORAMA LABORAL 2015. AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE," 2015.
12. C. Pagés and BID, LA ERA DE LA PRODUCTIVIDAD, vol. 1. 2010.
13. DATOSMACRO, "ÍNDICE DE COMPETITIVIDAD GLOBAL ECUADOR 2016," *EXPANSIÓN*, pp. 12-14, 2016.
14. H. Jácome and K. King, ESTUDIOS INDUSTRIALES DE LA MICRO, PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA. 2012.
15. W. Araque and A. Argüello, "CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE INTERNACIONALIZACIÓN DE LAS PYMES ECUATORIANAS," 2014.
16. J. Fernández, R. Mínguez, A. Minondo, and R. Francisco, "CARACTERÍSTICAS DE LAS PYMES EXPORTADORAS DE BIENES," *Inf. Comer. Española, Rev. Econ. (ICE)*, pp. 27-41, 2014.
17. G. Flores-Sandi, "'PRESENTISMO': POTENCIALIDAD EN ACCIDENTES DE SALUD.," *Medicina (B. Aires)*, vol. 48, pp. 30-34, 2006.
18. S. Garcia, "CARACTERIZACIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL DE PYMES EXPORTADORAS ECUATORIANAS EN LOS MERCADOS DE ALADI," p. 34, 2012.
19. E. Navarrete and E. Sansores, "EL FRACASO DE LAS MIPYMES EN MÉXICO: ANÁLISIS MULTIVARIANTE," *Rev. Int. Adm. Finanz.*, vol. 4, pp. 21-34, 2011.
20. SOTools, "LA ADOPCIÓN DE UN ENFOQUE BASADO EN PROCESOS," 2015.
21. ISO, "CREANDO CONFIANZA: LA CAJA DE HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD."
22. J. Prokopenko, LA GESTIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD. Manual práctico. 2009.
23. ISO, ISO 9001:2015 SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD. REQUISITOS. 2015, p. 58.
24. INEC, "ANUARIO ESTADISTICO 2013," p. 40, 2013.
25. P. Ortega, "INFORME TÉCNICO Nro. ■ : CINDU-2016-05." pp. 3-5, 2016.
26. F. Maldonado and G. Proaño, "LA INDUSTRIA EN ECUADOR," *Ekos Negocios*, pp. 46-65, 2015.
27. INEC, "INFOECONOMÍA," pp. 1-8, 2012.

Capítulo 23

EL RIESGO QUÍMICO EN LA INDUSTRIA TEXTIL Y LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS

PUENTE M.,¹ PINEDA J.,¹ SOTO C.,² VISPO N.,³ PUENTE P.,⁴ Y MORA E.¹

¹ Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

² Unidad de Gestión Tecnológica, Universidad Católica de Oriente, Rionegro, Colombia.

³ Departamento de Biología, Universidad Yachay Yech, Urcuqui, Ecuador.

⁴ Instituto de Posgrado, Maestría en Ingeniería de Software, Universidad Técnica del Norte.

Resumen: Los procesos productivos textiles son principalmente: la producción de fibras naturales y artificiales, la transformación de fibras en hilos, los hilos en telas mediante procesos de tejeduría, la tintorería que permite dar color a los textiles, los procesos de acabado textil para darle la utilidad final al producto y los procesos de corte y confección de prendas. Por otro lado abarca también la producción de no tejidos, el diseño de maquinaria textil, el desarrollo de productos químicos, colorantes, auxiliares y el descubrimiento de nuevos materiales textiles. Utiliza gran cantidad de químicos, agua y energía por lo que se considera una de las industrias más contaminantes. Los contaminantes de origen químico generan intoxicaciones profesionales en mayor o menor grado, provocando las enfermedades profesionales, las mismas que representan un alto costo social, laboral y económico. Por lo que es necesario conocer los riesgos laborales sobre la utilización de los productos químicos y sus consecuencias, para prevenirlos utilizando medidas jerárquicamente adecuadas: desde la fuente, el medio de transmisión y la protección al trabajador. Para una rápida comprensión de las intoxicaciones profesionales de la industria textil se han agrupado en matrices, considerando: el proceso productivo, la magnitud del riesgo y su incidencia en la enfermedad profesional.

Palabras Claves: Industria textil, químicos, intoxicaciones, enfermedades profesionales.

23.1. Introducción

La mayoría de las enfermedades profesionales de la industria textil, están asociadas a la presencia de contaminantes de origen químico [1]. Entre las afecciones a la salud, se destacan las respiratorias, la más prevalente y característica es la bisinosis en trabajadores de algodón [2]. También se identifica la incidencia de cáncer colo-rectal en trabajadores con fibras sintéticas [3] y cáncer de vejiga por exposición a colorantes azoicos [4]. El ántrax se encuentra asociado a los clasificadores de lana [5]. En los últimos años se han desarrollado nuevas tecnologías textiles, en este contexto se destacan los denominados textiles inteligentes con enormes posibilidades y funcionalidades, considerados como la próxima generación de la industria textil [6]. La nanotecnología y biotecnología textil generan grandes posibilidades de desarrollo

del sector, sin embargo también generan nuevos riesgos que son poco conocidos. Investigaciones recientes han demostrado que las partículas con diámetro nanométrico y con características físico-químicas únicas, son más tóxicas que las partículas de mayor tamaño, por lo que se requiere asegurar una mayor protección al trabajador [7, 8]. El objetivo de la investigación es realizar un análisis crítico de la literatura científica sobre el tema de riesgos químicos en la industria textil, así como los avances científicos logrados la solución del problema y un análisis de pasos a seguir que permitan minimizar los riesgos y las consecuencias.

23.2. Análisis de la literatura científ

La intoxicación química es el efecto dañino que ocurre en humanos, animales, plantas o microorganismos como resultado de la acción de una sustancia química. La probabilidad de sufrir alteraciones en la salud, por la exposición a contaminantes durante la realización de un trabajo se debe a los siguientes factores: la naturaleza del contaminante, la vía de entrada al organismo, la concentración y el tiempo de exposición, las condiciones de trabajo, la susceptibilidad individual y el entorno ambiental [9].

La naturaleza del contaminante se clasifica según sus efectos en: irritantes, asfixiantes, narcóticos, neumoconióticos, tóxico sistémicos, sensibilizantes, cancerígenos, teratogénicos, mutagénicos y corrosivos [8]. En la vía de entrada de los tóxicos al organismo se debe considerar: la absorción realizada a través de la vía oral, respiratoria y cutánea; la distribución del tóxico, entendiendo que cierta parte pasa al sistema sanguíneo y linfático y a través de éstos a ciertos tejidos, como huesos y tejido graso donde se acumulan, otra parte van a los órganos "target" (hígado, riñón, pulmón, cerebro, etc.) produciendo las afecciones y finalmente otra parte es eliminado por los mecanismos de excreción del organismo, como la orina, la bilis, el aire expirado, el sudor, la saliva, las faneras, leche materna o diversas excreciones gastro-intestinales [10]. La concentración y el tiempo de exposición del contaminante relacionan la dosis con la respuesta en forma proporcional. Las condiciones de trabajo, (calidad de ventilación, las medidas de protección, temperatura, humedad relativa, etc.), la susceptibilidad individual (raza, alimentación, etc.) y el entorno ambiental (contaminación del aire, suelo agua, etc.) son factores que influyen en el riesgo higiénico [11].

23.2.1. Producción de fibras textiles vegetales

La producción de fibras vegetales, se hace mediante cultivos agrícolas que requieren suelos bien preparados, en los que se utiliza abonos artificiales y plaguicidas como los insecticidas, herbicidas, fungicidas, nematicidas, acaricidas, rodenticidas y molusquicidas.

Se consideran plaguicidas órgano-clorados a los compuestos orgánicos con cloro, que son de estructura molecular cíclica, liposolubles, acumulativos en el organismo, en las cadenas alimenticias y persistentes en el ambiente, entre ellos encontramos: endrin, dieldrin, aldrin, lindano, heptacloro, DDT, metoxicloro, clordano, toxafeno, etc. [13, 14]. La intoxicación aguda por órgano-clorados produce estimulación del sistema nervioso central y aumento de su respuesta a los neurotransmisores; las exposiciones prolongadas a pequeñas cantidades pueden producir discrasias sanguíneas y dermatosis. [14, 15].

Existen muchos compuestos órgano-fosforados, como el dimetón, paratión, metil-paratión, fentión, diazinón, diclorvós, fenitritión, triclorfón, dimetoato, malatión, etc., estos son menos persistentes en el ambiente y no se acumulan en el organismo, pero su toxicidad aguda es mayor. La intoxicación con órgano-fosforados al principio causa sudoración, salivación profusa, lagrimeo, debilidad, mareos, dolor de estómago y visión borrosa, posteriormente dificultad respiratoria, colapso, fasciculaciones musculares y crisis convulsiva [14, 15].

La intoxicación por carbamatos, es similar a los órgano-fosforados, es más rápida, reversible y no se acumulan en los tejidos, por ejemplo el aldicarb, carbofurán, metoxil, propuxur, carbarilo entre otros. Las piretrinas son de origen vegetal, aunque se han sintetizado productos similares llamados piretroides, éstos compuestos se acumulan en el organismo y no son persistentes en el ambiente, por ejemplos: la resmetrina, bioresmetrina, aletrina, deltametrina, cipermetrina, permetrina, fenvalerato entre otros [13, 14].

Otros plaguicidas pueden ser derivados del ácido fenoxiacético, son herbicidas hormonales para las plantas, comercializados como ésteres y aminas muy volátiles. Los cloro y nitrofenoles, pertenecen a un grupo químico totalmente diferente de los plaguicidas anteriores, los más conocidos son el pentaclorofenato de sodio, órgano mercuriales y otras sustancias utilizadas como rodenticidas tal es el caso del sulfato de talio, fluoroacetato de sodio, fosforo de zinc o aluminio, sales de bario, anticoagulantes derivados de la

warfarina e indadiona. Casi todos los plaguicidas pueden tener efectos nocivos sobre la piel produciendo principalmente dermatitis y alergias, y solo algunas personas por sensibilización desarrollan, estas alergias que pueden aparecer después de semanas o meses de exposición y no hay modo de predecirla [13, 14].

23.2.2. Producción de fibras animales

Las fibras más utilizadas son la lana, los pelos de diferentes cabras y camélidos, entre ellas: mohair, quiviut, cashmere, vicuña, alpaca, llama, angora, camello, etc., también está la seda y otras fibras similares. La lana y las fibras de camélidos y cabras son cortadas mediante la esquila y luego clasificadas según la calidad, al margen de su calidad son luego sometidas a procesos de lavado, el mismo que consta de un batido para abrir y depurar la lana mecánicamente y lavar con detergentes, álcalis o ácidos. El riesgo se deriva en el modo de realizar éstas operaciones, hay riesgo de contacto con las fibras que pueden contagiar de enfermedades infecciosas y parasitarias, entre las que podemos mencionar: el carbunco, brucelosis, leptospirosis, hidatidosis entre las más comunes [16]. El trabajo en ambientes húmedos y la utilización de detergentes, ácidos y álcalis generan dermatitis [9].

La seda es una fibra textil producto de la secreción de la boca del gusano de seda, que se solidifica al entrar en contacto con el aire, el gusano segrega unos 2 km de filamento para formar un capullo en la fase de crisálida, el sericultor mata las crisálidas en un horno y envía los capullos a la fábrica para elaborar los hilos y madejas. El 9% de los sericultores sufre de asma, atribuida a la inhalación de heces del gusano, además el contacto de la piel con los pelos de la oruga puede producir dermatitis de contacto, lo mismo que los procesos húmedos para la hilatura de la seda [16].

23.2.3. Producción de fibras sintéticas

Las fibras sintéticas se elaboran combinando elementos químicos simples denominados monómeros, los mismos que mediante un proceso de polimerización forman un compuesto químico complejo denominado polímero. Entre las principales fibras sintéticas tenemos: poliéster, poliamida, poliacrílicas, polivinílicas, etc. [17]. El poliéster es la fibra sintética de mayor uso debido a sus propiedades textiles, la mayoría se elabora por trans-esterificación del éster dimetilico de ácido tereftálico y el etilen glicol con poli-condensación posterior o de una reacción directa entre el ácido tereftálico y el etilen glicol. El proceso de transformación de la masa de polímero en hilado comprende las etapas de hilatura y estiraje aplicando una emulsion de enzima (mezcla de varios productos: suavizantes, lubricantes, antiestáticos, etc.) [18].

Las fibras poliamídicas son derivadas de la hexametildiamina y del ácido adípico, forma el polímero 66, los derivados de la caprolactama, forma el polímero 6, del ácido omega-amino-undecanóico de deriva el polímero 11 y de la hexametildiamina del ácido sebáico los polímeros 6 y 10.

Estas fibras utilizan antioxidantes que evitan la degradación del polímero como fenoles aminorados, fosfitos orgánicos y tioésteres, estos productos por ser solventes orgánicos pueden producir leucemias, afecciones al sistema nervioso central, dermatitis; antiestáticos que evitan la adherencia de polvo y acumulación de cargas eléctricas como: alquilsulfonato de sodio, amonios cuaternarios, aminorados grasos etoxilados y ésteres grasos que pueden producir afecciones a la piel, sistema nervioso central y leucemias.

Productos ignífugos que liberan gas al descomponerse por acción del calor, como trihidrato de aluminio, óxido de antimonio, fosfatos orgánicos, compuestos halogenados entre otros, que producen dermatitis, neumoconiosis, etc; estabilizantes térmicos como sales de metales pesados como el plomo que produce saturnismo, problemas renales, perforación del tabique nasal y otras, compuestos órgano estánicos que pueden generar afecciones órgano hepáticas, de las vías renales, tóxicos para el sistema nervioso central; estabilizantes de UV, como el benzotriazoles y salicilatos que pueden generar afecciones al sistema nervioso central, negro de humo que es cancerígeno de vejiga, dióxido de titanio, óxido de zinc, productos neumoconióticos, etc.

Fungicidas especialmente polímeros que contienen nitrógeno o plastificantes como el fenilsalicilato de mercurio, dicloro fenoles que son productos cancerígenos y que afectan el sistema nervioso central, etc. Colorantes que pueden tener metales pesados, o grupos azoicos que son sensibilizantes y cancerígenos.

Las cargas como el carbonato de calcio, talco, barita que son neumoconióticos, amianto producto cancerígeno, almidones carbohidratos. Catalizadores como las aminorados aromáticas, alifáticas que son irritantes, alergizantes, metahemoglobinizantes, hepatotóxicos, cancerígenos. Órgano estánicos y peróxidos orgánicos que son irritantes cutáneos, oculares y respiratorios. Compuestos orgánicos de aluminio como

dimetilo y trietilo de aluminio que producen quemaduras en la piel, edema hemorrágico e irritación [14, 15, 19].

23.2.4. Regeneración de fibras

Se utiliza el término “rayón” para las fibras obtenidas a partir de la celulosa, mediante los procedimientos de purificación de la pulpa de madera por ebullición con sosa caústica y transformación del álcali celulosa en xantato de celulosa soluble por tratamiento con sulfuro de carbono, filtrado, maduración e hilatura del rayón por coagulación y baño con ácido sulfúrico o hilatura por centrifugado, des-acidificado, secado y acondicionado [18]. Es importante resaltar los riesgos en la fabricación de éstas fibras como son la dermatitis de contacto e irritaciones producidas por ácidos y álcalis, los síntomas provocados por el sulfuro de carbono como depresor del sistema nervioso central y también el amoniaco que produce irritación respiratoria, de ojos, bronquitis y ceguera [14, 15].

E. Producción de fibras minerales

Es el grupo de fibras de origen natural como amianto y asbesto y se consideran también los hilos metálicos como oro, plata, etc. Son elaborados mediante diversos procedimientos, los principales riesgos son: el asbesto que produce asbestosis y cáncer de pleura y los metales pesados que producen anemias, neuropatías y algunos cancer [15, 20].

23.3. Especificaciones del proceso textil

23.3.1. Hilatura

En los procesos de hilatura algodonera los trabajadores están expuestos principalmente al polvo de algodón que produce bisinosis, colorantes y enzimas que son alergizantes. En la hilatura lanera los trabajadores pueden adquirir dermatitis por el uso de álcalis y detergentes, pulmón de granjero por exposición a los polvos de origen orgánico, alergias por la utilización de colorantes y enzimas. Los riesgos en hilaturas de fibras sintéticas y regeneradas son muy similares a los descritos en la fabricación de estas fibras [9, 18].

23.3.2. Tejeduría

Los principales riesgos químicos son: la bisinosis y el pulmón de granjero por la presencia de polvos de celulosa y orgánicos respectivamente, a esto se suma que el proceso de tejeduría principalmente plano necesita de los procesos de engomado con almidones como: carboximetil celulosa, poliacrilatos, etc. estos productos son bajos en toxicidad pero pueden ser neumoconioticos [9].

23.3.3. Tintorería y acabados textiles

En el área de tintorería y acabados textiles es mayor la cantidad de productos químicos que se utilizan: solventes orgánicos y carriers que son derivados de benceno que producen leucemia mieloide aguda, anemias aplásicas; sulfuro de carbono que producen irritaciones y son neurotóxicos. Productos oxidantes como agua oxigenada, hipoclorito y clorito de sodio, que pueden causar cirrosis hepatocelular aguda, irritación cutánea, respiratoria, bronquitis, fibrosis y edema pulmonar y trastornos oculares. Reductores como el sulfuro de sodio, hidrosulfito de sodio que causan irritaciones respiratorias y cutáneas, nasofaringitis y bronquitis crónica. Ácidos y álcalis orgánicos e inorgánicos que causan irritaciones respiratorias y cutáneas. Colorantes principalmente azoicos que pueden liberar aminas y producen cáncer de vejiga principalmente y una larga lista de colorantes alérgenos y sensibilizantes. Sales como sulfato de sodio, de cobre, cloruro de sodio, etc. que son sensibilizantes e irritativos. Blanqueadores ópticos estilbénicos son sensibilizantes e irritativos. Monómeros y oligómeros residuales como el cloruro de vinilo, que producen angiosarcoma de hígado y cardiopatías. Formaldehído resultante de la reticulación de resinas derivadas principalmente de urea formol y productos ignífugantes que son cancerígenos y sensibilizantes además la utilización de suavizantes, y antiestáticos que son sensibilizantes [14,15,21, 22].

En la evaluación toxicológica de los ambientes de trabajo en las plantas de acabados textiles, se debe tener muy en cuenta los riesgos derivados de la volatilidad de los productos, de sus componentes, de las

mezclas de productos y sustancias de desdoblamiento que se producen en las instalaciones de secado, condensación así como los productos adicionales que se utilizan en el acabado textil[23].

23.3.4. Confección

Los riesgos principales en seguridad y salud ocupacional de esta actividad textil, se encuentra en las condiciones generales del entorno de trabajo. Puestos de trabajo, herramientas y equipos mal diseñados, junto a un sistema de remuneración a destajo y un sistema de producción en cadena, imponen graves riesgos de lesiones músculo esqueléticas y estados de estrés. La masificación, junto a un almacenamiento inadecuado de materiales inflamables crean graves riesgos de incendio y la falta de higiene y limpieza agravan esta situación. En lo referente a la exposición a productos químicos, el más común es el formaldehído (cancerígeno), generado en el acabado de los tejidos. La cantidad de formaldehído depende de varios factores, como la cantidad usada en el acabado, el proceso de acabado, el calor y la humedad del ambiente. La exposición al formaldehído se puede evitar permitiendo que el tejido libere el gas en una zona bien ventilada antes de su manipulación [24].

23.4. Avances científicos en la industria textil

Durante los últimos años la industria textil tradicional que ha favorecido la calidad, ha cambiado su estrategia para apoyar la innovación y la creación de nuevos textiles dando lugar a la aparición de los “Textiles Técnicos”, “Textiles Inteligentes” y una nueva generación de fibras, tejidos y artículos que se producirán gracias a sus enormes posibilidades y funcionalidades [6].

23.4.1. Textiles inteligentes

Los textiles inteligentes se definen como textiles que pueden detectar y reaccionar a condiciones medioambientales o a estímulos mecánicos, térmicos, químicos, fuentes eléctricas o magnéticas.

Según su actividad funcional los textiles inteligentes pueden ser clasificados en tres categorías: Textiles inteligentes pasivos (primera generación) los cuales solo pueden detectar las condiciones ambientales o estímulos. Los textiles inteligentes activos (segunda generación) tienen la capacidad de detectar y actuar frente a una situación determinada, por ejemplo, los tejidos camaleónicos, hidrófugos, permeables al vapor, termorreguladores, etc. Textiles ultra-inteligentes (tercera generación) pueden detectar, reaccionar y adaptarse a las condiciones o estímulos del medio, es la unión de textiles tradicionales y nuevos tejidos con otras ramas de la ciencia como, la ciencia de los materiales, mecánica estructural, tecnología de sensores y detectores, avanzada tecnología de procesos, electrónica, comunicación, biología, etc. [25].

En el desarrollo de textiles inteligentes se utiliza la parafina y otras nanopartículas, que permiten regulaciones térmicas de la prenda y el usuario y comportamiento antimicrobiano [26]. El calor generado por el cuerpo humano durante una actividad física intensa a menudo no es liberado al ambiente en la cantidad necesaria, generando una situación de estrés térmico; por otra parte, durante los periodos de descanso se genera menos calor del cuerpo, de mantener la misma liberación de calor, es probable que se den casos leves de hipotermia [27].

Existen dos tipos de materiales con memoria de la forma que a diversos estados de temperatura tienen el potencial de asumir diversas formas, cuando han alcanzado la temperatura de transformación, dentro de ésta clase, están los polímeros electroactivos [28]. Se utilizan también aleaciones con memoria de la forma, como el níquel-titanio (alergias, rinitis, cánceres de las cavidades nasales y pulmón) [20], y las aleaciones cobre-zinc (lesiones hepáticas, del SNC, riñones, huesos y ojos, dermatitis, etc.) [20], que son capaces de una activación de doble dirección y por lo tanto pueden producir la variación reversible necesaria, para la protección contra condiciones atmosféricas cambiantes [29]. Incorporando estas aleaciones entre las capas de una prenda, se puede generar un hueco de aire, consiguiendo una mejora en la protección contra el calor extremo [30]. Se utilizan también películas de poliuretano entre las capas adyacentes de la ropa, cuando la temperatura de la capa externa ha caído el hueco de aire entre las capas se hace más limpio [31].

Los polímeros con memoria de forma, tienen el mismo efecto que las aleaciones de Ni-Ti, siendo más compatibles con el sustrato textil, están basados en polinorborenos y fueron desarrollados por la French Company CdF Chimie, más tarde se desarrollaron diversas clases de mezclas de polímeros entre estireno,

butadieno, polietileno, tereftalato, (leucemias) [20], óxido de polietileno, poliuretano, policaprolactama (dermatitis, afecciones SNC e hígado) [20], los más famosos son los “geles robots” compuestos de 2-poli-2-acrilamida-2-ácido sulfónico de metil propano que es investigado para usos de reemplazo de los músculos y los tendones [32]. Algunas fibras inteligentes activas contienen materiales electro-conductores y partículas de grafito que pueden conducir la electricidad, estos materiales pueden regular la conexión/desconexión de la electricidad y mantener la temperatura estable [20].

Otros tipos de materiales inteligentes, son los que cambian su color de forma reversible, según las condiciones de estímulos externos, se denomina fibras camaleónicas [33]. En textiles los materiales pueden ser fotocromáticos (el estímulo es la luz), termocromáticos (el estímulo es el calor) y electrocromáticos (el estímulo es la electricidad). El sufijo cromo significa color [34]. Los materiales fotocromáticos son moléculas orgánicas inestables que cambian la configuración espacial o por rotura de enlaces covalentes, los tipos de sistemas termocromáticos utilizan un tipo de cristal líquido y un sistema de cambio molecular, son colorantes encerrados en microcápsulas y son aplicados en el tejido como un pigmento en base de resina [35]. Los tipos más comunes de colorantes termocromáticos utilizan un tinte y un revelador de color que se disuelven en un solvente orgánico (Leucemias) [14], esta solución es entonces micro-encapsulada (3,4 micras de diámetro), es sólida a temperaturas inferiores y con calor llega al punto de fusión produciendo el cambio de color [36]. Además del cambio de color debido a la reacción frente a la luz o calor, existen otras fibras que presentan el fenómeno llamado “cromismo del solvente”, cuyo color se cambia cuando entra en contacto con un líquido como el agua [37].

Los materiales luminiscentes son aquellos que emiten luz, gracias a un estímulo externo de luz, se tiene materiales fluorescente y fosforescentes, la diferencia en la duración de emisión de luz que dura más con la fosforescencia [38]. Existen dos tipos de materiales fotoluminiscentes: orgánicos que pueden pasar de un estado excitado a uno fundamental emitiendo un fotón [39] y minerales tales como algún tipo de tierra rara (europio, iridio, fósforo) que producen dermatitis y cáncer [14, 20], estos materiales generalmente han sido utilizados en textiles para discotecas, etiquetas, equipos de protección personal, y hasta alfombras con indicaciones luminosas para guiar a la gente en un apagón, el efecto obtenido se conoce como “glow in the dark” [40]. La óptico-luminiscencia es el efecto típico que se encuentra en fibras ópticas aplicadas a la creación de pantallas, estos materiales electroluminiscentes son compuestos orgánicos moleculares o poliméricos y materiales minerales [41].

Existen dos formas de desarrollar tejidos conductores eléctricos y/o térmicos, mediante el uso de metales y polímeros, aplicados en forma de pigmentos y pastas de estampados con un alto contenido metálico [42] y la segunda forma en el uso directo de hilos conductores constituido de una base tradicional de algodón, lana poliéster, etc. y un alma de metal como la plata y el cobre o de polímero conductor como poliotofeno, las polianilinas, el poliacetileno y sus derivados [43]. Los materiales conductores se utilizan en prendas textiles para protección electromagnética y antiestática [44]. Otro tipo de fibras incluidas en este grupo, son las fibras de carbono, permite medir la capacidad de sensibilidad a la presión, en fuerza y en tiempo [45]. Hay otros usos de los materiales conductores como prendas para generar calor [46] o como antenas para recibir ondas electromagnéticas o como fuente de dispositivos electrónicos [47].

