



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO Y REDES DE COMUNICACIÓN

Tema:

“SISTEMA ELECTRÓNICO DE EVALUACIÓN DE POSTURA DE LA ESPALDA AL REALIZAR EL EJERCICIO DE SENTADILLAS CON BARRA LIBRE USANDO ALGORITMOS DE APRENDIZAJE AUTÓNOMO EN MIEMBROS DEL CLUB DE FÍSICO CULTURISMO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”.

AUTOR:

Anderson Iván Dibujes Félix

Director:

Msc. Carlos Vásquez

IBARRA, MAYO 2018

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, estableció el requisito de disponer de textos completos en formato digital con el propósito de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de Identidad	1003950274
Apellidos y Nombres	Dibujes Félix Anderson Iván
Dirección	Ibarra Av. Jorge Eduardo Villacís y Salvador Dalí
E-mail	aidibujesf@utn.edu.ec
Teléfono Móvil	0982820402

DATOS DE LA OBRA	
Título	SISTEMA ELECTRÓNICO DE EVALUACIÓN DE POSTURA DE LA ESPALDA AL REALIZAR EL EJERCICIO DE SENTADILLA CON BARRA LIBRE USANDO ALGORITMOS DE APRENDIZAJE AUTONOMO EN MIEMBROS DEL CLUB DE FISICO CULTURISMO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Autor	Dibujes Félix Anderson Iván
Fecha	Mayo del 2018
Programa	Pregrado
Título	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
Director	Msc. Carlos Vásquez

AUTORIZACION DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Dibujes Félix Anderson Iván, con cedula de identidad Nro. 1003950274, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado detallado con anterioridad, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 144.

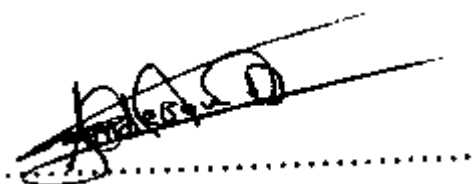
CONSTANCIAS

YO, DIBUJES FELIX ANDERSON IVAN declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se presentan en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las leyes de propiedad intelectual, reglamentos y normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

En la ciudad de Ibarra, Mayo del 2018

EL AUTOR

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'DIBUJES FELIX ANDERSON IVAN', is written over a solid horizontal line. Below this line is a dotted horizontal line.

DIBUJES FELIX ANDERSON IVAN

CI: 1003950274



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS
CESION DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR
DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Dibujes Félix Anderson Iván, con cedula de identidad Nro. 1003950274, expreso mi voluntad de conferir a la Universidad Técnica del norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador artículos 4,5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado con el tema: SISTEMA ELECTRÓNICO DE EVALUACIÓN DE POSTURA DE LA ESPALDA AL REALIZAR EL EJERCICIO DE SENTADILLA CON BARRA LIBRE USANDO ALGORITMOS DE APRENDIZAJE AUTONOMO EN MIEMBROS DEL CLUB DE FISICO CULTURISMO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE. Que ha sido desarrollado con el propósito de obtener el título de Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad autorizada para ejercer plenamente los derechos cedidos con anterioridad.

En mi posición de autor me reservo los derechos íntegros de la obra antes citada. En concordancia suscribo en el momento de hacer entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte

Dibujes Félix Anderson Iván

1003950274

Ibarra, Mayo 2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS

DECLARACION

Expreso que la presente obra es original y fue desarrollada sin vulnerar los derechos de autor de terceros, consecuentemente, es original y declaro que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que tomo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y defenderé a la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, Mayo del 2018

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Félix Anderson Iván', is written over a solid horizontal line. Below this line is a dotted horizontal line.

Dibujes Félix Anderson Iván

Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

MAGISTER CARLOS VASQUEZ CON CEDULA DE IDENTIDAD Nro. 100242498-2, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACION CERTIFICA

Que, el presente trabajo de Titulación: “SISTEMA ELECTRÓNICO DE EVALUACIÓN DE POSTURA DE LA ESPALDA AL REALIZAR EL EJERCICIO DE SENTADILLA CON BARRA LIBRE USANDO ALGORITMOS DE APRENDIZAJE AUTONOMO EN MIEMBROS DEL CLUB DE FISICO CULTURISMO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”. Ha sido desarrollado por el señor Dibujes Félix Anderson Iván bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Msc. Carlos Vásquez

DIRECTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Para mis abuelitos que en paz descansen y a mi querida madre gracias por sus consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy y a mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme, aun sin importar que muchas veces no ponía atención en clase, a ellos que continuaron depositando su esperanza en mí.

Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS

AGRADECIMIENTO

A la UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A mi director de tesis, Msc. Carlos Vásquez por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito. También me gustaría agradecer a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación.

Mención especial Msc. Paúl Rosero por su ayuda incondicional, su enseñanza y su rectitud.

Gracias a los miembros del Club de Físico Culturismo que brindaron su apoyo para realizar las pruebas del sistema.

Por último y no menos importante agradecer a todos mis amigos y compañeros de aula que siempre nos apoyamos el uno al otro para lograr culminar nuestra carrera universitaria.

Contenido

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	II
IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	II
AUTORIZACION DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.....	III
CONSTANCIAS.....	IV
CESION DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	V
DECLARACION.....	VI
CERTIFICACIÓN.....	VII
DEDICATORIA.....	VIII
AGRADECIMIENTO.....	IX
CAPITULO I: CONTEXTO DEL PROYECTO.....	1
Problema.....	1
Objetivos.....	3
Alcance.....	4
Justificación.....	5
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	9
2.1 ERGONOMÍA.....	9
2.1.1 Definición.....	9
2.2 Ergonomía deportiva.....	9
2.2.1 Definición.....	9
2.2.2 Tipos de Ergonomía deportiva.....	11
2.2.3 Ayuda de materiales.....	12
2.3 Posibles lesiones en la espalda al realizar la sentadilla con barra libre.....	14
2.3.1 Factores de riesgo.....	14
2.3.2 Biomecánica del tren superior.....	16
2.3.3 Evaluación del ángulo de inclinación del tronco en la sentadilla de barra libre.....	18
2.3.4 Lesiones causadas durante la realización del ejercicio enfocado en la columna vertebral principalmente en la espalda baja.....	20
2.3.5 Rehabilitación por una lesión durante el ejercicio de sentadilla en la espalda baja.....	21
2.4 Método de entrenamiento deportivo al ejercicio de sentadilla con barra libre.....	23
2.4.1 Formas de entrenamiento de sentadillas.....	24
2.4.2 Técnica adecuada para la realización del ejercicio de sentadilla con barra libre.....	24
2.4.3 Errores más comunes al realizar el ejercicio de sentadilla con barra libre.....	27
2.4.4 Posibles Variantes para la sentadilla con barra libre.....	28
2.4.5 Implementos usados en el ejercicio de sentadilla con barra libre.....	29

2.5 Modelo en V	32
2.5.1 STAKEHOLDERS	34
2.5.2 BECHKMARKING.....	34
2.6 PLACAS Y SENSORES.....	34
2.6.1 Placa programable eficiente para la medición del ángulo de inclinación de la espalda	35
Arduino	35
2.6.2 Sensores ideales para medir ángulos de inclinación de la espalda baja y de la barra.	37
2.6.3 Integrado ADXL 345	37
2.7 PROCESAMIENTO DE SEÑALES.....	41
2.8 Formas de tratar e interpretar las señales	43
FILTRO DE KALMAN.....	43
KNN K-Nearest Neighbors.....	45
Máquinas de Vectores de soporte SVM	47
2.9 Visualización grafica del ejercicio.....	48
Visual Estudio c#	48
2.10 Análisis de beneficios de muestra de datos gráficos hacia el usuario	49
2.11 Formas adecuadas de muestra de datos para los usuarios.....	50
CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA DE EVALUACION DE POSTURA DE LA ESPALDA (SEEPES)	51
3.1 Situación actual.....	51
3.1.1 Observación Directa.....	53
3.1.2 Encuesta.....	54
3.2 Metodología a utilizarse en el diseño de la propuesta de solución del proyecto.....	57
3.3 Análisis del modelo en V Y STAKEHOLDERS.....	58
3.3.1 STAKEHOLDERS	58
3.3.2 Requerimientos de STAKEHOLDERS.....	58
3.3.3 Requerimientos del SEEPES.....	60
3.3.4 Funcionamiento del SEEPES.	63
3.3.5 Requerimientos de Arquitectura.....	64
3.3.6 Recursos.....	68
3.3.7 Elección de Hardware y Software	70
3.3.8 Solución más óptima con referencia al modelo en V	73
3.4 BECHKMARKING.....	75
3.4.1 Elección de sensores de alerta temprana para monitoreo de la espalda en ejercicio de sentadilla con barra libre.	75
3.4.2 Sensores.....	76
3.4.3 Flex Sensor 4.5	77

3.4.4 Triple Axis Accelerometer ADXL345	78
3.4.5 Sensor Ultrasonido HC-SR04	79
3.4.6 Comparación de tipos de sensores de la solución idónea	81
3.4.7 Elección del sensor para el SEEPES.....	82
3.4.8 Elección de módulo de comunicación para monitoreo de la espalda baja y espalda alta en ejercicio de sentadilla con barra libre	83
3.4.9 Módulos Inalámbricos de comunicación	84
3.4.10 Bluetooth	85
3.4.11 Tecnología WIFI.....	87
3.4.12 Tecnología Radiofrecuencia	89
3.4.13 Tabla comparativa de tipos de módulos de comunicación de la solución idónea	92
3.4.14 Módulo de Comunicación elegido para el SEEPES.....	93
3.5 Diseño del SEEPES	93
3.5.1 Diseño del sistema de comunicación entre el Sensor, el microcontrolador y el servidor ..	95
3.5.2 Diagrama de Flujo	97
3.5.3 Diagrama de Conexión	106
3.5.4 Simulación en Proteus Software	114
3.5.5 Calculo de la fuente de energía.....	118
3.5.6 Diseño de Placas electrónicas	121
3.5.7 Circuitos electrónicos y acoplamiento de dispositivos.....	123
3.5.8 Ubicación óptima de los nodos	125
3.5.9 Ubicación del SEEPES dentro del Gimnasio de la Universidad Técnica del Norte.....	128
3.5.10 Diseño de la Aplicación para la visualización de datos	129
CAPITULO IV: PRUEBAS DEL SEEPES.....	131
5.1 Test de pruebas basadas en el modelo en V	131
5.1.1 DEFINICIÓN DE LOS CASOS DE PRUEBAS.....	131
5.1.2 Test Eléctrico.....	132
5.1.3 Test Subsistema Pasivo	134
5.1.4 Test Subsistema Activo	135
5.1.5 Test de Hardware	141
5.1.6 Test de software	145
5.1.7 Test de aplicación.....	149
5.1.8 Test Funcional	152
5.1.9 Test de Requerimientos	154
CAPITULO V: Conclusiones y Recomendaciones	158
5.1 Conclusiones.....	158

5.2 Recomendaciones:.....	160
BIBLIOGRAFÍA	162
Anexos	168
Anexo 1. Encuesta.....	168
Anexo 2 Datasheet Acelerometro Adxl345	170
Anexo 3: Permisos otorgados	172
Anexo 4: Datasheet de transceiver NRF24L01	176
Anexo 5: Algoritmos de aprendizaje autónomo.....	178
KNN en R STUDIO.....	178
ANALISIS DE DATOS UTILIZANDO ALGORITMO SVM.....	184
Elección de datos de Knn en Excel	186
Anexo 6: Datasheet Access Point Cisco 3500.....	192
Anexo 7: Manual de Usuario de la Aplicación	193
Anexo 8: Plan de Contingencia.....	198
Anexo 9: Tabla del cálculo del tamaño de una encuesta por niveles de confianza	198
Anexo 10: Datasheet de Bateria 9v energizer	199
Anexo 11: Códigos de programación del sistema	199
Nodo de la barra en Arduino.....	200
Nodo del Cinturón en Arduino	207
Nodo Master en Arduino	217
Programación de KNN en R Studio.....	218
Programación de aplicación	220

Índice de Figuras

Figura 1. Ergonomía aplicada al ciclismo	10
Figura 2. Ayudas Materiales (Pulsómetro) en la Ergonomía deportiva.	13
Figura 3. Influencia de los distintos factores en la aparición de lesiones.	15
Figura 4. Biomecánica del tronco en el ejercicio de sentadilla con barra libre en una Buena Postura (A) y Mala Postura (B)	16
Figura 5. Activación muscular del cuerpo en la sentadilla con barra libre	19
Figura 6. Dolor Lumbar en atletas.	22
Figura 7. Sentadilla 90° Técnica correcta.....	25
Figura 8. Errores Comunes al realizar la sentadilla con barra libre.	28
Figura 9. Jaula Metálica para sentadillas.....	30
Figura 10. Discos de goma de diferentes pesos.....	31
Figura 11. Barra y discos usados para sentadilla.....	31
Figura 12. Zapatos aptos para el levantamiento de pesas.	32
Figura 13. Etapas del Modelo en V de Desarrollo de Sistemas	33
Figura 14. Planes de enlace como pruebas del modelo en V.....	34
Figura 15. Arduino Uno, vista superior.....	36
Figura 16. ADXL 345 Acelerómetro de 3 Ejes.....	38
Figura 17. Representación mecánica de un acelerómetro.....	39
Figura 18. Angulo de a) Cabeceo θ y b) Alabeo θ de un avión.	40
Figura 19. IDE de Software Arduino.	41
Figura 20. Filtro de Kalman con una señal de Ruido en ADXL345.....	44
Figura 21. Clasificación de datos mediante KNN	46
Figura 22. Interfaz de Microsoft Visual Studio.....	49
Figura 23. Instalaciones Gimnasio Universidad Técnica del Norte.....	52
Figura 24. Observación Directa en entrenamiento de sentadillas en Miembros del Club de Físico Culturismo de la UTN.....	54
Figura 25. Pasos a seguir para la marcha del SEEPES	63
Figura 26. Conexión de Sensor Flex y Arduino en Fritzing.....	77
Figura 27. Conexión de Sensor ADXL345, y Arduino en Fritzing	78
Figura 28. Conexión de Sensor Ultrasonido, chicharra, Led y Arduino en Fritzing.....	80
Figura 29. (SALAZAR , 2015) Clasificación de las redes inalámbricas.	84
Figura 30. (SALAZAR , 2015) Red dispersa Bluetooth formada de dos picoredes. El maestro de la picored A es un esclavo de la picored B.	85
Figura 31. Módulo HC-05 Bluetooth, pines de conexión, vista posterior.....	86
Figura 32. (SALAZAR , 2015) Esquema de una WLAN.....	88
Figura 33. Puertos GPIO de Módulo ESP8266	89
Figura 34. NRF24L01 Modulo Transceiver.....	90
Figura 35. Topología de Red de Módulo NRF24L01 Maestro-Esclavo conectados a servidor.	91
Figura 36. Diagrama de posición de los sensores y placas.	94
Figura 37. Diagrama de bloques del SEEPES en 5 etapas.	96
Figura 38. Diagrama de Flujo general del funcionamiento del SEEPES.	98
Figura 39. Diagrama de bloques del Funcionamiento del Nodo del Cinturón.....	99
Figura 40. Diagrama de Flujo de la lectura de los sensores ADXL345 y Modulo NRF24L01 nodo del Cinturón.....	100
Figura 41. Diagrama de bloques del Funcionamiento del Nodo de la barra.....	101

Figura 42. Diagrama de Flujo de la lectura de los sensores ADXL345 y Modulo NRF24L01 [Esclavo] del nodo de la barra.....	102
Figura 43. Diagrama de Bloques del Nodo Master	103
Figura 44. <i>Diagrama de Flujo de la recepción del Módulo NRF24L01.</i>	104
Figura 45. Diagrama de flujo de Algoritmo de aprendizaje autónomo KNN	105
Figura 46. Arduino Nano Vista superior con descripción de pines de conexión	108
Figura 47. Conexión del sensor ADXL345 y Arduino Nano en Fritzing	111
Figura 48. Conexión del módulo NRF24L01 y Arduino Uno.	113
Figura 49. Regulador de voltaje 7805	115
Figura 50. Fuente de alimentación de nodos esclavos.....	115
Figura 51. 2N3904 Transistor NPN Pines de conexión.....	116
Figura 52. Módulo Transmisor de la espalda.	117
Figura 53. Módulo Receptor master.....	118
Figura 54. Circuito de fuente de alimentación	119
Figura 55. Diseño de Placa de Nodo Esclavo del cinturón.....	122
Figura 56. Diseño de Fuente de Alimentación de 9v a 5v	123
Figura 57. Circuito impreso de nodo esclavo	124
Figura 58. Circuito electrónico del nodo esclavo	124
Figura 59. Circuito electrónico del nodo Esclavo (Vista inferior).....	125
Figura 60. Nodos de comunicación Esclavo-Master-Esclavo.	126
Figura 61. Acople de Nodo esclavo en cinturón de cuero	126
Figura 62. Acople del Nodo Esclavo en la barra de acero.....	127
Figura 63. Plano del Gimnasio de la UTN	128
<i>Figura 64. Diagrama de Flujo</i>	129
Figura 65. Aplicación del SEEPES	130
Figura 66. Comprobación de funcionamiento de nodo esclavo	137
Figura 67. Recepción de Datos en nodo master	138
Figura 68. Carga de datos en Placa Arduino Nano de la Barra	139
Figura 69. Estado de Compilación del Arduino IDE de Nodo Master	140
Figura 70. Transmisión de datos Usando Transceiver NRF24L01.....	143
Figura 71. Recepción de datos Usando Transceiver NRF24L01	143
Figura 72. Comprobación de funcionamiento de acelerómetro ADXL345	144
Figura 73. Comprobación del funcionamiento de hardware dentro del gimnasio de la UTN.	145
Figura 74. Análisis de KNN en nodos esclavos	147
Figura 75. Medición de ángulo de inclinación de la barra horizontal	148
Figura 76. Interfaz gráfica de la visualización del ejercicio.	150
Figura 77. Registro de Fallos de miembro de club de físico culturismo.....	151
Figura 78. Visualización de una repetición fallida de espalda baja.	151
Figura 79. Pruebas del SEEPES en mujeres miembros del club de físico culturismo de la UTN.	154
Figura 80. Registro de Repeticiones Totales y Fallidas.....	156
Figura 81. Prueba de conexión inalámbrica entre nodos de comunicación en el Gimnasio.	157

Índice de Tablas

Tabla 1. Especificaciones típicas de acelerómetros según su aplicación.	39
Tabla 2. Implicados en el desarrollo del proyecto	58
Tabla 3. Descripción de la Abreviatura de Cada requerimiento.	59
Tabla 4. Descripción de Requerimientos Operacionales y Requerimientos De Usuarios del sistema.	59
Tabla 5. Descripción de Requerimientos de Uso, Interfaces, Performance y Físicos del SEEPES.	60
Tabla 6. Descripción de Requerimientos Lógicos del SEEPES.	65
Tabla 7. Descripción de Requerimientos de Diseño del SEEPES.	65
Tabla 8. Descripción de Requerimientos de software del SEEPES.	66
Tabla 9. Descripción de Requerimientos de hardware del SEEPES.	67
Tabla 10. Descripción de Requerimientos Físicos del SEEPES.	67
Tabla 11. Recursos Humanos participantes.	68
Tabla 12. Recursos económicos de materiales.	69
Tabla 13. Recursos Tecnológicos.	70
Tabla 14. Valoración de requerimientos.	71
Tabla 15. Elección de sistema embebido.	71
Tabla 16. Requerimientos del Lenguaje de Programación.	72
Tabla 17. Elección de la solución más óptima basado en los requerimientos del SEEPES.	73
Tabla 18. Elección de la solución más óptima según los costos.	74
Tabla 19. Parámetros de disponibilidad de sensores en Ecuador	81
Tabla 20. Comparación de sensores según Fiabilidad, Tiempo de Respuesta, Precisión y Disponibilidad	82
Tabla 21. Parámetros de disponibilidad de módulos de comunicación en Ecuador	91
Tabla 22. Comparación de sensores según Fiabilidad, Tiempo de Respuesta, Precisión y Disponibilidad	92
Tabla 23. Descripciones de los pines del sensor ADXL345.	106
Tabla 24. Características Técnicas de Arduino Nano.	109
Tabla 25. Pines de Conexión modo de comunicación I2C	110
Tabla 26. Pines de Conexión módulo transceiver NRF24L01 con Arduino Nano	112

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación del Filtro Complementario.	44
Ecuación 2. (Ochoa, 2013) Cálculo del número de encuestas.	53
Ecuación 3. Cálculo del canal de Frecuencia	114
Ecuación 4. Cálculo del consumo de los elementos de nodo del cinturón.	118
Ecuación 5. Cálculo del consumo de los elementos de nodo Master.	120

CAPITULO I: CONTEXTO DEL PROYECTO

Este capítulo contiene la información del problema que va a tratar, debido a que se va a realizar el desarrollo de la investigación especificando las limitaciones para su puesta en marcha.

Problema

El gimnasio se ha convertido en los últimos 30 años en el lugar primordial para realizar actividades físicas por personas a lo largo del mundo (Martínez 2004), con el paso del tiempo la belleza física se volvió más importante y cada día muchos atletas buscan la excelencia asistiendo a los gimnasios a diario, pero no obstante a eso también se ha incrementado el número de lesiones o problemas físicos al realizar ejercicios que demanden demasiada fuerza tal es el caso de las sentadillas.

Se puede mencionar que con la mala técnica o el uso inadecuado del mismo desemboca en grandes problemas para la espalda y la columna los cuales generan efectos negativos a corto, mediano y en los peores de los casos largo plazo. Según (LOPEZ, 2014), se denomina ejercicios potencialmente peligrosos a aquellos movimientos que generan dos o tres palancas oseas y producen daño sobre cualquier estructura anatómica funcional que pueden provocar daños a la persona que lo realiza.

En tal sentido el ejercicio actual que genera más controversia es la sentadilla ya que de un lado se tiene a los profesionales de la salud (kinesiólogos, traumatólogos) y por el otro lado se tiene a los entrenadores (personal trainer).