La investigación multidisciplinar entre químicos, físicos y textileros, condujo al desarrollo de la tecnología de punta del laminado mediante membranas microporosas o hidrofílicas que están constituidas de bio-polímeros generalmente de origen celulósico o sintético como el polifluorocarbono (afecciones SNC, cáncer, etc.) [14] o poliuretanos y sus derivados [48]. Los principales usos son en ropa de deporte, que por un lado son transpirables y por el otro impermeable. Otro uso es el “efecto flor de loto” que produce un resultado ultra hidrofóbico que repele los productos acuosos u oleicos [49]. Otras características son la ropa autolimpiadora y la membrana indestructible Texflex de INVENTA Umwelt [50].

El otro campo de la investigación y el desarrollo de textiles inteligentes es la integración de la electrónica miniaturizada en el sustrato textil, como sensores y microchips (riesgos de aborto) [51] que detectan y analizan estímulos proporcionando una respuesta. Se han hecho desarrollos esencialmente en ropas para soldados, seguridad y para el área médica [52]. Los esfuerzos científicos y las fases de desarrollo de los textiles inteligentes están interesando al usuario y se presentan como el futuro de la industria textil.

23.5. Resumen de las posibles enfermedades que puede contraer el trabajador textil

La industria textil utiliza una gran cantidad de sustancias y compuestos químicos, los mismos que pueden asociarse a la generación de muchas intoxicaciones profesionales, las que pueden ser agrupadas considerando el proceso productivo, la magnitud del riesgo y su incidencia en el apareamiento de la enfermedad, logrando de esta manera sintetizar las más incidentes en los distintos procesos productivos textiles.

23.6. Conclusiones

Si bien es cierto, el contacto con los productos químicos generan intoxicaciones y enfermedades profesionales, las mismas pueden ser evitadas utilizando los principios de higiene, seguridad y salud ocupacionales, que gestionados adecuadamente, en lo posible eliminando y aislando el riesgo y protegiendo a los trabajadores expuestos, se desarrollará la actividad en forma segura. Las fichas internacionales de seguridad, son una herramienta importante para conocer los peligros asociados a la utilización de tóxicos y como protegernos, por lo que se debería por lo menos inventariar los químicos utilizados en los procesos productivos y elaborar carpetas con éstas fichas y capacitar a los trabajadores en el uso de la información y la utilización de las medidas preventivas allí expresadas, para garantizar la prevención adecuada de las enfermedades profesionales.

Tabla 23.1: Resumen del riesgo químico en la industria textil

Producción de fibras vegetales			
Material	Lesión	Sustancia	TLV
Polvos y Fibrillas	Bisinosis, Neumoconiosis	Polvo de algodón	0,2 mg/m ³
Plaguicidas, insecticidas y abonos	Depresión respiratoria, Polineuropatías, cirrosis, carcinoma	Órgano clorados, fosforados, arsénico	Arsénico: 2ug/m ³ Parathión 0,05 mg/m ³
Detergentes y álcalis	Afección cutánea alérgica e irritativa	Hidróxido de sodio y potasio	NaOH: 2mg/m ³
Producción de fibras animales			
Material	Lesión	Sustancia	TLV
Hongos, bacterias y parásitos	Enfermedades infecciosas y parasitarias	Onicomiosis, brucelosis, leishmaniasis, etc.	
Detergentes y álcalis	Afección cutánea alérgica e irritativa	Hidróxido de sodio y potasio	NaOH: 2mg/m ³
Polvos y fibrillas	Neumonitis por hipersensibilidad (pulmón de granjero)	Proteínas séricas de animales, bacterias termófilas, hongos	
Plaguicidas, insecticidas	Depresión respiratoria, Polineuropatías, cirrosis, carcinoma	Órgano clorados, fosforados, arsénico	Arsénico: 2ug/m ³ Parathión 0,05 mg/m ³
Fabricación de fibras minerales			
Material	Lesión	Sustancia	TLV
Fibra mineral	Asbestosis, adenocarcinoma mesoteliomas	Asbesto o amianto	0,1 fibras/cm ³
Metales	Neumoconiosis, alveolitis	Platino, cromo	Pt: 1mg/m ³ Cr: 0,5 mg/m ³

Fabricación de fibras sintéticas			
Material	Lesión	Sustancia	TLV
Solventes orgánicos	Lesión hepatocelular aguda, cáncer, dermatitis, rinitis	Dimetil-formamida, fenoles, aminas, tetracloro etano.	Dimetilformamida: 10 ppm. Tetracloro etano: 1 ppm.
Monómeros	Cáncer, angiosarcoma	Acrilonitrilo	Acrilonitrilo: 1 ppm.
Lubricantes, anti-tiéstáticos, suavizantes, coherentes, etc.	Dermatitis irritativa y alérgica	Ácidos grasos, siliconas	Silicón: 10 mg/m ³
Fabricación de fibras regeneradas			
Material	Lesión	Sustancia	TLV
Solventes orgánicos	Polineuropatías: Psicosis, depresión, dermatitis	Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono: 2 ppm
Aditivos	Dermatitis, rinitis	Ácidos, álcalis	Ácido sulfúrico: 1mg/m ³
Procesos de hilatura			
Material	Lesión	Sustancia	TLV
Polvos y fibrillas	Bisinosis, neumoconiosis	Polvo de algodón	0,2mg/m ³
Lubricantes, anti-estáticos, coherentes	Ácido graso, siliconas, parafinas	Dermatitis irritativa, alérgica	Silicón: 10mg/m ³
Otros	Hipoacusia	Ruido mayor a 85 dB(A)	85 dB(A) para 8 horas
Procesos de tintorería			
Material	Lesión	Sustancia	TLV
Solventes y carriers	Cancerígenos, irritativos y neurotóxicos	Derivados del benceno y otros solventes	Benceno: 0,1ppm
Oxidantes	Cirrosis, irritaciones respiratorias, cutáneas, oculares, fibrosis edema pulmonar	Agua oxigenada, ozono, cloro y derivados	Ozono: 0,1ppm Cloro gaseoso: 0,5ppm
Reductores	Irritaciones: rinitis, dermatitis, nasofaringitis, bronquitis	Sulfuro de sodio, hidróxido de sodio, etc.	Dióxido de azufre: 2ppm.
Ácidos y álcalis	Irritaciones: rinitis alérgica e irritativa, dermatitis, etc.	Ácido acético, sulfúrico, clorhídrico, etc. hidróxido de sodio, carbonato de sodio, etc	Ácido acético: 0,3ppm. Ácido Clorhídrico: 7mg/m ³
Colorantes	Cancerígenos: cáncer de vejiga, otros. Sensibilizantes	Azoicos, al cromo y otros.	Anilina: 2ppm
Sales	Sensibilizantes, dermatitis	Sales de cromo, de sodio, de cobre, etc.	Cromo hexavalente: 0,1ug/m ³
Blanqueadores ópticos	Irritaciones cutáneas	estilbeno	
Calor	Golpe de calor, síncope por calor, etc.	Calor en calderas, etc. (alto índice TGBH)	

Procesos de tejeduría

Material	Lesión	Sustancia	TLV
Enzimajes	Dermatitis irritativa y alérgica	Suavizantes, parafina, glicerina, etc.	Silicón: 10mg/m ³
Encolantes	Dermatitis irritativa y alérgica	Almidones, poliacrilatos, carboximetil celulosa, etc.	
Polvos y fibrillas	Bisinosis, neumoconiosis	Polvo de algodón	0,2 mg/m ³
Otros	Hipoacusia	Ruido mayor a 85 dB(A)	85 dB(A) para 8 horas

Proceso de acabado textil

Material	Lesión	Sustancia	TLV
Monómeros residuales	Cancerígenos sensibilizantes	Fenol, Acrilonitrilo, ácido cianhídrico, etc.	Acrilonitrilo: 1ppm.
Resinas reactantes-reticulantes, Productos de acabado ignífugo, biocida, etc.	Cancerígeno, sensibilizante Alérgeno, neurotóxico, irritante	Formaldehido, ignífugantes, antimicrobianos	Formaldehido: 0,3ppm.
Suavizantes, anti-estáticos	Sensibilizante, irritante	Ácidos grasos, siliconas	Silicón: 10mg/m ³

Procesos de confección

Material	Lesión	Sustancia	TLV
Acabado inarrugable	Cancerígeno, sensibilizante Alérgeno, neurotóxico, irritante	Formaldehido, ignífugantes, antimicrobianos	Formaldehido: 0,3ppm.

Textiles inteligentes

Material	Lesión	Sustancia	TLV
Regulaciones térmicas	Edema pulmonar, pulmonía	Parafina	Parafina: 2mg/m ³
Memoria de forma	Cancerígenos sensibilizantes	Polímeros electroactivos, estireno, butadieno. (monómeros)	Estireno: 20ppm como TWA. 40ppm como STEL
Memoria de forma	Alergias, rinitis, cáncer de las cavidades nasales y pulmón	níquel - titanio	Níquel: 1,5mg/m ³ como TWA.
Memoria de forma	Lesiones hepáticas. Afección sistema nervioso central, riñones, huesos, ojos, dermatitis.	Cobre - zinc.	Cobre: 1mg/m ³ polvo y nieblas.
Cambios de color	Cáncer de vejiga, leucemia	Colorantes: anilina Solventes orgánicos	Anilina: 2ppm
Luminiscentes y fosforescentes	Dermatitis, cánceres	Europio, iridio, fósforo	Fósforo: 0,02 ppm como TWA
Tejidos conductores	Cancerígenos, sensibilizantes	Poliotofeno, polianilinas, poliacetileno Plata-cobre	
Laminado	Afección: Sistema Nervioso Central, cáncer	Polifluorocarbono, poliuretanos (monómeros)	
microelectrónica	Riesgos de aborto	silicio	Silicio; cuarzo: 0,05 mg/m ³ como TWA.

Referencias

1. Puente M.. Higiene y seguridad en la industria textil <http://www.artisam.org/descargas/pdf/HIGIENE%20Y%20SEGURIDAD%20EN%20EL%20TRABAJO.pdf>. 2001
2. Tarlo SM. Occupational lung disease. In: Goldman L, Schafer AI, eds. Goldman's Cecil Medicine. 25th ed. Philadelphia, PA: Elsevier Saunders; 2016:chap 93.
3. D. J. Vobecky J, Risk of largebowel cancer in sintetic fiber manufacture. vol. Cancer 54: 2537 - 2542, 1984.
4. D. R. Siemiatycki J, Occupational risk factors for bladder cancer, Am J Epidemiol, pp. 81: 1472 - 1480, 1994.
5. Perret P, Cecilia, Maggi C, Leonardo, Pavletic B, Carlos, Vergara F, Rodrigo, Abarca V, Katia, Dabanch P, Jeannette, González C, Cecilia, Olivares C, Roberto, & Rodríguez T, Jaime. (2001). Ántrax (Carbunco). Revista chilena de infectología, 18(4), 291-299. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182001000400008>.
6. P. Stenton. (2008). http://www.smartextiles.co.uk/_wearcomp.htm.
7. Cortazar-Martínez A, González-Ramírez CA, Coronel-Olivares C, Escalante-Lozada JA, Castro-Rosas J, Villagómez-Ibarra JR. Biotecnología aplicada a la degradación de colorantes de la industria textil. Universidad y ciencia [revista en la Internet]. 2012 Ago [citado 2017 Ene 24] ; 28(2): 187-199. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792012000200009&lng=es.
8. CALLISAYA VILLARROEL, Fabiola Marlen. RIESGOS DE LA NANOTECNOLOGIA. RITS, La Paz, n. 5, nov. 2010 . Disponible en <http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1997-40442010000200026&lng=es&nrm=iso>. accedido en 24 enero 2017.
9. Calera Rubio, Alfonso A.; Roel Valdés, José María; Casal Lareo, Amparo; Gadea Merino, Rafael; Rodrigo Cencillo, Fernando Riesgo químico laboral: elementos para un diagnóstico en España Revista Española de Salud Pública, vol. 79, núm. 2, marzo-abril, 2005, pp. 283-295 Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad Madrid, EspañaM.
10. E. S. Dusan Djuric, "Toxicología, in Salud y seguridad en el trabajo, ed. Ginebra, 1998.
11. K. y. Yassi, Riesgos ambientales para la salud, in Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, OIT, Ed., ed. Ginebra, 1998.
12. M. Myers, Agricultura y sectores basados en recursos naturales, in Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo vol. 64, OIT, Ed., ed. Ginebra, 1998.
13. del Puerto Rodríguez, Asela M, Suárez Tamayo, Susana, & Palacio Estrada, Daniel E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 52(3), 372-387. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010&lng=es&tlng=es.
14. INSHT.. Fichas Internacionales de Seguridad Química. 2016
15. Daniel G. Fernández A. Md.1*, Liliana C. Mancipe G. Md.2 y Diana C. Fernández A. Md.3. Intoxicación por organofosforados. 2010. <http://www.scielo.org.co/pdf/med/v18n1/v18n1a09.pdf>
16. M. L. Myers, "Ganadería y cría de animales, in Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo, OIT, Ed., ed, 1998.
17. I. Wingate, Biblioteca de los géneros textiles y su selección México, 1987.8]
18. N. Hollen, Manual de los textiles. México, 1990.
19. D. O. Jeanne Mager, Pia Markkanen, "Guía de Productos químicos, in Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, OIT, Ed., ed. Ginebra, 1998.
20. Olvera-Gracia, Manuel, Aguilar-Hernández, Jorge Ricardo, & Kryshab, Tetyana. (2013). Procesamiento de micro y nanofibras de polipirrol/óxido de polietileno/nylon-6 por la técnica de electrohilado. Ingeniería, investigación y tecnología, 14(4), 575-581. Recuperado en 24 de enero de 2017, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432013000400010&lng=es&tlng=es.
21. Veiga-Álvarez, Álvaro, Sánchez-de-Alcázar, Daniel, Martínez-Negro, María, Barbu, Ana, González-Díaz, Juan B., & Maquea-Blasco, Jerónimo. (2015). Riesgos para la salud y recomendaciones en el manejo de nanopartículas en entornos laborales. Medicina y Seguridad del Trabajo, 61(239), 143-161. <https://dx.doi.org/10.4321/S0465-546X2015000200002>
22. R. Zeidler, "Los productos BASF para el acabado de textiles," BASF, Ed., ed Alemania, 1994.
23. N. G. Wolf Dieter Kermer, Günter Schmidt, "La caracterización de los artículos textiles bajo aspectos ecológicos y toxicológicos," BASF, 1998.
24. R. P. Robin Herbert, Confección y productos textiles acabados, in Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, OIT, Ed., ed. Ginebra, 1998.]

25. M. Singh. (2004). Pakistan Textile Journal, available on line, <http://www.ptj.com.pk/Web%202004/08-2004/Smart%20Textiles.html>.
26. URIBE VALENZUELA, Carmen et al . Funcionalización de textiles de algodón con nanopartículas de ZnO2. Rev. Soc. Quím. Perú, Lima, v. 82, n. 2, abr. 2016 . Disponible en <http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000200012&lng=es&nrm=iso>.
27. J. T. W. Bendkowska, L. Grabowski, Clothing Science and Technology, 2005, 17 (3-4), 209-214., 2005.
28. S. K. A. Lendlein, Angew, Chem. Int. Ed., 2002, 41, 2034-2057., 2002.
29. J. V. W. M. Igharo "Powder Metallurgy, 1985, 28 (3), 131-139," 1985.
30. G. B. F. Boussu, J. L. Petinot, H. Vinchon, .AUTEX Reserach Journal, 2002, 2 (1), 1-6.," 2002.
31. E. S. F. R. D. Arthur, ÜS Patent 631278."
32. Y. Bar-Cohen, "Proceeding of the SPIE Smart Structures and Materials Symposium, 2002, Paper N° 4695-02.," 2002.
33. R. J. S. R. V. Gregory, T. Hanks, "National Textile Center Annual Report (USA), 2001, M98 C01.," 2001.
34. P. Bamfield, Chromic Phenomena: Technological Application of Colour Chemistry,, 2002.
35. Quintili, Mario. (2012). Nanociencia y Nanotecnología... un mundo pequeño. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, (42), 125-155. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-35232012000400010&lng=es&tlng=es.
36. C. M. Lampert, Glas Science and Technology, 2002, 75, 244-252., 2002.
37. S. N. B. J. Oakes, S. Dixon, Coloration Technolog., 2005, 121 (5), 237-244., 2005.
38. B. M. K. B. M. Bolotin, Organic Luminescent Materials, Weinheim NY, VCH, 2002., 2002.
39. J. R. Lakowicz, Principle of Fluorescence Spectroscopy, second edition, Kulwer Acad., 1983., 1983.
40. J. F. V. S. P. Gravisse, ÜS Patent 4211813.."
41. M. Givoletti, İnternational Patent WO 02/12785.."
42. V. M. K. Martin, B. Bramberger, , ÜS Patent 2006027552.."
43. M. Angelopoulos, İBM J. Res. & Dev., 2001, 45(1), 57-75.," 2001.
44. W. P. . Dietzel , G. Nocke, P. Offermann, F. Hollstein, J. Meinhardt "Surface & Coating Technology, 2000, 135 (1), 75-81. ," 2000.
45. D. d. R. A. Mazzoldi, F. Lorussi, E. S. Scilingo, R. Paradiso, .Autex research Journal, 2002, 2 (4), 199-203.," 2002.
46. E. W. A. R. Deangelis, ÜS Patent 2003208851.."
47. S. Baurley, "Pers Ubiquit Comput, 2004, 8, 274-281.," 2004.
48. G. M. S. Brzezinski, T. Nowak, H. Schmidt, D. Marcinkowska, A. Kaleta,, "Fibres and Textiles in Eastern Europe, 2005, 13(6), 53-58.," 2005.
49. C. N. W. Barthlott, "Tekstil, 2001, 50(9), 461-465.," 2001.
50. W. t. A. o. invent. http://www.invent-uv.de/pages/unternehmen/p_ziele_1.html
51. M. E. Williams, "Microelectrónica y semiconductores,in Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo, OIT, Ed., ed. Ginebra, 1998.
52. R. Czajka, "Fibres & Textiles in Eastern Europe, 2005, 13(1), 13-15.," 2005.

Capítulo 24

CAUSAS QUE DIFICULTAN EL USO DE PLATAFORMAS BUSINESS INTELLIGENCE EN PROCESOS DE ACREDITACIÓN UNIVERSITARIA

GUEVARA C.,¹ IMBAQUINGO D.,¹ ORTEGA C.,¹ PUSDÁ M.,¹ PINEDA J.² Y GRANDA P.

¹ Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

² Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico, Universidad Técnica del Norte, Ecuador

Resumen: El proceso de acreditación universitaria, permite asegurar la calidad y el mejoramiento continuo de los procesos internos académicos. La Universidad Técnica del Norte dispone de una extensa información la cual se encuentra automatizada en el sistema informático integrado y parte de esta procesada en la plataforma de business intelligence. El objetivo de esta investigación es identificar las principales causas que dificultan el uso de la plataforma de business intelligence en la UTN, que permita el establecimiento de estrategias para mejorar el proceso de acreditación institucional. Para esto, se realizó dos encuestas la primera fue analizada con la ley 20/80 de Pareto y el análisis estadístico de la segunda con el software Statgraphics. Como conclusión importante, se logra identificar dos causas con frecuencia alta que su solución permite mejorar la eficiencia en un 80.

Palabras Claves: Business intelligence, statgraphics, pareto, análisis de datos, software.

24.1. Introducción

El proceso de acreditación en las Instituciones de Educación Superior (IES) en el Ecuador se realiza bajo un enfoque que contempla tres aspectos: evaluación, acreditación y categorización institucional, los cuales están normados por los organismos de control en este caso el Consejo de Educación Superior (CES) y el Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la Calidad en la Educación Superior (CEAACES). Desde abril del 2012 se inicia al proceso de evaluación de las universidades y escuelas politécnicas en varias etapas: evaluación documental, visita in situ, informe preliminar, fase de rectificaciones, fase de apelaciones y audiencias públicas [1]. En noviembre del 2013 y conforme al artículo 97 de la Ley Orgánica de Educación Superior (LOES) que indica, “La clasificación académica o categorización de las instituciones, carreras y programas será el resultado de la evaluación. Hará referencia a un ordenamiento de las instituciones, carreras y programas de acuerdo a una metodología que incluya criterios y objetivos medibles y reproducibles de carácter internacional” [2]; por lo que en la actualidad las univer-

sidades deben cumplir con la exigencia de indicadores de calidad bajo cuatro ejes: gestión, investigación, docencia y vinculación.

En el proceso de acreditación institucional en la Universidad Técnica del Norte (UTN), es necesario contar con información actualizada, específica que permita obtener reportes precisos que reflejen el camino y objetivos que la institución ha alcanzado en uno de sus ejes principales que es la docencia.

En la actualidad, el mantener una institución correctamente alineada a sus objetivos y las estrategias para alcanzarlos, es vital contar con datos reales y precisos que permitan a las autoridades una toma de decisiones acertada, que conlleven a cumplir con las exigencias de los organismos de control para una acreditación institucional.

Normalmente se obtienen informes generados sin un análisis profundo que verdaderamente plasmen la realidad de la universidad, el cual no se profundiza debido al gran volumen de información académica existente que no se encuentra concentrada y en ciertos casos redundante e inconsistente. Esto permite obtener informes diferentes sobre el mismo tema, dependiendo de la unidad que lo crea y del criterio de la persona que lo realiza [3].

Este tipo de inconsistencias es la problemática que la institución enfrenta y que no permite llevar un buen proceso de acreditación, al igual que una acertada toma de decisiones para fortalecer el grado de competitividad institucional.

La administración del conocimiento es una disciplina que articula personas y procesos, en donde los datos combinado con la información permite vincular al conocimiento en entendimiento, para finalizar con la sabiduría en donde se conjuga una retroalimentación y mejora continua en la transformación de los procesos organizacionales [4].

A inicios de los años 90 las empresas empiezan a desarrollar aplicaciones informáticas que permitan gestionar grandes cantidades de datos e información proveniente de varios entornos, lo cual permitió fortalecer el análisis de información histórica para que las empresas mejoren su toma de decisiones. En este contexto las soluciones informáticas como las de inteligencia de negocios, permiten obtener información casi de manera inmediata, mejorando la gestión administrativa y docente en el ámbito académico [5].

La inteligencia de negocios o business intelligence (BI) se define como un concepto que integra el almacenamiento y el procesamiento de grandes cantidades de datos, con el principal objetivo de transformarlos en conocimiento para consecuentemente tomar decisiones acertadas, a través del análisis de datos [6].

Según Howard Dresner (1990), vicepresidente de la empresa Gartner y padre del término, el BI viene evolucionando de manera progresiva a medida que su factibilidad posibilita a las organizaciones realizar una serie de análisis y proyecciones, para agilizar los procesos relacionados a la toma de decisiones [7].

En el ámbito académico esta táctica significa proporcionar a profesores y directivos sistemas que apoyen la toma de decisiones en su actividad docente [8]. La universidad en la actualidad es tratada como una organización con una importante responsabilidad social, en ella se genera y trasmite gran parte del conocimiento que da lugar al desarrollo de una sociedad. Para cubrir este propósito de formación los actores principales: docentes y estudiantes se involucran en un accionar de enseñanza – aprendizaje, capaces de generar amplio conocimiento, como indican Guitart y Conesa (2014) “Hoy en día, los principales objetivos de los gestores de las universidades son mejorar el rendimiento de la gestión interna (disminuyendo gastos y optimizando procesos) e incrementar la calidad docente e investigadora de la universidad. Los gestores universitarios también necesitan sistemas analíticos para conocer de forma fiable que ha sucedido, está sucediendo o puede suceder en la universidad. Estas preguntas pueden hacerse a distinto nivel de granularidad: a nivel global de la universidad, en un departamento, en un programa de formación, en una asignatura (o conjunto de ellas) o en sus estudiantes”.

Puesto que los datos constituyen un recurso ya adquirido, disponible y en constante crecimiento, parece razonable plantearse si se está haciendo una explotación eficaz de ellos, y si cabe un retorno mayor de la inversión permanente que supone su adquisición y almacenamiento, el reto es crear un contexto cultural, organizativo y tecnológico que haga posible y potencie esta actividad a todos los niveles. Las instituciones académicas que sean capaces de analizar su realidad con mayor agilidad y profundidad, de tomar decisiones fundamentadas en el conocimiento empírico obtenido a través del análisis permanente, y de medir el impacto real de esas decisiones, estarán en una situación de clara ventaja [9].

Estudios realizados en la Universidad Federal do Pampa (UNIPAMPA), se utilizaron técnicas de BI para optimizar el proceso de toma de decisiones, como resultado del estudio se realizó una aplicación que dispone un conjunto de tecnologías y servicios que posibilitan un entorno favorable al desenvolvimiento dinámico de la gestión académica universitaria [10]

En la Universidad de Tarapacá (UTA), Arica – Chile, se utilizó la metodología Kimball mediante herramientas de procesamiento analítico (OLAP) y procesos de extracción, transformación y carga (ELT), para la implementación de un datamart en el área de admisión y matrículas del Vicerrectorado Académico, el mismo genera dashboards e integra la plataforma de inteligencia de negocios [11].

En las IES del Ecuador existe mínimas soluciones de BI, para la obtención de información académica que mejore el proceso de acreditación institucional, según las exigencias de los organismos de control. A nivel internacional se ha encontrado estudios sobre el uso de las tecnologías de BI, para el apoyo a la toma de decisiones en las actividades docentes, como indica el artículo “La inteligencia de negocio como apoyo a la toma de decisiones en el ámbito académico” publicado en la revista GECONTEC: Revista Internacional de Gestión del Conocimiento y la Tecnología [12].

El propósito de esta investigación es identificar las principales causas que dificultan el uso adecuado de la plataforma de business intelligence en la UTN, que permita el establecimiento de estrategias para mejorar el proceso de acreditación institucional. introduction of the paper should explain the nature of the problem, previous work, purpose, and the contribution of the paper. The contents of each section may be provided to understand easily about the paper.

24.2. Materiales y Métodos

Se aplicó dos encuestas, la primera a una población objeto de estudio de 25 expertos en BI, con el objetivo de determinar las principales causas que dificultan el uso de la plataforma de business intelligence en la UTN, seguido de un análisis de Pareto, que nos permita aplicar la ley 20/80. Esta ley demuestra que el 20 % del esfuerzo genera el 80 % de los resultados. Es una herramienta de calidad y plantea: “En cualquier negocio o industria pocos elementos son vitales, mientras que la gran mayoría no lo son” [13].

La segunda encuesta se aplicó a una población objeto de estudio de 830 profesionales de la UTN relacionadas con el proceso de acreditación institucional, se realizó un muestreo aleatorio simple, tanto el cálculo de la muestra representativa con el 95 % de nivel de confianza, un intervalo de confianza de 5 y el análisis estadístico se realizó con el software Statgraphics [14], se calculó una muestra representativa de 263 personas. El formulario de encuesta se aplicó a través de correo electrónico y el cuestionario se diseñó por consulta de expertos en el tema de acreditación y aseguramiento de la calidad en la educación superior y de la plataforma de business intelligence, tomando en cuenta los siguientes aspectos: El diseño de la encuesta fue realizado con la herramienta en línea Google Forms, la cual permitió automatizar la tabulación de los resultados [15]. Se aplicó la encuesta en un tiempo de tres días, solo se consideró las encuestas que fueron llenadas completamente y se verificó que el encuestado haya llenado la encuesta a través de la herramienta Google Forms.

Para definir la población finita, es decir cuando se conoce el total de la población, la muestra poblacional se calcula a través de la ecuación 1.

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times (1 - p)}{(N - 1) e^2 + Z^2 \times p \times (1 - p)} \quad (24.1)$$

Donde:

N = Total de la población

Z = 1.96 al cuadrado (si la confianza es del 95 %)

p = proporción esperada (en este caso 50 % = 0.5)

q = 1 - p (en este caso 1-0.5 = 0.5)

e = precisión (en este caso 5 % = 0.05)

24.3. Resultados

En la tabla 24.1, se presenta los resultados consolidados de la encuesta aplicada al grupo de especialistas de BI, como se observa: la manera que se obtiene la información para los reportes de indicadores académicos de acreditación de la UTN y las dificultades que se encuentra en el proceso de entrega de reportes de indicadores de acreditación son las causas de mayor frecuencia.

Tabla 24.1: Causas que dificultan el uso de la plataforma de business intelligence en la UTN.

Causa	Frecuencia
Indique los problemas que se presentan en la recopilación de información para la evaluación de los indicadores académicos de acreditación de la UTN.	2
Indique la manera que se obtiene la información para los reportes de indicadores académicos de acreditación de la UTN.	6
Con qué herramientas tecnológicas cuenta para generar informes estadísticos de los indicadores académicos de acreditación de la UTN.	1
En que escala de tiempo se realiza la entrega de reportes de los indicadores académicos de acreditación de la UTN.	1
Para la presentación de reportes de los indicadores académicos de acreditación de la UTN, se requiere de:	1
Para la presentación de reportes de los indicadores académicos de acreditación de la UTN, cuanto tiempo requiere para su generación.	1
Conoce Ud. si la UTN cuenta con una plataforma informática para la generación de reportes académicos de acreditación.	1
Estaría dispuesto a utilizar la plataforma informática UTN, para reportes de académicos de acreditación.	1
En qué nivel cree ud. que una plataforma informática ayudaría a la generación de reportes de indicadores académicas de acreditación.	1
Indique las dificultades que encuentra en el proceso de entrega de reportes de indicadores de acreditación de la UTN.	6
En qué nivel la plataforma informática de business intelligence, permite obtener reportes para el cumplimiento de los indicadores académicos requeridos por el CEAACES:	2
En qué nivel de capacitación cree ud. se encuentra el personal asignado a la administración de la plataforma business intelligence de la UTN.	1
En qué porcentaje la información de la plataforma de business intelligence de la UTN es utilizada para la obtención de indicadores de acreditación.	1

En la tabla 24.2, se presenta los 13 recuentos declarados en Frecuencia para Factores de Eficiencia BI. Las clases se ordenan de acuerdo con los recuentos, poniendo primero la clase con mayor frecuencia de ocurrencia. La clase más alta es Entrega de reportes con un recuento de 6, el cual representa 24,0 % del total.

Tabla 24.2: Pareto con Frecuencias Acumuladas.

Etiqueta de Clase				Puntaje		Porcentaje	
	Rango	Recuento	Ponderación	Ponderado	Acum	Porcentaje	Acum
Entrega de reportes	1	6	1	6	6	24,00	24,00
Forma de obtener información	2	6	1	6	12	24,00	48,00
Efectividad de la plataforma reportes	3	2	1	2	14	8,00	56,00
Recopilación información	4	2	1	2	16	8,00	64,00
Uso de plataforma	5	1	1	1	17	4,00	68,00
Capacitación personal	6	1	1	1	18	4,00	72,00
Efectividad de plataforma	7	1	1	1	19	4,00	76,00
Disposición uso de plataforma	8	1	1	1	20	4,00	80,00
Conoce existe plataforma UTN	9	1	1	1	21	4,00	84,00
Tiempo generación reporte	10	1	1	1	22	4,00	88,00
Presentación de reportes	11	1	1	1	23	4,00	92,00
Tiempo entrega reportes	12	1	1	1	24	4,00	96,00
Herramientas para informes	13	1	1	1	25	4,00	100,00
Total		25		25			

24.3.1. Análisis de Pareto

En la figura 24.1, se presenta el análisis de Pareto, éste procedimiento ejecuta un análisis de Pareto a un conjunto de datos tabulados o sin tabular. El análisis de Pareto intenta resaltar los valores de datos

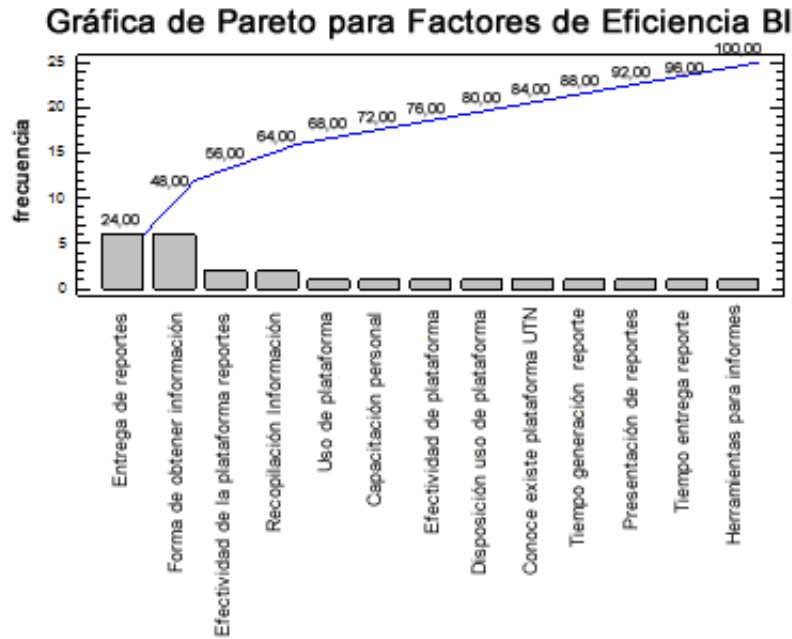


Figura 24.1: Diagrama de Pareto para Factores de Eficiencia BI

que se presentan con mayor frecuencia. Construye una tabla de frecuencias y una gráfica de barras. Como se observa tanto la recolección de información como la entrega de reportes representan las causas más importantes que su solución permite mejorar la eficiencia en un 80 %.

En la tabla 24.3, se presenta la matriz de resultados de la encuesta realizada a una muestra representativa de 263 personas, relacionadas con la eficiencia del proceso business intelligence (BI) en la UTN.

La tabla 24.4, muestra los 5 recuentos declarados en la manera de obtener los reportes. Las clases se ordenan de acuerdo con los recuentos, poniendo primero la clase con mayor frecuencia de ocurrencia. La clase más alta es Hojas de cálculo con un recuento de 135, el cual representa 51,3308 % del total.

En la figura 24.2, se presenta el análisis de Pareto para manera de obtener los reportes, como se observa las dos formas de mayor peso representan el uso de hojas de cálculo y los sistemas integrados de la UTN con un acumulado total de 87,83 %.

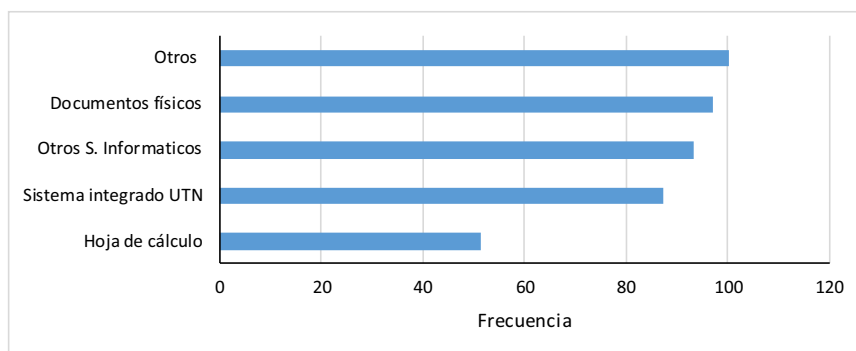


Figura 24.2: Grafica de Pareto para manera de obtener reportes.

En la tabla 24.5, se muestra los 4 recuentos declarados sobre la dificultad para la entrega de reportes. Las clases se ordenan de acuerdo con los recuentos, poniendo primero la clase con mayor frecuencia de ocurrencia. La clase más alta es Información desactualizada con un recuento de 74, el cual representa 28,1369 % del total.

Tabla 24.3: Causas que dificultan el uso adecuado de la plataforma de business intelligence en la UTN.

1. Indique los problemas que se presentan en la recopilación de información para la evaluación de los indicadores académicos de acreditación de la UTN.	Escasa información	Información retrasada	Desorganización de la información	Escaso uso del sistema informático para obtener información	Todas las anteriores	
	47	37	99	55	25	263
2. Indique la manera que se obtiene la información para los reportes de indicadores académicos de acreditación de la UTN.	Sistema integrado de la UTN	Hojas de cálculo	Otros sistemas informáticos	Documentos físicos	otros	
	96	135	14	10	8	263
3. Con qué herramientas tecnológicas cuenta para generar informes estadísticos de los indicadores académicos de acreditación de la UTN.	Software para estadística	Microsoft Excel				
SPS	XLSTAT	Otros		19	234	2
3	5	263				
4. En que escala de tiempo se realiza la entrega de reportes de los indicadores académicos de acreditación de la UTN.	Antes de la fecha indicada	En la fecha indicada	Después de la fecha indicada			
	25	114	124			263
5. Para la presentación de reportes de los indicadores académicos de acreditación de la UTN, se requiere de:	Una comisión permanente de personas	No requiere personal adicional	Una comisión temporal de personas	Una comisión de Investigación		
	197	8	46	12		263
6. Para la presentación de reportes de los indicadores académicos de acreditación de la UTN, cuanto tiempo requiere para su generación.	horas	días	semanas	meses		
	10	53	103	97		263
7. Conoce Ud. si la UTN cuenta con una plataforma informática para la generación de reportes académicos de acreditación.	SI	NO				
	200	63				263
8. Estaría dispuesto a utilizar la plataforma informática UTN, para reportes de académicos de acreditación.	SI	NO				
	253	10				263
9. En qué nivel cree ud. que una plataforma informática ayudaría a la generación de reportes de indicadores académicos de acreditación.	ALTO	MEDIO	BAJO			
	187	59	17			263
10. Indique las dificultades que encuentra en el proceso de entrega de reportes de indicadores de acreditación de la UTN.	Información incompleta	Información desactualizada	Desorganización de la información	Falta de coordinación entre unidades departamentales	Todas las anteriores	
263	16	31	23	24	169	263
11. En qué nivel la plataforma informática de Business Intelligence, permite obtener reportes para el cumplimiento de los indicadores académicos requeridos por el CEAACES:	Excelente	Bueno	Medio	Regular	Malo	
263	82	90	55	27	9	263
12. En qué nivel de capacitación cree Ud. se encuentra el personal asignado a la administración de la plataforma Business Intelligence de la UTN.	Excelente	Bueno	Medio	Regular	Malo	
263	4	98	98	44	19	263
13. En qué porcentaje la información de la plataforma de Business Intelligence de la UTN es utilizada para la obtención de indicadores de acreditación.	100 %	50 %	25 %	0 %		
263	13	67	107	76		263

En la figura 24.3, se presenta la gráfica de Pareto sobre la dificultad en la entrega de reportes, como se observa el total de todas las causas representa la mayor dificultad identificada con un peso total de 64,26 %.

24.4. Discusión

La acreditación universitaria en el Ecuador y países de Latinoamérica se presenta con el objetivo de asegurar la calidad de la educación superior bajo estándares e indicadores que categorizan a las instituciones, por cuanto éstas utilizan estrategias para dar cumplimiento a dicho objetivo. Una de las

Tabla 24.4: Pareto con Frecuencias Acumuladas para manera de obtener los reportes.

Etiqueta de Clase	Rango	Recuento	Ponderación				
Puntaje Ponderado	Puntaje Acum.	Porcentaje	Porcentaje Acumulado				
Hojas de cálculo	1	135	1	135	135	51,33	51,33
Sistema integrado UTN	2	96	1	96	231	36,50	87,83
Otros Sistemas Informáticos	3	14	1	14	245	5,32	93,16
Documentos físicos	4	10	1	10	255	3,80	96,96
Otros	5	8	1	8	263	3,04	100,00
Total		263		263			

Tabla 24.5: Pareto con Frecuencias Acumuladas para la dificultad en la entrega de reportes

Etiquetas de Clase	Rango	Recuento	Ponderación				
Puntaje Ponderado	Puntaje Acumulado	Porcentaje	Porcentaje Acumulado				
Información desactualizada	1	74	1	74	74	28,14	28,14
Descoordinación departamental	2	66	1	66	140	25,10	53,23
Desorganización información	3	65	1	65	205	24,71	77,95
Información incompleta	4	58	1	58	263	22,05	100,00
Total		263		263			

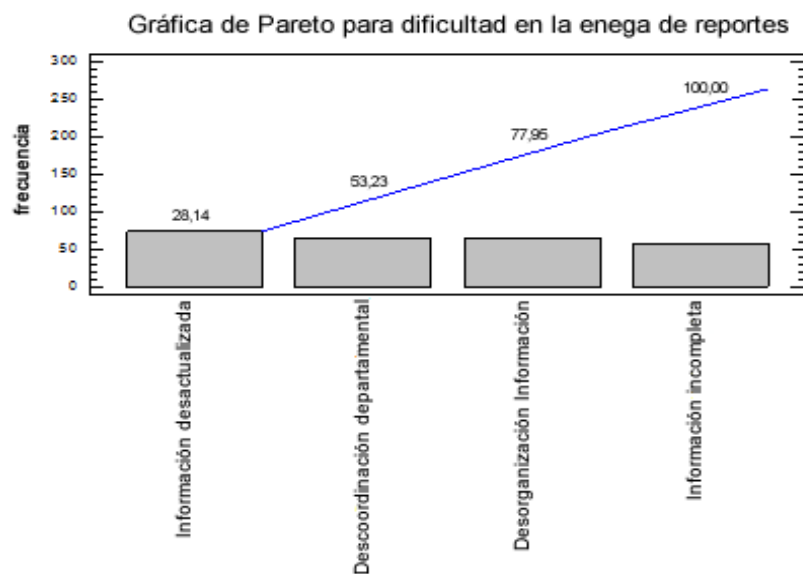


Figura 24.3: Diagrama de Pareto para Dificultad en la entrega de reportes

estrategias que se presenta con mayor importancia es la implementación de la inteligencia de negocios o business intelligence para acertar la toma de decisiones académicas, en este contexto varias universidades han realizado estudios sobre la eficiencia en su uso, una de ellas la Universidad de La Plata - Argentina, en su trabajo de investigación “Aplicando estrategias y tecnologías de Inteligencia de Negocio en sistemas de gestión académica”, se ha logrado analizar el perfil del estudiante de la Facultad de Informática, los planes de estudio y la actividad docente en relación al desenvolvimiento de las materias que dictan, permitiendo realizar acciones para resolver situaciones identificadas a partir de datos confiables provenientes de redes sociales y varios sistemas informáticos [5]. Por otra parte, Carlos Tórres en su artículo “Aplicación de Inteligencia de Negocios (BI y KPI) en la estrategia de permanencia estudiantil: caso Fundación Universitaria Católica del Norte (Colombia), concluye que se ha logrado mejores controles de organización

educativa, proporcionar herramientas para la supervisión, análisis y planeación de las operaciones propias de los diversos procesos estratégicos, misionales y de apoyo a través de indicadores de rendimiento, realizar análisis que ayuden a comprender mejor la realidad de la institución en relación con los planes de estudio mediante modelos analíticos, gráficos e informes, tener de forma integrada múltiples reportes, filtros y cuadros de mando con el propósito de permitirle a los directivos y usuarios funcionales, supervisar y analizar la institución en tiempo real y tomar decisiones ágiles y efectivas [3]. En este contexto, identificar las causas que afectan el uso adecuado de plataformas business intelligence en procesos de acreditación en la Universidad Técnica del Norte es indispensable para obtener resultados eficientes en indicadores de acreditación.

24.5. Conclusion

- Se identifica dos causas principales que dificultan el uso de plataformas business intelligence en la UTN: entrega de reportes y forma de obtener información.
- Para la causa: manera de obtener los reportes, el uso de hojas de cálculo y los sistemas integrados de la UTN acumulan un total de 87,83 %.
- Sobre la dificultad en la entrega de reportes, se observa el total de todas las causas que representa la mayor dificultad identificada con un peso total de 64,26 %.
- Se concluye que los datos obtenidos en este estudio logran identificar las causas que dificultan el uso de plataformas business intelligence en procesos de acreditación universitaria: Caso Universidad Técnica del Norte que su solución permite mejorar la eficiencia en un 80 %, lo cual aporta significativamente en el cumplimiento de los indicadores de acreditación institucional.

Referencias

1. CEAACES, "CEAACES - Consejo de Evaluación, Acreditación y Aseguramiento de la calidad en la Educación Superior," 2014. [Online]. Available: <http://www.ceaaces.gob.ec/sitio/evaluacion-institucional/>.
2. Oficial Registro Organo del Gobierno del Ecuador, "LEY ORGÁNICA DE EDUCACIÓN SUPERIOR," pp. 1–39, 2010.
3. C. Tórres, "Aplicación de Inteligencia de Negocios (BI y KPI) en la estrategia de permanencia estudiantil: caso Fundación Universitaria Católica del Norte (Colombia)," no. 47.
4. L. Calzada and J. Abreu, "El impacto de las herramientas de inteligencia de negocios en la toma de decisiones de los ejecutivos," *Int. J. Good Consience*, vol. 4, no. 2, p. 16–52; Creación:3 abril 2009; Recuperado:20 enero 20, 2009.
5. F. J. Díaz, M. A. Osorio, A. P. Amadeo, and D. L. Romero, "Aplicando estrategias y tecnologías de Inteligencia de Negocio en sistemas de gestión académica," pp. 225–229.
6. D. Bernabeu and M. García, "BI Usability: evolución y tendencia," *DataPrix*, Article, p. Creación:09 noviembre 2011; Recuperado:06 enero 201, 2011.
7. A. Cebotarean Elena, "Business intelligence," *J. Knowl. Manag. Econ. Inf. Technol.*, vol. 1, no. Creación: 01 junio 2011; Recuperado:15 enero 2015, p. 101, 2011.
8. I. Guitart and J. Conesa, "Uso de analítica para dar soporte a la toma de decisiones docentes," pp. 83–90, 2014.
9. O. de C. Universitaria, *Libro blanco La inteligencia institucional en universidades*. 2013.
10. A. Magela and R. Almeida, "ACADEMIC ANALYTICS: APLICANDO TÉCNICAS DE BUSINESS INTELLIGENCE SOBRE Palavras-Chave Palabras Clave," pp. 35–46.
11. L. F. Tapia and R. V. Pinto, "Incorporation of business intelligence elements in the admission and registration process of a Chilean University ," *Ingeniare*, vol. 18, no. 3, pp. 383–394, 2010.
12. Y. R. Dixson, "La inteligencia de negocio como apoyo a la toma de decisiones en el ámbito académico," vol. 3, no. 2, pp. 2013–2014, 2015.
13. M. Hernández, "LEY DE PARETO APLICADA A LA FIABILIDAD," 2008.
14. B. Calderón, "STATGRAPHICS PLUS - Aspectos esenciales," pp. 1–25, 2014.
15. Rebiun, "Ciencia 2.0: aplicación de la Web social a la investigación," *Cienc. 2.0*, p. 74, 201.

Capítulo 25

ESENCIALES DE LA ENTREGA JAPONESA DE LA PRODUCCIÓN EN MASA PERSONALIZABLE DE HOGARES CON BAJA ENERGÍA.

MASA NOGUCHI

University of Melbourne

25.1. Introducción: Evolución de la industria japonesa de casas prefabricadas.

La industria de viviendas prefabricadas en Japón ha dejado atrás exitosamente la desfavorable imagen de casas industrializadas predominante en las primeras etapas de la industria cuando la producción en masa de hogares era el factor clave en la creación de unidades monótonas, en forma de caja, que el público subsecuentemente consideró como de baja calidad. Más importante aún, los fabricantes japoneses han ligado sus métodos de producción con técnicas de mercadeo especialmente desarrolladas, o de comunicación, para hábilmente satisfacer las necesidades y demandas de vivienda locales. En el pasado, las fabricantes encontraron muchas dificultades incluyendo los estrictos códigos de construcción, autoridades de la construcción, uniones locales, bancos y, en particular prejuicios de los consumidores que limitaron la popularidad de la construcción industrializada de viviendas. Los fabricantes han superado aparentemente estas dificultades al desarrollar su propio enfoque de producción orientado a la calidad que se enfoca únicamente en responder a los requerimientos de los consumidores, deseos y expectativas para hogares de calidad, mientras la asequibilidad de los hogares era una consideración menos importante.

En 1955, Daiwa House Industry Co. Ltd. fue pionera construyendo la primera casa prefabricada en Japón llamándola "Pipe house" y luego la posteriormente conocida como Asociación Japonesa de construcción de hierro ligero calificó a la compañía de haber pavimentado la vía para la producción en masa de la unidad de vivienda práctica prefabricada de Japón llamada "Midget House" (casa de enanos) en 1959 (Fig.25.1).

Este éxito de comercialización estimuló tanto al gobierno como a la empresa privada a enfocarse principalmente en el mejoramiento de la productividad de las casas prefabricadas. En consecuencia,



Figura 25.1: Midget House: el origen de la producción en masa de las casas prefabricadas en Japón (Daiwa House Industry Co. Ltd. 2015)

durante los años 1960's y 1970s, debido a un enfoque de producción en masa simple para la entrega de la vivienda industrializada, el público llegó a asociar casas prefabricadas con baja calidad. En 1963, para mejorar la imagen pública de las casas prefabricadas, la Asociación de Constructores y Proveedores para Construcción de Prefabricadas en Japón (JPA) fue establecida por el Ministerio de la Construcción y el Ministerio de Comercio Internacional e Industria. En 1976, el gobierno propuso una competencia nacional llamada proyecto "Casa 55" para animar a los constructores de casas a mejorar la calidad de sus productos y para demostrar al público que las casas industrializadas no necesitaban ser de baja calidad (Sachett, 1986). Desde entonces, los constructores de casas japoneses han estado contribuyendo al continuo mejoramiento de la calidad de las casas prefabricadas a la luz del diseño y rendimiento, al tiempo que se adherían a estándares más altos que aquellos prescritos en las regulaciones para la construcción. Hoy en día, los fabricantes atienden a la demanda del mercado de viviendas de calidad con valor añadido.

En Japón, un total de 892,261 casas fueron construidas desde cero en 2014 y entre ellas, 140,501 casas, o un 15.7%, se estima que son prefabricadas (JPA 2015). La tasa de casas prefabricadas publicada incluye a todas las casas que fueron construidas usando postes y vigas, de paneles, y sistemas de casas modulares. En Japón, un sistema modular es normalmente llamado un "sistema de unidad" ya que una casa modular consiste de un número de módulos tridimensionales, o unidades, elaboradas en una fábrica previamente al ensamblado in situ (Noguchi 2011). Las unidades construidas en una fábrica incluyen no solo los armazones estructurales, pero también materiales de acabados interiores y exteriores, y facilidades de servicios; por ende, una sala, comedor, cocina, baño, entrada, guardarropa, escaleras, y bodega son todos instalados en las secciones de ensamblado (Fig.25.2).

El sistema de casas modulares justifica más del 80% de la integridad en fábrica de los componentes de construcción de viviendas. Después del ensamblado en fábrica, los módulos prefabricados son enviados en camiones, al sitio de construcción. De igual manera, el tamaño de cada unidad tiende a ser estandarizado basado en la capacidad de carga de los camiones de transporte, así como también con las regulaciones de tráfico locales aplicadas a la transportación. En el sitio de construcción, las secciones son apiladas para formar una casa modular de varios pisos (Fig. 25.3).

Actualmente, los constructores de casas japoneses todavía venden casas en masa, no obstante, la entrega está basada en su enfoque de producción orientado a la calidad que refleja su estrategia de mercadeo de "costo-rendimiento" (Noguchi 2003). Los constructores tienden a usar el dinero ahorrado gracias a la reducción de costos de producción a través de la producción en masa para equipar las casas con más características estándar; entonces, el precio de venta de sus nuevas casas no se reduce, mientras que la calidad de la casa incrementa drásticamente. Este enfoque puede ayudar a distinguir sus casas industrializadas de las convencionales en términos de calidad y rendimiento de las mismas. Hoy por hoy, los constructores han sido exitosos comercializando sus casas industrializadas que están equipadas con una variedad de características técnicas incluyendo tecnologías de energía renovable como sistemas de



Figura 25.2: Ensamblado en fábrica de una unidad de casa modular. (Source: Sekisui Chemical Co. Ltd.)