Los deportes que requieren entrenamiento de pesas significativo hasta esfuerzos máximos, tales como el culturismo o la halterofilia, pueden aumentar la carga sobre la columna lumbar y predisponer al deportista a problemas lumbares significativos(SANCHEZ, 1992). Debido a que los problemas del Lumbalgia en atletas es poco común es el 5% del margen total de lesiones comunes debido a que ellos poseen un desarrollo muscular magro y unos abdominales capaces de soportar la fuerza ejercida por el ejercicio, este problema aumenta con las personas que no realizan actividad física muy seguido o recién empiezan(LAVORATO 2010).

En el Ecuador los gimnasios cuentan con solo un entrenador para cada establecimiento lo cual aumenta el porcentaje de sufrir una lesión ya que no todo el tiempo el atleta va a tener la supervisión necesaria para verificar si está realizando de una forma correcta el ejercicio. Actualmente el uso indebido de este ejercicio ha repercutido en la salud de muchas personas principiantes al momento de suscribirse en un gimnasio debido a que ellos no conocen la técnica adecuada y no poseen un indicador que les corrija su postura o que les alerte que lo están realizando mal.

La inexistencia de estudios y datos tecnológicos que muestren las zonas afectadas y la corrección de la postura en un atleta provocan que las personas o atletas tenga la incógnita de si realizan bien su ejercicio y si de verdad está siendo provechoso su esfuerzo en cada entrenamiento.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un sistema electrónico de evaluación de postura de la espalda al realizar el ejercicio de sentadilla con barra libre (SEEPES) usando algoritmos de aprendizaje autónomo en miembros del club de físico culturismo de la UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE para prevenir lesiones.

Objetivos Específicos

- Realizar una revisión de literatura para determinar las bases teóricas comprendidas en la revisión bibliográfica correspondiente al sistema.
- Definir los requerimientos del sistema tanto de software como de hardware para determinar los materiales a usar.
- Analizar y determinar el hardware y software necesario en relación a los requerimientos establecidos para el diseño y desarrollo del sistema basado en el Modelo en V
- Realizar las pruebas de funcionamiento tanto del sistema electrónico y de la visualización del movimiento para la depuración de errores y analizar los datos que se obtengan como resultado del sistema instalado en el gimnasio de la Universidad Técnica del Norte

- Conclusiones y recomendaciones

Alcance

Con la finalidad de corregir la postura se realizara un análisis de las posibles técnicas para medir la inclinación y la distancia de la espalda en diferentes sensores que se encuentren existentes en el mercado se elegirá el que brinde la mejor solución y se adapte de mejor manera a las necesidades del proyecto planteado teniendo en cuenta los requerimientos del SEEPES.

El sistema electrónico será probado en el Gimnasio de la Universidad Técnica del Norte con el objetivo de corregir falencias, comprobar su completo funcionamiento y determinar los resultados finales. El análisis de los datos no comprende lo que es los daños de las piernas y pies y a su vez está focalizado en la sentadilla de barra libre, es decir para la sentadilla en la maquina Smith no será utilizada. Los sensores se colocaran en la espalda baja y espalda alta con el fin de medir las dos posibles afecciones del ejercicio sin afectar la comodidad del usuario del SEEPES.

Una vez instalado el SEEPES este va a ser capaz de medir el Angulo de inclinación frontal y también el Angulo de inclinación de la barra con respecto a la espalda alta.

La programación completa del SEEPES y de sus componentes que así lo requieran se va a realizar haciendo uso de software libre, además se va presentarlo de una forma estéticamente ordenada haciendo uso de circuitos impresos con sus respectivas protecciones para los elementos que lo necesiten.

Al finalizar el periodo de este proyecto de tesis se obtendrá una alerta que pronostica de la postura e inclinación de la espalda de un atleta o de una persona normal al realizar una sentadilla completa con barra libre la cual se debe tener en cuenta que debe tener un % de error adecuado para la viabilidad del proyecto, a fin de evitar posibles lesiones musculares desgarras o desviaciones en la espalda. El SEEPES será capaz de cuantificar la cantidad de repeticiones realizadas y alertará al usuario de si tiene una incorrecta postura mediante una alarma o mediante la visualización del ejercicio en un software de visualización y almacenar los datos en un servidor local, con la finalidad de que los datos almacenados sean visualizados por el entrenador o persona encargada de la supervisión del gimnasio.

Es importante mencionar que además de tener una vigilancia en tiempo real del movimiento de la espalda se puede observar cómo actúa el movimiento dentro del software de simulación alojado en la máquina del servidor local.

Dentro del servidor local el entrenador podrá observar el registro de fallos almacenados por miembro del club de Físico Culturismo al momento de realizar mal el ejercicio de sentadilla con barra libre.

Justificación

Tras la falta de vigilancia y un insuficiente conocimiento del ejercicio de sentadilla y la gran probabilidad de contraer una lesión; nace la idea de este proyecto de grado. Los malos hábitos practicados por todos los integrantes no contribuyen a un correcto crecimiento muscular; no

obstante, los entrenadores deportivos tratan de familiarizar una correcta técnica a cada deportista para evitar algún tipo de lesiones.

Estudios muestran que en levantadores de pesas, éstos tuvieron una incidencia relativamente baja de dolor de espalda (8 de 80 levantadores). Este estudio indica que la flexibilidad de la columna, al levantar con una espalda recta y una musculatura vertebral fuerte protege al levantador del dolor de espalda, en personas que levantaron pesas la incidencia del dolor de espalda baja fue menor que en la población en general que realiza este ejercicio

(LAVORATO 2010) Establece que el Arqueo de la espalda baja es un error técnico que afecta al 60% de la población que concurre al gimnasio e intenta realizar la sentadilla por lo cual es viable generar medidas de seguridad que colaboren con la prevención de lesiones de este tipo de ejercicios en cada uno de los gimnasios.

Uno de los problemas más frecuentes al realizar la sentadilla con barra libre es La Lumbalgia, el cual es un dolor de espalda por una distensión muscular lumbar o por una hernia discal lumbar (discartrosis) causada por la distensión de un ligamento o de un músculo de la espalda. Al levantar algo pesado, torcerse o realizar un movimiento brusco. Un ejemplo claro es al realizar el ejercicio de sentadilla con barra libre y no tener la barra recta al ejecutar el movimiento de ascenso puede producir una lumbalgia

La Ciática son los síntomas causados cuando una raíz nerviosa de la columna lumbar es comprimida, causando dolor y adormecimiento que pasan por el nervio ciático mayor que provee de nervios a las nalgas, las piernas y los pies causados por una hernia discal lumbar o por la discartrosis, la espondilolistesis ístmica u otras afecciones. Un ejemplo de esto es si el

ángulo de inclinación sobrepasa el ángulo correcto del ejercicio se está ejerciendo una fuerte presión en la espalda y en la columna vertebral

Según (LOPEZ, 2014) El tratamiento de la lumbalgia puede durar entre 6-8 semanas si es un dolor leve, existen distintos ejercicios y terapias que pueden ayudar a tratar este dolor, pero si persiste el dolor en el paciente se debe seguir un procedimiento quirúrgico el cual demandaría de mucho costo económico y un largo tiempo de recuperación, dado a estos factores tener un sistema de alerta temprana sería una gran ayuda para el deportista.

Gracias al avance de la tecnología que actualmente existe se puede mencionar que mediante la aplicación de sensores se puede construir un SEEPES que sea usado por la mayor parte de los gimnasios a nivel nacional e internacional, que deseen adquirirlo para una verificación de cada usuario y a su vez estén interesados en mantener un mayor cuidado de sus subscriptores.

De acuerdo a lo establecido en el artículo 381 de la Constitución de la República, "El Estado protegerá, promoverá y coordinará la cultura física que comprende el deporte, la educación física y la recreación, como actividades que contribuyen a la salud, formación y desarrollo integral de las personas; auspiciará la preparación y participación de los y las deportistas en competencias nacionales e internacionales, que incluyen los Juegos Olímpicos y Paraolímpicos".

Según La Ley del Deporte del Ecuador Art. 9.- De los derechos de las y los deportistas de nivel formativo y de alto rendimiento.- En esta Ley prevalece el interés prioritario de las y los deportistas, siendo sus derechos los siguientes: a) Recibir los beneficios que esta Ley prevé

de manera personal en caso de no poder afiliarse a una organización deportiva; b) Ser obligatoriamente afiliado a la seguridad social; así como contar con seguro de salud, vida y contra accidentes, si participa en el deporte profesional; c) Los deportistas de nivel formativo gozarán obligatoriamente de un seguro de salud, vida y accidentes que cubra el período que comienza 30 días antes y termina 30 días después de las competencias oficiales nacionales y/o internacionales en las que participen; d) Acceder a preparación técnica de alto nivel, incluyendo dotación para entrenamientos, competencias y asesoría jurídica, de acuerdo al análisis técnico correspondiente;

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 ERGONOMÍA

2.1.1 Definición

La palabra ergonomía se deriva de las palabras griegas “ergon”, que significa Trabajo, y “nomos”, que significa Ciencia; por lo tanto, significa “ciencia del trabajo”.

Tres factores como: seguridad, higiene y confort en el trabajo son condiciones que han preocupado e implicado a millones de personas desde el principio de la revolución industrial, como consecuencia de esto se han desarrollado diversas disciplinas de estudio, como lo es la ingeniería industrial, la medicina ocupacional, y la ergonomía (CACERES, ANGULO , & CUENCA, 2014)

La palabra ergonomía hace referencia al estudio del hombre en el trabajo especialmente, la ergonomía es el conjunto de estudios científicos de la interacción entre el hombre y su entorno de trabajo, su finalidad es la optimización o mejora de las condiciones de trabajo, reduciendo las influencias negativas existentes y mejorando las técnicas para alcanzar la tarea establecida por la persona. (MURELL, 1971)

2.2 Ergonomía deportiva

2.2.1 Definición

La ergonomía es una ciencia multidisciplinar que en los últimos años ha levantado el interés de especialistas en todas las ramas de la ciencia alrededor del mundo tales como: ingeniería, medicina, psicología, arquitectura, diseño, etc. La ergonomía se basa en el estudio de las habilidades y limitaciones del ser humano, aplicando conocimientos científicos que aporten para la reducción de accidentes y de lesiones, ampliando la productividad, una mejor calidad de vida y en el caso de los deportes previniendo lesiones (MONDELO, TORADA, & BOMBARDO, 2001). El objetivo de la ergonomía deportiva es brindar un ambiente más seguro y eficaz al desarrollo de la actividad humana, en su sentido más amplio.

En el mundo del deporte y la actividad física, la Biomecánica tiene una gran importancia al intentar explicar cómo surgen las lesiones, así como la realización de un análisis del entrenamiento de cada deportista con el fin de lograr un buen rendimiento deportivo como se muestra en la Figura 1. La eficacia de los movimientos es explicada gracias al estudio biomecánico del atleta, esto posibilita la consecución de una técnica ideal con un gesto deportivo determinado basándose en conocimientos biológicos y también físicos (FLORES, 2012)



Figura 1. Ergonomía aplicada al ciclismo

Fuente: <https://sportadictos.com/2014/01/ergonomia-del-deporte>

En la figura 1 se observa dos comparaciones tanto de una buena y una mala postura de la espalda al realizar ciclismo y como esta influye en el rendimiento del deportista o usuario a la larga.

La ergonomía aplicada al ejercicio físico es muy importante al tratar de explicar la aparición de lesiones y además de que el deportista llegue a un óptimo rendimiento físico. El estudio de la eficacia de los movimientos es analizado a través de la biomecánica de cada deportista y así conseguir la técnica ideal en un gesto deportivo determinado (MONDELO et al., 2001).

Dentro de un gimnasio el entrenador necesita conocer las características físicas del cuerpo humano y los principios mecánicos que rigen los movimientos con el propósito de orientar en la optimización del rendimiento humano o prevenir lesiones relacionadas con la mala práctica de un determinado ejercicio (MONDELO et al., 2001).

Por otra parte la ergonomía en el deporte trabajará con los ámbitos que rodean al deportista tales como:

- Infraestructura de entrenamiento.
- Materiales (pesas, barras, fajas para levantamiento)
- La nutrición del deportista
- Los implementos adecuados (licra, zapatos, muñequeras) (MONDELO et al., 2001)

2.2.2 Tipos de Ergonomía deportiva

Según (LOPEZ, 2014) algunos tipos de Ergonomía deportiva contribuyen como ayuda al dopaje, pero es totalmente erróneo de acuerdo a reglamentos establecidos. Por lo tanto, el CSJ (Consejo Superior de Deportes) así como otras asociaciones deportivas a nivel Mundial, construyen cada año un listado distando los límites entre ayudas ergonómicas legales y sustancias dopantes. De estos tipos de suplementación se puede nombrar las siguientes:

- **Ayudas materiales:** Consta del diseño de material deportivo adaptado individualmente al deportista como plantillas, zapatillas, tecnología deportiva etc.
- **Ayudas fisiológicas:** En el cual se puede encontrar hidroterapia, termoterapia, hipoxia, entrenamiento en altura para aumentar la síntesis de glóbulos rojos, etc.
- **Ayudas psicológicas:** Se puede encontrar con consejos de motivación, hipnosis, visualización, terapia entre otras
- **Ayudas farmacológicas:** Estas son las que se deben tener en cuenta en el dopaje, y destacan la cafeína, los suplementos en los entrenamientos, regulación de niveles nutricionales, etc.(LOPEZ, 2014).

Todas y cada una de estas técnicas ergonómicas tienen la finalidad de mejorar el rendimiento del deportista sin perjudicar la salud por parte del mismo. Esto significa que, en todas ellas se tiene en cuenta siempre la salud del deportista como elemento primordial antes de su aplicación o su uso. Cabe recalcar que las bases en las que se fundamentan estas ayudas ergonómicas en el deporte tienen su origen en el ámbito científico, por lo que todas han demostrado un mejor resultado en el deportista que los utiliza(LOPEZ, 2014).

2.2.3 Ayuda de materiales

Esta es una de los factores que más aprovechan los deportistas ya sean élites o amateurs, aunque siempre se deben tener en cuenta que la mejora del rendimiento viene dada por las siguientes fases: primero la corrección de la técnica y después el uso de materiales para compensar tal déficit de rendimiento deportivo(LOPEZ, 2014).



Figura 2. Ayudas Materiales (Pulsómetro) en la Ergonomía deportiva.

Fuente: <https://sportadictos.com/2014/01/ergonomia-del-deporte>

En la figura 2 se aprecia un deportista haciendo uso de un SMARTWACH que analiza su pulso cardiaco con la finalidad de tener información relevante y evitar un posible infarto.

La élite deportiva es determinada por la disminución de las pérdidas por factores externos, este factor influye a la aparición de las ayudas de materiales dado a que se ajustan perfectamente a la morfología del deportista con la finalidad de mejorar el rendimiento.

No es novedad que la tecnología se ha desarrollado exponencialmente en las últimas décadas, y su aplicación al deporte no ha pasado por alto. Pulsómetros y distintos cuantificadores del esfuerzo han logrado que la preparación física de la persona sea mucho más precisa de lo que era unos años antes, aunque menos que en un futuro no muy lejano(LOPEZ,

2014). Estos dispositivos y sensores ayudan a enviar información continua de la parte específica del deportista, por lo cual se mantiene monitoreado el entrenamiento.

La ergonomía deportiva resulta muy importante tanto en el deporte profesional para pulir errores como en el deporte amateur para concientizar una técnica adecuada al realizar cierto tipo de ejercicio en este caso la sentadilla con barra libre, puesto a que este análisis del atleta ayuda a conseguir un mayor rendimiento y lo mejor la prevención de futuras lesiones musculoesqueléticas ocasionadas por mala posturas o mal alineamiento del atleta o deportista en el entrenamiento. Gracias a estos factores se ha incrementado la calidad deportiva y las formas de concebir la actividad física.

2.3 Posibles lesiones en la espalda al realizar la sentadilla con barra libre.

2.3.1 Factores de riesgo

Existen varios factores que pueden influir en el desempeño del deportista y que pueden provocar lesiones que le implicarían el cese de sus prácticas o en el peor de sus casos el fin de su carrera deportiva (FLORES, 2012).

Los factores ergonómicos que ponen en riesgo al deportista pueden ser de dos tipos:

Factores intrínsecos.

Son los que no se pueden cambiar y pueden o no influir en el rendimiento del deportista durante cada entrenamiento. Estos pueden ser la condición física (fuerza, flexibilidad y coordinación), desequilibrios musculares, mal alineamiento corporal (deformidades fijas,

condiciones congénitas), enfermedades previas, acortamientos de miembros, etc.(OSORIO, Clavijo, & Arango, 2007).

Factores extrínsecos.

Son extra deportista y que pueden influir sobre el rendimiento. Entre estos se encuentra los factores ambientales, materiales, entrenamientos forzosos, etc. La ergonomía resulta primordial en el deporte profesional puesto que el análisis del deportista posibilitará un mayor rendimiento y lo que es más importante, la prevención de futuras lesiones músculo-esqueléticas ocasionadas por posturas forzadas, movimientos repetitivos o incluso un mal alineamiento anatómico del deportista(FLORES, 2012). Por lo tanto se necesita una evaluación completa tanto del deportista como de su entorno de entrenamiento.

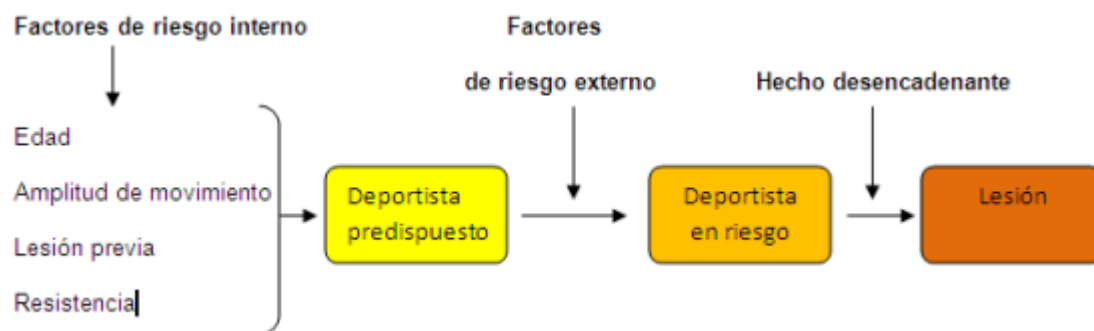


Figura 3. Influencia de los distintos factores en la aparición de lesiones.

Fuente: Ergonomía de un Velocista profesional (FLORES, 2012)

Del cuadro mostrado en la figura 3 se concluye, una lesión tiene 2 factores de riesgo el externo y el interno, para lo cual en el presente trabajo de investigación se enfoca en los factores de riesgo interno más detalladamente en la amplitud del movimiento

2.3.2 Biomecánica del tren superior

El enfoque biomecánico es una técnica utilizada por los investigadores para determinar las tensiones impuestas al sistema musculo esquelético de las personas que se dedican a la elevación manual o en el actual estudio al realizar un ejercicio de carga.

En el enfoque biomecánico, el cuerpo humano es tratado como un sistema mecánico formado por varios eslabones (brazos, piernas, espalda). Las fuerzas y los pares impuestos en varias articulaciones del cuerpo humano por una carga mantenida en las manos se comparan con los límites de tolerancia biomecánica (GENAIDY & HOUSHYAR, 1989).

Con el fin de evaluar el impacto que produce la sentadilla en la columna lumbar, en esta ocasión se explica la estructura de la columna vertebral, los músculos del tronco, la actividad en la flexión y el análisis biomecánico en el ejercicio como se puede apreciar en la Figura 1.

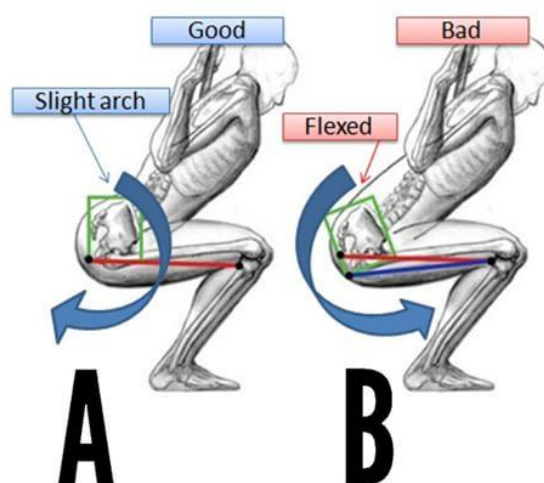


Figura 4. Biomecánica del tronco en el ejercicio de sentadilla con barra libre en una Buena Postura (A) y Mala Postura (B)

Fuente: <http://www.imgrum.org/user/fisioterapia/1222570814/>

En la figura 4 se puede apreciar las 2 comparaciones entre una buena y una mala postura al realizar el ejercicio de sentadillas con barra libre. En la figura A se observa que la cadera tiende a estar un poco sobresalida y formando un ángulo de 90° con las piernas. En la figura B se observa que la cadera no sobresale no está flexionada y q no está formando un ángulo de 90° grados con las piernas.

La columna vertebral o raquis es un sistema dinámico compuesto por elementos rígidos (vértebras, elementos elásticos y discos intervertebrales) cuya función es permitir el movimiento entre sus elementos, soportar peso y proteger a la médula y las raíces nerviosas. La columna vertebral está compuesta por 33 vértebras, divididas en cuatro segmentos: 7 vértebras en la región cervical, 12 en la dorsal, 5 en la lumbar y 4 coccígeas. Los cuerpos vertebrales se unen entre sí por medio de una anfiartrosis típica (articulaciones poco móviles, sin cavidad articular), en la que los cabos óseos se encuentran unidos por unos discos fibrocartilagosos como también por un aparato ligamentoso (VILLADOT, 2001)

Biomecánicamente, la naturaleza fluida del núcleo hace que, bajo compresiones, intente deformarse y transmitir la presión aplicada en todas direcciones. Según (VILLADOT, 2001) El anillo fibroso está compuesto por capas concéntricas sucesivas de fibras de colágeno, ordenadas con 30 grados de inclinación hacia la derecha y la izquierda de forma alternante en cada capa, lo cual hace que sean prácticamente perpendiculares entre sí. Esta arquitectura lo hace capaz de soportar compresiones, pero está mal preparado para los cizallamientos. El anillo en la zona lumbar y cervical es más grueso en la parte anterior que en la parte posterior, debido a la lordosis existente en estas regiones. El agua es también el principal componente del anillo fibroso y representa el 60-70% de su peso. Asimismo, el colágeno constituye el 50-60% de su

peso en estado seco. El disco intervertebral desempeña múltiples funciones en la columna vertebral:

2.3.3 Evaluación del ángulo de inclinación del tronco en la sentadilla de barra libre

En este apartado se analiza el ángulo de inclinación del tronco así como también la activación muscular del tronco durante la sentadilla con barra libre en el cual los músculos posteriores, como los latero vertebrales (cuadrado lumbar y psoas) y los de la pared abdominal (recto anterior, transverso, oblicuo mayor y oblicuo menor), actúan directamente sobre los movimientos e indirectamente sobre su estabilidad durante la sentadilla con barra libre(CAPPA, 2000).

Debido a que en la sentadilla con barra libre existe un desplazamiento del tronco hacia delante como se aprecia en la Figura. Dentro de los 50° a 60° de flexión del tronco se producen a nivel de la columna lumbar como se muestra en la Figura 5. La flexión del tronco es ayudada por la báscula anterior de la pelvis y se inclina debido a la acción de la musculatura abdominal y del psoas. Desde este punto, el peso de la parte superior del cuerpo aporta a aumentar la flexión, la flexión del tronco es controlada gracias al aumento gradual de la actividad de los músculos erectores. Los músculos de la cara posterior de la cadera ayudan a controlar la báscula anterior de ésta(CAPPA, 2000). Cabe recalcar que la columna dorsal no desempeña un rol importante dentro del flexo-extensión

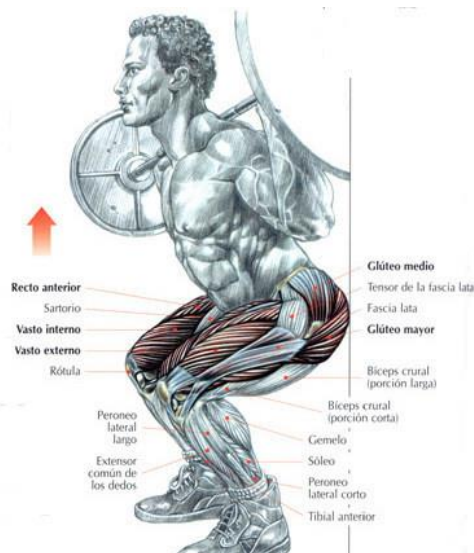


Figura 5. Activación muscular del cuerpo en la sentadilla con barra libre

Fuente: <http://www.estilorx.com/las-sentadillas/>

En la figura 5 indica que en el instante que la columna está flexionada al realizar la sentadilla, los músculos que se ocupan de extender la columna son los grandes músculos de la pelvis (glúteo mayor y menor), cuya función es retomar a su postura de inicio y los paravertebrales toman la acción del ejercicio en el entrenamiento (MILLER, 2005).

Se produce un momento extensor en las vértebras debido a la dirección oblicua de las fibras por reacción a la tracción lateral de los músculos en la fascia toraco-lumbar. Se produce un momento extensor en toda la columna vertebral debido a la tracción transversal aproximada en la apófisis espinosa. Fiodyd y Silver observaron que a partir de los 40 grados de flexión de la columna, los músculos lumbares estudiados mediante EMG dejan de actuar (fenómeno de la relajación muscular) y la estabilidad depende de la fascia toraco-lumbar (MILLER, 2005).

2.3.4 Lesiones causadas durante la realización del ejercicio enfocado en la columna vertebral principalmente en la espalda baja

Multitudinarios estudios han sido reportados en la literatura sobre la BTL de la columna vertebral humana. En estos estudios se han identificado dos tipos de BTL: la fuerza y la fatiga. Un límite de fuerza es definido como la carga máxima impuesta sobre la columna vertebral que conduce a la ruptura (daño) de uno o más de sus cuerpos vertebrales, discos intervertebrales y más ligamentos. Un límite de fatiga es el número total de ciclos de trabajo que puede sostener la columna vertebral humana cuando se somete a carga cíclica antes de la fractura durante un entrenamiento.(GENAIDY & HOUSHYAR, 1989).

Los deportes que requieren entrenamiento de pesas significativo hasta esfuerzos máximos, tales como el culturismo o la halterofilia, pueden aumentar la carga sobre la columna lumbar y predisponer al deportista a problemas lumbares significativos provocando lesiones a largo o corto plazo(SANCHEZ, 1992).

(YEUNG & CHOW, 2000) Realizaron un análisis de parámetros como son la flexión máxima la extensión la rotación axial, el lado de flexión y la velocidad de movimiento de flexión, extensión bajo par de torsión, contracción excéntrica y concéntrica en la flexión en la que se pudo observar que la capacidad de carga dinámica en sentadillas dependía en gran medida de la torsión máxima del tronco en flexión lateral. Esta acción se cree que está determinada principalmente por la contracción de los músculos oblicuos y estos músculos son los responsables de la flexión lateral del tronco los cuales son los más afectados durante una mala técnica del ejercicio lo que puede generar una ciática o una lumbalgia como indica en la Figura 5.

La ciática y la lumbalgia son entidades singulares provocadas por efecto de una mala realización de una sentadilla debido a una mala técnica. La ciática es una de las categorías más claramente definidas de trastornos de espaldas frecuentes y dolorosas, es un síntoma que no siempre es causado por la hernia de los discos lumbares(FITZGERALD & KAUFER, 2004). Lo más probable es que la degeneración de los discos lumbares sea la causa más frecuente en la aparición de la lumbalgia(FITZGERALD & KAUFER, 2004).

Las flexiones vertebrales con cargas, pueden provocar hernias discales en general situadas a nivel de las vértebras lumbares. Estas hernias son frecuentes en la sentadilla y al levantar pesos muertos y son consecuencia, generalmente y con frecuencia cuando existe una mala posición del cuerpo debido a una falta de técnica(DELAVIER, 2007). Durante las flexiones vertebrales, el disco se pinza delante y se separa por detrás. El líquido del núcleo pulposo migra hacia atrás y puede llegar a comprimir los elementos nerviosos por lo cual provoca una lumbalgia o ciática (DELAVIER, 2007).

2.3.5 Rehabilitación por una lesión durante el ejercicio de sentadilla en la espalda baja



Figura 6. Dolor Lumbar en atletas.

Fuente: <http://www.estilorx.com/las-sentadillas/>

En la Figura 6 se detalla como un atleta con un dolor de espalda por lo general tendrá limitaciones para realizar ejercicio físico por más leve que sea el ejercicio sufrirá de molestias.

Diagnóstico.

Por lo general el diagnóstico clínico es altamente confiable cuando el paciente tiene déficit sensitivo en el dermatoma, correspondiente a una debilidad miotómica específica y disminución de los reflejos musculares en un patrón radicular similar. En ocasiones es posible realizar la derivación basándose en los síntomas y hallazgos de la exploración física para distinguir el tipo de lesión.

Tratamiento médico

Los tratamientos de primera línea son los corticosteroides orales (Pastillas), los AINE o el paracetamol. Los primeros tiene el mejor efecto anti inflamatorio y en general el deportista puede tolerar una dosis de 40 mg de prednisona durante 3 días. Los analgésicos más potentes están indicados para los trastornos del sueño causados por el dolor. En general, la derivación al especialista es innecesario excepto que el deportista siga sintiendo dolor luego de las 4 semanas.

Tratamiento fisioterápico

Los masajes están contra indicados. Deben evitarse la carga de peso y rotaciones. Lo más importante que debe tener en cuenta el deportista es adaptarse a un entrenamiento alternativo para mantener su nivel físico. Generalmente, el efecto de la tracción lumbar es breve y más aún su influencia en el resultado de la radiculopatía lumbar. Cuando la situación mejora pueden agregarse al programa tratamiento los ejercicios para los músculos transversos.

Pronóstico

La variación individual es enorme. Debería esperarse la reducción intermitente de los síntomas durante los primeros 14 días, pero la evolución puede ser en largo plazo y es característico que el deportista necesite adaptar sus objetivos actuales y prepararse para la siguiente temporada(BAHR & MAEHLUM, 2007).

2.4 Método de entrenamiento deportivo al ejercicio de sentadilla con barra libre.

2.4.1 Formas de entrenamiento de sentadillas

Existen muchas variantes del ejercicio, tanto con mancuernas, barra de acero o sentadilla en la maquina Smith, pero de las cuales se van a explicar las sentadillas que involucra el uso de una barra de acero de forma libre sin soportes, a continuación se detallan las posibles variantes:

Sentadilla a 90° (Media sentadilla)

También conocida como media sentadilla, se desciende hasta que los muslos se encuentran paralelos al suelo formando un ángulo de 90° (Kulund, D., 1990). El ascenso debe realizarse repitiendo el mismo movimiento pero en sentido contrario (Cappa, D., 2000).

Sentadilla completa (Sentadilla Completa)

En la sentadilla completa, el descenso del deportista se realiza hasta lograr una flexión profunda de las piernas, hasta la posición que el esquema corporal lo permita. En ese punto se produce un pequeño movimiento donde la cadera se desplaza hacia abajo y adelante (Anselmi, H., 2007; Badillo, J.J., 2000; Cappa, D., 2000).

El ascenso se realiza repitiendo el mismo movimiento pero en sentido contrario (Cappa, D., 2000).

2.4.2 Técnica adecuada para la realización del ejercicio de sentadilla con barra libre



Figura 7. Sentadilla 90° Técnica correcta

Fuente: <https://www.totalhealthperformance.com.au/single-post/2017/03/01/PROBLEM-4-WEIGHTS-ARE-FOR-BOYS>

En la figura 7 se muestra a una mujer realizando correctamente una sentadilla de 90°, se puede rescatar que la dama está entrenando con un peso considerable y aun así puede mantener una buena postura, y que además su indumentaria deportiva es la indicada como se observa el uso de zapatos de halterofilia.

Mantener el torso recto.

Si el deportista realiza el de forma correcta el ejercicio con la espalda derecha y los músculos dorso-lumbares contraídos isométricamente, el peso de la barra esta soportado por la columna y estos músculos son los que benefician a generar una menor presión sobre los discos intervertebrales. La posición del torso erguido y recto provoca un mayor stress sobre los cuádriceps, por lo que colocar una madera debajo de los talones muchas veces ayuda a mantener la posición(CAPPA, 2000).

Es recomendable usar cinturones o fajas deportivas, solo cuando las intensidades de carga sean muy grandes, con el fin de prevenir lesiones y ayudar a los músculos a mantenerse en la posición correcta.

Establecer una buena apertura de piernas.

Los músculos vasto interno y vasto externo actúan como una unidad en la mayoría de los ejercicios que lo comprometan, también en el caso de la sentadilla, debido a que los puntos de inserción de los músculos constituyentes del cuádriceps están muy cerca uno del otro salvo el recto anterior: convergen en el tendón cuadricipital y rotuliano, realizando un largo recorrido a lo largo del fémur (ESCAMILA, 2001). La correcta postura es la que el deportista se encuentre cómodo, ya que no hay apreciables diferencias en cuanto a la musculación. Se recomienda ubicar las piernas levemente abiertas, separadas poco más del ancho de hombros, con la punta de los pies mirando levemente hacia afuera.

Barra firme sobre los hombros.

El agarre de la barra debe ser cercano a los hombros para ejercer más presión sobre la barra e impedir que la espalda se curve, provocando un esfuerzo indeseado sobre la musculatura lumbar. Si se coloca la barras más abajo es posible realizar el ejercicio con mucho peso, pero se conduce el esfuerzo de los cuádriceps hacia los glúteos e isquiotibiales, lo cual es muy peligroso en caso de principiantes (HEJEDUS, 1991).

2.4.3 Errores más comunes al realizar el ejercicio de sentadilla con barra

libre

Arqueo de la espalda baja

(CRESEY, 2008) Establece que este error técnico afecta al 60% de la población que concurre al gimnasio e intenta realizar la sentadilla. Fundamentalmente, el arqueo se produce cuando el ejecutante posee los flexores de caderas hiperactivos y los abdominales y glúteos débiles, lo cual lleva a un giro anterior de la pelvis, acentuando la lordosis lumbar también llamada curvatura vertebral. A veces se provoca tensión de femorales y erectores espinales debido a la dominancia sinergista. Según (CRESEY, 2008), el ilíaco y recto femoral tienen inserción muy junta en el ilión, y el psoas mayor y menor en las vértebras L1-L2 y D12, los discos intervertebrales y el sacro. Cuando estos músculos están tensos, tiran la columna lumbar y la mitad de la pelvis hacia delante

Redondear la espalda baja

(ANSELM, 2007) Sostiene, este defecto se produce por dos causas: exceso de tensión de los glúteos que limita la flexión de la cadera y desarrolla la compensación lumbar y la segunda causa es la debilidad de los músculos paravertebrales en la región cervical que contribuye a acentuar la curvatura cifótica, lo cual dificulta mantener la posición de los hombros hacia atrás y abajo para crear una base firme de soporte sobre la cual apoya la barra. La debilidad de los músculos paravertebrales frena el mantener la columna derecha, a medida que aumenta la profundidad en el descenso. Independientemente de la causa que produce este defecto, los entrenadores aconsejan aumentar la presión intra torácica; el aumento de la presión

intra abdominal es una forma segura de activar la estabilidad durante estos ejercicios (ANSELMINI, 2007)



Figura 8. Errores Comunes al realizar la sentadilla con barra libre.

Fuente: <http://www.estilorx.com/las-sentadillas/>

En la figura 8 se detalla las diferentes posiciones que realizan comúnmente las personas que son nuevas en un gimnasio o personas experimentadas que exceden el peso de su entrenamiento. En la tercera postura se puede apreciar cómo se desea realizar una sentadilla correcta haciendo el uso de una plataforma que ayude a erguir su espalda mediante la inclinación de los talones.

2.4.4 Posibles Variantes para la sentadilla con barra libre

Sentadilla Frontal.

Debido a su implicación muscular similar en EMG (Electromiografía), la menor carga de peso en la barra y la necesidad de adoptar una postura de espalda correcta para poder ejecutar esta variante es una excelente alternativa (GULLET, 2008). Además se puede bajar con mayor

profundidad por debajo de la paralela en comparación con la sentadilla de 90° donde se tiene que tener la espalda lumbar al menos neutral.

Sentadilla sumo.

El “Sumo Squat”, ya sea realizado con mancuerna o incluso con la propia barra es una de las variantes más utilizadas, su principal característica es el cambio de colocación de los pies (más abiertos y separados en comparación con la sentadilla convencional), recordando a los luchadores japoneses (DIGGIN, 2001).

En este caso, la variante “sumo” aporta mayor implicación de aductores y glúteo, pero destaca por resultar más cómoda para el practicante que tiene problemas de movilidad, especialmente a nivel de cadera así como menor inclinación del tronco (DIGGIN, 2001). La técnica “Sumo” puede permitir reposar la mancuerna al final de la fase excéntrica.

2.4.5 Implementos usados en el ejercicio de sentadilla con barra libre

Jaula para soporte de la barra

Sirve para dar soporte a la barra metálica antes de iniciar el ejercicio y para reposar la misma barra al terminar el ejercicio. Es importante tener en cuenta que el soporte debe estar a una altura adecuada para que el deportista no tenga molestias al iniciar el ejercicio (ANSELMINI, 2007).



Figura 9. Jaula Metálica para sentadillas

Fuente: http://www.powerfitnesspro.com/c_tp_peso_libre_bancas_jaula_de_sentadillas.htm

Las Jaulas Metálicas por lo general vienen protegidas en cuestión de falta de estabilidad con dos ganchos que permiten al usuario descargar el peso en la ubicación y altitud elegida como muestra la figura 9. Es recomendable utilizar barras paralelas por cuestión de seguridad para evitar que el peso caiga encima del deportista.

Discos

Se autorizan dos tipos de discos: discos de competencia de goma y de entrenamiento de metal. (BAHR & MAEHLUM, 2007) afirma, es importante asegurar el peso de la barra para prevenir que por una mala inclinación se desbalancen y provoquen q los discos caigan al suelo y generen molestias en el deportista como se observa en la figura 10.



Figura 10. Discos de goma de diferentes pesos

Fuente: <http://2.bp.blogspot.com/s1600/394.original.jpg>

Estos pesos por lo general vienen de goma o metálicos dependiendo del Gimnasio, lo más recomendable es sujetar estos pesos con un gancho para evitar que se muevan al realizar el ejercicio y reduzcan la estabilidad.

Barras

La barra a utilizar debe ser metálica para soportar el peso cargado y para evitar desdoblamiento(CAPPA, 2000). La barra utilizada en el entrenamiento pesa 20 kg como se detalla en la figura 11.



Figura 11. Barra y discos usados para sentadilla

Fuente: <http://1.bp.blogspot.com/s1600/barra+halterofilia.jpg>

Indumentaria.

Los miembros del club utilizan calzado adecuado (calzado de altero filia) que protege sus pies, les proporcionen estabilidad y una permanencia firme sobre la tarima de competición según(ANSELMÍ, 2007).



Figura 12. Zapatos aptos para el levantamiento de pesas.

Fuente: <http://www.modacalle.com/images/blog38/zapatillas-para-mujeres-adidas-adipower-weightlifting-3.jpg>

Como muestra la figura 12, estos zapatos tienen una leve inclinación en los talones que favorece a corregir la posición de la espalda brindando mayor estabilidad al realizar ejercicio con pesos considerables.

2.5 Modelo en V

Modelo en V nos permite realizar la elección de la mejor propuesta entre las posibles soluciones, además proporcionara un seguimiento adecuado de las fases del proyecto tomando en cuenta requerimientos de usuarios, en su primer nivel, requerimientos funcionales en su segundo nivel, requerimientos técnicos de diseño en el tercer nivel y en su base cuarto nivel nos

permite realizar el test de pruebas propuestas para comprobar la correcta realización de cada fase antes mencionada (SOMMERVILLE, 2005).



Figura 13. Etapas del Modelo en V de Desarrollo de Sistemas

Fuente: <http://softwareverde.blogspot.com/2012/09/modelo-en-v.html>

La parte izquierda de la V simboliza la corriente donde se definen las especificaciones del sistema según la Figura 13. La parte derecha de la V simboliza la corriente donde se comprueba el sistema versus las especificaciones definidas en la parte izquierda. La parte de abajo, donde se hallan ambas partes, representa la corriente de desarrollo.

En los 4 niveles lógicos iniciando desde el 1º, para cada fase del desarrollo, coexiste una fase propia o equivalente de verificación o validación. Esta estructura cumple que desde el principio para cada fase del desarrollo debe existir un resultado verificable.

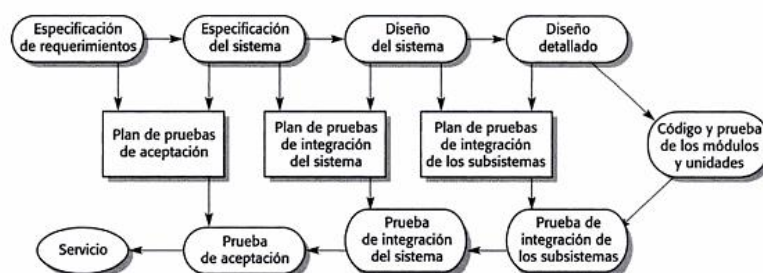


Figura 14. Planes de enlace como pruebas del modelo en V

Fuente: <http://softwareverde.blogspot.com/2012/09/modelo-en-v.html>

De la figura 14 se puede rescatar que cada proceso está relacionado con el siguiente por lo cual es indispensable una buena organización para ir en orden de acuerdo al modelo en V con la finalidad de obtener los mejores resultados.

2.5.1 STAKEHOLDERS

Metodología que tomara en cuenta las consideraciones dadas por los usuarios para brindar comodidad en el diseño, además para determinar dispositivos eléctricos que no sean molestos o incómodos, dando valoraciones a cada una de ellas y al final consiguiendo resultados óptimos (FRIEDMAN & MILES, 2006).

2.5.2 BECHKMARKING

Esta metodología permite la determinación de las características de los sensores y módulos de comunicación que se apliquen a los requerimientos del Proyecto que satisfagan las necesidades de los usuarios (OLVERA, 2015).

2.6 PLACAS Y SENSORES.

Todo sistema electrónico posee un software y un hardware, la importancia de conocer el funcionamiento de cada uno de estos es imprescindible para una mejor elección en el

mercado. A continuación, se explica el funcionamiento de los sensores y placas electrónicas así como las especificaciones de plataformas de visualización.

2.6.1 Placa programable eficiente para la medición del ángulo de inclinación de la espalda

Arduino

Plataforma electrónica Open Source, formada de hardware y software para diseñar, desarrollar y realizar pruebas de productos, y principalmente, prototipos electrónicos. El Hardware consiste de un microcontrolador con otros componentes electrónicos que pueden ser programados usando el software para una extensa variedad de aplicaciones(Arduino, 2012).