Figura 25.3: (Source: Misawa Homes Co. Ltd.)

generación de energía solar fotovoltaica (FV) (Noguchi and Collins 2008). Debido al programa japonés de diseminación de los sistemas FV residenciales ofrecido entre 1994 y 2003, el número de instalaciones FV domésticas en Japón incremento dramáticamente desde 539 a 52,863 casas.

Las siguientes secciones identificarán las características esenciales del diseño de los constructores de casas japoneses, enfoques de producción y mercadeo que son aplicados para la entrega de hogares prefabricados comercialmente, culturalmente, y ambientalmente sustentables en contextos locales.

25.2. Producción orientada a la calidad

Los constructores japoneses de casas han adquirido normalmente las acreditaciones ISO 9000 e ISO 14000 para certificar el control de calidad de sus productos, así como el de las compañías en sí. Ellas han establecido estándares más altos que aquellos prescritos en regulaciones de construcción ordinarias, manteniendo una calidad de producto uniforme mediante un estricto control sobre sus productos. En particular, la mayoría de constructores japoneses establecen sus propios estándares de calidad, para

mejorar la resistencia estructural, durabilidad y comodidades. Los constructores adaptan estrategias de ahorro de recursos. Toyota Home (casa Toyota), quien produce casas modulares en Japón con estructura de acero, aboga que la durabilidad de la vivienda debería contener durabilidad estructural, así como también durabilidad de diseño y flexibilidad (Noguchi 2003). Misawa Homes, quien también produce casas modulares con estructuras de acero, enfatiza la necesidad de producción de casas que puedan ser usadas por varias generaciones de la familia propietaria a lo largo de 100 años. Sorpresivamente, la vida útil de las casas en Japón mucho más corta que otras naciones avanzadas (Matsumura and Tanabe 1996). En 1993, había en total 45,940,000 casas, y de esa figura, solo 2,150,000 eran casas de la época pre-guerra. En Japón, la vida útil legal de casas de estructura de madera se dice que es de 30 años. Sin embargo, 10 % de las casas con estructura de madera estadísticamente desaparecen dentro de los 18 años después de que la casa es recién construida y casi la mitad de las casas son destruidas dentro de 33 años. En consideración a la corta durabilidad de sus antiguas viviendas, los constructores japoneses de casas tienden a demostrar al público que las casas no convencionales construidas en fábricas son estructuralmente, ambientalmente, y económicamente sostenibles.

Los constructores de casas japonesas han estado produciendo mejores productos con niveles más altos de seguridad y comodidades que hacen al hogar no solo un mero refugio sino también un ambiente vivible donde la temperatura ambiente, la calidad del aire interior, y la insonorización son bien controladas. Debido a altas tasas de actividad sísmica en Japón, casas resistentes a terremotos son extremadamente importantes. Por ejemplo, el terremoto de Gran Kanto en 1923 destruyó casas ejerciendo una fuerza horizontal de aproximadamente nueve toneladas y 142,807 personas perdieron sus vidas (Utsu, 1995; Mishima, 2000). La mayoría de constructores de casas ahora establecen sus propios estándares para resistencia estructural basados en el terremoto de Gran Kanto, produciendo hogares que pueden resistir 28.47 toneladas de fuerza horizontal. Estos estándares superiores establecidos por los fabricantes de casas prefabricadas han generado ya dividendos significativos. El 17 de enero de 1995, un terremoto de magnitud 7.2 en la escala de Richter golpeo Kobe, la sexta ciudad más grande de Japón (población 1.6 millones). El sismo de 20 segundos, que tomó 5,500 vidas destruyó un número de casas, edificios, puentes, facilidades portuarias y otra infraestructura urbana. Según estadísticas provistas por la ciudad de Kobe (2003), 79,283 casas, o 15.1 %, de 524,733 casas construidas en la ciudad fueron completamente destruidas por el sismo de Kobe. Además, 74,234 casas, 23.7 %, de 313,085 casas construidas en seis distritos de desastre (Higashi nada, Nada, Chuo, Hyogo, Nagata, and Suma) fueron fatalmente dañadas. Dentro de los contextos, se estima que el 58 % de las casas destruidas en los seis distritos fueron aquellas construidas en 1945 o antes, 49 % entre 1946 y 1965, 23 % entre 1966 y 1975, y 6 % en 1976 o después. Por otro lado, un número de constructores de casas orgullosamente reportó que sus casas prefabricadas soportaron el sismo de Kobe sin colapsos fatales y sus innovaciones protegieron físicamente las vidas de los usuarios y la propiedad (Daiwa House 1999; Misawa Homes 1998; National House, 2001; Sekisui Chemical 2000).

La estanqueidad es considerada como una manera efectiva para reducir la energía operativa y el costo de enfriar y calentar cuartos ya que reduce la pérdida de calor por ventilación en las envolturas del edificio. De hecho, la mayoría de constructores se han vuelto cada vez más conscientes de los beneficios de la eficiencia energética que afecta el costo operativo. Misawa Homes, por ejemplo, demuestra que altas propiedades de aislamiento de casas modulares es más rentable, produciendo hogares cuya fuga de aire es 67 % menos que la de hogares convencionales. Como resultado, los costos anuales de calentamiento y enfriamiento pueden ser reducidos casi por un 32 % (Noguchi 2003). La ventilación es necesaria para lograr un ambiente de vida saludable. Cuando la casa carece de ventilación, incómodas condiciones de aire en el interior, casadas por la humedad, condensación y la acumulación de sustancias tóxicas gaseosas (p.e. volatile organic compounds) pueden causar enfermedades. Toyota Home es una de las pioneras, que desarrolló sistemas de ventilación artificial en casas, presentando ventiladores de limpieza ligera. Este ventilador consiste en filtros catalíticos ultravioleta que descomponen las sustancias gaseosas tóxicas incluyendo óxido de nitrógeno y formaldehído. El ruido es otra preocupación que podría reducir los niveles de confort ambiental en las casas. Usando técnicas insonorización para reducir el sonido asociado con las vibraciones del aire e impactos en el piso, la mayoría de constructores de casas fijan un estándar más alto para reducir la transferencia de ruido dentro y fuera de sus casas comparado con el exigido por la Ley de Ambiente Básico regulada por el Ministerio de Medio Ambiente – p.e. el nivel máximo aceptable de ruido que puede entrar a una casa es de 55dB durante el día y 45dB durante la noche en el área residencial (JPA 2015).

En principio, su producción orientada a la calidad apunta a mejorar drásticamente la calidad de las casas en respuesta a los deseos y necesidades de compradores individuales, así como de la sociedad.

Tabla 25.1: Razones del consumidor para seleccionar su compañía de prefabricadas en Japón (JPA 2015)

Factores de selección propuestos (523 respuestas)	Año 2014 (%)
Confiabilidad de la compañía	64
Calidad y rendimiento superior del producto	56
Convencidos por la explicación del personal de ventas	54
Buena propuesta que refleja expectativas	23
Buenos servicios post-venta	15
Buena apariencia y diseño exteriores	14
Recomendación de personas conocidas	12
Habilitadas para confirmar los productos reales	10

Actualmente, los constructores están practicando acercamientos de comunicación únicos que apuntan a transmitir el valor de las casas con alto costo-rendimiento para sus potenciales clientes. La siguiente sección describe los enfoques de comunicación de los fabricantes de viviendas orientados al usuario que son aplicados para comercializar hogares prefabricados, que son usualmente más costosos que sus contrapartes construidas in situ.

25.3. Comunicación orientada al usuario

En 2014, la Asociación de Constructores y Proveedores para Construcción de Prefabricadas en Japón (JPA) distribuyó 1,000 cuestionarios con el fin de identificar las razones de los compradores para seleccionar constructores de viviendas prefabricadas en Japón (JPA 2015). Basados en los resultados de 523 respuestas, la asociación develó la tendencia de las preferencias del consumidor (Tabla 25.1). Los resultados indican que la confiabilidad de la compañía fue la razón suprema por la que los potenciales consumidores se preocupan para la selección. De hecho, 64% de los compradores que respondieron a esta encuesta seleccionaron este factor de compra. El segundo factor más significativo que afectó las preferencias de los compradores fue la calidad-rendimiento del producto. En el siguiente lugar estaba la explicación del personal de venta. Estos resultados sugieren de alguna manera que los compradores de casas en Japón tienden a considerar la calidad de la vivienda como prioridad máxima y los consumidores se atreven a comprar una casa prefabricada costosa, si están convencidos de su superioridad.

25.3.1. Estrategia de mercadeo costo rendimiento

Los constructores de viviendas japoneses, en efecto, fabrican productos de calidad y ofrecen amplios servicios al consumidor. A pesar de los elevados costos asociados con la implementación de la producción orientada a la calidad, los constructores han logrado retener una reputación positiva por sus innovaciones a través de su efectiva comunicación. Según una encuesta de viviendas conducida en 1997 por la Corporación de Préstamos de Vivienda del Gobierno en Japón, el costo inicial promedio de una casa convencional estaba estimado en 175,404 JPY por metro cuadrado y una casa prefabricada estaba a 190,033 JPY por metro cuadrado (Noguchi 2003). Estos resultados indican que el precio de las viviendas industrializadas en Japón es un 8% más caro que el de viviendas convencionales construidas in situ. Por otro lado, los constructores enfatizan que ellos han estado produciendo hogares de mejor calidad por casi el mismo precio que los convencionales.

En resumen, la manera de comercializar productos costosos e innovadores de los constructores de viviendas refleja una estrategia costo-rendimiento, que es aplicada ampliamente por otras industrias también – p.e. la industria automotriz. Aunque los automóviles de hoy pueden ser producidos con costos de producción más bajos que los existentes en el pasado, su precio de venta no parece ser afectado dramáticamente por una productividad superior. Generalmente, los consumidores pueden considerar todavía nuevos modelos de automóviles como costosos. La lista de elementos ofrecidos actualmente como características estándar en autos nuevos, como aire acondicionado, equipo estéreo, bolsas de aire, llaves con control remoto, dirección asistida, vidrios eléctricos, y espejos ajustables; solo se ofrecían como paciones costosas en modelos más antiguos. Claramente, la calidad de los nuevos modelos es mucho mayor que la de los modelos antiguos. Lo mismo es verdad para la industria de la vivienda en Japón. La producción

orientada a la calidad contribuye hacia la entrega de viviendas de alto costo-desempeño en las que las comodidades modernas de alta tecnología que están instaladas como características opcionales en hogares convencionales están ahora disponibles como equipamiento estándar.

La participación del consumidor puede coincidir con la motivación del comprador y el nivel de contribución del cliente puede incrementar por tales factores como el costo, interés de los consumidores, riesgo percibido en la compra de un producto o servicio, y la visibilidad social. Antes de firmar un contrato con el cliente, los constructores de viviendas japoneses ofrecen servicios de primera clase al consumidor y amplia información a potenciales compradores de casas para permitirles conocer las distinguidas características de las viviendas de alto costo-rendimiento a través de su comunicación efectiva hecha particularmente durante el proceso de mercadeo.

25.3.2. Propaganda

En Japón, los constructores tienden a invertir fuertemente en propaganda, aun cuando los costos son extremadamente altos. Por ejemplo, un aviso de una sola página en un catálogo de viviendas mensual en formato estándar cuesta aproximadamente \$7,800 (USD). No es inusual para una constructora de viviendas gastar más del 3% de sus ingresos anuales en propaganda. El propósito de la propaganda es obviamente llamar la atención del consumidor a los productos. En general, la etapa más temprana de participación del cliente en la compra de una vivienda industrializada es mejorar la motivación del consumidor para ganar conocimiento de los productos y servicios disponibles gracias a la propaganda. Los constructores de viviendas japoneses adoptan varios modelos de propaganda para mejorar la confianza de los consumidores en sus productos. Estos incluyen propaganda en medios locales y periódicos, insertos en panfletos de viviendas mensuales o trimestrales, mails enviados a arrendatarios, y presentaciones a grandes compañías en reuniones sociales. Sugerencias de clientes previos son otra fuente importante para nuevos clientes.

25.3.2.1. Efecto del nombre de la marca En principio, la propaganda intenta mantener el nombre marca en la mente del consumidor. Sea o no que el anuncio puede proporcionar una demostración convincente o un despliegue atractivo, repetir el nombre de la marca al consumidor le da a la marca una ventaja sobre una marca desconocida, cuando venga el tiempo en el que los consumidores tomen sus decisiones de compra. Los consumidores podrían estar pendientes a los nombres de las marcas. La mayoría de fabricantes en Japón intentan hacer la compañía bien conocida, mejorando la conciencia de su marca mayormente a través de comerciales de TV, que llegan a una gran audiencia. El nombre de la marca de la compañía puede ser rápidamente esparcido a través de los medios de masas; instantáneamente, una imagen favorable de la compañía misma, y sus productos puede ser lograda. Los consumidores creen que una compañía que invierte fuertemente en propaganda tiene la habilidad de producir productos superiores porque productos pobres destruyen la reputación de la compañía. Aparentemente, los consumidores tienden a seleccionar productos con el nombre de la marca, incluso cuando estos productos son un poco más costosos. En principio, la confiabilidad es uno de los factores clave que influencia la motivación de los consumidores para seleccionar una compañía específica y el producto que ellos elijen comprar y el mercado japonés de viviendas prefabricadas no es la excepción (JPA 2015).

La mayoría de constructores a gran escala de viviendas explotan los medios electrónicos e impresos para promocionar el nombre y los productos de la compañía: tales propagandas incluyen fotos con descripciones entusiastas de sus fortalezas. Además, los constructores también usan otro método único de propaganda: la exhibición de viviendas. La exhibición es llevada a cabo en la forma de "parques de vivienda" y "centros de información de vivienda" donde modelos de casas de tamaño completo y componentes domésticos son exhibidos al público en general. Compradores de casas potenciales que estén interesados en los productos pueden fácilmente obtener acceso a los recintos de las exhibiciones para poder familiarizarse con las compañías y sus productos en cuestión. Tales visitas dan a los fabricantes de viviendas industrializadas una oportunidad para establecer contacto personal con los compradores de casas potenciales. A través de la exhibición, los pre-fabricadores pueden ser capaces de ganar credibilidad permitiéndoles a los potenciales consumidores examinar los productos reales, de tamaño completo.

25.3.2.2. Parques de viviendas Un parque de viviendas, que ofrece una colección de viviendas de exhibición construidas por una variedad de compañías de vivienda, es una forma única de promocionar y mercadear hogares. En general, los parques de exhibición están localizados en centros comerciales fácilmente accesibles por medio de transporte público. En el parque, cada compañía construye y exhibe sus

Tabla 25.2: Ventas de casas prefabricadas por modelo de casa exhibida en 1998 (Noguchi y Friedman 2002)

Nombre de la compañía	Número de casas modelo (unidades)	Ventas anuales de casas prefabricadas por modelo exhibido (unidades por modelo de casa)
Sekisui Chemical Co., Ltd.	711	25
National House Industrial Co., Ltd.	380	26
Resco House Co. Ltd.	17	23

modelos de viviendas por un cierto periodo de tiempo. La escala de estos parques de viviendas varía en tamaño, dependiendo de la localización; sin embargo, 20 a 40 compañías de vivienda comúnmente localizan sus casas modelo en un parque para permitir a potenciales compradores de casas familiarizarse con sus productos. Los parques de viviendas son mantenidos por las compañías, quienes rentaran un sitio vacante y operaran las casas de exhibición. Las compañías de vivienda pagan tarifas de operación incluyendo el terreno y tarifas de administración a las compañías. Esta tarifa está estimada en aproximadamente \$12,000 (USD) por mes en el caso de un parque de vivienda en Sendai, en el cual la compañía de difusión Asahi, la más grande de tales operadoras, se ha mantenido (Noguchi and Friedman 2002).

Los parques de vivienda no solo muestran hogares y permiten a la gente examinar el producto real, pero también sirven para educar potenciales compradores de casas preocupados de la calidad superior de sus productos relativos con otros. En la casa modelo, el vendedor no solo explicará las características distintivas del producto de la compañía, sino que también pondrá interés en los requerimientos del consumidor con vagos bosquejos de la apariencia de la vivienda. El personal de ventas es el mayor activo de la compañía para llegar a los clientes, y este personal también asiste a los clientes en el diseño de su vivienda personalizable haciendo uso de los catálogos de vivienda que contienen varias opciones y arreglos de componentes de viviendas estándar.

Los parques de viviendas juegan un papel importante en la porpaganda local y regional, generando ventas notables de sus productos (Tabla 25.2).

Por ejemplo, Sekisui Chemical, que también es conocida como Sekisui Heim, es una de las más grandes constructoras de viviendas modulares en Japón. La compañía comercializó 17,990 unidades de vivienda unifamiliar en 1998 mientras que posee 711 modelos de casas que son exhibidos en todo el país. Considerando estas cifras, cada casa modelo estadísticamente contribuyó a comercializar 25 casas por año. Pana Home, que previamente fue llamada National House Industrial, es otra gran compañía fabricante de viviendas en Japón y vendió 9,720 unidades de viviendas unifamiliares desde abril de 1998 hasta marzo de 1999. La compañía exhibió 380 casas modelos en todo el país. De igual manera, la tasa de ventas podría ser estimada a 27 unidades por casa modelo. Resco House, una de siete constructoras de viviendas industrializadas que tan solo produce viviendas panelizadas de concreto en Japón, exhibe 17 casas modelo a lo largo de todo el país, y vendió 387 viviendas unifamiliares panelizadas en 1998. A pesar de su tamaño relativamente pequeño, Resco House tenía una tasa de ventas de 23 unidades por casa modelo ese año. Basados en estos resultados, los parques de viviendas juegan un papel importante en promocionar los productos, y las casas modelo generalmente se traducen en compras de viviendas con una tasa de aproximadamente 23-27 unidades por modelo en un año.

25.3.2.3. Centros de información de viviendas Muchos fabricantes establecen centros de información de viviendas en varias partes del país, ofreciendo información tecnológica relacionada con los materiales de la vivienda, métodos de construcción, tecnologías de energía renovable, y servicios que la gente puede probar. El centro también funciona como una base de exhibición y consultora de diseño, donde personal experimentado hace propuestas concretas sobre la apariencia externa y los planos de sus viviendas estandarizadas, y aun así personalizables usando tecnologías avanzadas de información y comunicación (Fig. 25.4).

Además, los clientes pueden ver y tocar las muestras de material para confirmar las calidades superiores de los productos de la compañía y aprender más acerca de las propuestas de la compañía relacionadas con las facilidades de la vivienda. En consecuencia, tal información visual, y las visitas, consultas individuales de diseño con expertos en viviendas pueden incrementar la fe de los clientes en la confiabilidad de la



Figura 25.4: Demostración de diseño personalizado en un centro de información de viviendas. (Fuente: Sekisui House Ltd.)

compañía y sus productos, y por ende incrementar la probabilidad de que el cliente seleccionará a la compañía, cuando compre una vivienda.

25.3.3. Garantizar el valor

El precio está asociado con la búsqueda de información, influenciando a la decisión de compra de un consumidor. No obstante, la renuencia inicial a comprar un producto con alto costo generalmente puede ser sobrepasada, si es que el interés del consumidor en el producto es suficientemente fuerte, si el grado de riesgo percibido en la compra del producto es bajo, y cuando el precio de venta es razonable en comparación al valor en el mercado. La encuesta del mercado de viviendas prefabricadas conducida por JPA en 2008 indica que 2 % de los compradores de casas, quienes prefieren comprar una casa prefabricada, consideran el precio de venta como relativamente bajo (Tabla 25.3).

Sin embargo, la respuesta parece contradecir el hecho de que el costo inicial de la vivienda industrializada es casi 8 % más costoso que el de la vivienda convencional construida basándose en los estándares mínimos de calidad. Estos compradores de viviendas puede que estén bien convencidos de tanto la calidad superior como el valor económico de los hogares prefabricados a través de la comunicación sistemática del fabricante orientada al usuario.

Actualmente, la mayoría de fabricantes de viviendas en Japón provee una garantía de veinte años para reasegurar a sus clientes con mantenimiento post-venta gratis y servicios de inspección. Es más, las compañías permanecen en contacto con sus clientes después de la venta ofreciendo inspecciones periódicas en cada producto y enviando las revistas de viviendas y boletines a sus usuarios con mayor información acerca de mantenimiento y renovación potencial. La oferta de tales servicios de mantenimiento post-venta a largo plazo a los clientes, básicamente gratis, es efectiva en garantizar la calidad y el valor del producto a los compradores antes y después de que ellos compren una vivienda. El garantizar el valor de la vivienda, ayuda a anclar y elevar la confianza del cliente en la confiabilidad de la compañía, así como en el producto – p.e. viviendas industrializadas.

25.4. Prefabricadas personalizables producidas en masa

La prefabricación está enraizada en la estandarización de partes y componentes, o unidades enteras; por ende, los productos para el usuario final pueden ser fabricados por medios de producción en masa donde material y costos de fabricación son probablemente reducidos través de economías de trabajo

Tabla 25.3: Motivación de los clientes para comprar viviendas industrializadas en Japón (Noguchi and Collins 2008)

Factores de motivación seleccionados	Año 2008
Confiabledad de una compañía de gran escala	22 %
Calidad y rendimiento del producto superiores	18
Resistencia a los terremotos	17
Convencid@ por la explicación del personal de ventas	15
Buen servicio post-venta	2
Buen diseño	4
Personalización conforme a las necesidades y demandas	5
Medidas de seguridad confiables	0
Tiempo de construcción corto	2
Amplia variedad de selecciones de equipos	1
Confirmado gracias a la visita de exhibiciones de viviendas	1
Consideración de temas ambientales	1
Recommendación de un conocido	3
Precio relativamente bajo	2

en gran volumen. No obstante, en consideración del depresivo clima económico actual, una creciente diversidad demográfica, y asuntos de calentamiento global, los constructores de viviendas podrían en general mostrarse más interesados en perseguir no solo estrategias de reducción de costos en las viviendas, sino que también sostenibilidad social y ambiental. Por otro lado, los consumidores actuales ya no se satisfacen con productos monótonos, inclusive cuando los productos en sí son suficientemente confiables en términos de la calidad del producto. Los productos para el usuario final pueden necesitar responder a requerimientos individuales, deseos y expectativas, particularmente cuando son relativamente costosos. Para poder personalizar viviendas prefabricadas estandarizadas, los fabricantes japoneses de viviendas han estado practicando "personalización en masa" durante las décadas pasadas (Davis 1987; Noguchi and Friedman 2002).

En 1987, este concepto paradójico de personalización en masa fue formalmente lanzado por Stanley Davis, quien parcialmente revisó la operación de negocios de Misawa Homes. Actualmente, la industria japonesa de construcción de viviendas prefabricadas está a la cabeza de la personalización en masa de viviendas industrializadas. Una parte importante de personalización en masa es que el usuario directamente determina las configuraciones de acuerdo a opciones dadas como colaboración del cliente en el proceso de diseño. Esto difícilmente podría ser logrado sin la estandarización de los componentes de las viviendas para los arreglos estructurales, exteriores e interiores. El concepto de estandarización de componentes puede ser ilustrado con bloques de construcción Lego®. Un número de bloques simples, y modulares puede ser conectado en una variedad de formas, gracias a sus agujeros y botones vinculantes. De forma similar, los constructores japoneses ofrecen una variedad de componentes de vivienda a sus clientes y los motivan a participar en combinar los componentes para diseñar su nuevo hogar.

Los componentes de la vivienda pueden ser divididos en tres categorías: estructural, exterior e interior. Los componentes estructurales son usados para construir los modelos de viviendas para determinar el número y tamaño de cada cuarto, mientras que los componentes interiores y exteriores sirven para coordinar tanto los elementos decorativos como los funcionales que personalizan la vivienda.

Componentes estructurales: esta categoría aplica a las casas modulares, ya que el sistema de viviendas panelizadas no define limitaciones espaciales con su tamaño y volumen del espacio interior. No obstante, la mayoría de pre-fabricadores quienes producen productos panelizados todavía adoptan un sistema modular convencional con el tamaño de una colchoneta tatami (909 mm x 1,818 mm) como modelo de lo que sería una habitación de sus productos, de manera que el número de colchonetas tatami determina el tamaño de cada habitación. Por otro lado, pre-fabricadores que producen componentes unitarios precisamente estandarizan el tamaño y volumen de cada componente unitario estructural que es simplemente un marco con forma de caja hecho de acero y madera. La variación espacial de las

viviendas puede ser lograda por la contribución de unidades estándar. Sekisui Chemical, por ejemplo, produce componentes modulares, estandarizando nueve unidades básicas. Toyota Home también fabrica componentes unitarios, proveyendo tres unidades básicas. El ancho de la unidad va desde 5,700 mm a 4,800 mm, y 3,900 mm, mientras que la profundidad es básicamente 2,400 mm; de cualquier forma, unidades de la mitad del tamaño también están disponibles para cada una. Además de estas unidades, Toyota Home ofrece dos extensiones para aumentar aún más las variaciones de las formas de las casas. Los constructores expanden las variaciones de los arreglos espaciales con algunas opciones de componentes de la unidad estructural, para los cuales el tamaño y volumen de cada una son estandarizados. Tomando en cuenta la operación de negocio de Toyota Home y Sekisui Chemical, hay aproximadamente 8-10 componentes estándares de unidad en uso que incluyen unidades de la mitad del tamaño y módulos adicionales. Comparando estos componentes de unidad estándar, los constructores pueden producir un gran número de formas individualizadas de viviendas para satisfacer los requerimientos espaciales de los clientes.

Componentes exteriores: el exterior de una casa es vital para la primera impresión y también mejora el sentido de propiedad. La identidad de una casa es definida por sus características de diseño externo como lo techos, muros, claros, verandas, balcones, y entradas. Para personalizar sus productos, los pre-fabricadores japoneses ofrecen una variedad de componentes externos para satisfacer las preferencias de los clientes. En general, dos tipos de techos son comúnmente ofrecidos: techo inclinado y techo plano. El primero es una forma de techo más convencional, y tiene una apariencia clásica. El último también se está tornando popular por la eficiencia de uso de espacio. Un techo plano posiblemente puede reducir el consumo del material y el techo puede servir como un espacio multifuncional – p.e. un techo jardín. Para incrementar la variación de los techos, los constructores proveen varios tipos de techos con diferentes figuras, colores, y texturas. De igual manera, los muros exteriores varían mayormente en color y textura. Muchos fabricantes aplican muros hechos de materiales basados en cerámica que pueden ser moldeados en ciertos tipos de muros, ya sea que la casa sea construida de ladrillo o piedra. La superficie del muro es más articulada por el recubrimiento, resina acrílica resistente al clima es generalmente usada para barnizar la superficie del muro.

Componentes interiores: los componentes interiores son más diversificados y están diseñados para coordinar el espacio habitable para cada cliente. Los componentes interiores más importantes son las cocinas, facilidades sanitarias, almacenamiento, acabados interiores, gradas, y servicios. Para satisfacer los requerimientos variados del cliente, los fabricantes conceden libertad en el diseño interior y, en la etapa de diseño, presentan un catálogo de selección completo que permite a los clientes personalizar componentes interiores. La apariencia de la cocina debe ser cuidadosamente diseñada para proveer un lugar conveniente para cocinar, servir, almacenar, y limpiar. Sekisui chemical, por ejemplo, provee dos tipos de cocinas, en forma de I y en forma de L. La primera es la forma más simple, donde el lavabo es central y los mesones se extienden horizontalmente a cada lado. El espacio es suficientemente largo como para que dos personas lo usen al mismo tiempo. La cocina en forma de L también está diseñada para permitir la facilidad de movimiento mientras se cocina, pero provee una distancia más corta desde el lavabo hasta la refrigeradora y las hornillas. En términos de variaciones de cocinas, Sekisui chemical provee once estilos para la forma de I y nueve para forma de L. dicha variación es mayormente lograda usando una variedad de particiones para separar la cocina del comedor. Estas particiones vienen en cuatro estilos: abierta, abierta con ventana, ventana, y separación. El fabricante también ofrece quince diferentes colores para muebles de cocina. Adicionalmente, muchas otras opciones están disponibles para el lavabo, lavaplatos, y almacenamiento.

Una casa requiere tener suficiente espacio de almacenamiento para que los usuarios puedan guardar las pertenencias de la familia. Usualmente, 10 a 20% del área de la casa es usada para efectos de almacenamiento para ropa, utensilios de cocina, cobijas, libros, comida, y utensilios de la casa. Los fabricantes de viviendas japoneses tienden a ilustrar la utilidad del almacenamiento, dividiendo los usos en dos tipos: concentración y diversión. El primero concierne a pertenencias que son usadas por temporadas y luego son guardadas. La última involucra aquellos artículos que son usados frecuentemente, y por ende cada cuarto necesita que tales espacios de almacenamiento tengan fácil acceso. Una vez que los clientes entienden las necesidades espaciales de tener espacio de almacenamiento, bajo la guía del fabricante, ellos seleccionaran las estanterías, así como la entrada- y los sistemas de lavandería y almacenamiento desde un catálogo. También, el almacenamiento está frecuentemente bajo las gradas y en el ático para poder usar el espacio interior más eficientemente. Los estantes están diseñados para caber en todos los cuartos

y funcionan tanto como espacios de almacenamiento de concentración como de diversión. La ubicación de estos estantes es determinada de acuerdo a los arreglos espaciales y necesidades del cliente.

La variación en estanterías está basada en el volumen que determina la capacidad de almacenamiento, la combinación de gavetas, y la variación de puertas. Por ejemplo, Sekisui chemical cuidadosamente categoriza sus sistemas de estanterías en 11 tipos, y, con algunas excepciones, la mayoría de los tipos pueden extenderse a un cierto tamaño basado en módulos. Para la extensión horizontal, la compañía estandariza el ancho de los estantes en intervalos de 900 mm, 1,000-1,200 mm, 1,300 mm, 1,800 mm y 2,200 mm, mientras que la profundidad también está fijada por módulos de 400 mm, 600 mm, y 900 mm. En total, ofrece 81 configuraciones y 48 arreglos de puertas para satisfacer los gustos de los clientes y sus necesidades de almacenamiento.

Como es tradición japonesa, la gente usualmente conserva todos sus zapatos en los muebles para zapatos en la entrada. Aunque el espacio de la entrada es limitado, el almacenamiento de la entrada requiere tener suficiente espacio para todo tipo de prendas. Los fabricantes japoneses de viviendas tienden a presentar varios tipos de espacios de almacenamientos en la entrada: un estante que llega hasta la cintura con un mesón superior, un estante con un mesón y espacios bajo y sobre el mesón, y un estante alto sin mesón. Las configuraciones y los colores de las puertas incrementan la variedad de las opciones. Sekisui chemical, por ejemplo, produce dos unidades de estantes básicas de 440 mm y 760 mm de ancho. En combinación con estas dos unidades, los anchos de los estantes pueden extenderse hasta 1200 mm, 1520 mm, y 1960 mm. Adicional a estos, la compañía proporciona 16 colores para puertas y 4 colores de espejos de tamaño completo para ayudar a personalizar el almacenamiento de la entrada.

El espacio de la lavandería debe ser suficientemente grande para permitir al usuario lavar ropa y guardar todos los materiales necesarios para el proceso de lavado que usualmente se conservan en ese espacio. Como resultado, un espacio de lavandería suele estar lleno de estantes para detergentes y otros artículos pequeños, así como la lavadora, secadora, y una lavandería. Sin embargo, estos artículos son condicionales, ya que cada casa difiere de otras en términos de las necesidades del usuario y las limitaciones espaciales.

Las gradas sirven como vínculo entre niveles, y están diseñadas con consideración a la seguridad en términos de forma, largo, y paso de los escalones; que son determinadas por la altura de la contrahuella y la profundidad de la huella. También, las gradas deben ser suficientemente seguras para ser usadas por gente de todas las edades. Los pasamanos se colocan usualmente para cuidar a los usuarios, especialmente a los ancianos, de caerse, y para ayudarlos a subir las gradas. De igual manera las huellas deben ser anti-deslizantes. Los pre-fabricadores japoneses ofrecen una variedad de diseños de gradas: en forma de I, en forma de J, y en forma de U. cada constructor difiere en el largo y paso de las escaleras; en particular, los fabricantes como Toyota y Sekisui Chemical que producen viviendas modulares estandarizan las unidades de gradas para calzar en sus tipos de vivienda específicos. Sekisui Chemical, por ejemplo, produce 18 diferentes unidades de gradas que corresponden con un tipo de vivienda específico. La localización de las gradas no es predefinida. En su lugar, durante la etapa de diseño, los clientes eligen un tipo de gradas del catálogo y luego deciden su localización.

25.4.1. Catálogo de ofertas

Los catálogos juegan una variedad de roles en promocionar y educar a los clientes. Aún más, en la etapa de diseño, los catálogos también funcionan como herramientas de comunicación de diseño usadas entre los fabricantes y el cliente. A través de consultoría con los expertos en viviendas, los clientes pueden elegir el tipo de vivienda y los componentes de los catálogos para personalizar un hogar que satisfaga sus necesidades y demandas. Claramente, los catálogos pueden considerarse como fuentes de información sintetizada que integra y simplifica información amplia a través de un proceso inductivo.

En las etapas de mercadeo y diseño, los fabricantes japoneses de viviendas usualmente proveerán a sus clientes con cuatro tipos de catálogos: catálogo general, catálogo del estilo de los servicios, catálogo de tecnología, y catálogo de selección de componentes de diseño. Un catálogo general de vivienda contiene información primordial acerca del perfil y los productos de la compañía, mientras que el catálogo de estilo de servicios ofrece información más detallada acerca del concepto de diseño y la tecnología aplicada a los prototipos de vivienda seleccionados. Un catálogo de tecnología concentra información acerca de las características distintivas de la calidad del producto. Los fabricantes usan efectivamente estos tres catálogos durante el proceso de mercadeo a diferencia de un catálogo de selección de componentes, que está diseñado para asistir al cliente en la selección de varios componentes estándar de la vivienda para la

personalización de la misma. El catálogo elabora en detalle cada componente en términos del material, tamaño, color, textura, y funciones. Estos catálogos no contienen el precio de cada componente, para que el cliente escoja cada componente de acuerdo al uso – no al costo. No obstante, el costo será estimado de acuerdo a las opciones del consumidor con la ayuda de un sistema computarizado. Los catálogos son visualmente atractivos y bien editados de forma que los compradores puedan elegir para la personalización los componentes de diseño de una vivienda estándar.

25.4.2. Comunicación digital

El uso de un sistema de diseño asistido por computadora (CAD) es importante en la creación modificación, análisis, u optimización de un diseño, permitiendo a los consumidores personalizar su elección en viviendas. La mayoría de constructores de viviendas usan un sistema CAD como herramienta de comunicación para ofrecer flexibilidad en el diseño. Los beneficios derivados de aplicar un sistema CAD en la etapa de diseño incluyen el corto tiempo que transcurre entre el recibo de la orden del consumidor y la entrega de la propuesta, la exactitud de las estimaciones de materiales y costos, y la estandarización del bosquejo y la documentación. La facilidad de visualización de un bosquejo incrementa la comprensión del cliente del diseño de su nueva casa. El sistema interactivo CAD básicamente contribuye a la creación de una línea de dibujos; no obstante, el modelado geométrico avanzado en tres dimensiones con sombra y color ayuda a mostrar más información en la pantalla gráfica. Otra ventaja del sistema CAD es la comunicación de los datos. El propósito de la comunicación de los datos es transferir datos entre una computadora y sus periféricos que pueden ser definidos como cualquier dispositivo de entrada o salida. Algunos constructores de viviendas envían personal de ventas directamente a la casa de su cliente y usando computadoras portátiles, imágenes propuestas de viviendas son presentadas a los compradores para su revisión del diseño y posterior modificación. En consecuencia, los clientes pueden personalizar en masa su casa, desde la comodidad de sus hogares.

25.5. Moviéndose hacia casas de bajo consumo de energía

Bajo el protocolo de Kioto, a Japón se le asignó reducir sus emisiones de CO₂ de 6% del nivel de 1990 entre 2008 y 2012. Actualmente, un número creciente de sistemas FV están siendo instalados para uso residencial en Japón (Noguchi 2011). La tecnología de energía renovable ayuda a reducir el impacto ambiental ya que produce energía para la operación de una casa. En Japón, los sistemas FV con una potencia nominal de 3kW o menos solían comunes en el pasado (Ikki and Matsubara 2007). Hoy por hoy, los sistemas de alta capacidad a niveles de poder de 5kW están empezando a ser instalados en viviendas. Los principales fabricantes de viviendas han creado un nuevo mercado para sistemas residenciales FV, desarrollando casas completamente eléctricas cuya energía puede ser completa o parcialmente suplida por los micro sistemas de generación de poder. En búsqueda de cumplir la demanda social para sostenibilidad ambiental en viviendas, los constructores japoneses actualmente comercializan viviendas personalizables producidas en masa de baja energía, que aseguran que el costo energético operativo y las emisiones de dióxido de carbono sean bajas o cero con la ayuda de la instalación de tecnologías de energía renovable.

Sekisui Chemical Co. Ltd.: la compañía también es bien conocida como ‘Sekisui Heim’ que deriva del nombre de la primera casa modular en Japón que ellos construyeron en 1971. Sekisui Chemical está apuntando a desarrollar un negocio que se enfoque en la producción de productos para la vivienda de alto rendimiento y valor agregado donde sus tecnologías de sistema de construcción modular son puestas en efecto. En general, los sistemas de vivienda modular aseguran un alto nivel de finalización de la construcción de la vivienda en-fábrica. La compañía afirma que cerca del 80% de los componentes de la vivienda usados para construir una casa pueden ser ensamblados en su fábrica. Actualmente, Sekisui Heim posee 8 fábricas en todo el país que tienen la capacidad de producir casas de armazones modulares de madera y/o hierro a través de sus líneas de ensamblaje altamente mecanizadas. En abril 2004, Sekisui Chemical lanzó una nueva vivienda de cero costos energéticos netos, llamada “Parfait AE”, y el modelo de vivienda amplía aún más las especificaciones de la empresa de cero gastos en utilidades. Características añadidas incluyen sistemas térmicos sin barreras aplicados a los muros y a los pisos, un sistema de bloqueo de calor de ventilación pasiva para la claraboya de alta disipación de calor y las pantallas reflejantes de calor que controlan la cantidad de luz solar. Además, en colaboración del fideicomiso y banco Sumitomo, Sekisui Chemical y ellos están desarrollando de manera conjunta un nuevo préstamo



Figura 25.5: Arreglos FV para el techo de viviendas modulares. (Fuente: Sekisui Chemical CO. Ltd.)

para vivienda que ayuda a los compradores de casas a adquirir una casa equipada con sistemas FV de alta capacidad (Fig. 25.5). La compañía explica que "mientras más alta capacidad de generación tienen los sistemas fotovoltaicos, más baja es la tasa de interés del préstamo" (Sekisui Chemical 2004). La tasa fue estimada a un valor tan bajo como 2.8 %, comparable favorablemente con los préstamos bancarios de tasa fija a largo plazo. La asociación de la industria con el banco podría mejorar el atractivo económico de sus viviendas solares FV. Dadas las ventas acumuladas de más de 85,000 viviendas solares a la fecha, la compañía es reconocida ampliamente como la más larga constructora modular de viviendas con cero costo de utilidades neto en Japón.

Misawa Homes Co. Ltd.: la compañía fue fundada en 1967, con base en Tokio, Japón. Misawa Homes, junto con sus subsidiarias, se involucran con el desarrollo, construcción, y venta de viviendas prefabricadas personalizables producidas en masa y materiales para viviendas. Su vivienda también se construye basada en módulos tridimensionales que consisten de armazones rígidos de acero. Sin embargo, sus hogares se caracterizan por el uso de paneles de hormigón 'ligero, pre-fundido, de autoclave', de gran tamaño, y no estructural (PALC por sus siglas en inglés); que la compañía produce (Fig. 25.6). Misawa Homes empezó operaciones comerciales tras la adquisición de la primera certificación del entonces Ministerio de la Construcción en 1962. La compañía esparció un concepto de diseño "Home Core" o núcleo familiar por medio de la construcción de viviendas de demostración en Abu Dabi, EAU en 1968. Después, Misawa Homes puso casas Home Core de 1 millón de JPY en el mercado local en 1969 y el concepto fue bien exhibido en la Expo 70 en Osaka. En 1980, la compañía comenzó la investigación en el desarrollo de su propio prototipo de vivienda con cero energía y en 1998, desarrolló exitosamente la primera vivienda con cero energía de Japón.

PanaHome Corp.: desde 1963, PanaHome, antes llamada 'National House industrial Co. Ltd.', ha estado operando como una compañía de vivienda junto con el grupo Panasonic. Aun así, el negocio de la vivienda del mismo grupo se origina realmente con la introducción de su primer prototipo de vivienda llamado "Unidades de Vivienda Tipo Uno Matsushita" en 1961. Después, La planta de Kioto (al presente la planta principal) también abrió en la prefectura de Shiga. Hoy, PanaHome produce paneles de armazón de acero aplicados a sus viviendas industrializadas personalizables de producción en masa a través de líneas de producción altamente automatizadas.

Consistente con el estado del arte de su sistema de automatización, la compañía también ha estado en el primer plano de los desarrollos comunitarios solares (Fig. 25.7).



Figura 25.6: Precast autoclaved lightweight concrete panels. (Source: Misawa Homes Co. Ltd.)



Figura 25.7: Ciudad PanaHome, recinto urbano Seishin Minami en la prefectura Hyogo. (Fuente: PanaHome Corp.)



Figura 25.8: Building integrated PV. (Source: Sanyo Homes Corp.)

El estado de desarrollo la ciudad PanaHome, recinto de viviendas prefabricadas Seishin Minami en la prefectura de Hyogo se remonta a 2004, formado por más de 100 viviendas FV personalizadas de producción en masa. En 2009, el desarrollo fue seleccionado como uno de 100 proyectos regionales excelentes que introdujeron nuevos tipos de energía organizados por el Ministerio de Economía, Negocios e Industria, y la Organización de Nueva Energía y Desarrollo de Tecnología Industrial. Posteriormente, su propuesta fue también adoptada en un programa, que fue liderado por el Ministerio de Suelo, Infraestructura, Transporte y Turismo, titulado "Proyecto Modelo de Iniciativa para el Desarrollo de Casas de Larga Vida".

SANYO Homes Corp.: El precursor de SANYO Homes Corp. es 'Kubota House Co. Ltd.' que fue establecido en 1969 y ganó el primer lugar en la "Competencia de técnica de invención de la primera Casa-piloto" realizado en 1972 por el Ministerio de Comunicación en Japón. En 2002, la compañía fue renombrada a 'SANYO Homes' ya que fue adquirida por SANYO Electric Co. Ltd. Actualmente, 'SANYO Homes' enfatiza que las viviendas deberían ser amables con la gente y el planeta, empezando desde el concepto de negocios de la compañía de una vida "Ecológica y Segura" que se orienta a mejorar el rendimiento de sus viviendas en términos de generación de energía local, eficiencia energética, y resistencia sísmica y medidas de emergencia. En 2004, SANYO Homes recibió un premio de "Buen diseño" con su prototipo de vivienda llamado "Tipo de Logia E" que tenía una apariencia exterior simple cubica diseñada basandose en un concepto minimalista para eficiencia del uso del espacio. La compañía está floreciendo en la integración arquitectónica de sus viviendas personalizables producidas en masa con las celdas SANYO HIT que tienen la conversión de eficiencia energética más alta del mundo de 23% (Fig. 25.8). la compañía también ofrece paneles para calentamiento solar de agua para sus viviendas equipados con bomba de calor con aire, que pretende controlar y asegurar el abastecimiento de agua caliente doméstica dependiendo de las condiciones del clima.

Sekisui House Ltd.: En 1960, a la compañía se adicionó el capital de acciones de 100 millones de JPY, derivándose de la división de viviendas de Sekisui Chemical Co. Ltd. Actualmente, Sekisui Home es reconocida como la más grande fabricante de viviendas en Japón tomando en cuenta las ventas acumulativas de 2,001,722 viviendas estimada hasta el 31 de enero de 2010. La compañía está comprometida a tomar la iniciativa para el desarrollo de las viviendas con cero emisiones de carbono basado en el "Plan de Acción 20" que buscaba presentar una variedad de medidas para eficiencia energética en viviendas (Ishida 2008). En conjunto con la cumbre G8 Hokkaido Toyako mantenida del 7 al 9 de Julio, 2008, Sekisui Home anunció su llamada "Casa con cero emisiones". La casa fue una vivienda prefabricada de armazón de acero de un solo piso con área de construcción total de aproximadamente 200 m², caracterizado particularmente por un sistema fotovoltaico de generación de energía de 14.5kWp de capacidad, iluminación energéticamente eficiente, una celda de combustible doméstica, y facilidades domésticas que

ahorren energía. Más aun, para poder ayudar a los clientes a entender el valor de sus productos, Sekisui Home ofrece el salón de experiencia de facilidades del hogar, llamado 'Nattoku Kobo', al público en general. El salón provee una variedad de información en las funciones y desempeños de la vivienda tales como diseño libre de por vida, seguridad doméstica, resistencia a terremotos y tifones, eficiencia energética y de uso de espacio, y generación local de poder. Actualmente la compañía mercadea un prototipo de vivienda llamado "Primer Híbrido Verde" que está equipado con paneles FV integrados al techo del edificio y una celda de combustible adicional a una batería de ion litio, cuyas capacidades de almacenamiento de energía va desde 4.6kWh a 9.3kWh. la casa también está diseñada para importar energía desde un auto eléctrico parqueado en la casa, de ser necesario – p.e. un apagón. La compañía defiende que el consumo diario de electricidad de una casa puede ser cubierto por la electricidad importada desde el auto eléctrico equipado con una batería que tiene una capacidad de almacenamiento de energía de 24kWh.

En general, los constructores de viviendas japoneses enfatizan características distintivas de viviendas de alto costo y alto rendimiento (p.e. alto costo-rendimiento). Como resultado, una variedad de tecnologías de energía renovable incluyendo un sistema FV para el techo, un calentador de agua con bomba de calor con CO2 como refrigerante y un sistema combinado de generación de poder y calor están siendo introducidos en sus viviendas, instalados como equipo estándar en lugar de como opcionales. Además, para evidenciar la operación de la vivienda a un costo energético neto de cero, una casa necesita estar conectada a la red comercial donde la electricidad puede ser exportada e importada entre el consumidor de energía y el proveedor bajo un programa de medición neta. Adicionalmente, las compañías de energía en Japón también ofrecen a sus usuarios un contrato con precio sujeto a la hora de venta que afecta el precio de la electricidad basado en la hora de la transacción. De igual manera, el precio de venta generalmente se torna más alto que el precio de compra a través del acuerdo de tarifa-de-alimentación dependiendo de la hora del día; por ejemplo, a los usuarios se les permite vender la electricidad generada por los sistemas FV de vuelta al generador de energía a un precio más alto durante el día y comprar energía a un precio más bajo durante la noche. En consecuencia, las viviendas con costo neto de utilidades cero drásticamente reducen el consumo de energía y las emisiones de CO2 cuando entran en operación (Richard and Noguchi 2006).

25.6. Conclusiones

Los fabricantes de viviendas japoneses son exitosos hoy en día en viviendas con personalización en masa y baja energía, cuyo costo energético y emisiones de CO2 pueden ser bajas o cero con el apoyo de mediciones netas, tarifa de venta a la red y contratos con hora de venta que las compañías de energía local pueden ofrecer a sus usuarios. Para iniciar y mantener las ventas moderadas de las viviendas producidas en masa con cero costo de energía, los fabricantes implementaron una estrategia de mercado de alto costo-rendimiento que pretende instalar algunas facilidades costosas incluyendo tecnologías de energía renovable hoy en sus hogares como características estándar más que como características opcionales. Basados en esta estrategia de mercado enfocada en el valor, los constructores japoneses de viviendas no solamente reducen su precio de venta, también la calidad del producto es continuamente mejorada en busca de una entrega constante de viviendas personalizables de producción en masa sostenibles que satisfagan los deseos y necesidades de los individuos, así como de la sociedad.

Referencias

1. Daiwa House Industry Co., Ltd. (1999) Technology Catalog, Osaka: Daiwa Housing Industry Co. Ltd.
2. Davis, S.M. (1987) Future Perfect, New York: Addison-Wesley.
3. Ikki, O., and Matsubara, K. (2007) National Survey Report of PV Power Applications in Japan 2006, Paris: International Energy Agency.
4. Ishida, K. "The Global Warming Prevention Strategy for Housing in Japan," Open House International, Vol. 33, No. 3 (2008): pp. 38-47.
5. Japan Prefabricated Construction and Suppliers and Manufacturers Association (JPA) (2015) Japan Prefabricated Construction and Suppliers and Manufacturers Association <<http://www.purekyo.or.jp>> retrieved on 12 February 2015.

6. National House Industrial Co., Ltd. (2001) *Sumai to Kurashi*. No.377, Osaka: National House Industrial Co. Ltd.
7. Noguchi, M. (2003) "The Effect of the Quality-oriented Production Approach on the Delivery of Prefabricated Homes in Japan," *Journal of Housing and the Built Environment*, Vol. 18, No. 4, pp.353-364.
8. Noguchi, M. (2011) "Enhancement of Industry Initiative through the Zero-energy Mass Custom Home Mission to Japan Experience towards Commercialisation," *International Journal of Mass Customisation*, Vol. 4, Nos. 1/2, pp. 106 - 121.
9. Noguchi, M. and Collins, D. (2008) "Commercialisation Strategies for Net Zero-energy-cost Housing in Japan," *Open House International*, Vol. 33, No. 3, pp. 96-104.
10. Noguchi, M. and Friedman, A. (2002) "Manufacturer-User Communication in Industrialised Housing in Japan," *Open House International*, Vol. 27, No. 2, pp.21-29.
11. Matsumura, S. and Tanabe, S., 1996, *Kinmirai Jyutaku no Gijyutsu ga Wakaru Hon*, Tokyo: PHP Kenkyujo.
12. Mishima, S. (2000) *Jyutaku: Nihon no Kaisya*. Tokyo: Jitsumu kyoiiku.
13. Misawa Homes (1998) *Home Club 8*, Tokyo: Misawa Homes Co., Ltd.
14. Richard, R.B., and Noguchi, M. (2006) *The Japan Solar Photovoltaic Manufactured Housing Technical Mission 2006*, Varennes: CanmetENERGY, Natural Resources Canada.
15. Sackette, J.G. (1986) *Japan's Manufactured Housing Capacity: A Review of the Industry and Assessment of Future Impact on the U.S. Saint Luis: Market, Energy Design Resources*.
16. Sekisui Chemical (2000) *Unit Technology for Conformable Human Life of Future*, Tokyo: Sekisui Chemical Co. Ltd.
17. Sekisui Chemical, 2004, *Annual Report 2004*, Tokyo: Sekisui Chemical Co., Ltd.
18. Utsu T. (1995) "Daitoshi Chokka no Katsudansou ga Ugoita," *Asahigraph*, 3794, pp. 67-71.

Capítulo 26

PROTOTIPO ELECTRÓNICO PROGRAMADO MEDIANTE BLOQUES CON UNA APLICACIÓN MÓVIL PARA LA ENSEÑANZA DE PROGRAMACIÓN A NIÑOS DE 10 A 12 AÑOS EN LA CIUDAD DE IBARRA

VÁSQUEZ C., SUÁREZ W. Y MICHELENA J.

Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador, 100150.

Resumen: El presente proyecto consiste en la implementación de un prototipo electrónico programado mediante bloques que tiene como objeto la enseñanza de bases de programación hacia los niños y niñas escolares comprendidas entre las edades de 10 a 12 años; el mismo que permitirá involucrar a los escolares en la tecnología a través del uso de las herramientas tecnológicas que tienen a disposición conjuntamente con el prototipo implementado propiamente para este propósito y a la vez que se fundamentan las bases de programación orientándose para su vida académica y tecnológica. El Prototipo Electrónico implementado para este trabajo de titulación pretende dar a conocer a los niños los elementos básicos de la lógica de programación de manera sencilla, apoyarlos en su aprendizaje de manera interactiva usando un Smartphone y el prototipo, estos les dará una experiencia nueva en su proceso de razonamiento puesto que descubren y desarrollan nuevas formas de crear, asimilar un conocimiento y resolver problemas por su propia cuenta. El niño no está sujeto a una forma de pensar y razonar sino que está en libertad de resolver sus problemas de varias formas.

Palabras Claves: Prototipo Electrónico, programación, bloques.

26.1. Introducción

En este mundo cambiante, en una época donde predomina el avance tecnológico y la presentación a diario de nueva tecnología tanto en hardware como en software, las aplicaciones y sistemas electrónicos cada vez más avanzados hacen que nuestro país una vez más se vea relegado por las potencias en la creación y desarrollo de tecnología; los estudiantes primarios y secundarios deben adaptarse a ese cambio acelerado, siendo conscientes que son los llamados a cambiar el panorama actual en nuestro medio para fomentar el desarrollo tecnológico.

El fomento de plataformas libres no licenciadas les da la pauta para involucrarse en el tema tecnológico e informático haciendo de lado el tema económico para generar conocimiento y que mejore la capacidad de rendimiento académico que existe en nuestros jóvenes para llevar al país al desarrollo y generación

de tecnología. Este prototipo electrónico presentado en este proyecto se implementó con el objetivo de cambiar la situación actual de aprendizaje en estos campos, siendo una herramienta didáctica que les permitirá conocer y explorar el mundo de la tecnología desde el punto de vista del desarrollador.

En este proyecto encontrará una revisión de las teorías de aprendizaje usadas en el ámbito educativo, conceptos básicos de programación orientada a las edades propuestas, herramientas de hardware y software como de tecnologías de comunicación para la implementación de este prototipo. Además un análisis costo beneficio acerca de la viabilidad del prototipo y las conclusiones y recomendaciones generadas a lo largo del desarrollo del prototipo..

26.2. Fundamentación teórica

Las siguientes definiciones y conceptos son necesarios conocerlos para tener bases teóricas en el desarrollo del proyecto.

26.2.1. Teorías de Aprendizaje

Las teorías de aprendizaje tratan de describir algunos procesos por los cuales tanto los seres humanos como los animales aprenden, desde que se implantaron estas teorías numerosos profesionales en el tema como psicólogos y pedagogos han aportado diversas teorías respecto a este tema. [1]

26.2.1.1. Teoría Conductista El conductismo como se lo suele llamar aparece como una teoría psicológica y posteriormente se aplicó en la educación formal. Esta es una teoría pionera que vino a influir con gran peso la forma como se comprende el aprendizaje humano. Anterior a la aparición del conductismo el aprendizaje era admitido como un proceso interno y se lo investigaba por medio del método llamado “introspección” en el cual se les pedía a las personas que relataran y describieran que es lo que estaban pensando.

26.2.1.2. Teoría Cognitiva Los estudios enfocados en la teoría cognitiva desde sus inicios se presentan como la teoría que ha de relevar a las perspectivas conductistas que habían regido hasta ese entonces la psicología, todas las ideas tuvieron aportes de diferentes investigadores y teóricos que influyeron positivamente para que esta teoría se conforme, tales como: Jean Piaget y la psicología genética, David Ausubel y el aprendizaje significativo, Jerome Bruner y el aprendizaje por descubrimiento, por citar a los más relevantes.

26.2.1.3. Teoría Constructivista Esta teoría de constructivismo es compartida por diferentes tendencias de la investigación psicológica y educativa. Entre estas se puede encontrar las teorías de Jean Piaget (1952), David Ausubel (1963) y Jerome Bruner (1960), a pesar de que ninguno de estos teoristas se denominó como constructivista sus ideas y propuestas ciertamente ilustran las ideas en este sentido. El constructivismo es principalmente una epistemología, es decir, una teoría que intenta explicar cuál es la naturaleza del conocimiento humano. El constructivismo aclara que nada viene de nada, que el conocimiento previo da nacimiento a conocimiento nuevo.

26.2.2. Etapas del desarrollo cognitivo según Jean Peaget

Dentro de las etapas del desarrollo cognitivo planteadas, estudiadas y presentadas por Jean Piaget, uno de los principales psicólogos que se dedicó al estudio del desarrollo cognitivo de los niños desde el nacimiento hasta su juventud, planteó una composición de cuatro etapas: Sensorio motora, Pre operacional, Operaciones Concretas y Operaciones Formales. En la ?? se cita cada una de las etapas con sus edades y características. A breve descripción la primera etapa o Sensorio motora comprende desde el nacimiento hasta los dos años de edad, y como principal característica indica que los lactantes aprenden por medio de sus sentidos y actividad motora, la segunda etapa o Pre operacional comprende desde los dos años hasta los 7 años de edad, como principal característica indica que los niños se sofistican más en su uso de pensamiento simbólico, pero sin poder utilizar aun la lógica, la tercera etapa u Operaciones Concretas comprende desde los siete años hasta los doce años de edad, como principal característica los niños desarrollan el pensamiento lógico, pero no abstracto y por último la etapa de Operaciones Formales que comprende a partir de los doce años hasta aproximadamente los 19 años de edad, su principal característica indica que los adolescentes adquieren capacidad para pensar de manera abstracta. [2]

Tabla 26.1: Comparativa entre teorías de aprendizaje

Aprendizaje como	Enseñanza	Foco Instruccional	Resultados
Adquisición de respuestas	Suministro de retroalimentación	Centrado en el currículo (Conductas correctas)	Cuantitativos (Fuerza de las Asociaciones)
Adquisición de conocimiento	Transmisión de Información	Centrado en el currículo (Información Apropriadada)	Cuantitativos (Cantidad de información)
Construcción de Significado	Orientación del proceso cognitivo	Centrado en el alumno (Procesamiento significativo)	Cualitativos (Estructura del conocimiento)

Tabla 26.2: Comparativa entre teorías de aprendizaje por etapas

Etapas	Edad	Características
Sensorio motora	Nacimiento - 2 años	Los lactantes aprenden por medio de sus sentidos y actividad motora
Pre operacional	2 - 7 años	Los niños se sofistican más en su uso de pensamiento simbólico, pero sin poder utilizar aun la lógica
Operaciones Concretas	7 - 12 años	los niños desarrollan el pensamiento lógico, pero no el abstracto
Operaciones Formales	12 años en adelante	Los adolescentes adquieren capacidad para pensar de manera abstracta

26.2.3. Tecnología, Incidencia en los niños

La tecnología en la última década ha visto un abrumante crecimiento y desarrollo en todas las gamas que la conforman, desde la internet como expansión para el soporte de todas las tecnologías y dispositivos como de todos los productos, programas y aplicaciones que han sido desarrollados enfocándose en las personas como directos beneficiarios y principales consumidores. Los niños están creciendo en un mundo digital, por lo que la tecnología está integrada en sus vidas. Laptops de juguete, teléfonos celulares y teclados, están disponibles para que los niños exploren el mundo y los incorporen a sus juegos. Ellos podrían percibir que hay cámaras, DVDs, teclados electrónicos, discos compactos, computadoras, tabletas, TV y teléfonos celulares en uso a su alrededor, y como los niños pequeños son curiosos y quieren darle sentido a su mundo, están dispuestos a involucrarse con ellos. Este contacto de los niños con los dispositivos electrónicos y en especial con los Smartphone conlleva una incidencia tanto positiva como negativa; si el niño o niña usa la tecnología de manera moderada bajo supervisión de sus padres o familiares y con actividades y contenido adecuado a su edad sin crear una dependencia hacia el dispositivo puede ser de enorme utilidad y beneficio para el niño o niña, mas no será de ayuda y beneficio alguno si el niño o niña tienen acceso a estos dispositivos sin supervisión y restricción del contenido al que acceden generándole un posible daño y dependencia hacia estos. [3]

26.2.4. Programación enfocada a niños

Aprender a programar desde temprana edad es como aprender un nuevo idioma, entre más temprano se haga, más sencillo será para el pequeño adquirir las destrezas y habilidades del objeto a comprender. Se requiere de paciencia, compromiso y práctica para dominar tales habilidades a largo plazo. No solo incrementa la resolución de la adquisición del lenguaje y significado, además incentiva la habilidad de comprensión, utilizando la analogía del discurso como herramienta principal. Sin duda son nuevas formas de expresión a través del lenguaje cifrado en nuevas tecnologías. Hoy en día, en países de Europa, como Estonia, se fomenta a los niños a aprender código desde primer año de educación elemental. Los pequeños

que a temprana edad aprenden a codificar tienden a desarrollar nuevas capacidades de resolución de problemas y nuevas aptitudes de aprendizaje lógico-verbal. Programar es establecer instrucciones lógicas y ordenadas para ser ejecutadas por un ordenador o sistema programable. El resultado de esta tarea es un paquete de instrucciones al que se lo llama programa. El objetivo de programar es enfocarse en resolver un problema y establecer como un dispositivo u ordenador debe trabajar. [1]

26.2.4.1. Lenguaje de programación Un lenguaje de programación es una herramienta que permite crear programas y software que controle el comportamiento físico y lógico de una máquina. Como ejemplo se tiene C++, Delphi, Visual Basic, Pascal, Java entre otros.

26.2.4.2. Programa Un programa es una secuencia de instrucciones escritas en un lenguaje de programación que orientan al computador o al dispositivo programable a realizar una actividad o a la resolución de un problema en específico.

26.2.4.3. Algoritmo Un algoritmo es una secuencia ordenada de pasos u operaciones que derivan en la resolución de un problema o la realización de una tarea específica, siendo estos claros, lógicos y tienen un principio y final.

26.2.4.4. Estructuras de control Las estructuras de control son pieza fundamental en los lenguajes de programación, permitiendo que las instrucciones se ejecuten indistintamente del orden como fueron concebidas. Condicional; Las estructuras de control condicional permiten la ejecución de secuencias en relación a una condición establecida, permitiendo la ejecución de las instrucciones si y solo si se cumple la condición y Repeticiones; Las estructuras de control de bucles o repeticiones permiten ejecutar repetidamente un conjunto de instrucciones la cantidad de veces que se establezca en la condición, por tanto ejecutará las repeticiones que sean necesarias hasta cumplir con la condición establecida.

26.2.4.5. Programación mediante bloques Los bloques son una sección de código con una o más declaraciones y sentencias. Un lenguaje de programación que admite bloques, encerrando bloques anidados dentro de otros bloques o sección de código es denominado lenguaje de programación estructurado mediante bloques. La función de los bloques de programación es permitir que ciertos grupos de sentencias sean tratados como si fueran una sola sentencia o un solo conjunto, y restringir el ámbito léxico de las variables, los procedimientos y funciones declaradas en un bloque para que no entre en conflicto con variables con el mismo nombre utilizadas para diferentes propósitos en otras partes de un programa. [6]

26.2.5. Herramientas para la enseñanza de programación a niños

A continuación se detalla tres plataformas que permiten el uso y la interacción con la programación mediante bloques y se enfocan en cumplir los objetivos de dar a conocer a los escolares la programación o el fundamento de la codificación con sencillas sentencias y secuencias lógicas acorde a su edad: [7]

26.2.5.1. Scratch Scratch es un programa propuesto directamente a los niños en etapa escolar que les permite conocer, explorar y experimentar con los conceptos básicos de programación de computadores a través del uso de una amigable interfaz gráfica.



Figura 26.1: Logo Scratch

26.2.5.2. Code.org Code.org, una organización sin fines de lucro con un meritorio objetivo: “difundir la programación como parte de la educación básica de los jóvenes”.

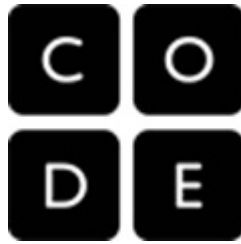


Figura 26.2: Code.org

26.2.5.3. MIT App Inventor App Inventor es un entorno de desarrollo de aplicaciones para dispositivos electrónicos Android basado en bloques, desarrollado inicialmente por el MIT (Massachusetts Institute of Technology) para cualquier persona con interés de crearse su propia aplicación móvil para cualquier campo.



Figura 26.3: MIT App Inventor

26.2.6. Tecnologías Inalámbricas

Las tecnologías inalámbricas usan ondas de radiofrecuencia de muy baja potencia y en una banda específica, son de uso libre para transmitir y comunicarse, entre dispositivos, estos parámetros de libertad de transmisión, sin necesidad de licencia, han beneficiado que el número de equipos, especialmente los ordenadores, que usan las ondas para comunicarse, a través de redes inalámbricas haya incrementado significativamente. La tendencia a la movilidad y la necesidad de estar en varios lugares al mismo tiempo ha permitido desarrollos significativos en las tecnologías y los sistemas inalámbricos, y el objetivo es ir reemplazando los cables en todo tipo de comunicación que desde el punto de vista técnico sea factible, no solo en el campo de las telecomunicaciones sino también en televisión, telefonía, seguridad, domótica entre otros. Un fenómeno social que ha adquirido gran importancia en todo el mundo como consecuencia del uso de las tecnologías inalámbricas son las comunidades wireless que buscan la difusión de redes alternativas a las establecidas y comerciales. [8]:

26.2.6.1. Wi - Fi Wi-Fi está diseñado para la comunicación de dispositivo a dispositivo, en reemplazo de las redes cableadas, permite navegar por Internet a velocidades de banda ancha cuando se enlaza a un punto de acceso. Wi-Fi ofrece mucha mayor velocidad de datos, mientras que Bluetooth y Zigbee ofrecen cantidades inferiores. Wi-Fi funciona tanto en 2,4 Ghz o 5 Ghz como banda de frecuencia, y es compatible con dispositivos con una fuente de alimentación constante.

26.2.6.2. Bluetooth Bluetooth está diseñado para permitir a los módulos periféricos de corto alcance de las computadoras, tales como ratones de ordenador, teclados, impresoras, entre otros, puedan “hablar” con el equipo, véase el logo en la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.. Esta gama de aplicaciones se conoce como red de área personal inalámbrica (WPAN). Bluetooth opera con una banda de frecuencia de 2,4 Ghz, y realmente sólo funciona bien dentro de una habitación, no a través de una casa entera, su alcance es limitado.

26.2.6.3. ZigBee Este es un protocolo inalámbrico que también opera en la banda de 2,4 Ghz, como Wi-Fi y Bluetooth, pero manipula velocidades de datos más bajas, es una solución ideal para crear redes flexibles y robustas para aplicaciones de control y monitoreo.

Tabla 26.3: Comparativa entre tecnologías inalámbricas

	ZigBee	Wi-Fi (802.11)	Bluetooth
Aplicación	Monitoreo y control	Email, web, video	reemplazo de cable
capa Física/MAC	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11	IEEE 802.15.1
Velocidad de datos	20, 40 y 250 Kbits/s	11 - 54 Mbits /s	1 Mbit/s
Rango	10 - 100 metros	50 - 100 metros	10 metros
Topología de red	Ad-hoc, estrella, ma- lla	Punto a hub	Ad-hoc, redes muy pe- queñas
Frecuencia de opera- ción	868 Mhz EU, 928 Mhz EUA, 2.4 Ghz	2.4 y 5 Ghz	2.4 Ghz
Complejidad	Baja	alta	alta
Consumo de energía	muy baja	alta	medio
Numero de dispositi- vos por red	64 K	32 por punto de acceso	7
Latencia de red	< 30 ms	Conexión 3 - 5 sec	hasta 10 sec
Aplicaciones típicas	Monitoreo y control industrial, sensores	Conectividad inalámbrica	LAN Conectividad inalámbrica entre dispositivos

26.2.7. Plataforma Electrónica Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fácil de usar, está dirigido a personas interesadas a realizar cualquier tipo de proyecto interactivo, las placas Arduino son capaces de leer las variables o la luz en un sensor, un dedo en un botón, o un mensaje de Twitter y transformarla en una salida para la activación de un motor, encender un diodo LED o publicar algo en línea. Se puede ordenarle a la placa qué hacer mediante el envío de un conjunto de instrucciones al microcontrolador ubicado en la placa. Para esto se utiliza el lenguaje de programación de Arduino basado en Wiring, y el software de Arduino (IDE), basado en Processing.

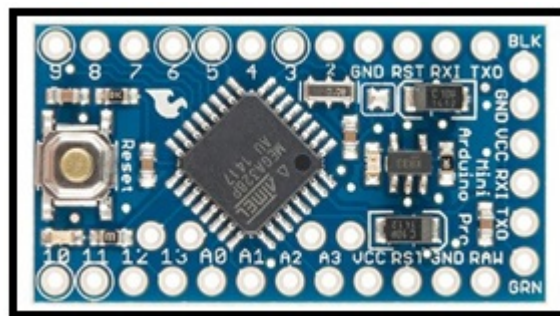


Figura 26.4: Arduino Mini PRO

Tabla 26.4: Especificaciones técnicas Arduino mini Pro

Especificaciones Técnicas	
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de Operación	3.3 - 5V
Voltaje de Entrada	3.35 - 12 V
Pines Digitales I/O	14 (6 proveen salidas PWM)
Pines Análogos de Entrada	6
EEPROM	1 KB
Corriente directa por pin I/O	40 mA
memoria Flash	32 KB. 0.5 KB usados para gestor de arranque.
SRAM	2 KB
Velocidad de reloj	8 Mhz
Largo	33 mm
Ancho	18 mm

26.3. Desarrollo del prototipo electrónico programado mediante bloques con una APP móvil

26.3.1. Descripción general del proyecto

El proyecto consta básicamente de tres fases o etapas que se irán citando y detallando en el desarrollo del diseño del proyecto, la aplicación móvil que abarcará las secuencias básicas de programación en bloques para la enseñanza de los fundamentos de programación a los niños escolares de diez a doce años de edad, la comunicación entre la aplicación móvil y el prototipo electrónico y la implementación final del prototipo electrónico que aplicará las secuencias básicas de programación que son enviadas desde el celular y más específicamente de la aplicación móvil.

26.3.2. Selección del material a utilizar en la carcasa del prototipo

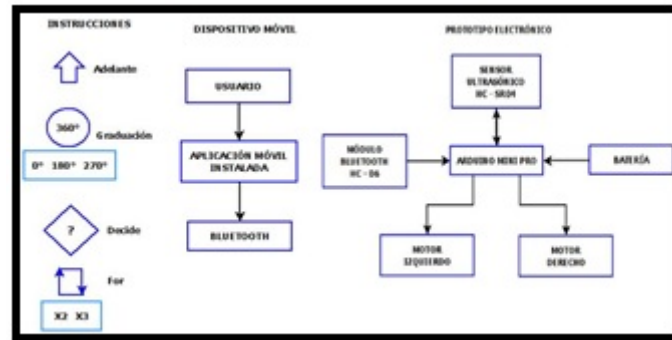
La madera es un material de origen natural, utilizada en una gran variedad de artículos principalmente del hogar, es un recurso renovable, abundante, orgánico, económico y con el cual es muy fácil de trabajar y moldear. Posee múltiples ventajas como docilidad al manejo, flexibilidad, resistente, calidad y belleza propias del material obtenidas en el tallado, es un material dieléctrico, sus propiedades, su disponibilidad en el mercado local y su fácil manejabilidad ha hecho que sea elegida como material a usar en la carcasa del prototipo.

26.3.3. Selección de la plataforma para la aplicación

App Inventor desarrolla aplicaciones para dispositivos electrónicos Android basado en bloques, se enfoca en el aprendizaje escolar en beneficio de escuelas e institutos, es fácil de programar, posee una interfaz muy amigable y permite visualizar el desarrollo paso a paso y permite generar una aplicación para instalación, esta plataforma nos permite crear y diseñar aplicaciones móviles basadas en la programación por bloques, es fácil de comprender para los niños con las edades a las que se ha enfocado y permite empaquetar todo el código en una aplicación instalable en dispositivos móviles.

26.3.4. Diseño del primer prototipo

Se inicia con un detalle rápido en diagrama de bloques para concebir la idea del proyecto, luego más detalladamente se usará un diagrama de flujo para observar el funcionamiento de nuestro prototipo electrónico. Se diseñará las secuencias básicas de programación que serán empleadas por la aplicación móvil basada en Arquitectura Open Source, se procederá al armado del prototipo, se buscará mejoras a ese prototipo y se realizará las pruebas respectivas para dar respaldo y validez al proyecto.



26.3.4.1. Diagrama de Bloques Instrucciones, cuenta con cuatro tipos de instrucciones principales, Adelante, Graduación, Decide y For (Repetición). Del tipo graduación se derivan dos sub tipos que son 0° y 180°, del tipo For se derivan dos sub tipos de repetición X2 y X3.

Dispositivo Móvil, cuenta con tres etapas, la etapa usuario es la que genera el requerimiento a través de las instrucciones soportadas por la aplicación móvil que es la segunda etapa y la tercera etapa donde los requerimientos del usuario se transmiten por Bluetooth hacia el prototipo electrónico.

Prototipo Electrónico, funciona de manera centralizada, utiliza la plataforma Arduino como gestora principal del prototipo, inicia recibiendo requerimientos en forma de caracteres a través del módulo bluetooth integrado, esos caracteres pasan hacia el gestor central o Arduino Mini PRO y este a su vez usando recursos de Batería puede satisfacer los requerimientos recibidos por el módulo bluetooth HC-05, si el requerimiento es de tipo Decidir entonces usa el sensor ultrasónico para obtener más información y dar solución a los requerimientos recibidos por el módulo bluetooth y que a su vez son del usuario.

26.3.4.2. Simulación Para la simulación del proyecto se emplea el Software Proteus versión 7.9, estas versiones actualizadas disponen de las librerías de las placas Arduino ya integradas, haciendo que se facilite la simulación con la mayoría de placas disponibles de Arduino.

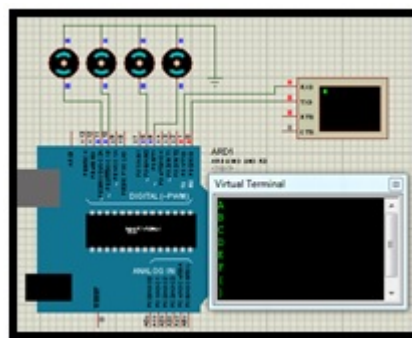


Figura 26.5: Simulación en Proteus

26.3.4.3. Diseño e impresión del circuito para la baquelita Realizada la simulación del circuito y verificado su funcionamiento se procede a realizar un esquema para el circuito impreso en el Software de diseño de diagramas y PCB s llamado Eagle (Easily Applicable Graphical Layout Editor), es donde se genera un primer plano de la pista para ser plasmada en la baquelita, este programa permite dibujar el esquema de pista, editar en caso de cambios y eliminar pistas en caso de requerirse.

26.3.5. Elección de la tecnología Inalámbrica

Bluetooth opera en la banda de frecuencia de 2.4 Ghz que es una banda no licenciada, su operatividad se ha beneficiado por corto alcance y el volumen bajo de datos que maneja, muchos periféricos trabajan

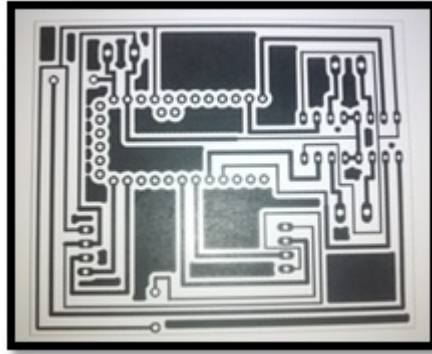


Figura 26.6: Impresión del diseño de circuito impreso.

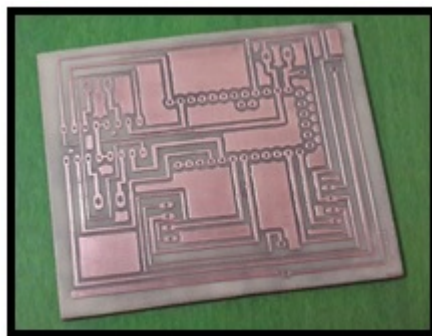


Figura 26.7: Baquelita terminada.

con esta tecnología para la comunicación con computadoras personales, su consumo de energía es bajo por lo que se ha integrado en laptops, Smartphone y otros dispositivos y que lo hace ideal para nuestro proyecto por su coste bajo, su disponibilidad en el mercado y principalmente porque está integrado en los teléfonos móviles que nos es de gran utilidad para la aplicación móvil, se toma en cuenta a la tecnología Bluetooth para la comunicación entre nuestro Prototipo Electrónico y la aplicación móvil instalada en el celular.

26.3.6. Diseño y programación de la aplicación

En la Figura 26.8 se muestra la base de diseño de la aplicación móvil, se encuentra estructurada por conjunto de elementos o tablas, los botones se agrupan en una tabla, las imágenes se agrupan en otra tabla diferente y los botones principales que son los comandos se agrupan en otra tabla distinta.

Paleta: Dispone de todos los elementos que pueden ser usados en la aplicación, se hallan cuadros de textos, botones, etiquetas, dibujos como también elementos especiales ocultos como son acelerómetros, bases de datos, cámara de video y Bluetooth.

Pantalla: Muestra una cercana apariencia con la aplicación que se realiza, abarca todos los elementos posibles de la Paleta.

Componentes: Visualiza de manera organizada todos los elementos que hayan sido arrastrados desde la paleta hacia la pantalla.