Su entorno Open Source ha sido la primordial razón de su rápido crecimiento, todos los archivos afines a sus aplicaciones están disponibles para uso personal o comercial, no es necesario ningún tipo de licencia para su desarrollo, uso, redistribución o incluso venta, a excepción del nombre Arduino, que es marca registrada

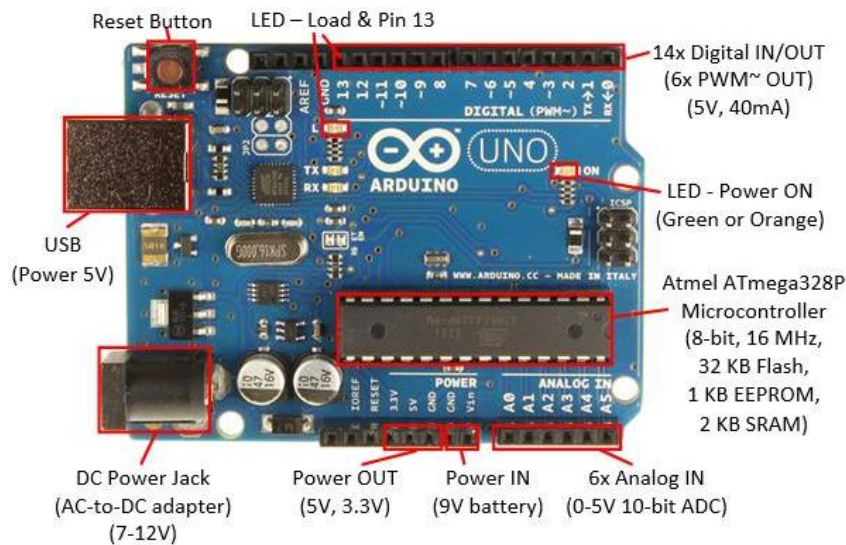


Figura 15. Arduino Uno, vista superior

Fuente: <http://www.engineersgarage.com/articles/arduino>

En la figura 15 detalla todos los pines de conexión del Arduino, así como también permite observar su micro chip Atmega utilizado. Cuenta con un pulsador para resetear esta placa en caso de errores, así como también cuenta con un led integrado que se prendera cuando el dispositivo este alimentado a una Fuente de energía de 5V

Hardware

El hardware de Arduino está creado para reducir las complicaciones en la circuitería en su espacio físico. Tiene un ISP (System Programmer), que permite a los usuarios transferir el software dentro del microcontrolador sin necesidad de removerlo del circuito. El modelo básico de Arduino (UNO) consiste en un microcontrolador AVR de 8 bits con otros componentes necesarios como un regulador de 5 voltios, un cristal de 16 MHz, resonador cerámico, conectores de salida, adaptador de entrada, etc. Los puertos de entrada salida están ubicados

para facilitar la conexión con módulos intercambiables de extensión, llamados shields, con la finalidad de extender las capacidades de la plataforma.

La plataforma puede interactuar fácilmente con sensores externos, circuitos y otros periféricos. Dependiendo del uso, la plataforma está disponible en varios diseños y configuraciones

2.6.2 Sensores ideales para medir ángulos de inclinación de la espalda baja y de la barra.

A continuación se explica el sensor utilizado para medir ángulos de inclinación en cabeceo y alabeo. Además en este apartado se muestra una metodología que ayuda a entender el manejo de los sensores inerciales (acelerómetro), así como también se da a conocer sus principales características.

Para obtener medidas angulares con el mínimo error y desviación posible se establece la fusión sensorial mediante el uso del Filtro de Kalman de las señales del acelerómetro para un sistema en reposo sometido a perturbaciones (vibraciones).

2.6.3 Integrado ADXL 345

Un acelerómetro es un sensor capaz de medir las fuerzas gravitatorias que se aplican a su superficie, éste en concreto, es un acelerómetro de tres ejes x, y, z. Entonces nos indicara para cada uno de sus ejes, si tiene una fuerza G positiva o negativa. (FEI & SONG , 2014). La estructura de estos dispositivos puede apreciarse en la imagen, contienen por lo general placas

capacitivas internas, algunas fijas y otras móviles. Las fuerzas de aceleración que actúan sobre el sensor variarán la disposición de unas con respecto a las otras modificando la capacitancia existente entre ambas. Estos cambios serán traducidos posteriormente en señales que se podrá utilizar

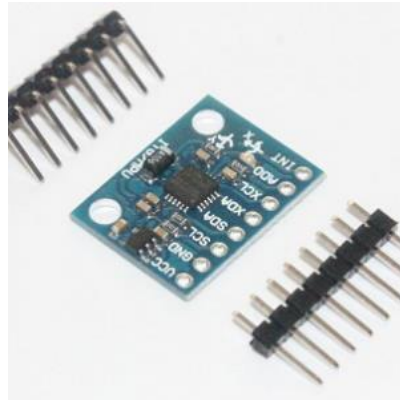


Figura 16. ADXL 345 Acelerómetro de 3 Ejes

Fuente: <https://www.prometec.net/producto/mpu-gy-521-acelerometro-giroscopo/#>

En la figura 16 se detalla los pines de conexión del sensor acelerómetro ADXL345, los cuales deben ser soldados los pines de conexión externos para un pertinente ensamblado con la placa Arduino.

Acelerómetro

Un acelerómetro lineal es un sensor inercial que mide la diferencia total entre la aceleración traslacional y la componente de la aceleración gravitatoria a lo largo de su eje de acción (CUREY, 2004); en general tiene como unidad de medida [g], donde $1g = 9,8 m/s^2$.

La característica más importante del sensor ADXL345 es su tipo de comunicación digital por medio de los protocolos de comunicación serial I2C su nombre viene de Inter-

Integrated Circuit (Inter-Circuitos Integrados) y SPI (Serial Peripheral Interface). Un protocolo de comunicación usado para medir el valor de la aceleración en los 3 ejes que proporciona una lectura de datos más fiable.

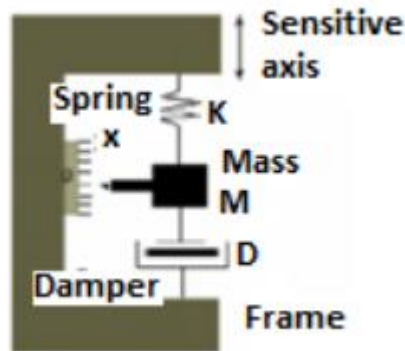


Figura 17. Representación mecánica de un acelerómetro.

Fuente: <http://www.scielo.org.mx/pdf/sv/v23n3/v23n3a6.pdf>

De la figura 17 se detalla que un acelerómetro contiene una masa suspendida mediante un muelle sobre un marco fijo, donde una fuerza externa derivada por una aceleración lineal origina un desplazamiento relativo entre la masa de prueba y el marco, creando al mismo tiempo cambios de tensión sobre el muelle de suspensión.

(SHAEFFER, 2013) Afirma, el desplazamiento relativo como la tensión que sufre el muelle de suspensión al deformarse puede ser utilizado para medir una aceleración externa. Los acelerómetros en general están especificados por su sensibilidad, máximo rango de operación, resolución, frecuencia de respuesta, no linealidad a máxima escala, offset y supervivencia de choque (CUREY, 2004). En la Tabla 1, se muestran parámetros de desempeño para acelerómetros en aplicaciones automotrices y de navegación.

Tabla 1. Especificaciones típicas de acelerómetros según su aplicación.

Parameter	Automotive	Navigation
Range	$\pm 50g$ (airbag) $\pm 2g$ (vehicle stability system)	$\pm 1g$
Frequency Range	DC – 400Hz	DC – 100Hz
Resolution	$< 100 mg$ (airbag) $< 10mg$ (vehicle stability System)	$< 4\mu g$
Off – axis Sensitivity	$< 5 \%$	$< 0.1\%$
Nonlinearity	$< 2\%$	$< 0.1\%$
Max. Shock in 1msec	2000g	10g
Temperature range	$-40^{\circ}C$ to $85^{\circ}C$	$-40^{\circ}C$ to $85^{\circ}C$
Tc of offset	$< 60mg/^{\circ}C$	$< 50\mu g/^{\circ}C$
Tc of Sensitivity	$< 900ppm/^{\circ}C$	$< \pm 50ppm/^{\circ}C$

Fuente: (CUREY, 2004)

En la tabla 1 los parámetros más importantes a tomar en cuenta para la implementación en el desarrollo del proyecto es: su rango y su sensibilidad, los cuales son $1g$ y $<0.1\%$ respectivamente.

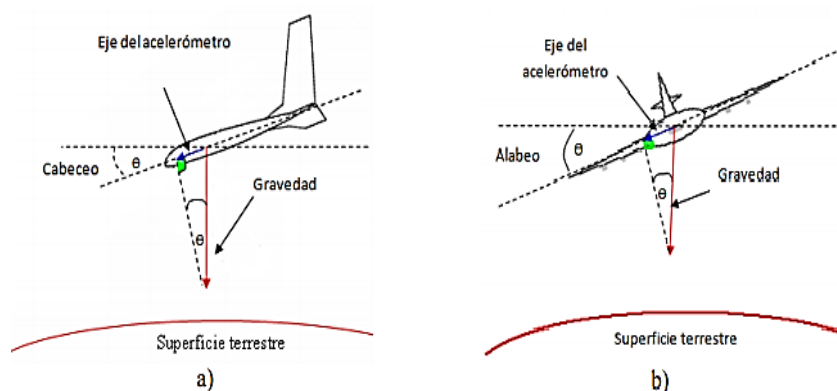


Figura 18. Angulo de a) Cabeceo θ y b) Alabeo θ de un avión.

Fuente: <http://www.scielo.org.mx/pdf/sv/v23n3/v23n3a6.pdf>

Estos sensores son capaces de medir ángulos (cabeceo y alabeo) con mucha precisión en condiciones estáticas como muestra la Figura 18, es decir, sin presencia de vibraciones ni aceleración lineal.

2.7 PROCESAMIENTO DE SEÑALES

A continuación se detalla las herramientas usadas para el procesamiento de la señal tomada previamente por los sensores y como se aplica para darle sentido a la investigación de la posición de la espalda en la sentadilla con barra libre.

2.7.1 Arduino Software

Los programas se desarrollan usando el lenguaje de programación APL, luego de compilarse, se cargan en la memoria del microcontrolador usando el propio software Arduino, su objetivo es facilitar la programación de algoritmos, de tal forma a permitir explotar la creatividad de forma sencilla. El IDE1 consta de un editor para escribir el sketch2 del hardware (CASCO, 2014)

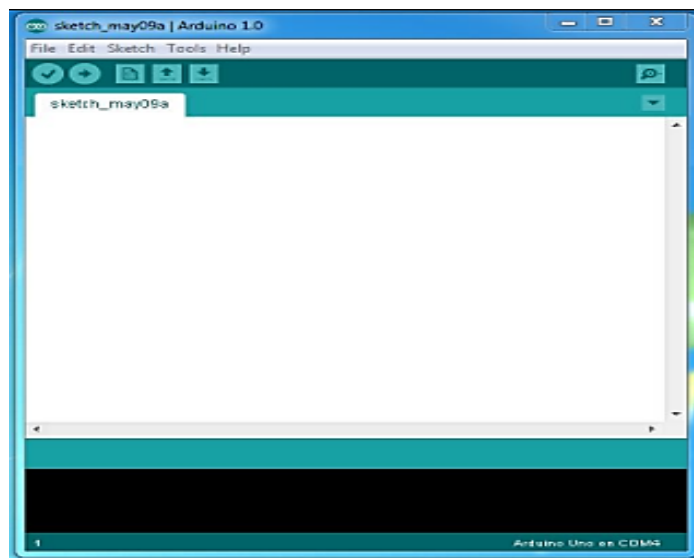


Figura 19. IDE de Software Arduino.

Fuente: <http://www.engineersgarage.com/articles/arduino>

En la figura 19 se observa la IDE de Arduino la cual está en blanco debido a que se debe programar todo desde 0, las ventajas de la IDE es que viene con ejemplos pre establecido los cuales se puede usar o modificar para usar según convenga.

Según (CASCO, 2014), al compilar, automáticamente se genera la función prototipo. El entorno de Arduino transforma el sketch en código C o C++. Luego este a su vez se convierte en instrucciones maquina entendibles para el microcontrolador y se crea un archivo objeto, el cual es combinado con las librerías estándar de Arduino que proveen las definiciones de las funciones compiladas. El resultado es un único archivo hexadecimal, transferido al microcontrolador. Esta transferencia puede realizarse usando cable USB o el puerto serial de la PC. Dentro de esta herramienta se escribe el código para la toma de datos del sensor así como también la conexión con el servidor para enviar los datos de forma inalámbrica.

2.7.2 Proteus Software VSM

Proteus VSM (Virtual System Modelling) es un sistema de diseño electrónico basado en la simulación analógica, digital o mixta de circuitos, el cual permite una interacción con muchos elementos electrónicos que integran el circuito. Incluye componentes animados para la visualización de su funcionamiento en tiempo real, posee además un completo sistema de generación y análisis de señales (Lambert & Miriam , 2010). Una ventaja adicional es que cuenta con un módulo para el diseño de circuitos impresos.

Proteus VSM es una aplicación la cual permite la simulación del circuito gracias a la incorporación de librerías Arduino, así como también ayuda a establecer los pines de conexión

de los componentes utilizados para posterior realizar el diseño de la placa electrónica para el montaje de los elementos físicos.

2.8 Formas de tratar e interpretar las señales

Según (ROETENBERG, 2013), La desventaja al utilizar el acelerómetro para medir ángulos de cabeceo y alabeo es la presencia de perturbaciones (vibraciones) y componentes de aceleración lineal en el caso de existir movimiento traslacional en dirección de cualquiera de sus ejes, como consecuencia, se obtiene medidas de ángulo alteradas debido a que se utiliza la vibración y la aceleración lineal.

Se presenta un método eficiente para lograr la mayor eficiencia en la medición de datos con el sensor ADXL345

FILTRO DE KALMAN

Para (RODRIGUEZ, 2014), el Filtro de Kalman es un estimador óptimo y de perfil recursivo. Desarrollado en 1960 por Rudolf E. Kalman, tiene implicaciones en el proceso de filtrado en sensores y es uno de artífices de la carrera espacial.

Este método es recomendable debido a que parte de las mediciones obtenidas, deduce las variables de interés y recursivo dado a que usa los estados preliminares del sistema, añadido con las medidas tomadas, para calcular los nuevos resultados. Por este motivo es usual utilizar un filtro menos robusto denominado filtro complementario dado a que prescinde por completo

del análisis estadístico (WELCH, 2016). Existen varias fórmulas para un filtro complementario. En su expresión más sencilla, el filtro complementario puede expresarse.

Ecuación 1. Ecuación del Filtro Complementario

$$\theta = A \cdot (\theta_{prev} + \theta_{gyro}) + B \cdot \theta_{accel}$$

En la ecuación 1 se aprecia dos letras, donde A y B son dos constantes que, originalmente, puede tomarse 0.98 y 0.02 respectivamente. Se logra calibrar el filtro simplemente variando los valores de A y B siempre que se cumpla la condición de que sumen 1 entre ellos (WELCH, 2016).

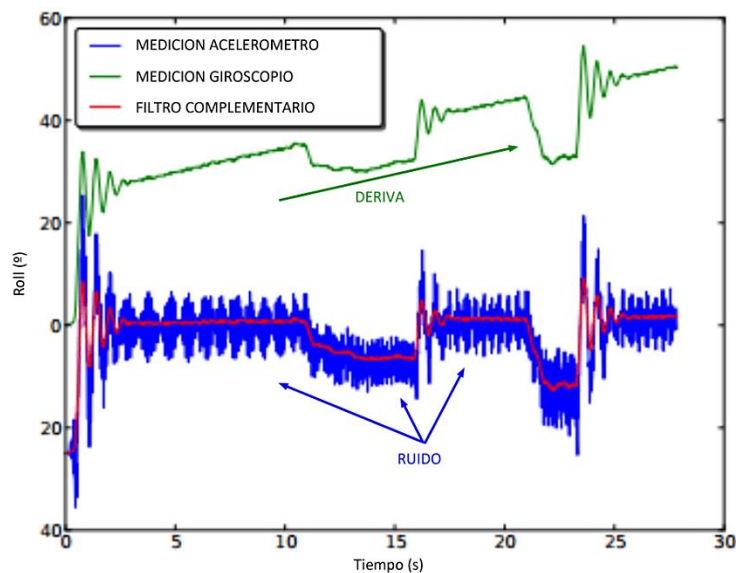


Figura 20. Filtro de Kalman con una señal de Ruido en ADXL345.

Fuente: <https://www.luisllamas.es/medir-la-inclinacion-imu-arduino-filtro-complementario/>

En la figura 20 se muestra 3 señales, la Medición del giroscopio por default genera un pico alto con un grado de error, por eso se ha optado usar el acelerómetro que se lo puede utilizar mediante el uso del Filtro de Kalman con la finalidad de que el ruido generado no sea muy grande y permita tener mediciones más exactas y con el % de error mínimo de datos.

El filtro complementario asemeja a un filtro de paso alto aplicado a la medición del giroscopio y como un filtro de paso bajo para la señal del acelerómetro del AXDL345. La señal del acelerómetro se mantiene a medio y largo plazo, logrando compensar sus ventajas y defectos (SHAEFFER, 2013).

KNN K-Nearest Neighbors

K-Nearest Neighbors en español K-Vecinos más cercanos, es un método de clasificación de datos supervisado. También puede usarse en la regresión, KNN sirve para estimar una función de densidad $F(x/C_j)$ que predice el valor x para la clase C_j (RAJAGURU & PRABHAKAR, 2017).

El objetivo que establece KNN es que el nuevo objeto se clasificará en la clase más frecuente de sus K vecinos más próximos o cercanos. Una representación gráfica de KNN se presenta en la figura 19. Para resolver los casos de empate, se puede añadir alguna regla heurística como puede ser el vecino más próximo. En caso de empate, será el vecino más próximo el que marque la clase del nuevo objeto.

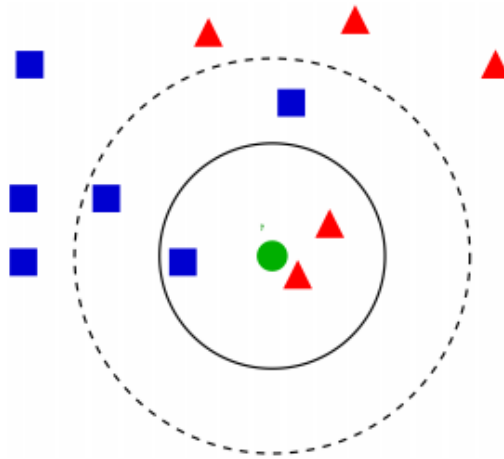


Figura 21. Clasificación de datos mediante KNN

Fuente: <http://wwwae.ciemat.es/~cardenas/docs/lessons/KNN.pdf>

Como se muestra en la figura 21, la clase del objeto que está siendo clasificado será marcado por la mayoría de las clases en los vecinos. Si se toma $K=1$, la asignación será por el vecino más próximo. Esta elección produce que el algoritmo de clasificación sea muy sensible a los puntos ruidosos. Debido a esto, se debe elegir un valor de $K>1$. Consecuentemente, un valor pequeño de K provoca que el algoritmo sea muy rápido, si el valor de K es muy grande, se considerarán puntos muy alejados del objeto a clasificar, incluyendo información no relevante o errónea para el objeto que se está clasificando lo cual conlleva a un mayor gasto computacional. Además se debe escoger un valor del parámetro K impar con la finalidad de evitar como sea posible los empates (HUTTER & SERVEDIO, 2007).

Ventajas de KNN

- Coste del aprendizaje nulo.
- No necesita suposición sobre los conceptos a aprender.

- Fácil aprendizaje de conceptos complejos usando funciones sencillas como aproximaciones locales.
- Se puede extender el mecanismo para predecir un valor continuo (regresión).
- Es muy tolerante al ruido (RAJAGURU & PRABHAKAR, 2017).

Desventajas de KNN

- El valor de encontrar los k mejores vecinos es enorme
- No existe un mecanismo para decidir el valor óptimo para k
- Su rendimiento baja si el número de descriptores crece.
- Su manera de interpretar es nula (no hay una descripción de los conceptos aprendidos) (HUTTER & SERVEDIO, 2007).

Máquinas de Vectores de soporte SVM

Constituyen un método fundamentado en aprendizaje autónomo para la resolución de ejercicios de clasificación y regresión. SVM se basa en una primera fase de entrenamiento y una segunda fase de uso para la resolución de ejercicios. Dentro de la segunda fase, las SVM se transforman en una “caja negra” que brinda una respuesta a un problema dado (RAJAGURU & PRABHAKAR, 2017).

2.9 Visualización grafica del ejercicio

Visual Estudio c#

Microsoft Visual C# es la implementación de la especificación C# de Microsoft, contenida en la suite de productos de Microsoft Visual Studio. Está fundamentado en la especificación ECMA/ISO del lenguaje de programación C#, creado por Microsoft (NOVÁK, 2011).

Según (NOVÁK, 2011), Visual Studio acepta Visual C# con un editor de código completo, plantillas de proyecto, diseñadores, asistentes para código, un depurador eficaz y sencillo de usar, contando con algunas otras herramientas. La biblioteca de clases .NET Framework brinda acceso a una extensa gama de servicios de sistema operativo, clases útiles y apropiadamente diseñadas que aceleran el ciclo de desarrollo de manera significativa.

Microsoft Visual C# 2005 incluye nuevas características en las áreas siguientes: Lenguaje y compilador

- Editor de código
- Entorno de desarrollo
- Documentación y especificaciones del lenguaje
- Depuración
- Lenguaje y compilador

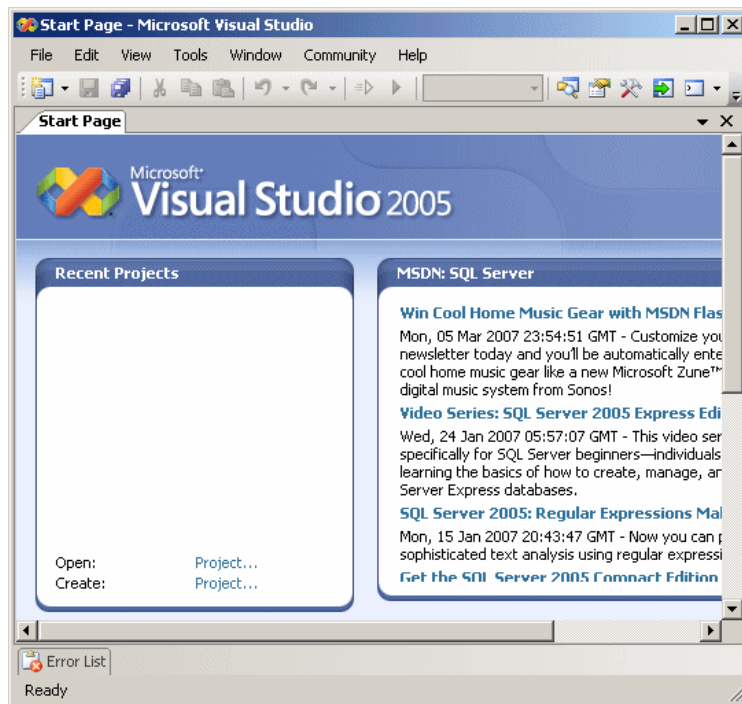


Figura 22. Interfaz de Microsoft Visual Studio

Fuente: <https://msdn.microsoft.com/es-ES/library/dn762121.aspx>

El lenguaje de C# admite ahora tipos genéricos y tipos parciales. La versión última del compilador de C# también incluye nuevas características y opciones como se mira en la figura 22. La interfaz de Visual Studio es de fácil uso y sus varias herramientas hacen que se pueda agregar más funciones a cada aplicación.

2.10 Análisis de beneficios de muestra de datos gráficos hacia el usuario

La presentación de los resultados es la fase más importante en el proceso de investigación de un proyecto, es el momento en el cual el desarrollador del mismo muestra el resultado de muchos meses e inclusive años de arduo trabajo.

La muestra de datos gráficos hacia el usuario permite a las personas no especializadas o ajenas al tema, interpretar mejor determinada información, logrando que sea más entendible y atrayente la explicación hacia el público, permite reforzar los argumentos tratados o conclusiones que una investigación presente (GONZALES & VAAMONDE, 2013).

Un gráfico proporciona una idea generalizada de los resultados, un modelo de datos en forma gráfica no es una representación puntual de las cifras o valores generados, pero permite tener una visión más clara y rápida acerca de la que presentan los datos hacia el usuario. Ahorra al lector el esfuerzo y el tiempo que requeriría el entendimiento de los datos generados. Una desventaja de los gráficos es que no puede incluirse tanta información como en cuadros de datos comunes (GONZALES & VAAMONDE, 2013).

“Una imagen vale más que mil palabras, o que mil datos”. La mente reconoce mucho más una exposición bien estructurada y organizada de resultados estadísticos en gráficos o mapas en vez de en tablas con números y conclusiones afirma (TUFTE, 1997).

2.11 Formas adecuadas de muestra de datos para los usuarios

Existen muchas maneras de representar datos tanto lineales circulares y representación de barras, cada uno de estos tipos está especialmente indicado para representar y explicar los datos de una forma distinta por lo cual su aplicación es variada dependiendo del uso que se lo vaya a dar (GONZALES & VAAMONDE, 2013).

Características generales deseables en un gráfico:

- La proporción debe ser adecuada: no debe ser ni muy ancho, ni muy alto.
- Reproducción fácil y económica; estar centrado en la página
- La tabla de datos, el título, la escala, la leyenda y los símbolos, el gráfico debe ser conciso en la información que proporciona.
- Pocas series de datos, para hacerlo fácil de interpretar
- Cómodo de lectura,
- Vocabulario común a todas las personas y evitar las palabras inusuales o demasiado especializadas
- Colores vivos, y deben tomar en cuenta las personas daltónicas.
- Las tramas, sombras y tonos no deben ser muy elaborados
- El tipo de letra usada es clara, precisa y modesta.
- Los textos son cortos; están escritos tanto en mayúscula como en minúscula (FERNANDEZ & CORDOBA, 2012).

CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA DE EVALUACION DE POSTURA DE LA ESPALDA (SEEPES)

En este capítulo se explica la elección de Hardware y Software necesarios para esta investigación basándose en el estándar IEEE 29148. Para esto se hace uso de una metodología de selección de sistema, el modelo en V.

3.1 Situación actual

La Universidad Técnica del Norte (UTN), es una institución líder en la enseñanza superior en el Norte del país, fiel a su misión, ejes estratégicos para el desarrollo y código de

ética, se compromete a mantener los lineamientos de buena Gestión, ambiente y a su vez proporcionar condiciones de trabajo seguras saludables a toda la comunidad universitaria: docentes, administrativo, trabajadores, empleados y estudiantes (CAZAR, 2014).

El Gimnasio de la Universidad Técnica del Norte es un espacio el cual está disponible para toda la comunidad universitaria, considerando que el ejercicio físico y el deporte, mejoran la salud, calidad de vida y aportan una serie de beneficios a nivel psíquico y socio afectivo (VASQUEZ, 2014).



Figura 23. Instalaciones Gimnasio Universidad Técnica del Norte

Fuente: http://www.utn.edu.ec/deportes/?page_id=786

La carencia de formativos con premisas para practicar la actividad física de forma adecuada, al mismo tiempo, la ausencia de entrenadores personales debido a la gran cantidad de personas que acuden con regularidad al establecimiento son un problema para mantener seguro el ambiente de entrenamiento como muestra la figura 23. Mediante una entrevista realizada al instructor de físico culturismo Javier Llumiquinga se determinó que es imposible hacer un seguimiento adecuado al entrenamiento de los fisicoculturistas durante la sentadilla. Mediante encuestas realizadas fisicoculturistas de la UTN se determinó que el 70% tienen

conocimiento escaso de la técnica adecuada para realizar la sentadilla y no saben si están haciendo bien o mal el ejercicio.

En caso de producirse una lesión, la UTN debe correr con los gastos necesarios del diagnóstico y rehabilitación del deportista (CAZAR, 2014), dependiendo la gravedad y tipo de lesión los costes aumentan debido al tratamiento correspondiente.

3.1.1 Observación Directa.

La observación directa permite determinar con precisión lo que ocurre en el lugar de investigación, determinar el ambiente de entrenamiento y todas las variables que rodean el lugar, para mejorar el comportamiento de los miembros del club e identificar indicadores relevantes que influyan en el diseño del sistema.

Observación Directa en el Gimnasio de la UTN.

Para este punto se realizó una investigación por el gimnasio de la Universidad Técnica del Norte y se obtuvo como conclusión que solo existe una sola persona encargada del entrenamiento en el gimnasio, el cual más se enfatiza en el entrenamiento de las mujeres y los practicantes hombres realizan el ejercicio de sentadilla sin ninguna vigilancia, su única protección es el uso de un cinturón para evitar lesiones en la espalda. El hecho de tener las mismas falencias todos los usuarios permite plantear un SEEPES en base a los requerimientos de los mismos.

Para definir el comportamiento se realizó una investigación a un grupo de atletas. El análisis fue realizado a estudiantes universitarios miembros del club de físico culturismo monitoreados durante sus rutinas de entrenamiento como se muestra en la figura 24.



Figura 24. Observación Directa en entrenamiento de sentadillas en Miembros del Club de Físico Culturismo de la UTN.

Fuente: [Gimnasio Universidad Técnica]

En esta Investigación se identificó que existen posturas incorrectas en la mayoría de los chicos y chicas al cargar un peso moderado y que frecuentemente cometen errores sin saberlo o darse cuenta, este patrón de coincidencias permitió determinar un rango de posturas correctas e incorrectas, estos resultados concuerdan con la investigación realizada por (BAHR & MAEHLUM, 2007) y (GENAIDY & HOUSHYAR, 1989) para evaluar el ángulo de inclinación adecuado para evitar una lesión en la espalda.

3.1.2 Encuesta.

Se realizó una encuesta a los miembros del Club de Físico Culturismo de la Universidad Técnica Del Norte del periodo académico Sep2017-Feb2018, las preguntas son cerradas a dos respuestas Si o No y corresponden a una temática que todo miembro del club las pueda responder. La muestra se evalúa según la cantidad total de personas que integran este club.

Se cuenta con un número de 62 estudiantes, los cuales se encuentran distribuidos en los semestres de primero a décimo de todas las facultades de la Universidad.

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot \sigma^2}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot \sigma^2}$$

Ecuación 2. (Ochoa, 2013) Cálculo del número de encuestas

Donde:

n = Representa el tamaño de la muestra.

N = Representa el tamaño de la población.

O = Es la proporción de individuos que tienen en la población la característica de estudio. Este dato es habitualmente incógnito y se suele suponer que 0.5 que es la elección más convincente.

Z = representa a una constante que acata del nivel de confianza que determinemos. El nivel de confianza muestra la posibilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos. El valor de Z se toma de la tabla del Anexo 9.

e = Significa el límite aceptable de error muestral que, habitualmente suele usarse un valor entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), se selecciona el valor mínimo de error aceptable para obtener una respuesta más acertada.

Tomando los siguientes datos el resultado es el siguiente.

$$N = 62$$

$$O = 0,5$$

$$Z = 1,96$$

$$e = 0,08$$

n = 23 Encuestas.

Las preguntas y resultados se pueden observar en el ANEXO 1. Las conclusiones y resultados que se pudo obtener son los siguientes:

Se tomó 23 muestras a los miembros del club de físico culturismo de la Universidad Técnica del Norte de las cuales se tienen las siguientes conclusiones.

En la pregunta 1 indica que los miembros del club de Físico Culturismo de la UTN si están de acuerdo con utilizar un cinturón con un dispositivo capaz de medir la inclinación de su espalda con el objetivo de mejorar su técnica al realizar sentadillas de una forma más segura.

De la pregunta 2 se puede concluir que el 69.7% de personas si se tomarían un tiempo para colocarse la rodillera y un 30.4% se vería incomodado ante este aspecto, se puede crear un buen hábito con la continua práctica del proceso con la intención de que los usuarios se encuentre en continuo monitoreo, además de ser educados con experiencia y formar mejores hábitos en nuevos miembros del club.

En la pregunta 3 la gran mayoría opta por una alarma sonora que le alerte de un error en el ejercicio con respecto a la inclinación de su espalda por el cual se ha optado en colocar

una chicharra que alerte en tiempo real y a su vez implementar un motor vibratorio cuando no se escuche el sonido de la chicharra.

Con respecto a la pregunta 4 se puede definir qué se debe desarrollar un SEEPES el cual se adapte a cualquier estatura de todos los miembros del club y a su vez pueda ser usado tanto por hombres como por mujeres.

Para finalizar en la pregunta 5 todos los miembros desean que el SEEPES sea portable y ligero evitando el uso de cables para la comunicación entre dispositivos.

En conclusión luego de revisar todas las preguntas de la encuesta se opta por realizar un SEEPES capaz de evaluar la posición de la espalda de cualquier persona al realizar la sentadilla con barra libre. Además, se decide por incorporar una alarma tanto sonora como vibratoria en el cinturón y la barra para generar alertas, así también se opta por utilizar un sistema de comunicación inalámbrico para evitar el cruce de cables en el SEEPES.

3.2 Metodología a utilizarse en el diseño de la propuesta de solución del proyecto

La metodología a utilizarse en el presente proyecto por ser una propuesta de ambientación que necesita de nuevas variables de formulación de acuerdo a varios requerimientos de los implicados en su desarrollo, se considera que el uso de una sola metodología no permite tener una consideración adecuada de las distintas perspectivas que son requeridas para el proyecto, por tal motivo se plantea tener varias metodologías que integren los planteamientos de 2 metodologías a la vez.

3.3 Análisis del modelo en V Y STAKEHOLDERS

La multi metodología permite tener en cuenta aspectos técnicos y sociales del proyecto, alcanzado de esta manera un diseño previo de resultados y posteriormente centrándolo en los resultados propuestos a obtener. Las metodologías propuestas para obtener los resultados son:

3.3.1 STAKEHOLDERS

Implicados en el proyecto, personas que participan de forma directa o indirecta con el desarrollo del proyecto los cuales se describen a continuación en la tabla 2:

Tabla 2. Implicados en el desarrollo del proyecto

Instructor del Gimnasio de la Universidad Técnica del Norte (UTN), Javier Llumiquinga
Integrantes de Físico Culturismo de la UTN
Desarrollador del Proyecto, Anderson Dibujes

Fuente: [Elaboración propia]

3.3.2 Requerimientos de STAKEHOLDERS.

En este apartado se asegura que el SEEPES cumpla con las necesidades del usuario, beneficiario o cliente al cual está dirigido este proyecto. Al mismo tiempo, asegurar que el proyecto cumpla con las atenciones de los miembros del club, siendo el proceso que avala el vínculo entre lo que esperan los usuarios o personas participantes

Nomenclatura de los Requerimientos

Para cada uno de los requerimientos se establece abreviaturas que permiten una mejor síntesis y manejo de los datos.

Tabla 3. Descripción de la Abreviatura de Cada requerimiento.

Abreviatura De Stakeholders	STSR
Abreviatura De Sistema	SYSR
Abreviatura De Arquitectura	SRSR

Fuente: [Elaboración propia].

Tabla 4. Descripción de Requerimientos Operacionales y Requerimientos De Usuarios del sistema.

Requerimientos Operacionales		Prioridad		
		Alta	Media	Baja
StRS1	Fuente de alimentación recargable y portable	X		
StRS2	Interconexión entre los sensores de la espalda baja y la espalda alta	X		
StRS3	Encendido del sistema claro		X	
StRS4	Visualización del movimiento forma local	X		

Requerimientos de Usuarios		Prioridad		
		Alta	Media	Baja

StRS5	Alerta de fallos por sistema de alarma identificable	X
StRS6	Sistema potable y liviano	X
StRS7	El sistema No debe presentar inconvenientes al usuario al momento de realizar el ejercicio	X
StRS8	Independiente de la estatura y peso	X
StRS9	Facilidad de uso	X

Fuente: [Elaboración propia].

Los requerimientos analizados son parte de las insuficiencias planteadas por los usuarios en la Observación Directa y la Encuesta dentro del Gimnasio, ofreciendo una idea general del producto final en todo lo que respecta al entorno operativo y la relación entre el usuario y sistema como muestra la tabla 4. Como demandas más relevantes están un sistema portable e información de fácil comprensión

3.3.3 Requerimientos del SEEPES

Tiene correlación con las funciones que va realizar el SEEPES y todo lo que requiere para su funcionamiento. Entre estos se analiza requerimientos de uso, performance, interfaces, estados y físicos que guardan una estrecha relación con los requisitos de Stakeholders.

Tabla 5. Descripción de Requerimientos de Uso, Interfaces, Performance y Físicos del SEEPES.

Requerimientos de Uso	Prioridad
-----------------------	-----------

		Alta	Media	Baja
SySR1	Lectura de datos de forma rápida y en tiempo real	X		
SySR2	Facilidad de uso del sistema	X		
SySR3	Alarma para aviso de fallos	X		
Requerimientos de interfaces		Prioridad		
		Alta	Media	Baja
SySR4	Visualización del ejercicio en el servidor local y registro de fallos	X		
SySR5	Comunicación inalámbrica entre sensores	X		
Requerimientos de Performance		Prioridad		
		Alta	Media	Baja
SySR6	Análisis de datos durante el ejercicio e tiempo real	X		
SySR7	Registro de errores de un deportista a una base de datos	X		
Requerimientos de Físicos del prototipo		Prioridad		
		Alta	Media	Baja
SySR8	Sistema acoplado a un cinturón cómodo para el deportista	X		

Fuente: [Elaboración propia]

Las conclusiones de las especificaciones de los requerimientos del sistema de acuerdo a la tabla 5 son:

El SEEPES debe ser fácil de usar y colocarse sobre un cinturón en la espalda baja y la barra de acero, esto ayudaría a que cualquier miembro del Club de Físico Culturismo pueda hacer uso del SEEPES tanto en el entrenamiento de sentadillas como en la visualización por parte del entrenador, con la intención de que se obvie la presencia de un Personal Trainer al momento de realizar el ejercicio dentro del gimnasio.

El SEEPES debe ser cómodo y no intervenir en la armonía del movimiento, se propone el uso de un cinturón de cuero adaptable al grosor de la espalda y que no varíe el ángulo en la toma de datos obteniendo los mejores resultados o en su caso la alerta temprana de la alarma.

El SEEPES deberá ser funcional a toda hora debido a que muchos miembros del club pueden usarlo tanto en la mañana y tarde dependiendo del horario de entrenamiento y la concurrencia que tenga el gimnasio hasta que cierren el establecimiento.

El SEEPES no dependerá de la estatura ni el peso de los usuarios con la finalidad de no tener discriminación en el proceso de medición de los deportistas, la ventaja de usar un cinturón ajustable hará que se pueda ajustar el grosor de la abertura con el fin de que cualquier miembro del club pueda usarlo ya sea alto bajo o de peso corporal diferente.

La alerta de una mala realización será un sonido claro y distinguible a los demás ruidos generados normalmente dentro de un gimnasio los cuales pueden interferir en la percepción del sonido.

La base de datos del registro de fallos del ejercicio por usuario deberá almacenarse en un servidor local para un análisis posterior a cargo de un especialista, el cual analizara el rendimiento de cada integrante del club y hará los respectivos llamados de atención posteriores.

3.3.4 Funcionamiento del SEEPES.

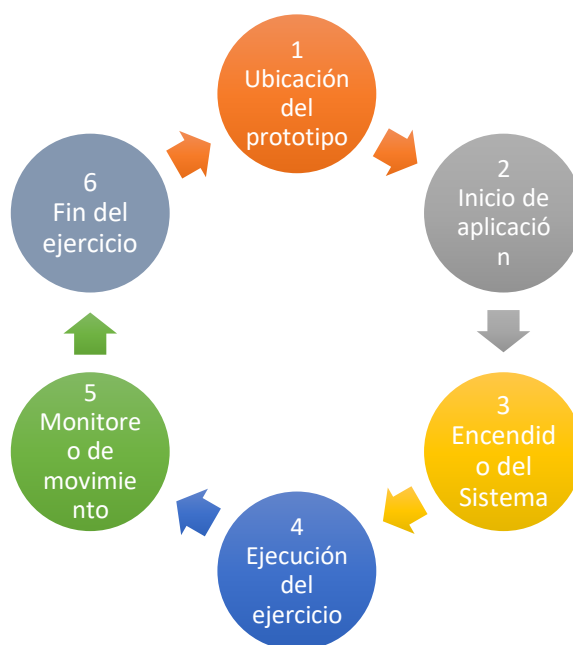


Figura 25. Pasos a seguir para la marcha del SEEPES

Fuente: [Elaboración propia]

Como indica la figura 25 en el primer paso el usuario se colocará el cinturón en la espalda baja y colocara el segundo nodo en la barra, posterior a esto el deportista comprobará la posición adecuada de las mismas para que se encuentre centrado en el nivel establecido.

El deportista debe conectar por medio de USB el nodo master a la CPU, luego encender los dos nodos transmisores (barra y cinturón) antes de posicionarse adecuadamente.

Como siguiente paso debe dar clic en el botón iniciar para que comience el sensor a funcionar para lo cual tendrá un periodo de tiempo para que el usuario se coloque en la posición de inicio del ejercicio y automáticamente el sensor comenzara a evaluar la posición de la espalda y de la barra.

El deportista procederá a realizar el ejercicio normalmente por un número determinado de repeticiones, en el momento de realizar el ejercicio se tendrá una alarma una para los sensores la cual alertará solo en el caso de que el deportista tenga un mal movimiento o gire demasiado la barra y en un motor vibratorio en el cinturón.

Si se enciende la alarma el deportista tiene la responsabilidad de corregir su postura o a la vez detener el ejercicio para evitar posibles lesiones. Luego de finalizar el tiempo de análisis el usuario deberá de volver a dar otra vez clic en iniciar para que realice otro análisis de otra ronda de repeticiones.

Los datos generados por el SEEPES se subirían al servidor local en la cual constará de fecha de análisis usuario y número de fallas por ronda de ejercicio, el entrenador a cargo los podrá revisar en el computador designado para el análisis, y a su vez podrá observar el movimiento fallido del ejercicio en tiempo real.

3.3.5 Requerimientos de Arquitectura

Se especificaran los requerimientos de hardware y software, junto a sus necesidades eléctricas tomando en cuenta los requerimientos lógicos, de diseño dándoles una valoración de

importancia para posteriormente realizar una elección de ellos apropiada, mediante una tabla de valoraciones.

Tabla 6. Descripción de Requerimientos Lógicos del SEEPES.

Requerimientos Lógicos		Prioridad		
		Alta	Media	Baja
SRSH1	Aplicaciones de conexión a módulos Arduino	X		
SRSH2	Enrutador para datos inalámbrico		X	
SRSH3	Puertos de transmisión y recepción de datos variados		X	

Fuente: [Elaboración propia]

En la tabla 6 se muestran los requerimientos lógicos en los cuales el que tuvo más relevancia es la aplicación con módulos Arduino para facilitar el uso e implementación con módulos de medición de datos.

Tabla 7. Descripción de Requerimientos de Diseño del SEEPES.

Requerimientos de diseño		Prioridad		
		Alta	Media	Baja
SRSH4	Comodidad de Uso	X		
SRSH5	Ubicación adecuada del sistema en la espalda	X		
SRSH6	Ninguna dependencia de tamaño o peso		X	
SRSH7	Alarma clara y diferenciable	X		

SRSH8	Visualización de datos para un entrenador	X
--------------	---	---

Fuente: [Elaboración propia]

En la tabla 7 la mayoría de los ítems tuvieron calificación alta, excepto uno, el cual es tener la dependencia de estatura para lo cual se ha enfocado el diseño del prototipo en solucionar este problema.

Tabla 8. Descripción de Requerimientos de software del SEEPES.

Requerimientos de software	Prioridad		
	Alta	Media	Baja
SRSH9 Posibilidad de visualización en varias pantallas		X	
SRSH10 Lenguaje de programación variable			X
SRSH11 Claridad en la muestra de datos del movimiento	X		
SRSH12 Disponibilidad de aplicaciones de programación	X		

Fuente: [Elaboración propia]

En la tabla 8 se muestra que la eficacia en la muestra de datos del movimiento debe ser precisa y comprensibles y la disponibilidad de aplicaciones de programación debe ser viable para agilizar el proceso del diseño tanto del sistema de medición del ángulo de inclinación como en el de visualización del SEEPES.

Tabla 9. Descripción de Requerimientos de hardware del SEEPES.

Requerimientos hardware	Prioridad		
	Alta	Media	Baja
SRSH13 Sistema liviano	X		
SRSH14 No existencia de obstáculos entre sensores	X		
SRSH15 Interpretación de datos de varios sensores	X		
SRSH16 Material resistente a movimientos bruscos y roses		X	

Fuente: [Elaboración propia]

La importancia de un sistema liviano y que no genere molestias en el ejercicio es primordial por el cual se plantea el uso de módulos de comunicación inalámbrico para no generar molestias por el cruce de cables como indica en la tabla 9, así como también los materiales que contengan el sistema debe ser resistente para evitar daños físicos. Se debe tener la capacidad de interpretar datos generados por sensores de distinta ubicación para generar las alertas.