Propiedades: Permite configurar las características que un elemento tiene como fuente, alto, ancho, color, porcentaje de distribución dependiendo de cada elemento



Figura 26.8: Plataforma de diseño de MIT App Inventor.



Figura 26.9: Base de diseño de la App Móvil.

26.3.7. Implementación del primer prototipo

En este ítem se muestra los pasos a seguir para el armado de los elementos que intervienen en el prototipo, la suelta y conexiones necesarias para su correcto funcionamiento.

26.3.8. Diseño de las secuencias de programación

Las secuencias se desarrollan de tal manera que involucren todas las instrucciones que han sido planteadas y empleadas dentro de la aplicación móvil, estas instrucciones han sido preestablecidas respondiendo a la necesidad de la lógica de programación, tales como Avanzar, Giro a la Derecha (0°), giro a la Izquierda (180°), repeticiones de las instrucciones anteriores y decisiones que pueda tomar el prototipo electrónico en caso de encontrar un obstáculo en su camino, en la Figura 26.18 se indica las instrucciones.

Ubicar la tabla de instrucciones y seleccionar botón Decisión, clic en llave abierta, clic en el botón Graduación y se selecciona 180° , seguido clic en llave cerrada. A continuación seleccionando el botón Repetición, en el submenú que se habilita escoger X3, seleccionar abrir conjunto, seleccionar Adelante y cerrar el conjunto. Seguido clic en Graduación, del submenú se selecciona 0° , luego avanzar y por ultimo clic en Iniciar. En la Figura 26.19 se indica la explicación.

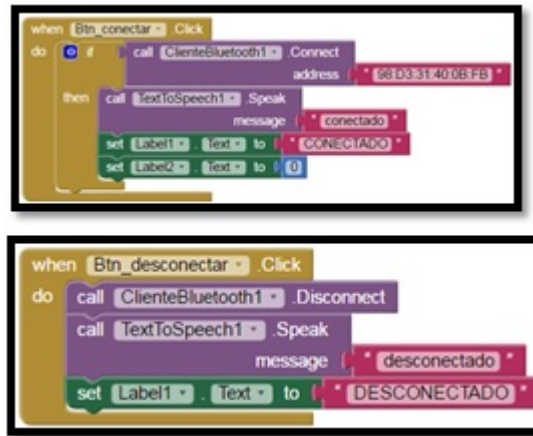


Figura 26.10: Ejemplo de diseño de botones.

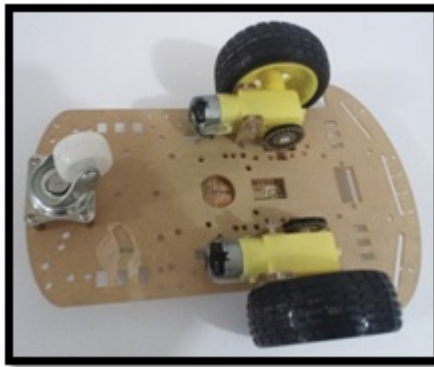


Figura 26.11: Elementos fijados en el chasis.

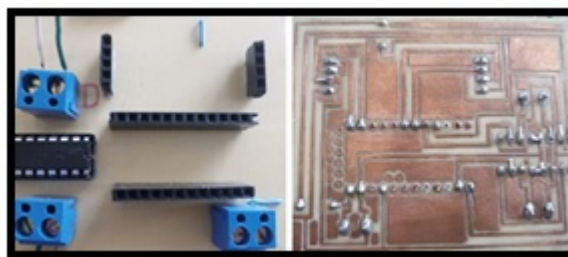


Figura 26.12: Elementos fijados sobre la placa.

26.3.9. Pruebas y Resultados del prototipo final

Las pruebas se realizaron con diez niños y niñas pertenecientes a las escuelas de la ciudad de Ibarra en las edades comprendidas de entre 10 a 12 años que son las edades a las cuales se enfocó este proyecto, en la Figura 26.21 se muestra el desarrollo de las pruebas.

Durante la realización de las pruebas se observó el interés que los escolares tuvieron desde el momento que se les explicó a breve rasgo la prueba, se les indicó y leyeron el manual de usuario y después de haber recibido indicaciones acerca de las instrucciones se procedió a la manipulación y puesta en marcha del prototipo a través de las secuencias lógicas de programación; a simple vista se obtuvieron resultados favorables que se los detalla en la tabla 26.5.

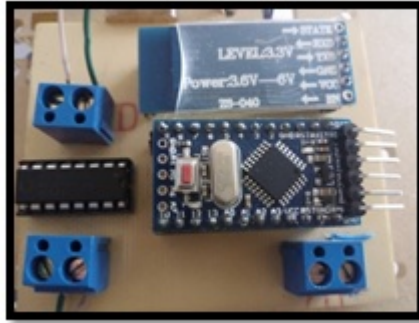


Figura 26.13: Módulos Instalados.



Figura 26.14: Kit de tracción.

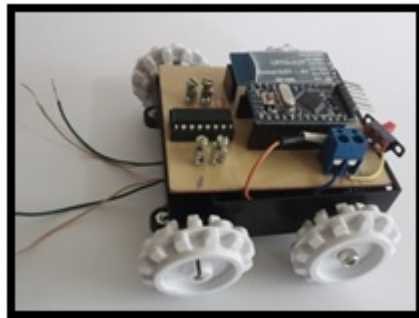


Figura 26.15: Conjunto de elementos al chasis.

Para cada actividad se empleó un tiempo determinado como se ve en la *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.6* en la cual se indicó cada uno de los procedimientos a seguir para llegar a desarrollar las secuencias de programación, cada actividad estuvo documentada, explicada y verificada que cada niño comprenda las explicaciones impartidas. Cabe recalcar que los tiempos empleados para cada niño en comprender la idea y las explicaciones varían debido a la edad y a la instrucción escolar de cada niño, además son tiempos promedio entre las mismas edades, los niños de 12 años sin duda transformaron las explicaciones en construcción de secuencias en menor tiempo que los de 11 y 10 años, este resultado se lo obtiene a través de observación directa en el transcurso de la prueba.

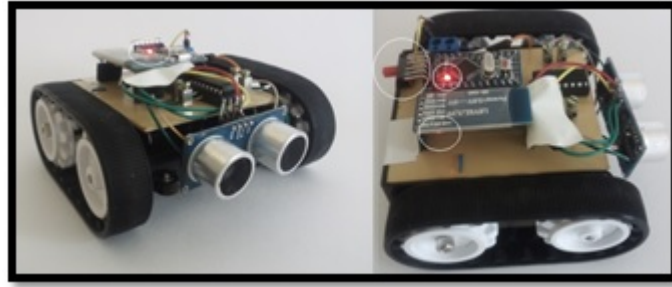


Figura 26.16: Prototipo Operativo.

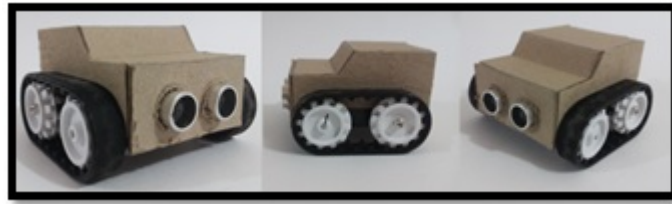


Figura 26.17: Diseño final.



Figura 26.18: Instrucciones.

La tabla 26.6 permitió determinar que hay niños que pueden aprender más rápido que otros pero en general los niños de mayor edad aprenden y captan las indicaciones rápidamente que los de menor edad por ende la generación de secuencias toma menos tiempo. El tiempo de perfeccionamiento del prototipo en promedio es de 110 minutos o 1 hora con 50 minutos, tiempo en el cual los niños y niñas perfeccionaron el manejo del prototipo electrónico y la aplicación móvil.

26.3.10. Presupuesto Referencial

Se detalla el análisis económico de los materiales usados para el diseño del prototipo de la aplicación, así como los componentes necesarios para la construcción del mismo.

26.3.10.1. Hardware Utilizado Se incluye los costos que incurrieron en el diseño y la implementación, así como los materiales adicionales que fueron utilizados y herramientas electrónicas que se usaron para el desarrollo del proyecto.

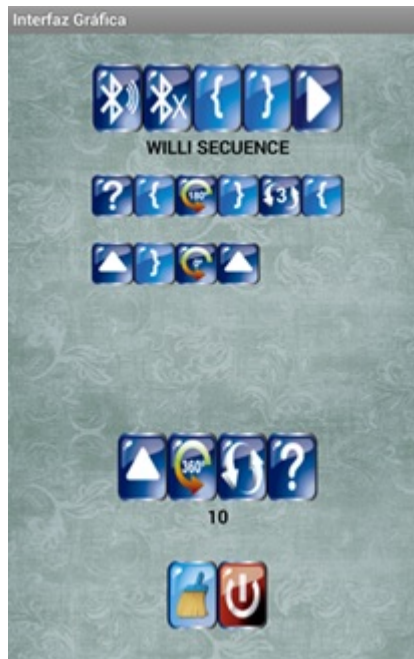


Figura 26.19: Secuencia de ejemplo.

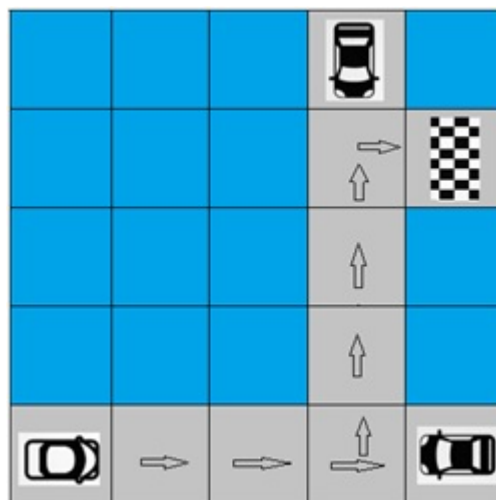


Figura 26.20: Aplicación de la secuencia de ejemplo.

26.3.10.2. *Software Utilizado* En el análisis del presupuesto de software se tiene como resultado 0.00 dólares debido a que los programas que se utilizan son bajo Arquitectura Open Source y acceso libre, pero esto no impide que se detallen.

26.3.10.3. *Costos Totales del Proyecto* Se detalla los costos que implicó poner a punto este proyecto.

26.4. Conclusiones

Se desarrolló un prototipo electrónico a través de plataformas Open Source para la enseñanza básica de programación a escolares de 10 a 12 años de edad el cual ayudó a los niños en el aprendizaje de la base de la programación y razonamiento lógico demostrado en las pruebas con los escolares y respaldado en la evidencia fotográfica, audiovisual y en las secuencias transformadas en líneas de código simple.



Figura 26.21: Pruebas con niños de 10 a 12 años.

Tabla 26.5: Resultados de las pruebas con niños de 10 a 12 años

Actividades	Explicación	Resultado
Indicaciones generales del proyecto	Se les explicó a breve rasgo como se realizaría la prueba	Los escolares mostraron interés desde que se inició con la explicación
Presentación de los elementos que constituyen el proyecto	Los elementos del proyecto se les presentó de forma separada e indicándoles su función	Cada uno de los participantes observó con atención los elementos y mostraron inquietud
Indicaciones acerca de la aplicación móvil	Se les enseñó la App móvil, las instrucciones que contiene y la forma en cómo usarla	Los niños empiezan a comprender de mejor forma de lo que se trata y empiezan a comentar entre ellos según cada uno entiende
Indicaciones acerca del prototipo electrónico	Se presentó el prototipo electrónico, como se elaboró, las partes que lo conforman y como lo usaremos	Cada niño tuvo especial interés en el prototipo, todos lo manipularon con interés, lo asemejan con un personaje de la televisión
Indicaciones de las instrucciones en la App	Se explica cada una de las instrucciones que lleva la App, lo que significa y puede realizar cada una	Aquí los niños tienen dificultades en comprender inmediatamente, se solventa inquietudes, se explica nuevamente
Generación de secuencias de prueba	Después de la explicación anterior se les impulsa a ensayar en la App	Cada niño genera secuencias de programación con las indicaciones dadas
Aplicación de las secuencias de programación en el prototipo	Se les indicó que podía realizar las secuencias de programación y aplicarlo en el prototipo	Los niños realizan las secuencias de programación, el interés incrementa significativamente luego de observar que el prototipo realiza cada una de las instrucciones que programaron

Tabla de resumen de los resultados de las pruebas desarrolladas con el grupo de niños con edades comprendidas entre 10 y 12 años.

Para conocer la realidad del aprendizaje de programación en los escolares se levantó encuestas, se hizo una investigación acerca de las metodologías de aprendizaje en niños de 10 a 12 años de edad, las mismas que permitieron conocer el nivel de desarrollo cognitivo y de aprendizaje que tienen en esas edades enfocado en el aprendizaje de programación, y donde se determina la posibilidad del diseño de secuencias básicas de programación para los escolares.

Tabla 26.6: Tiempos de perfeccionamiento de uso del prototipo

Actividades	10 años	11 años	12 años
Indicaciones generales del proyecto	15 Minutos	15 Minutos	15 Minutos
Presentación de los elementos que constituyen el proyecto	30 Minutos	30 Minutos	30 Minutos
Indicaciones acerca de la aplicación móvil	15 Minutos	10 Minutos	10 Minutos
Indicaciones acerca del prototipo electrónico	10 Minutos	10 Minutos	10 Minutos
Indicaciones de las instrucciones en la App	25 Minutos	20 Minutos	20 Minutos
Generación de secuencias de prueba	10 Minutos	10 Minutos	7 Minutos
Aplicación de las secuencias de programación en el prototipo	15 Minutos	12 Minutos	10 Minutos

Tabla 26.7: Presupuesto referencial del prototipo

Cantidad	Material	Costo unit	Costo total
1	Kit Chasis Pololu	25.00	25.00
1	Carcasa de Madera	12.00	12.00
1	Kit Llantas	28.00	28.00
1	Mano de Obra	35.00	35.00
	TOTAL	-	100.00

El uso de secuencias lógicas de programación por medio de bloques integradas en la aplicación móvil utilizando las instrucciones predefinidas en la aplicación le permiten al escolar interactuar con el prototipo utilizando su razonamiento, evaluar la situación del problema presentado, realizar una secuencia lógica y verificarla inmediatamente se procede a su ejecución.

Al implementar el prototipo y realizar las pruebas con una selección de niños entre los 10 y los 12 años en etapa escolar se obtuvieron resultados halagadores e inesperados; en primer lugar los escolares mostraron un gran interés en el prototipo y su aplicación, cooperaron con el resto de estudiantes durante el desarrollo de las pruebas, fueron capaces de resolver sus retos planteados individualmente y posterior plasmaron los resultados de sus secuencias en papel en forma de código.

Como instrumento de apoyo y manipulación del prototipo se elaboró un manual de usuario que permitió una mejor comprensión en el uso y manejo de la aplicación por parte del escolar permitiéndole un correcto uso sin exponer al prototipo a una incorrecta funcionalidad o que comprometiera su integridad.

El análisis costo beneficio del prototipo electrónico detalla minuciosamente el costo de todos y cada uno de los elementos y materiales electrónicos empleados en este proyecto, lo que permite determinar el costo económico del prototipo, un costo referencial para en el futuro desarrollar y comercializar más unidades.

26.5. Recomendaciones

El proyecto abre camino en el tema de herramientas didácticas para el uso en las escuelas y por ello es recomendable que los alumnos de ingeniería y principalmente de nuestra carrera observen las

Tabla 26.8: Presupuesto de elementos electrónicos usados

Cantidad	Material	costo unitario	costo total
2	Micro motores	12.00	24.00
1	Módulo Bluetooth HC-05	18.00	18.00
1	Arduino Mini PRO	9.00	9.00
1	Sensor Ultrasónico HC-SR04	5.00	5.00
1	Circuito integrado L293D	4.00	4.00
2	Baterías 3.7V - 800mAh	9.00	18.00
2	Diodos Led	0.20	0.40
2	Hilo conductor (2m)	0.60	1.20
2	Resistencias 1Kohm	0.80	1.60
3	Borneras de 2 pines	0.35	1.05
1	Switch	0.75	0.75
1	Espadines tipo hembra	1.20	1.20
1	Zócalo	0.50	0.50
1	Estaño (1m)	0.40	0.40
1	Cautín	3.50	3.50
2	Acido	1.20	2.40
1	Baquelita de cobre	2.00	2.00
1	Cable Termotransferible (1m)	0.60	0.60
1	Silicona	1.50	1.50
	TOTAL	-	95.10

Tabla 26.9: Presupuesto de software

Cantidad	Descripción	costo total
1	IDE de Arduino	\$ 0.00
1	Eagle 6.5.0	\$ 0.00
1	MIT App Inventor	\$ 0.00
1	MIT Ai2 Companion	\$ 0.00
	TOTAL	\$ 0.00

Tabla 26.10: Costos totales del proyecto

Descripción	valor
Prototipo Electrónico	\$ 100.00
Costo de Elementos Electrónicos	\$ 95.10
Costo del Smartphone	\$ 260.00
Costo del Software	\$ -
TOTAL	\$ 455.10

potencialidades que ofrece esta área de la enseñanza, se busque desarrollar prototipos para esta área sacándoles el mayor provecho posible en beneficio de los escolares.

Se recomienda leer primero el manual de usuario incluido en este proyecto con el objetivo de evitar problemas en el uso la aplicación del dispositivo móvil y evitar cualquier amenaza a la integridad del prototipo electrónico en caso de suscitarse algún inconveniente.

Se recomienda conocer todos y cada uno de los elementos electrónicos a utilizar en la implementación del prototipo electrónico, conocer sus dimensiones, características técnicas y de operación con el propósito de evitar fallas, quemadura de elementos y cortocircuitos durante la implementación.

Se recomienda el uso de software libre bajo la Arquitectura Open Source debido a que son herramientas desarrolladas por equipos de trabajo e instituciones que tienen como fin mejorar procesos ya establecidos y que la comunidad tecnológica y de código sea más grande, los programas que se ha usado a lo largo de este trabajo como IDE de Arduino o MIT App Inventor responden a esos lineamientos además que son gratuitos.

Se recomienda a los ingenieros que tomen como referencia este trabajo se enfoquen en mejorar el aspecto de diseño, mayores funcionalidades, más llamativo, más compacto entre otras cosas que se puede mejorar y perfeccionarlo.

Referencias

1. Amado, N. (2012, Septiembre 5). Bloques de programación scratch. Retrieved from Bloques de programación scratch: <http://es.slideshare.net/nicolasamado/bloques-de-programacion-scratch>
2. Android. (2015, Noviembre 13). android. Retrieved from android: <https://www.android.com/>.
3. Angela, B. (2012, 07 09). Programación de Arduino: El IDE de Arduino. Retrieved from Programación de Arduino: El IDE de Arduino: <http://solorobotica.blogspot.com/2012/07/programacion-de-arduino-elide-de.html>.
4. Apple Inc. (2015, Noviembre 19). iOS. Retrieved from iOS: <http://www.apple.com/ios/>.
5. Arduino. (2013, Mayo 30). Arduino Mini PRO. Retrieved from Arduino Mini PRO: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardProMini>.
6. ARQUITECTURA, A. (2013, 04 24). Propiedades de la madera. Retrieved from Propiedades de la madera: <http://www.arqhys.com/contenidos/madera-propiedades.html>.
7. ATAREAO, E. (2013, 06 28). TODO EL MUNDO DEBERÍA SABER PROGRAMAR. Retrieved from TODO EL MUNDO DEBERÍA SABER PROGRAMAR: <http://www.atareao.es/programacion/todo-el-mundo-deberia-saber-programar/>.
8. BBC MUNDO. (2013, 05 01). Tecnología, ¿beneficia o perjudica el desarrollo de los niños? Retrieved from Tecnología, ¿beneficia o perjudica el desarrollo de los niños?: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/05/130422_salud_bebe_tecnologia_desarrollo_gtg.
9. Bolaños, B. H. (2003, 07 21). Paradigmas. Retrieved from Paradigmas: <http://www.academia.edu/3670572/Paradigmas>.
10. Bravo, A. (2011, Agosto 3). MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA. Retrieved from MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA: <http://solorobotica.blogspot.com/2011/08/motores-de-corriente-continua.html>.
11. CadSoft EAGLE. (2015, 29 02). What is EAGLE. Retrieved from What is EAGLE: <http://www.cadsoftusa.com/eagle-pcb-design-software/about-eagle/>.
12. CCM. (2014, 05 21). ¿Qué es un programa informático? Retrieved from ¿Qué es un programa informático?: <http://es.ccm.net/contents/305-programa-informatico>.
13. Desarrollo, S. N. (2013, 10 31). Transformación de la Matriz Productiva. Retrieved from Transformación de la Matriz Productiva: http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/01/matriz_productiva_WEBtodo.pdf.
14. ELECTRONILAB. (2013, Octubre 15). Sensor de Distancia de Ultrasonido HC-SR04. Retrieved from Sensor de Distancia de Ultrasonido HC-SR04: <http://electronilab.co/tienda/sensor-de-distancia-de-ultrasonido-hc-sr04/>.
15. Rodríguez, D. N. (2012, 04 10). Situación de la Ciencia, la Tecnología e Innovación en el Ecuador. Retrieved from Situación de la Ciencia, la Tecnología e Innovación en el Ecuador: http://www.reaces.ec/reaces/index.php?option=com_content&view=article&id=53:situacion-de-la-ciencia-la-tecnologia-e-innovacion-en-el-ecuador&catid=36:articulos&Itemid=14

Capítulo 27

TRIDIMENSIONAL TRAJECTORY FOLLOWING CONTROL FOR A HELICOPTER WITH PVFC AND HWTHE LOOP

FERMÍN L. Y DE LA VEGA J.

Simon Bolivar University, Sartenejas Valley, Postal mail 89000, Caracas 1080A, Venezuela

Resumen: A tridimensional trajectory following control was made in order to manipulate non-operated helicopter to fulfill ground surveillance and reconnaissance goals. Passive Velocity Field Control (PVFC), in combination with Fuzzy Control and Hardware in the Loop, were use to make the control scheme to follow a predetermined tridimensional trajectory. A Quanser computer flight simulator was use in the implementation of the Hardware in the loop, and Matlab®simulator for the simulation of the control scheme. The simulation was done through two subsystems, one controlling the Z position of the helicopter through the fuzzy control of the pitch (θ) angle reference and the other, controlling the XY position through the yaw (ψ) angle reference generate from the PVFC. The simulation was made and tested, doing a linear and circular trajectory, generating the following according to provided. At the application in Hardware in the loop, the linear trajectory could be achieve rater then the circular trajectory, where the electrical power needed exceeds the available. Applications may vary from rescue operations to recognition of inhospitable places.

Palabras Claves:

27.1. Introduction

Attempting provide autonomy to mobile equipments such as ground vehicles, helicopters or robots, is a wide research area whose applications covers from recognition of inhospitable places, to people rescue. Examples of these non-tripulate vehicles are those sent to outer space, or deep to the ocean for scientific research.

In many occasions the work field of the vehicle can be describe in two dimensions, but sometimes there are some applications were the good behavior of the vehicle needs to be fulfill in tridimensional spaces. This is why the PVFC and the Fuzzy control offer a practicable alternative, where directional vectors and FIS (Fuzzy inference systems) are used to determine a default route through the generation of a reference angle.

All of above is complete with the use of schemes like Hardware in the Loop (HIL), where real equipment are used to simulate the notions of the control propose, and consider all the physical perturbations in real implementation. There have been some research works where the Hardware in the loop scheme has been used. Guowei Cai et al. (2009) work with HIL scheme to make a default route for a helicopter with the integration of four modules that includes, flight equipment hardware, flight control, base station and the software. Many fly test are simulated including basic movements, as well as high skill flights and multiformation flights with many helicopters controlled by the propose system. As a result of the tests, the propose system predicted in an accurate and efficient way the real flight situations including the risk and potential accidents.

Hacibekir et al. (2006) used the HIL scheme for the design of adaptative headlights systems, where the orientation of the headlights are moved independently so they can be always parallel to the bend in the road. And by this way give to the driver a better night vision. Hanson et al. (2007) used the HIL scheme to evaluate the performance of biomedical equipments combining mechanical tests with biological process numerical models. This technique was proven in cardiac care equipments, where they were submitted to heart failure simulator to give physical assistance. The HIL scheme allow to make tests to the equipment before it could be used in human been, eliminating the risk that implied this tests. The HIL scheme allows doing tests almost in a real way, without taking the risk of having serious consequences.

Gans et al. (2009), work with HIL scheme to make a flight control of a non-tripulated vehicle, using pictures of a camera coupled to the vehicle. A software was used to make virtual reality, projected in a screen that was capture for the camera. A wind tunnel was used to simulate airstreams, and by this way simulate real flight problems that cannot be reproduce by traditional simulation.

Thereby HIL scheme is an efficient way to simulate more real systems and prove scheme control in these situations, to know the final behavior, been more accurate than the traditional simulation.

In the HIL scheme propose in this work, the PVFC notions are use as a part of the scheme, to fulfill the objectives of the investigation. The PVFC is use because it allows to face situations where the coordination within the degrees of freedom of the systems is needed to achieve the final goal (Li, Perry, 1999;2001).

Li and Horowitz (1997), use the PVFC to fulfill security needs on control systems for smart machines tests, while Suasana and Saimek (2011) use the PVFC looking for safety and low cost operations in the movement of an underwater autonomous vehicle. It can be seen that PVFC has been used before for the movement control of autonomous vehicles.

Moreno and Valenzuela (2007) demonstrated that PVFC can be used in 3D planes, for the correct movement of a robot arm. And the robot trajectory following by PVFC was demonstrated by Li and Horowitz (1996) where a default parameterized curve is turn into a velocity field, coordinating the degrees of freedom of the robot efficiently. In other work Li Jingle and Li Perry (2000), demonstrated that PVFC can give more stability and safety to the systems, because it can disperse the ambient energy inputs.

These works let know that PVFC can be use in the tridimensional trajectory following control propose in this paper. Giving to the system stability, safety, and a better coordination of the degrees of freedom. In addition the fuzzy control is propose to complement the scheme control to form a synergy capable to control the proposed plant.