Tabla 10. Descripción de Requerimientos Físicos del SEEPES.

Requerimientos Físicos de funcionamiento.	Prioridad		
	Alta	Media	Baja

SRSH16	Batería portable y recargable	X
SRSH17	Material que permita limpieza	X

Fuente: [Elaboración propia]

Los requerimientos detallados en la tabla 10 conservan precisa relación con la demanda establecida por los Stakeholders en la encuesta y observación directa en los entrenamientos y el establecimiento. Se puede idealizar un sistema robusto tanto en hardware por la cantidad de periféricos que participan tanto en sensores como placas para envío y recepción de datos, como en software por el uso de lenguajes de programación, librerías y protocolos para la visualización y almacenamiento de datos.

3.3.6 Recursos

Corresponde al conjunto de elementos indispensable para el SEEPES, tomando en cuenta los requerimientos del análisis previo realizado. En las siguientes tablas se resume los recursos humanos, económicos y tecnológicos.

Tabla 11. Recursos Humanos participantes.

RECURSOS HUMANOS	
ESTUDIANTES	Aleatorios del club de Físico Culturismo de la Universidad Técnica del Norte
TUTOR	Msc. Carlos Vásquez
DESARROLLADOR	Sr. Anderson Dibujes

Fuente: [Elaboración propia]

Recursos Económicos.

Permite evaluar un costo aproximado del prototipo final. La tabla de recursos económicos se presenta a continuación.

Tabla 12. Recursos económicos de materiales.

Recursos Económicos			
Número	Material	COSTO UNITARIO \$	COSTO FINAL \$
2	Sensor ADXL345	6	12
3	Placas Arduino	10	30
3	Módulo NRF24L01	8	24
2	Baterías y porta Baterías	13	26
1	Cinturón de cuero	40	40
1	Varios	10	10
Total \$			142

Fuente: [Elaboración propia]

En la tabla 12 muestra en resumen el gasto en materiales realizado, teniendo en cuenta que los elementos fueron comprados en el mismo lugar. El precio aumento considerablemente debido a que se debió generar dos sistemas de medición de ángulos tanto para el cinturón como para la barra, por lo cual se necesita de dos elementos por cada dispositivo electrónico.

Recursos Tecnológicos.

El uso de software que permitirá culminar el sistema. La información se resume en la siguiente tabla.

Tabla 13. Recursos Tecnológicos.

RECURSOS TECNOLÓGICOS	
SOFTWARE	COSTO \$
Office 365	0
FRITZING	0
IDE ARDUINO	0
IDE VISUAL STUDIO	0
TOTAL \$	0 \$

Fuente: [Elaboración propia]

El SEEPES fue realizado en software libre por lo cual abarata los costos de desarrollo e implementación sin la necesidad de pagar una licencia por programa como indica la tabla 13. Los programas utilizados pueden ser obtenidos gratuitamente en internet si se utiliza como estudiante no con fines empresariales.

3.3.7 Elección de Hardware y Software

Los atributos antes mencionados de StRS, SySR y SRSR servirán para la determinación de los mejores componentes en hardware y software a implementar en el SEEPES como muestra la tabla 14, mediante la realización de tablas comparativas que avalen la elección y visualicen puntajes de calificación, haciendo que la opción con mayor puntaje sean las que se implementaran en el SEEPES.

Tabla 14. Valoración de requerimientos.

Valoración	
Cumple	1
No cumple	0

Fuente: [Elaboración propia]

Elección de hardware

Tabla 15. Elección de sistema embebido.

Microcontrolador	Requerimiento					total
	StRS1	StRS2	StRS3	StRS5	StRS6	
Arduino nano	1	0	1	1	1	4
Arduino Uno	1	1	1	1	1	5
Arduino lilypad	1	1	1	1	1	5
	StRS7	StRS8	SySR2	SySR4	SySR5	
Arduino nano	1	0	1	1	1	4
Arduino Uno	1	1	0	1	0	4
Arduino lilypad	1	0	1	1	1	4
	SySR7	SySH2	SRSH4	SRSH8	SRSH9	
Arduino nano	0	1	1	0	0	3
Arduino Uno	1	1	1	0	1	4
Arduino lilypad	0	1	1	0	1	3
	SRSH10	SRSH11				
Arduino nano	1	1				2

Arduino Uno	1	1	2
--------------------	---	---	----------

Fuente: [Elaboración propia]

Elección de Software.

El software seleccionado depende de los atributos que se evalúa en la tabla 15 de requerimientos mismas que se consideran para elegir al micro controlador idóneo para el desarrollo de este proyecto. A continuación se presenta un análisis de elección del lenguaje de programación y plataforma de servidor local.

Tabla 16. Requerimientos del Lenguaje de Programación.

TIPO	REQUERIMIENTO						VALORACION
	SySR2	SRSH2	SRSH3	SRSH6	SRSH7	SRSH8	
Galileo	0	1	0	0	1	1	3
Arduino	1	1	1	1	1	1	6
Raspberry PI	1	1	1	1	1	1	6

Fuente: [Elaboración propia]

Analizando las características y valoraciones realizadas a cada placa embebida en la tabla 16, se ha optado por la selección de una placa Arduino Uno y su lenguaje de programación es el C# de visual estudio, en donde es posible programar la interfaz gráfica como indica la tabla 14, además su tamaño se puede adaptar con facilidad en el cinturón y capacidad de procesamiento de los datos lo hacen adaptable a los requerimientos del sistema ya que puede

incorporarse con módulos de comunicación inalámbrica para la interconexión con el computador.

3.3.8 Solución más óptima con referencia al modelo en V

Tabla 17. Elección de la solución más óptima basado en los requerimientos del SEEPES.

Soluciones	Requerimientos del SEEPES							
	Facilidad de Uso	Cómo	Disponibilidad las 24 horas	Análisis en tiempo Real (Fiabilidad de datos)	Implementación dentro del Gimnasio UTN	Visualización de los datos en la nube o en red local	Costo asequible	Total
Solución 1: Sistema de sensores acoplado a la espalda usando acelerómetros	X	X	X	X	X	X	X	7
Solución 2: Motion Detection e inteligencia artificial		X	X	X		X		4
Solución 3: Sistema de sensores acoplado a la espalda con flex	X	X	X			X	X	5

sensor y sensores

ultrasonido

Fuente: [Elaboración propia]

Tabla 18. Elección de la solución más óptima según los costos.

Costos de solución	
Solución 1	142\$
Solución 2	561\$
Solución 3	143\$

Fuente: [Elaboración propia]

La comparación de las tres soluciones está basada en el modelo en V, enfocándose principalmente en el Nivel 1 y 2 del nivel como muestra la tabla 16. Los requerimientos del usuario son claros y se busca elegir la solución que mejor se adapta a las exigencias del beneficiario (físico culturistas de la Universidad Técnica del Norte). Los parámetros de la evaluación para elegir la solución fueron, la facilidad de uso, comodidad, disponibilidad de uso independiente, seguimiento continuo del ejercicio proporcionando un sistema de alarma para alertar los fallos con la mayor confiabilidad, visualización e interpretación de los datos (fallas en el ejercicio). A demás los costos son una parte indispensable al elegir la solución.

La solución elegida luego del análisis es la solución 1 como se observa en la tabla 17, tiene menor coste (505\$) teniendo en cuenta que en el establecimiento ya existe un computador el cual se puede hacer uso para instalar el servidor local, se puede disminuir considerablemente el costo alrededor de 350 \$ con lo cual solo tendría un costo de 142\$ y cumple con todos los requerimientos planteados con una puntuación de 7 que en porcentaje equivale al 100% de

ajustarse a las necesidades del usuario. La solución 2 tiene un costo elevado de 561\$ y además cumple con 4 de los 7 puntos establecidos haciendo referencia a un 57.14% de efectividad. La solución 3 con un coste de 143 \$ se asemeja mucho a los costes de la solución 1 si se toma en cuenta el computador del establecimiento, pero no cumple con los requerimientos importantes del SEEPES que son el monitoreo continuo del ejercicio y sus sensores pueden fallar debido que el sensor flex y el sensor ultrasonido no son tan fiables para este tipo de análisis con el que se hace el ejercicio, cumple con 5 puntos dicho de otra forma cumple con 71.14 % de los requerimientos del beneficiario.

La solución 1 es la más óptima de acuerdo al análisis del modelo en V tanto en requerimientos de usuario, funcionalidad y los costos.

3.4 BECHKMARKING

3.4.1 Elección de sensores de alerta temprana para monitoreo de la espalda en ejercicio de sentadilla con barra libre.

En este apartado se presenta una selección de sensores idóneos para brindar alertas ante variaciones del ángulo de inclinación de la espalda en un atleta cuando realiza el ejercicio de sentadilla con barra libre. Fundamentado en una investigación bibliográfica del ejercicio de sentadilla, se estableció una metodología de dos puntos de aprobación, con la cual se eligió los parámetros físicos y de movimiento que deben ser examinados, los cuales fueron: ángulo de inclinación de la espalda baja, ángulo de inclinación de la barra de acero en la espalda alta.

Seguido de esto, se desarrolló un benchmarking de sensores, teniendo a la fiabilidad, estabilidad, tiempo de respuesta, precisión, precio y disponibilidad, como criterios de evaluación, para seleccionar a los sensores con las mejores prestaciones.

Los parámetros físicos y de movimiento que serán censados y aportaran a obtener alertas tempranas de cambios en la inclinación bruscos o fallidos al realizar el ejercicio, fueron seleccionados a través de una metodología de dos puntos de aprobación que siguen un orden específico, los cuales son:

- Alteraciones significativas en sus valores promedio de posición inicial y en movimiento en la espalda, al momento de realizar la sentadilla con barra libre.
- Facilidad de medición en sus cambios de ángulo y disponibilidad de dispositivos electrónicos (sensores), los cuales sean capaces de realizar mediciones de las variaciones de ángulos de inclinación.

3.4.2 Sensores.

Los sensores son dispositivos electrónicos o hardware los cuales se basan en la monitorización de un área o zona específica manifiestan cambios físicos en distintas variables y posterior realizan una acción pertinente (OLVERA, 2015). Los sensores obtienen una respuesta medible y cuantitativa, generalmente eléctrica, la cual es enviada a un controlador para que sea procesada y utilizada de acuerdo a los requerimientos del SEEPES implementado

Para conseguir alertas visuales y sonoras de seguridad, se utilizan Leds de alta luminosidad y una chicharrara sonora, los cuales se encenderán en caso de que uno o más

sensores de la espalda sobrepasen su umbral de seguridad establecida, la chicharra debe ser de un sonido diferenciable al ruido generado en un gimnasio además se integra un motor vibratorio para alertar en el caso de que el deportista no escuche el sonido de la chicharra.

3.4.3 Flex Sensor 4.5

Es un dispositivo electrónico flexible de 4.5 " de longitud. Cuando el sensor está flexionado, aumenta la resistencia a través del sensor Tecnología patentada por Spectra Symbol. La resistencia del sensor flexible cambia cuando las almohadillas de metal están en el exterior de la curva como muestra.

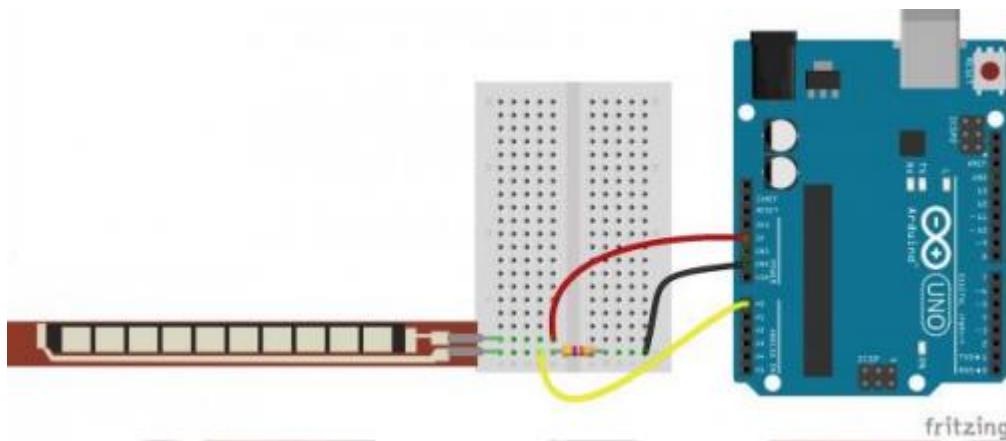


Figura 26. Conexión de Sensor Flex y Arduino en Fritizing

Fuente: <http://www.theorycircuit.com/flex-sensor-with-arduino/>

La figura 26 muestra la conexión en protoboard de un sensor Flex utilizando una resistencia para conectar a los pines de la placa Arduino nano, su implementación es muy sencilla.

Un lado del sensor se imprime con una tinta polimérica que tiene partículas conductoras incrustadas en ella. Cuando el sensor es recto, las partículas dan a la tinta una resistencia de

aproximadamente 30k Ohms. Cuando el sensor está doblado hacia afuera de la tinta, las partículas conductoras se separan más, aumentando esta resistencia. Cuando el sensor se endereza nuevamente, la resistencia regresa al valor original. Al medir la resistencia, se puede determinar cuánto se está doblando el sensor (OLVERA, 2015).

3.4.4 Triple Axis Accelerometer ADXL345

La ADXL345 es una pequeña pieza de procesamiento de movimiento tiene un acelerómetro de 3 ejes en la misma matriz de silicio contiguo con un Digital Motion Processor™ (DMP™) integrado capaz de procesar complejos algoritmos Motion Fusión de 3 ejes (OLVERA, 2015).



Figura 27. Conexión de Sensor ADXL345, y Arduino en Fritzing

Fuente: <https://manualarduinios52.wordpress.com/2013/12/06/practica-9>

La figura 27 indica los pines de conexión del acelerómetro con la placa Arduino Nano. No es necesario el uso de condensadores ni resistencias para la conexión entre pines, debido a que este módulo es compatible con la marca Arduino.

El ADXL345 es un sensor micromecanizado (MEMS) capacitivo que detecta la aceleración en los ejes X, Y, Z. Determina la orientación del sensor, gracias a la acción de la fuerza de la gravedad producida. Dispone de dos pines de interrupciones, se puede configurar para responder a ciertos eventos como: detección de movimientos rápidos golpes y vibraciones, y detección de condiciones de caída libre 0-g como muestra la figura 26.

Dimensiones:

Length: 25mm

Width: 19mm

Height: 3.14mm

Características:

- Resolución: 13 Bits.
- Voltaje de operación: 2.0 a 3.6V.
- Protocolo: SPI/I2C Su nombre viene de Inter-Integrated Circuit (Inter-Circuitos Integrados).
- Rangos de medición: $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g/\pm 16g$.
- Detección de caída.
- Rango de temperatura (-40°C to $+85^{\circ}\text{C}$)

3.4.5 Sensor Ultrasonido HC-SR04

El HC-SR04 es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos, contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm (OLVERA, 2015). Fácil uso, comunica el pulso de arranque y mide la anchura del pulso de retorno.

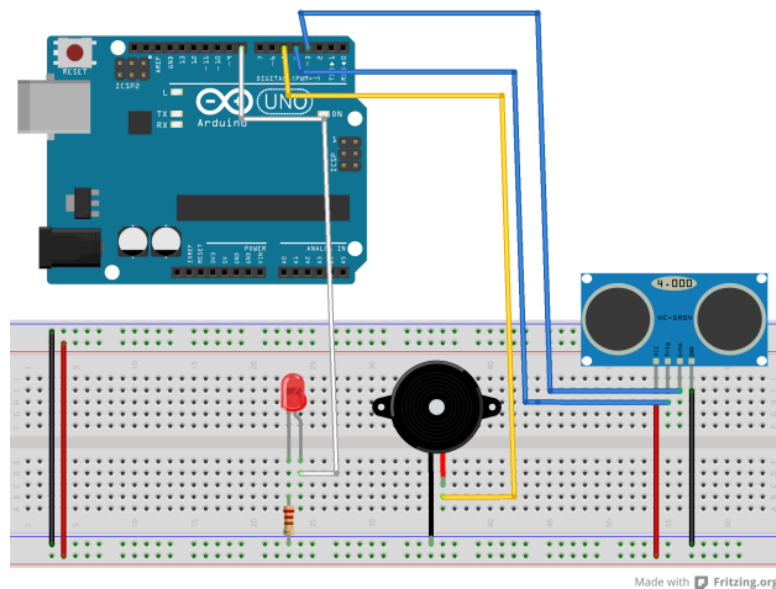


Figura 28. Conexión de Sensor Ultrasonido, chicharra, Led y Arduino en Fritzing.

Fuente: <https://manualarduinios52.wordpress.com/2013/12/06/practica-8/>

La figura 28 demuestra como conectar tanto el micro controlador, el sensor ultra sonido, el buzzer y el led de tal forma que ya estarían generando una alarma. Sus pines se conectan directamente.

Características:

- Dimensiones del circuito: 43 x 20 x 17 mm
- Tensión de alimentación: 5 Vcc
- Frecuencia de trabajo: 40 KHz
- Rango máximo: 4.5; Rango mínimo: 1.7 cm
- Duración mínima del pulso de disparo (nivel TTL): 10 μ S.
- Duración del pulso eco de salida (nivel TTL): 100-25000 μ S.
- Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra 20 mS (SHAEFFER, 2013).

Tomando en cuenta los parámetros a medir, se realiza una selección de diferentes sensores, compatibles con hardware libre ARDUINO NANO, para cada parámetro. Esta clasificación se basa en la disponibilidad de los sensores en el mercado ecuatoriano.

Tabla 19. Parámetros de disponibilidad de sensores en Ecuador

PARAMETROS	SENSORES	DISPONIBILIDAD	Precio \$
Angulo de inclinación de la espalda baja	ADXL345	Quito	6
Angulo de inclinación de la barra	HC-SR04	Ecuador Todo el País	13
Angulo de inclinación de la barra	Flex Sensor SEN-08606	Quito	8
Microcontrolador	Arduino Uno	Ecuador Todo el País	14

Fuente: [Elaboración propia]

3.4.6 Comparación de tipos de sensores de la solución idónea

A continuación se detalla los 3 diferentes sensores para los cuales se evalúa los requerimientos establecidos los cuales determina cuál de estos dispositivos se acopla de la mejor manera para brindar una solución más eficiente y obtener unos datos con mayor precisión.

Tabla 20. Comparación de sensores según Fiabilidad, Tiempo de Respuesta, Precisión y Disponibilidad

Sensor	ADXL345	HC-SR04	SEN-08606
Descripción	Sensor acelerómetro	Sensor de ultrasonido	Sensor de Flexión
Fiabilidad	Muy Alta	Alta	Media
Tiempo de Respuesta e interpretación	Muy Rápido	Muy Rápido	Rápido
Precisión	90 %	75 %	65%
Disponibilidad	Quito	Ecuador	Quito

Fuente: [Elaboración propia].

3.4.7 Elección del sensor para el SEEPES

El sensor elegido para medir los fallos del deportista es el ADXL345 encargado de realizar la medición del ángulo de inclinación de la espalda, debido a que su tiempo de respuesta es muy rápido como muestra la tabla 20, tiene una precisión muy confiable y además es de fácil adquisición. Este sensor será colocado tanto en la barra como en el cinturón del deportista para realizar las 2 mediciones de ángulo tanto en la espalda baja como en el giro de la barra al realizar el ejercicio. Este sensor al realizar una medición emite una alarma a la chicharra cuando el atleta sobre pase el rango permitido para el ejercicio.

Los Leds de alta luminosidad son de diferentes colores brillantes, lo que ayuda al deportista estar al tanto de que el SEEPES está listo para inicializar la medición y para mostrar

que se cometió un error en el movimiento por una mala técnica, se utiliza un único zumbador, este está encargado de alertar la presencia de fallas en la posición de la espalda o de la barra.

3.4.8 Elección de módulo de comunicación para monitoreo de la espalda baja y espalda alta en ejercicio de sentadilla con barra libre

En este apartado se presenta una selección módulos de comunicación idóneos para la transmisión y recepción entre nodos ubicados en partes específicas del cuerpo al realizar la sentadilla con barra libre. Se desarrolló un benchmarking de módulos, teniendo en cuenta la fiabilidad, estabilidad, consumo, tiempo de respuesta, precisión, precio y disponibilidad, como criterios de evaluación, para seleccionar al mejor modulo el cual sea el encargado de la transmisión de datos.

Los parámetros físicos y de movimiento ya censados tienen valores digitales tanto del cinturón como de la barra, estos datos se necesita enviar a un nodo master el cual interpreta los mismos para la formación del gráfico y el registro de repeticiones del deportista. Los módulos seleccionados se basan en los puntos de aprobación tanto:

- Zona de cobertura para la transmisión de datos en una zona horizontal con línea de vista, para la interconexión de 2 nodos esclavos y un nodo master.
- Velocidad de transmisión de datos y retraso o (delay) el cual debe ser lo más mínimo para tener una visualización más cercano a un análisis en tiempo real.
- Comunicación inalámbrica entre dispositivos para permitir la movilidad del SEEPES.

3.4.9 Módulos Inalámbricos de comunicación

Las redes inalámbricas son redes que utilizan ondas de radio utilizadas para vincular los dispositivos, no necesitan emplear cables de ningún tipo. Existen muchas tecnologías diferentes que difieren en la frecuencia de transmisión usada, la velocidad y el alcance de sus transmisiones (SALAZAR , 2015).

Las redes inalámbricas se pueden dividir en cuatro grupos definidos según el área de aplicación y el alcance de la señal: redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal-Area Networks - WPAN), redes inalámbricas de área local (Wireless Local-Area Networks - WLAN), redes inalámbricas de área metropolitana (Wireless Metropolitan-Area Networks - WMAN), y redes inalámbricas de área amplia (Wireless Wide-Area Networks - WWAN) (SALAZAR , 2015).