The fuzzy control has been widely applied in many fields, and in many ways, through adaptive controls, neural network fuzzy controls, under reference systems, and many others. On the robot following trajectory, the fuzzy control has been applied by Lian (1996), where the robot must avoid obstacles on the way. The fuzzy control was successfully applied, and could achieve the desire goal. As it was say, the fuzzy control has been used in other fields other than following trajectories. Such is the case where Zhao and Collins (2003), work with PI fuzzy control to manage industrial feeders systems with non linear behavior. The control could keep the feed flow constant as it is need in the manufacturing system.

In other fields, the fuzzy control has been used by Xu and Shin (2005), with multilevel fuzzy control to manage non linear real behavior with intrinsic uncertainty and variable time parameters. Working with hierarchy structures at the definition of the membership functions. Feliachi and Rerkpreedapong (2005) design a frequency control of interconnected electric energy load systems, to accomplish international laws in this matter.

In more complex ways Li et al. (1997) work with variable structure to develop the design and intonation of the fuzzy control, through Liapunov stability. Achieving a simpler and systematic intonation process, as well as a more stable system. Kim and Yun (2000) work with adaptive average square minimum and sliding mode fuzzy control to filter problems in a Benchmark problem of an excited wind building. Here

the goal was to achieve a security requirement in wind resistance. In this work the propose scheme was compared with other control structure, been the most efficient in the fulfill of the objective.

Yadaiah (2003) made coordinated controllers by fuzzy logic to prevent synchronism lost on electric power systems, during a long and sudden failure. As a result the develop control doesn't depend on the parameters of the system, achieving a better voltage regulation and a fast stability.

All the schemes propose in this work to control the tridimensional trajectory following control of a helicopter, has been successfully applied in different research fields. So it will be described the control system usin PVFC, FIS and HIL to manage the following of a tridimensional trajectory of a autonomous helicopter.

27.1.1. Quanser equipment and system description

In order to fulfill the HIL scheme, a Quanser equipmet was used in this work. It is capable of simulate the flight of a helicopter, taking samples of the values of the θ and ψ angles. Two of the six degrees of freedom in a helicopter flight.

Thereby a flight is describe by six degrees of freedom, between them, the movement angles and the position coordinates (X,Y,Z). The movement angles are core rotations called pitch (θ), yaw (ψ) and roll (φ). The θ angle is an inclination of the head of the airplane, or a rotation respect wing-wing axis. The φ angle is a rotation respect a head-tail airplane axis, and the ψ angle is an intrinsic rotation around the vertical axis perpendicular to the airplane.

In order to describe the system under these angles it is needed to apply the sum of torques as the sum of forces over the helicopter. But under the limitation of the Quanser equipment where two of six degrees of freedom are capable of been measured, these equations must be work under dependence of θ and ψ .

Developing moving reference equations, it is obtained Eq. 27.1, 27.2 and 27.3.

$$F_x = F_\theta \sin \theta \quad (27.1)$$

$$F_y = 0 \quad (27.2)$$

$$F_z = F_\theta \cos \theta - mg \quad (27.3)$$

Which when they are extrapolated to the fixed system, the Eq. 27.3, 27.4 and 27.5 are obtained.

$$F_x = F_{x'} \cos \psi \quad (27.4)$$

$$F_y = F_{y'} \sin \psi \quad (27.5)$$

$$F_z = F_{z'} \quad (27.6)$$

Finally, developing the above equations according to Newton's laws, the Eq. 27.7, 27.8 y 27.9 are founded.

$$\ddot{x} = \frac{F_\theta \sin \theta \cos \psi}{m} \quad (27.7)$$

$$\ddot{y} = \frac{F_\theta \sin \theta \sin \psi}{m} \quad (27.8)$$

$$\ddot{z} = \frac{F_\theta \cos \theta - g}{m} \quad (27.9)$$

Then writing the inertia equations for θ and ψ angles, the Eq. 27.10 and 27.11 are found.

$$\ddot{\theta} = \frac{F_\theta R_\theta - mg R_{cm} \cos \theta}{J_{\theta\theta}} \quad (27.10)$$

$$\ddot{\psi} = \frac{F_\psi R_\psi}{J_{\psi\psi}} \quad (27.11)$$

Tabla 27.1: Quanser Parameters

Variable	Value
Applied force per voltage unity on θ motor (f_1)	0,8722 N/V
Applied force per voltage unity on ψ motor (f_2)	0,4214 N/V
Equipment mass (m)	0,7 Kg
Applied torque radius on θ motor (R_θ)	0,2032 m
Applied torque radius on ψ motor (R_ψ)	0,2032 m
Inertia moment on θ axis ($J_{\theta\theta}$)	0,0307 Kg.m ²
Inertia moment on ψ axis ($J_{\psi\psi}$)	0,01726 Kg.m ²

According to the Quanser equipment characteristics, the forces applied to the power units of θ axis and ψ axis are dependent of its respective voltages, as it can be seen in Eq. 27.12 and 27.13.

$$F_\theta = f_1 V_\theta \quad (27.12)$$

$$F_\psi = f_2 V_\psi \quad (27.13)$$

Thereby the final equations for the system are Eq. 27.14, 27.15, 27.16, 27.17 and 27.18.

$$\ddot{x} = \frac{V_\theta(t) f_1 \sin \theta \cos \psi}{m} \quad (27.14)$$

$$\ddot{y} = \frac{V_\theta(t) f_1 \cos \theta \cos \psi}{m} \quad (27.15)$$

$$\ddot{z} = \frac{V_\theta(t) f_1 \cos \theta - g}{m} \quad (27.16)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{V_\theta(t) f_1 R_\theta - mg R_{cm} \cos \theta}{J_{\theta\theta}} \quad (27.17)$$

$$\ddot{\psi} = \frac{V_\psi f_2 R_\psi}{J_{\psi\psi}} \quad (27.18)$$

Some of these parameters were found at the Quanser work guide, and Table 27.1 shows the values of the ones that were needed for the implementation of the control.

27.1.2. Scheme control

Once the system is completely described, it is needed to describe de control system. In order to achieve the control goals, it was needed to work the stability equations for θ angle. Thus, it was established an equilibrium θ angle, considering the angle movement of a real helicopter where its pitch can't exceed a value of 30° . Then a 15° equilibrium angle was chosen, and according to Eq. 27.10 this equilibrium is achieve when Eq. 27.19 is met.

$$V_\theta f_1 R_\theta = mg R_{cm} \cos \theta \quad (27.19)$$

Clearing Eq. 27.19, find Eq. 27.20.

$$V_\theta f_1 = mg \cos \theta \frac{R_{cm}}{R_\theta} \quad (27.20)$$

Substituting Eq. 27.20 on Eq. 27.9, allow to find Eq. 27.21.

$$\left(mg \cos \theta \frac{R_{cm}}{R_\theta} \right) \cos \theta - mg = m\ddot{z} \quad (27.21)$$

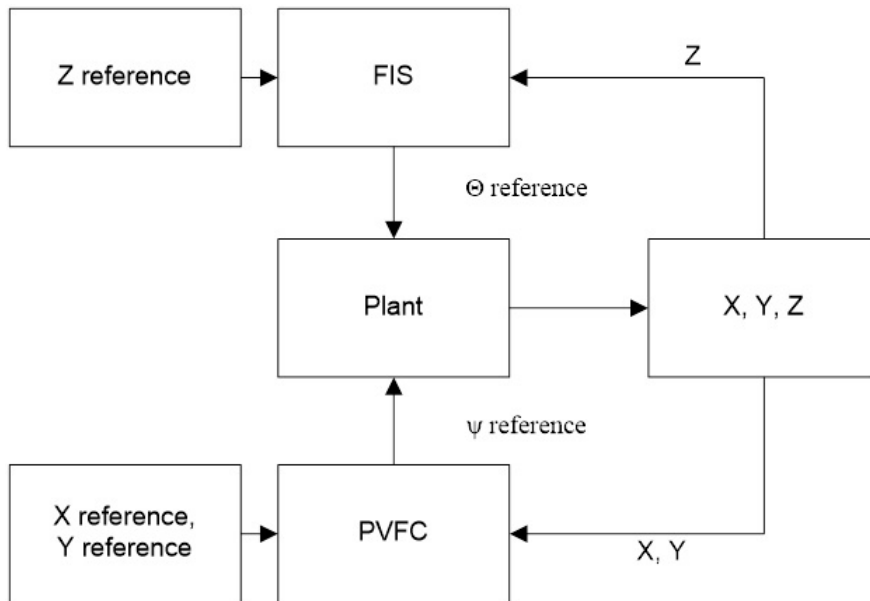


Figura 27.1: General control scheme

Then when Eq. 27.19 is redistributed, Eq. 27.22 is found.

$$\left(\cos^2 \theta \frac{R_{cm}}{R_\theta} \cos \theta - 1 \right) = \ddot{z} \tag{27.22}$$

And Eq. 27.22 above only will get to equilibrium when Eq. 27.23 is fulfilled.

$$R_{cm} = \frac{R_\theta}{\cos^2 \theta} \tag{27.23}$$

With a 15° equilibrium angle, Eq. 27.23 finally turns in Eq. 27.24.

$$R_{cm} = 1,07R_\theta \tag{27.24}$$

With Eq. 27.24 and the equations that describe the system, the control scheme can be develop, with use of the fuzzy control and PVFC notions. In this work a scheme control like Figure 27.4 is proposed.

It can be seen from Figure 27.1, that exist two principal control subsystems, the first one works with fuzzy control where the position *Z* of the helicopter is used to make a θ reference, establishing a new *Z* position. The second one works with PVFC where *X* and *Y* positions are used to generate a ψ reference so the helicopter can be positioned in a new *X* and *Y* position that are the ones that belong to the desired trajectory. Figure 27.2 shows a more detail scheme of the first subsystem.

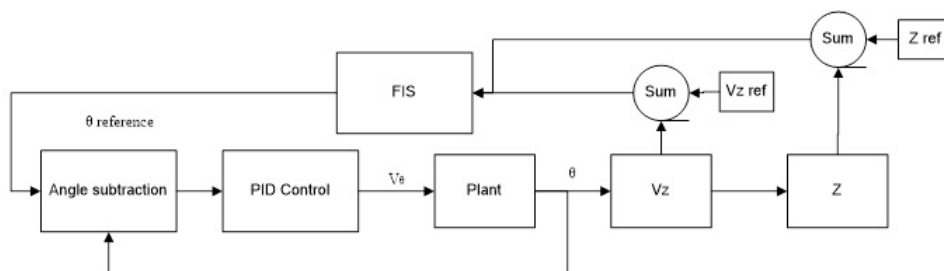


Figura 27.2: θ -*Z* subsystem scheme control

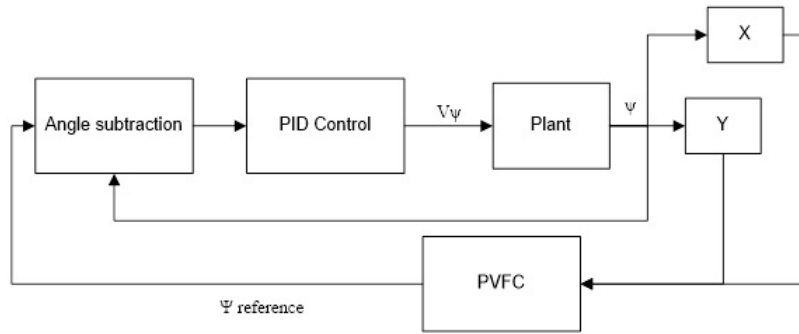


Figure 27.3: ψ -XY subsystem scheme control

The control of V_z is considerable important, because it is needed that velocity gets to an equilibrium where the helicopter stays at the desire position. It was developed as an additional control that achieves the stabilization desire in this subsystem. It was also develop an algorithm that ensures that the subtraction of any two angles, stays between π and $-\pi$, in order to avoid possible problems associated to nominal algebraic sum of angles.

It was also develop an internal PID controller, for the stabilization of θ angle, through the reference angle achieve by the fuzzy control.

The second subsystem has a similar structure then the first one. Figure 27.3 shows this scheme.

The only difference is that the PVFC use the real positions in XY plane to establish a reference position, and thereby a reference ψ angle. This is use in an inner PID control to establish the ψ angle.

Both subsystems are coupled, and by this structure the control is applied. Figure 27.4 shows the coupled scheme.

Once all the scheme is defined, the notions of fuzzy control and PVFC were applied to the system, looking for the achievement of the goals.

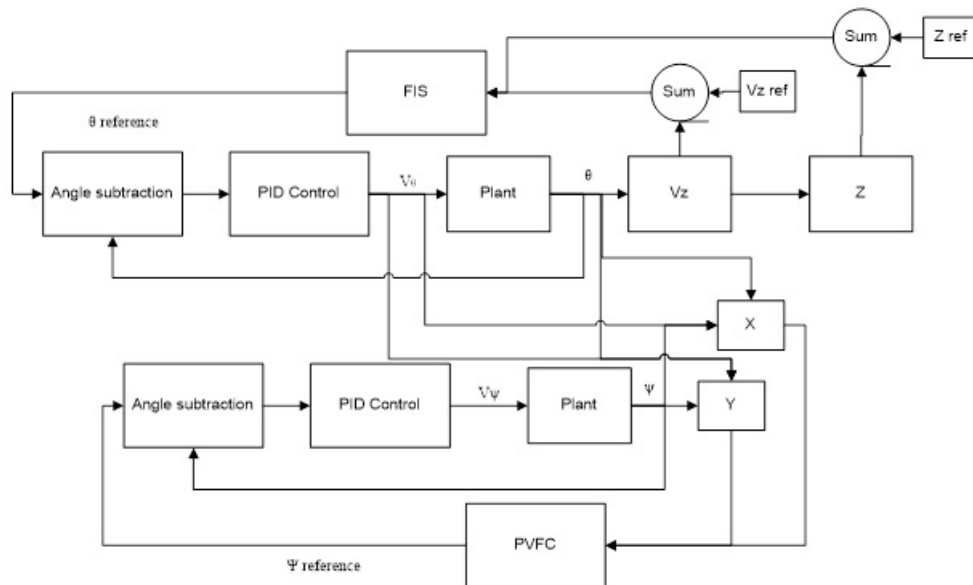


Figure 27.4: Coupled scheme control

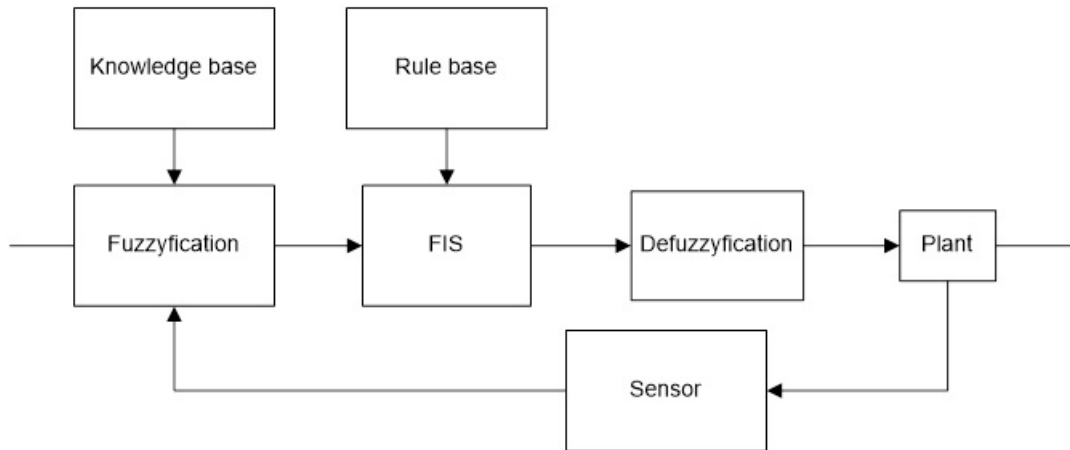


Figura 27.5: FIS general scheme

27.2. Fuzzy control and PVFC application

On the development of the controllers, the equations defined above were used to simulate the behavior of the plant. But moreover is necessary to describe some notions of the PVFC and Fuzzy controllers to describe the way in how they were implemented. In this section the above is describe so it can be analyses all the results obtain in this work.

27.2.1. Fuzzy control

In this work as it was described above, the fuzzy control was implemented to manage a θ reference so the Z position of the helicopter can be controlled. For this matter the Mandani FIS and the Takagi-Sugeno FIS were implemented. Each one in different test, so the results can be compared and find the optimal FIS for the study system. The structure for the fuzzy control implemented in this work is shown in Figure 27.5.

The knowledge base refer to the way in the classical values will be turn into fuzzy values through the fuzzyfication process. And the rule base, describe each one of the possible behavior of the system according to its description. Giving to the FIS the basis for the expected control. After the right decision is taken it is needed to make the defuzzyfication of all values, so the plant can work without any problem. The cycle is close measuring the right variables and compare them to the reference values so the fuzzy control process can be work again.

Takagi and Sugeno (1985) describe the procedure of the implementation of the Takagi-Sugeno FIS, while Mandani FIS, has almost the same implementation with the principal difference that the result from the Mandani FIS is a fuzzy value, and there is the need to applied the defuzzyfication process.

For this work three variable where related to the fuzzy control, the θ angle, the ΔZ error and the V_z . Table 27.2 shows the general knowledge base applied.

The rule base applied in the work is shown in Table 27.3, where all the possible behaviors of the system were describe according to the fuzzy control basis and the system description.

27.2.2. PVFC

For the PVFC application, two trajectories were designed an open trajectory and a close trajectory. According to the PVFC notions, the develop of a tangent and an approximation vector is needed for both trajectories. And it is needed to describe de equation of these vectors for the X coordinate and the Y coordinate, according to the design of the control scheme propose in this work.

In the open trajectory, a linear following trajectory was chosen and the Eq. 27.25 to 27.28 describes this field.

Tabla 27.2: General knowledge base for Z position fuzzy control

If ΔV_z is	And if ΔZ is	Then θ is
Very Negative	Negative	Go up
Negative	Negative	Go up
Cero	Negative	Go up
Positive	Negative	Cero
Very Positive	Negative	Go down
Very Negative	Cero	Go up
Negative	Cero	Go up
Cero	Cero	Cero
Positive	Cero	Go down
Very Positive	Cero	Go down
Very Negative	Positive	Go up
Negative	Positive	Cero
Cero	Positive	Go down
Positive	Positive	Go down
Very Positive	Positive	Go down

Tabla 27.3: Rule base for Z position fuzzy control

Variable	Linguistic term
ΔZ	Very Negative
	Negative
	Cero
	Positive
	Very positive
V_z	Negative
	Cero
	Positive
θ	Go down
	Cero
	Go up

$$x_{aproxox} = \frac{1}{x - y + 1} \quad (27.25)$$

$$y_{aproxox} = \frac{1}{x - y + 1} \quad (27.26)$$

$$x_{tano} = -(x - y) \quad (27.27)$$

$$x_{field} = \alpha \frac{1}{x - y + 1} - \beta (x - y) \quad (27.28)$$

$$x_{field} = \alpha \frac{1}{x - y + 1} + \beta (x - y) \quad (27.29)$$

Two parameters are needed to define for the complete description of the PVFC for a linear trajectory. These parameters are α and β , which are constant parameters selected for the optimization of the field. For the ψ angle reference calculation, the Eq. 27.30 were implemented.

$$\psi_{reference} = \arctan\left(\frac{y_{field}}{x_{field}}\right) \quad (27.30)$$

For close trajectory, Eq. 27.26 is also implemented while the field equations are described with Eq. 27.31 to 27.37.

$$x_{tan} = -(y - y_{ref}) \quad (27.31)$$

$$y_{tan} = x - x_{ref} \quad (27.32)$$

$$x_{approx} = (x - x_{ref}) \frac{R - r}{r} \quad (27.33)$$

$$y_{approx} = (y - y_{ref}) \frac{R - r}{r} \quad (27.34)$$

$$r = \sqrt{(x - x_{ref})^2 + (y - y_{ref})^2} \quad (27.35)$$

$$x_{campo} = -\alpha(y - y_{ref}) + \beta(x - x_{ref}) \frac{R - r}{r} \quad (27.36)$$

$$x_{campo} = \alpha(x - x_{ref}) + \beta(y - y_{ref}) \frac{R - r}{r} \quad (27.37)$$

In the close field the trajectory is define as a circular movement around a determined point on the XY plane. This point is defined for the $X_{reference}$ and the $Y_{reference}$ parameters. Here, α and β are also define to optimize the field description.

27.3. Results y discussions

After making the individual study of each scheme control, the system was coupl and tested developing a simulator, and then applied to the Quanser equipment.

The linear reference was tested with Takagi Sugeno fuzzy control and PVFC with a 10 m reference in z. The results are shown in Figure 27.6.

The scheme applied to the quanser equipment reflects a stable movement at the three coordinates. It is important to notice that only two of six degrees of freedom were manipulated, according the physical restriction of equipment, making the solution restricted, but efficient.

Doing the test over a circular trajectory, results weren't stable, and the physical commitment were high, because of the abrupt changes in voltage to accomplish the objective.

27.4. Conclusion

This work demonstrated the possibility of following a tridimensional trajectory manipulating two of six degrees of freedom fligth of an helicopter, making the scheme underactuated and non holonomic. Nonetheless the control through classic, fuzzy and PVFC controllers was accomplish. Linear trajectory through control developed was succesfully accomplish, but circular trajectory required extreme electrical conditions, that could affect the physical integrity of the equipment.

Referencias

1. A. Feliachi y D. Rerkpreedapong, "NERC Compliant Load Frequency Control Design Using Fuzzy Rules", Electric Power Systems Research, Vol. 73, pp.101-106, 2005

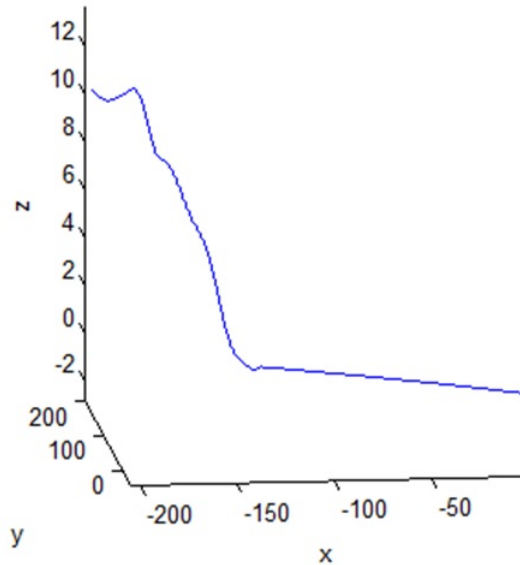


Figura 27.6: Linear following trajectory

2. B. Hanson, et al., "Hardware-in-the-loop Simulation of the Cardiovascular System, With Assist Device Testing Application", *Medical Engineering & Physics*, vol. 29, pp. 367-374, 2007
3. B. Hanson, et al., "Hardware-in-the-loop Simulation of the Cardiovascular System, With Assist Device Testing Application", *Medical Engineering & Physics*, vol. 29, pp. 367-374, 2007
4. G. Cai, et al., "Design and implementation of a Hardware-in-the-loop Simulation System for Small-Scale UAV Helicopters", *Mechatronics*, vol. 19, pp. 1057-1066, 2009
5. H. Li, H. Gatland y A. Green, "Fuzzy Variable Structure Control", *IEEE Transactionson Systems, Man and Cybernetics-Part B*, Vol. 27, No. 2, pp. 306-312, 1997
6. J. Li y P. Li, "Passive Velocity Field Control (PVFC) Approach to Robot Force Control and Contour Following", in *Japan/USA Symposium on Flexible Automation*, 2000
7. J. Moreno-Valenzuela, "Velocity Field Control of Robot Manipulators by Using Only Position Measurements", *Journal of the Franklin Institute*, vol. 344, pp. 1021-1038, 2007
8. N. Gans, et al, "A Hardware in the Loop Simulation Platform for Vision-based Control or Unmanned Air Vehicles", *Mechatronics*, vol. 19, pp. 1043-1056, 2009
9. N. Yadaiah, A. Ganga y J. Bhattacharya, "Fuzzy Based Coordinated Controller for Power System Stability and Voltage Regulation", *Electric Power Systems Research*, Vol. 69, pp. 169-177, 2004
10. P. Li, "Adaptive Passive Velocity Field Control", in *Proceedings of the American Control Conference*, Junio 1999
11. P. Li y R. Horowitz, "Application of Passive Velocity Field Control to Robot Contour Following Problems", in *Proceedings of the 35TH Conference on Decision and Control*, Diciembre1996
12. P. Li y R. Horowitz, "Control of Smart Exercise Machines, Part 1. Problem Formulation and Non-Adaptive Control", *IEEE Transaction on Mechatronics*, vol. 2, pp. 237-247, 1997
13. P. Li y R. Horowitz, "Passive Velocity Field Control (PVFC): Part I-Geometry and Robustness", *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 46, pp. 1346-1359, Septiembre 2001
14. S. Kim y C. Yun, "Sliding Mode Fuzzy Control With Adaptive Least Mean Squares Filter for Benchmark Problem on Wind-Excited Building", *8thASCE Specialty Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability*, 2000
15. S. Lian, "Fuzzy Logic Control of an Obstacle Avoidance Robot", *IEEE*, PP. 26-30, 199617
16. T. Hacibekir, et al., "Adaptive Headlight System Design Using Hardware-in-the-loop Simulation", in *Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Control Applications*, Octubre 2006

17. T. Suasana y S. Saimek, "Passive Velocity Field Control for AUV Planar Trajectory Tracking", in 2011 International Conference on Circuits, System and Simulation, 2011
18. T. Takagi y M. Sugeno, "Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 15, No. 1, pp. 116-132, 1985.
19. Y. Zhao y E. Collins, "Fuzzy PI Control Design for an Industrial Weigh Belt Feeder", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 11, No. 3, pp. 311-319, 2003



FICA

FACULTAD DE INGENIERÍA
EN CIENCIAS APLICADAS



ISBN: 978-9942-984-17-3



9 789942 984173