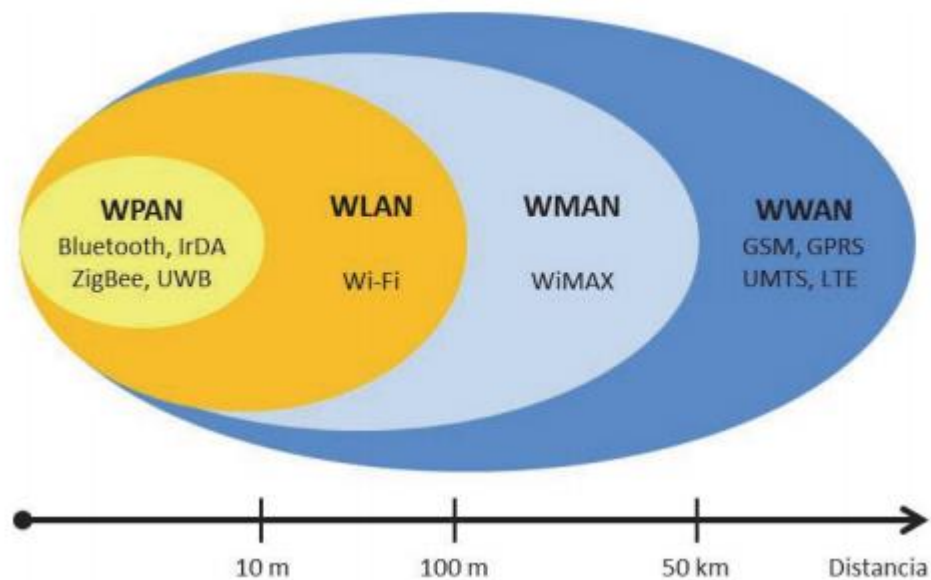


Figura 29. (SALAZAR , 2015) Clasificación de las redes inalámbricas.

Las bandas de frecuencia más frecuentadas son la de 2,4 GHz y la de 5 GHz, las cuales están disponibles en casi todo el planeta. La disponibilidad de estas bandas de frecuencias ayuda a los usuarios operar con redes inalámbricas sin necesidad de obtener una licencia pagada, y además sin cargo alguno como muestra la figura 29. A continuación se plantea las posibles tecnologías a utilizarse en el diseño del prototipo:

3.4.10 Bluetooth

La tecnología Bluetooth corresponde al estándar IEEE 802.15.1, Bluetooth fue elaborado para comunicaciones omnidireccionales (punto a multipunto), posee un bajo consumo de energía, corto alcance y su coste es muy asequible, reemplaza el uso de cables y conecta los dispositivos a través de una conexión ad hoc por radio, su alcance máximo de 10 metros. El uso de la banda de 2,4 GHz, permite que dos dispositivos dentro del rango de cobertura de cada uno puedan compartir hasta 720 Kbps de velocidad de transferencia.

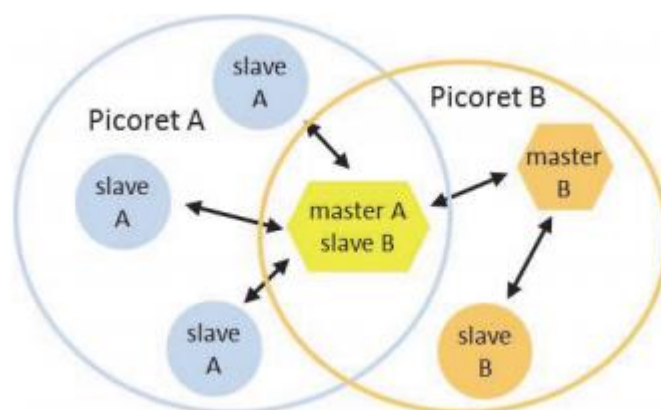


Figura 30. (SALAZAR , 2015) Red dispersa Bluetooth formada de dos picoredes. El maestro de la picored A es un esclavo de la picored B.

Fuente: [Elaboración propia]

En la figura 30 se observa una red Bluetooth también es denominada picored, y se forma de hasta 8 dispositivos activos en una relación maestro-esclavo (master-slave). El primer dispositivo de Bluetooth en la picored es el maestro y todos los demás dispositivos son esclavos los cuales se comunican con el maestro. Una picored típicamente tiene un alcance de 10 metros (ANDREU, 2011).

Módulo HC-05

El módulo bluetooth HC-05 está configurado de fábrica para trabajar como maestro o esclavo. En el modo maestro se puede vincular con otros módulos bluetooth, mientras que en el modo esclavo perdura a la escucha peticiones de conexión.

El modulo Bluetooth HC-05 maneja el protocolo UART RS 232 serial. Apto para aplicaciones inalámbricas, de fácil implementación con PCs, microcontrolador o módulos Arduino según la necesidad.

La tarjeta incluye un adaptador con 6 pines de fácil acceso para uso en protoboard. Los pines de la board correspondientes son: EN, VCC, GND, TX, RX, STATE respectivamente (ANDREU, 2011) como muestra la figura 31.

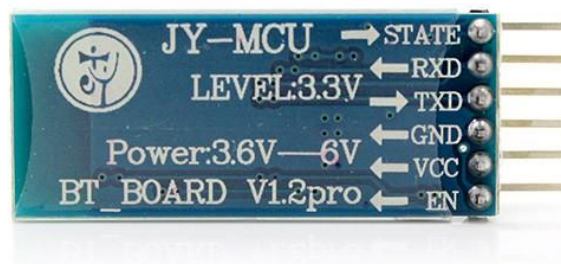


Figura 31. Módulo HC-05 Bluetooth, pines de conexión, vista posterior.

Fuente: <https://electronilab.co/tienda/modulo-bluetooth-hc-05-serial-rs232/>

Características

- Compatible con el protocolo Bluetooth V2.0.
- Voltaje de alimentación: 3.3VDC – 6VDC.
- Voltaje de operación: 3.3VDC.
- Baud rate ajustable: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200.
- Baud rate por defecto: 9600
- Tamaño: 1.73 in x 0.63 in x 0.28 in (4.4 cm x 1.6 cm x 0.7 cm)
- Corriente de operación: < 40 mA
- Corriente modo sleep: < 1mA

3.4.11 Tecnología WIFI

Las redes inalámbricas de área local (WLAN) están diseñadas para proporcionar acceso inalámbrico en zonas con un rango típico de hasta 100 metros. Las WLAN se basan en el estándar 802.11 del IEEE, usa las bandas de radio de 2.4 giga Hertz como señala la figura 32 en la cual se observa varios dispositivos conectados de forma inalámbrica a un punto de acceso o router el cual se comunica con internet para brindar un servicio o intercomunicar dispositivos.



Figura 32. (SALAZAR , 2015) Esquema de una WLAN.

Fuente: [Elaboración propia]

Módulo Wifi-ESP8266

Es un chip integrado con conexión WiFi y compatible con el protocolo TCP/IP. El objetivo principal es brindar acceso a cualquier microcontrolador a una red inalámbrica. Su principal ventaja es su precio económico comparado a los Shield anteriores, a su vez posee un bajo consumo de energía. El ESP8266 no dispone de memoria y necesita de un módulo externo para almacenar los programas.

Características:

- Utiliza una CPU Tensílica L106 32-bit
- Voltaje de operación entre 3V y 3,6V
- Corriente de operación 80 mA
- Temperatura de operación -40°C y 125°C

Conectividad:

- Soporta IPv4 y los protocolos TCP/UDP/HTTP/FTP
- No soporta HTTPS en un principio. Sí que lo hace mediante software tanto en cliente como servidor TLS1.2.

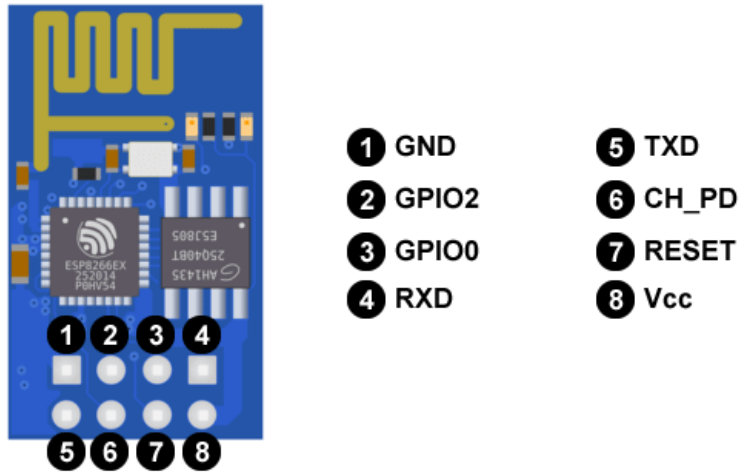


Figura 33. Puertos GPIO de Módulo ESP8266

Fuente: <https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>

En la figura 33 se aprecia que el Módulo ESP8266 posee 8 pines de conexión así como también cuenta con un microchip, una memoria Flash, una antena Wifi (Color Amarillo) y un led para indicar si está en funcionamiento el dispositivo. Debido a los sectores a los que va enfocado, wearables, dispositivos del IoT y móviles, el ESP8266 requiere de una gestión de energía eficaz.

3.4.12 Tecnología Radiofrecuencia

Radiofrecuencia (abreviado RF), también denominado espectro de radiofrecuencia, es un término que se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre los 3 hercios (Hz) y 300 gigahercios (GHz), RF utiliza un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remotos el cual maneja dispositivos denominados etiquetas, tarjetas o transpondedores RFID. El propósito fundamental de la tecnología RF es transmitir la identidad de un objeto mediante ondas de radio.

Módulo Transceiver NRF24L01

Se basa en un transponder que emite una señal y espera una respuesta de otro transponder, su topología está configurado en Maestro-Eslavo. El esclavo es el que transmite el valor digital del ángulo censado y lo transmite al Maestro el cual es el intérprete de la información para la comunicación con la aplicación de visualización, que dependiendo de la que sea puede poner o no en marcha una serie de acciones automáticas.

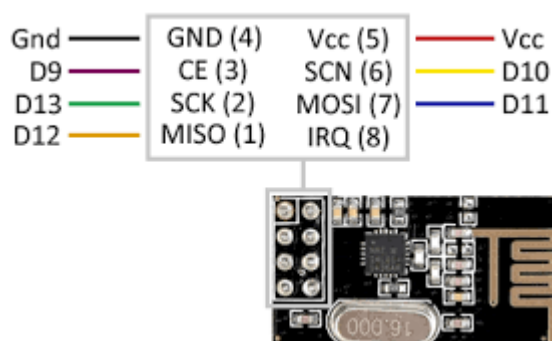


Figura 34. NRF24L01 Modulo Transceiver

Fuente: [<http://calmattj.com/word/nrf24l01-2-4ghz-wireless-transceiver/>]

Como muestra la figura 34 el Modulo NRF24L01 integra en un único chip, toda la electrónica y bloques funcionales precisos, para establecer comunicaciones RF (Radio Frecuencia) entre dos o más puntos a diferentes velocidades, (Hasta 2 Mb/seg) con corrección de errores y protocolo de reenvío cuando es necesario.

Características:

- Muy baratos, precio asequible.
- Operan en la banda de 2.4Ghz, que es de libre uso a nivel mundial.

- Velocidad configurable de 250kb, 1 Mb o 2Mb por segundo.
- Muy bajo consumo en Stand By (Cuando no se usan).
- El alcance depende de si hay visión directa entre los nodos, o por el contrario hay obstáculos, pero nos ofrece un mínimo de unos 20 m hasta un máximo e 80m en óptimas circunstancias, en el modelo básico con la antena integrada.

Topología

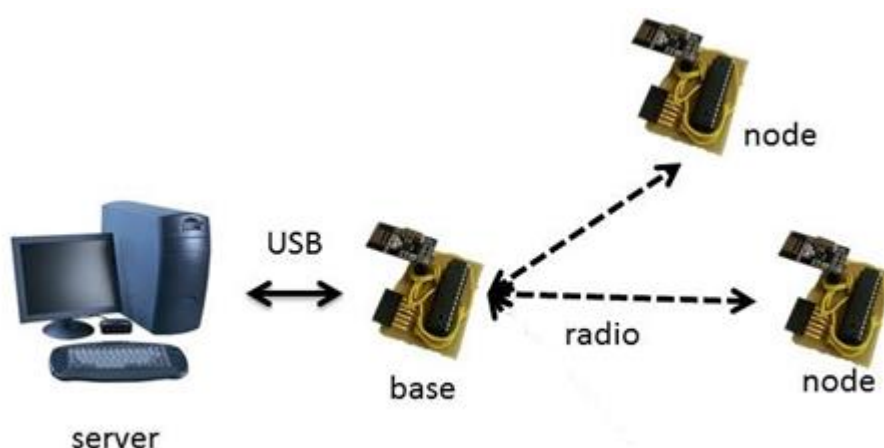


Figura 35. Topología de Red de Módulo NRF24L01 Maestro-Esclavo conectados a servidor.

Fuente: [Elaboración propia]

En la imagen 35 se puede apreciar dos Nodos Esclavos NRF24L01 y un maestro NRF24L01 los cuales enviarán sus datos a un servidor que contendrán la aplicación de visualización y registro de fallos alojado en el servidor. Es importante recalcar que estos módulos funcionan a 3.3V; EL fabricante previene contra conectarles a 5V para evitar su daño.

Tabla 21. Parámetros de disponibilidad de módulos de comunicación en Ecuador

PARAMETROS	SENSORES	DISPONIBILIDAD	Precio \$
Angulo de inclinación de la espalda baja	Bluetooth HC-05	Todo el País	7

Angulo de inclinación de la barra	WiFi ESP8266	Quito	8
Angulo de inclinación de la barra	NRF24L01	Quito	8
Microcontrolador	Arduino nano	Ecuador Todo el País	14

Fuente: [Elaboración propia]

3.4.13 Tabla comparativa de tipos de módulos de comunicación de la solución idónea

A continuación se detalla los 3 diferentes módulos de comunicación como muestra la tabla 22, para los cuales se evalúa los requerimientos establecidos los cuales determina cuál de estos dispositivos electrónico se acopla de la mejor manera para brindar una solución más eficiente, obtener unos datos con mayor precisión y una transmisión en tiempo real.

Tabla 22. Comparación de sensores según Fiabilidad, Tiempo de Respuesta, Precisión y Disponibilidad

Sensor	HC-05	ESP8266	NRF24L01
Descripción	Módulo Bluetooth	Módulo Wifi	Módulo Transceiver
Fiabilidad	Media	Alta	Muy Alta
Tiempo de Respuesta e interpretación	Muy Rápido	Muy Rápido	Rápido
Precisión	70 %	75 %	90%

Disponibilidad	Ecuador	Ecuador	Quito
Cobertura	<10m	<20m	<50m

Fuente: [Elaboración propia].

3.4.14 Módulo de Comunicación elegido para el SEEPES

El módulo de comunicación elegido para transmitir los ángulos tomados por los nodos previamente hacia el nodo master es el Modulo Transceiver NRF24L01, debido a que su tiempo de respuesta es muy rápido, tiene una precisión muy confiable y además es de fácil adquisición por compra online como indica la tabla 21. Este módulo es colocado en el nodo del cinturón y en el nodo de la barra, conectado a un Arduino nano y en el nodo master conectado a un Arduino Uno. Este dispositivo al recibir los datos de los nodos esclavos los procesa y los envía en forma de vector hacia la aplicación de Visual Basic para interpretar los datos y poderlos visualizar.

Se utiliza el NRF24L01 debido a que su alcance permite tener un análisis a 20m o hasta 30m en condiciones ideales con línea de vista. Lo que permite la instalación del SEEPES dentro del Gimnasio de la Universidad Técnica del Norte debido que existe una distancia de 17m de separación entre el lugar del ejercicio y el computador de la oficina.

3.5 Diseño del SEEPES

Luego de haber realizado el análisis y determinados los requerimientos siguiendo el proceso del Modelo en V, se establece el diseño del prototipo.

Para el diseño se planea los materiales a utilizar en base a la justificación del Análisis del Sistema, por lo cual se plantea desarrollar el diseño del dispositivo basado en los análisis en el estado del Arte, el procedimiento es el siguiente.

El primer paso previamente a determinar en las etapas de funcionamiento (Diagrama de Bloques), fue establecer la cantidad de sensores a usarse, para esto se ubicó los sensores ADXL345 conectados a un Mini Arduino uno en la espalda baja (cinturón) y el otro sensor ubicado en la barra de acero, el objetivo fue establecer contacto directo con el deportista y por medio del movimiento en el ejercicio establecido identificar las zonas que cubre, es decir se desea tener cobertura de sensores en todas las áreas posibles de dicho movimiento con respecto a la espalda.

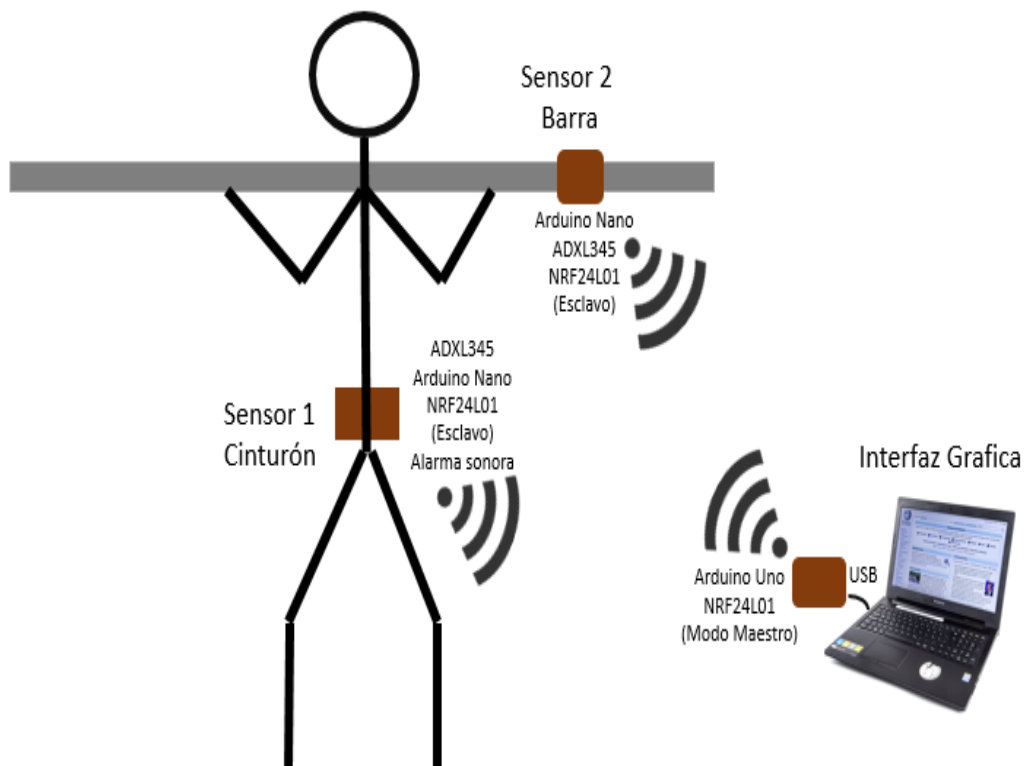


Figura 36. Diagrama de posición de los sensores y placas.

Fuente: [Elaboración propia]

En la figura 36 se observa que existen 3 fuentes de comunicación 2 emisores de datos y un receptor el cual será el intérprete de dichos datos. Se detallan los elementos usados en cada etapa y la ubicación de los mismos.

3.5.1 Diseño del sistema de comunicación entre el Sensor, el microcontrolador y el servidor

Para la elaboración del proyecto se dividió en 2 partes el diseño del sistema: Adquisición, análisis de postura en los nodos esclavos y visualización del movimiento en la aplicación del servidor.

Diagrama de Bloques.

El diagrama de bloques manifiesta la representación gráfica del funcionamiento intrínseco del sistema: entradas y etapas que atraviesan los datos hasta obtener una respuesta final y la visualización de los mismos. Cabe mencionar que se utilizó una topología Maestro Esclavo para la comunicación entre sensores con la terminal que contiene la aplicación de visualización del movimiento

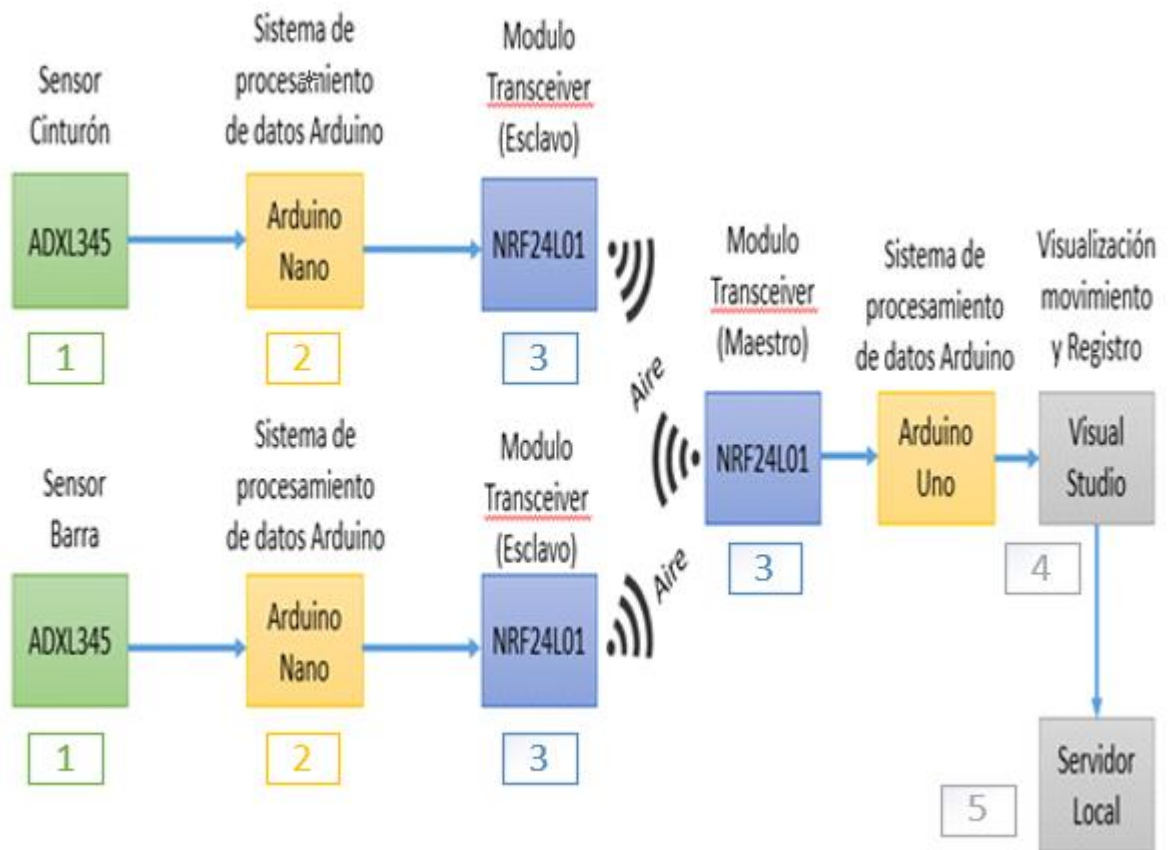


Figura 37. Diagrama de bloques del SEEPES en 5 etapas.

Fuente: [Elaboración propia]

El diseño del prototipo está basado en 5 etapas como se observa en la figura 37, que explican cada una de las fases de funcionamiento del prototipo. A continuación se detallan las etapas:

1. Los acelerómetros se van a ubicar en lugares estratégicos uno en el cinturón de la espalda baja y otro en la barra de acero como se muestra en la figura 36, cada sensor permitirá adquirir datos diferentes según la variación de la inclinación del deportista.
2. Placa electrónica Arduino, por medio de sus pines digitales va a procesar e interpretar los datos digitales de los sensores y a recibir los datos de los módulos, los transforma a

valores de ángulos reales entre 0° y 90° y le añade su distintivo B para el ángulo de inclinación de la barra o C para el ángulo de inclinación del cinturón.

3. Los transceiver inalámbricos se comunican entre sí para su transmisión de datos a la aplicación de visualización. El dispositivo de comunicación a usarse es el módulo transceiver NRF24L01 en topología Maestro-Esclavo que va enviar los datos procesados al Arduino conectado al computador.

4. Aplicación que contiene la visualización del movimiento del deportista en tiempo real, en la que debe reunir las características para tener compatibilidad en la conexión con módulos Arduino, capacidad de generar un reporte de fallos del deportista para la revisión de un encargado o entrenador del Gimnasio.

5. Servidor local que contendrá el archivo con los datos generados del registro de fallos de los deportistas el cual contendrá los siguientes parámetros: Fecha, usuario, número de repeticiones totales, numero de repeticiones fallidas por serie.

3.5.2 Diagrama de Flujo

Partiendo de la Metodología del Modelo en V, se realiza un Diseño Sistemático de Etapas de la Programación. El Análisis de Flujo es una representación gráfica de un proceso. Cada uno de los pasos del proceso está representado por un símbolo distinto, los que contienen una rápida representación de la etapa de proceso. Los símbolos gráficos del flujo del proceso son unidos entre sí con flechas que muestran la dirección de flujo del proceso.

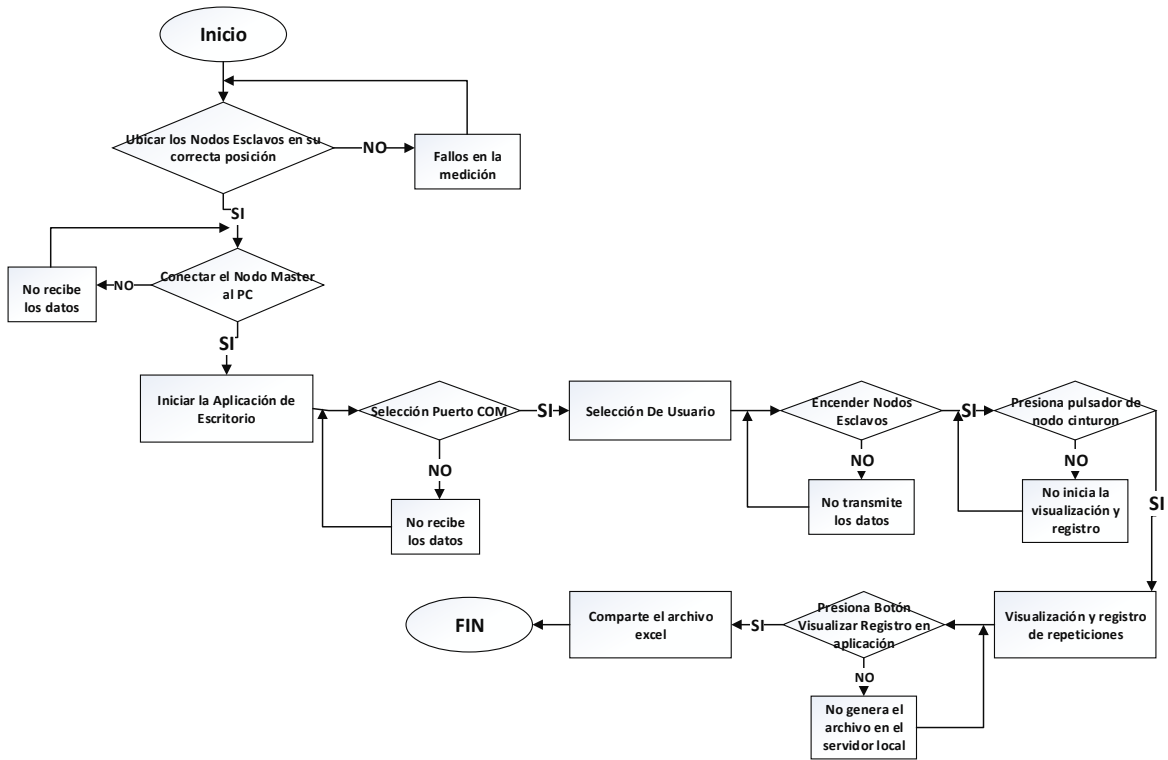


Figura 38. Diagrama de Flujo general del funcionamiento del SEEPES.

Fuente: [IDE ARDUINO-Elaboración propia]

En la figura 38 se muestra el funcionamiento de todo el SEEPES, toma en cuenta la correcta ubicación de los nodos para una buena lectura de los datos. Si no se inicia la aplicación no se podrá visualizar el movimiento del ejercicio o el registro de fallos, solo se tendrá la alerta sonora y vibratoria en tiempo real.

Lectura de los sensores y transmisión de datos

Nodo del Cinturón

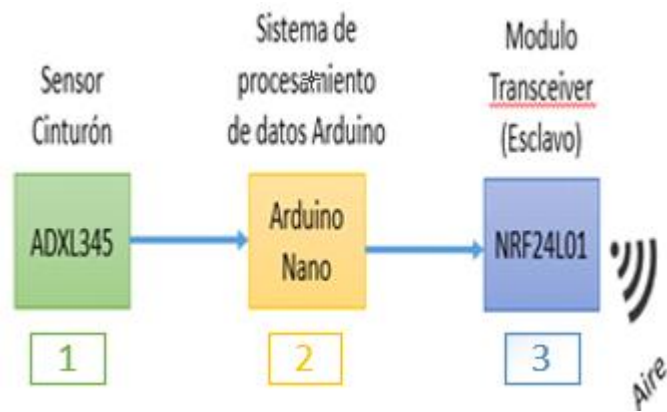


Figura 39. Diagrama de bloques del Funcionamiento del Nodo del Cinturón

Fuente: [Elaboración propia]

El tiempo de transmisión de datos establecido para la comunicación entre transceivers es cada 200ms, se elige este tiempo debido a que un tiempo más corto provoca muchas variaciones en la toma de datos generando errores y conteo de repeticiones fallidas. Si se elige un tiempo mayor de comunicación se tiene una visualización más correcta pero el registro de fallos es más inestable debido a que el tiempo en el cual realiza el movimiento de sentadillas varía en muchas personas, existen deportistas que lo realizan más rápido que otros, por lo cual habrá repeticiones que el SEEPES no podrá contar.

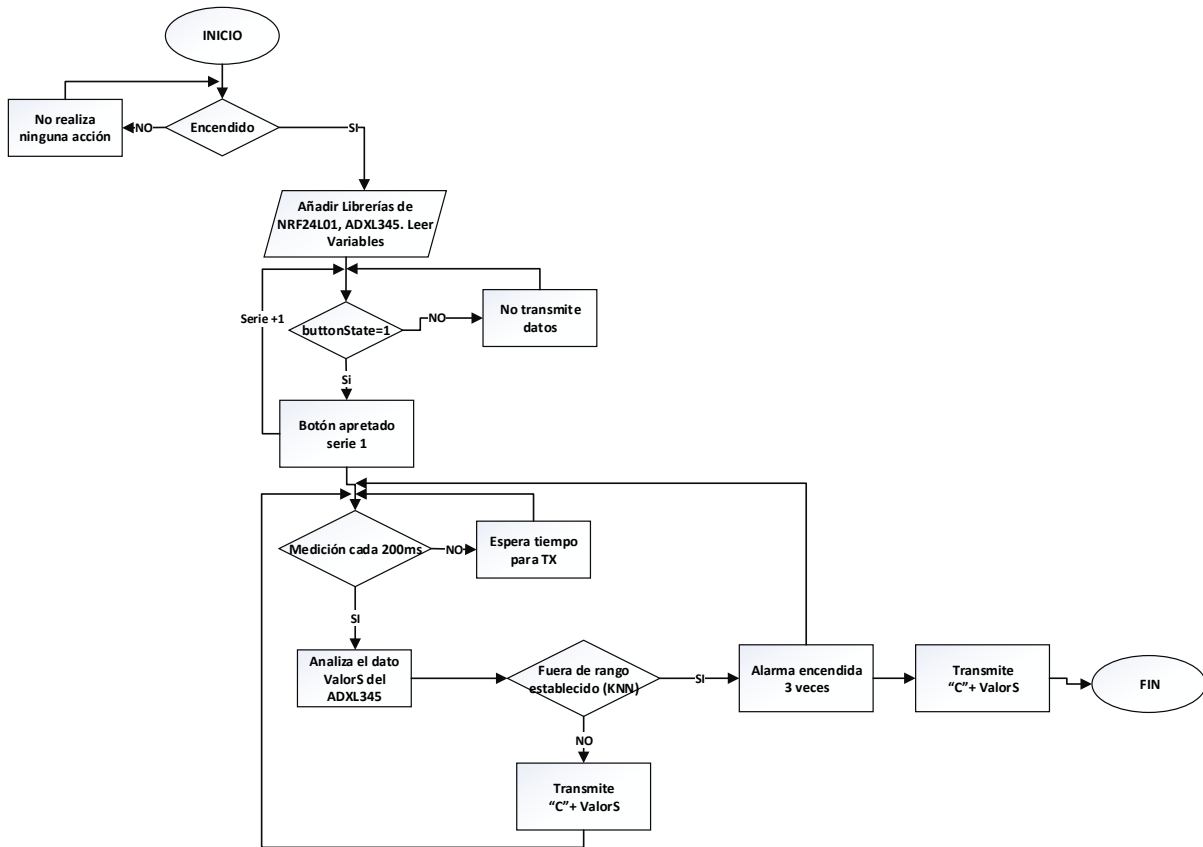


Figura 40. Diagrama de Flujo de la lectura de los sensores ADXL345 y Modulo NRF24L01 nodo del Cinturón

Fuente: [IDE ARDUINO-Elaboración propia]

Como indica la figura 40, el SEEPES comienza a censar los datos obtenidos del acelerómetro conectado al Arduino Nano cada 200ms, siempre y cuando estén alimentadas por un Fuente de alimentación (Batería 9v) y el switch este encendido, la placa reconoce el ping 2 de Arduino para comprobar si esta encendido para cada serie, si lo está envía datos al nodo master para la interpretación y visualización de datos.

Para definir el rango óptimo para que una sentadilla no sea perjudicial para la columna vertebral se ha basado en estudios médicos de evaluación del ángulo de inclinación del tronco en la sentadilla de barra libre realizados por (LAVORATO , 2010) para establecer que el ángulo

que debe tener el deportista al inclinarse en una sentadilla se encuentre entre 50° a 60°, por lo tanto cualquier ángulo inferior a este será considerado como perjudicial y dañino a la columna y se contabilizará como una repetición incorrecta.

La placa reconoce si el nivel de inclinación del sensor está dentro del rango correcto o no, si el valor se encuentra dentro del rango correcto continua con el censado de los datos y transmisión del dato + el distintivo “C” indicando que es el valor del ángulo de inclinación del cinturón, si está en rango incorrecto de inclinación, enciende una alarma, titila un led y el motor de vibración actúan 3 veces hasta que corrija la postura. AL finalizar cada serie al presionar el pulsador detendrá el censado y el número de serie se incrementará en 1.

Nodo de la barra

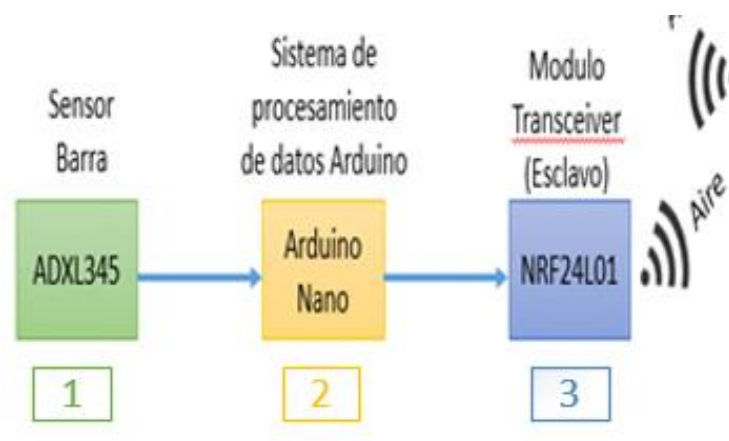


Figura 41. Diagrama de bloques del Funcionamiento del Nodo de la barra

Fuente: [Elaboración propia]

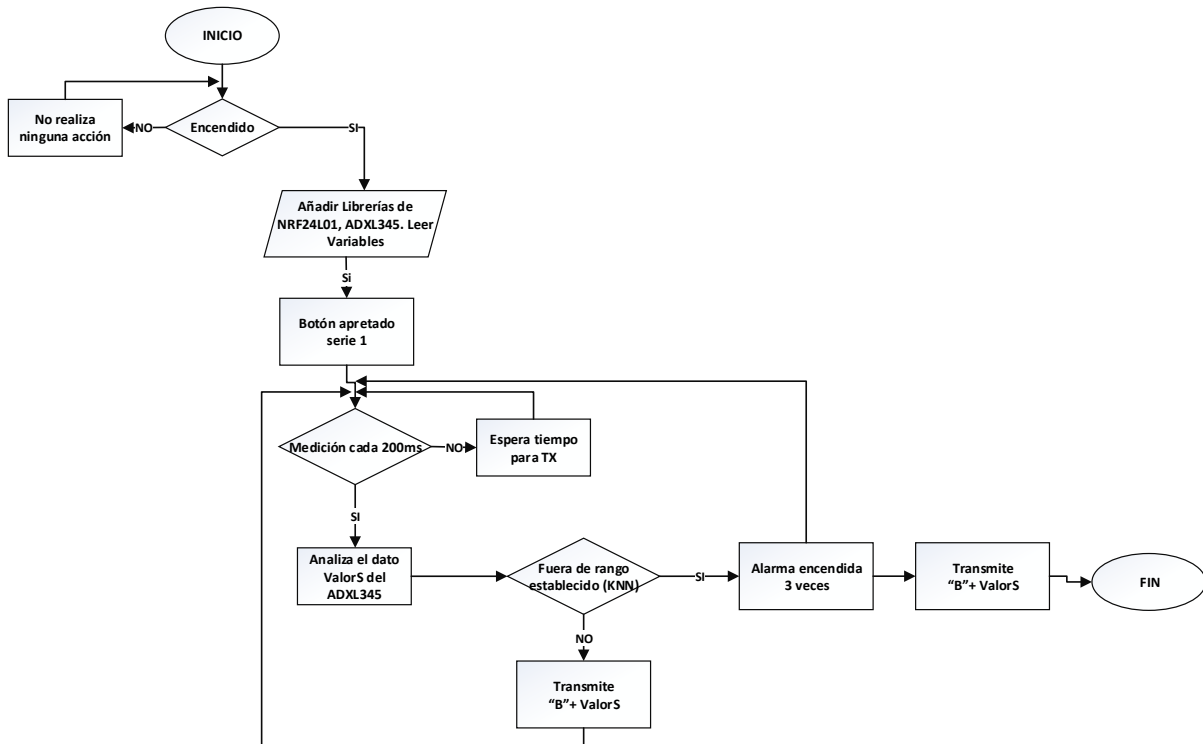


Figura 42. Diagrama de Flujo de la lectura de los sensores ADXL345 y Modulo NRF24L01 [Esclavo] del nodo de la barra

Fuente: [Arduino IDE- Elaboración propia]

El SEEPES funciona del mismo modo que el nodo esclavo del cinturón a excepción de que no necesita de un pulsador para iniciar la medición de datos, siempre que esté conectado a una Fuente de alimentación (Batería 9v) y el Switch este encendido realizara las mediciones y enviara los datos al nodo master como indica la figura 42, además la placa realiza una comparación del valor analizado, si se encuentra en el rango determinado para una correcta postura transmitirá el ángulo + el distintivo “B” indicando que es el ángulo de inclinación de la barra, si determina que el valor está fuera de rango con el fin de tener la barra lo más horizontal posible, el SEEPES enciende una alarma sonora y el led titlara 3 veces hasta que corrija su postura.

Nodo Master (Maestro)



Figura 43. Diagrama de Bloques del Nodo Master

Fuente: [Elaboración propia]

Como muestra la figura 43 el nodo master receipta los datos de los 2 nodos esclavos y los transmite por medio del Arduino a la aplicación para la visualización y registro del movimiento y total de repeticiones del deportista.

El SEEPES estará siempre encendido mientras se encuentre conectado a una fuente de alimentación USB del computador al nodo master como indica la figura 44. El nodo siempre estará a la escucha de nodos disponibles para la vinculación, cuando ya se haya vinculado a los dos nodos esclavos realizara una medición cada 200ms para recibir datos disponibles, los almacena en una cadena Char para la transmisión a la aplicación de Visual Basic y a la vez imprimirlos en el monitor serial.

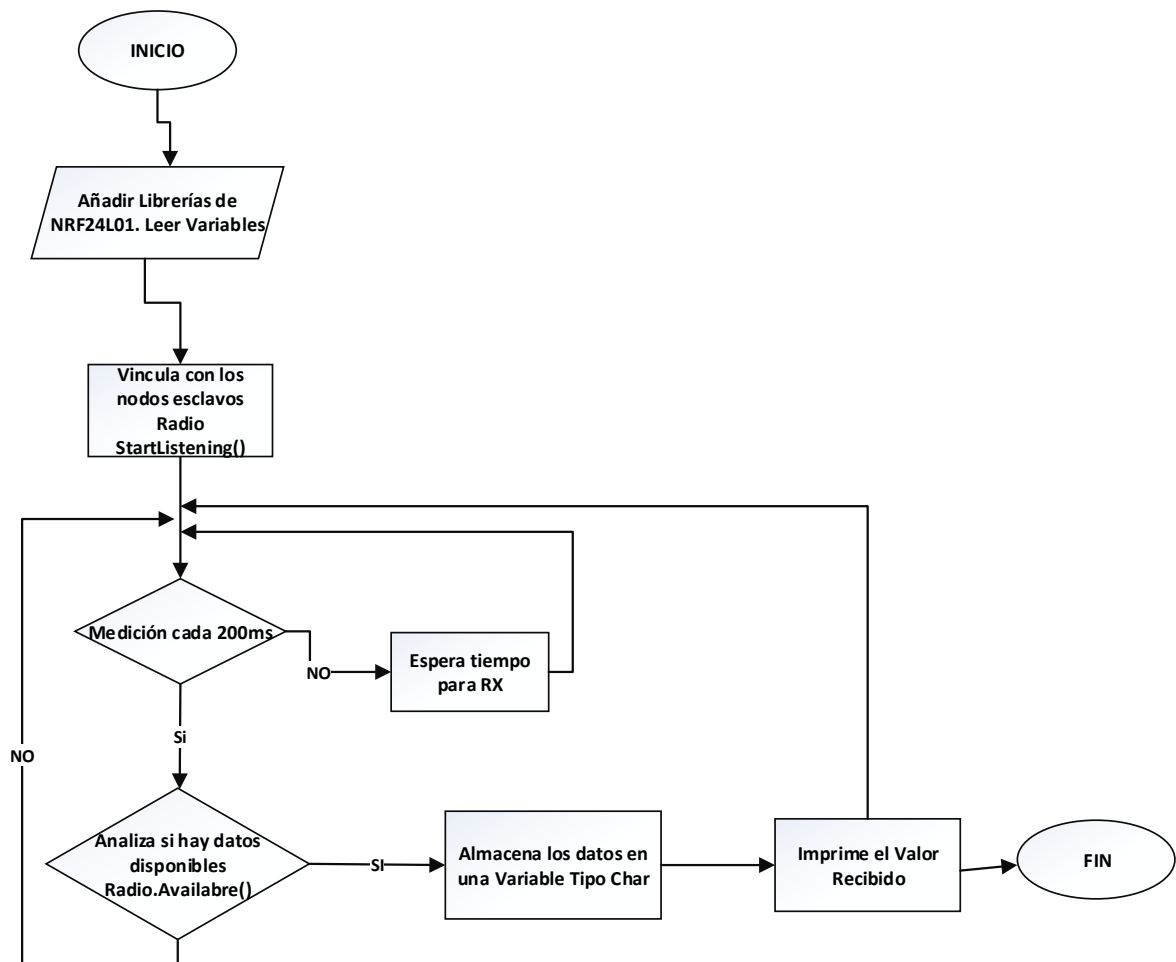


Figura 44. Diagrama de Flujo de la recepción del Módulo NRF24L01.

Fuente: [Arduino IDE- Elaboración propia]

Algoritmo de aprendizaje autónomo KNN

Para establecer si el movimiento del deportista esta fuera o dentro del rango establecido se establece un algoritmo de aprendizaje autónomo el cual contiene un registro de datos con repeticiones buenas y repeticiones. El SEEPES automáticamente envía la alerta cuando se encuentra fuera del rango establecido, el análisis de este método se encuentra en el Anexo 5.

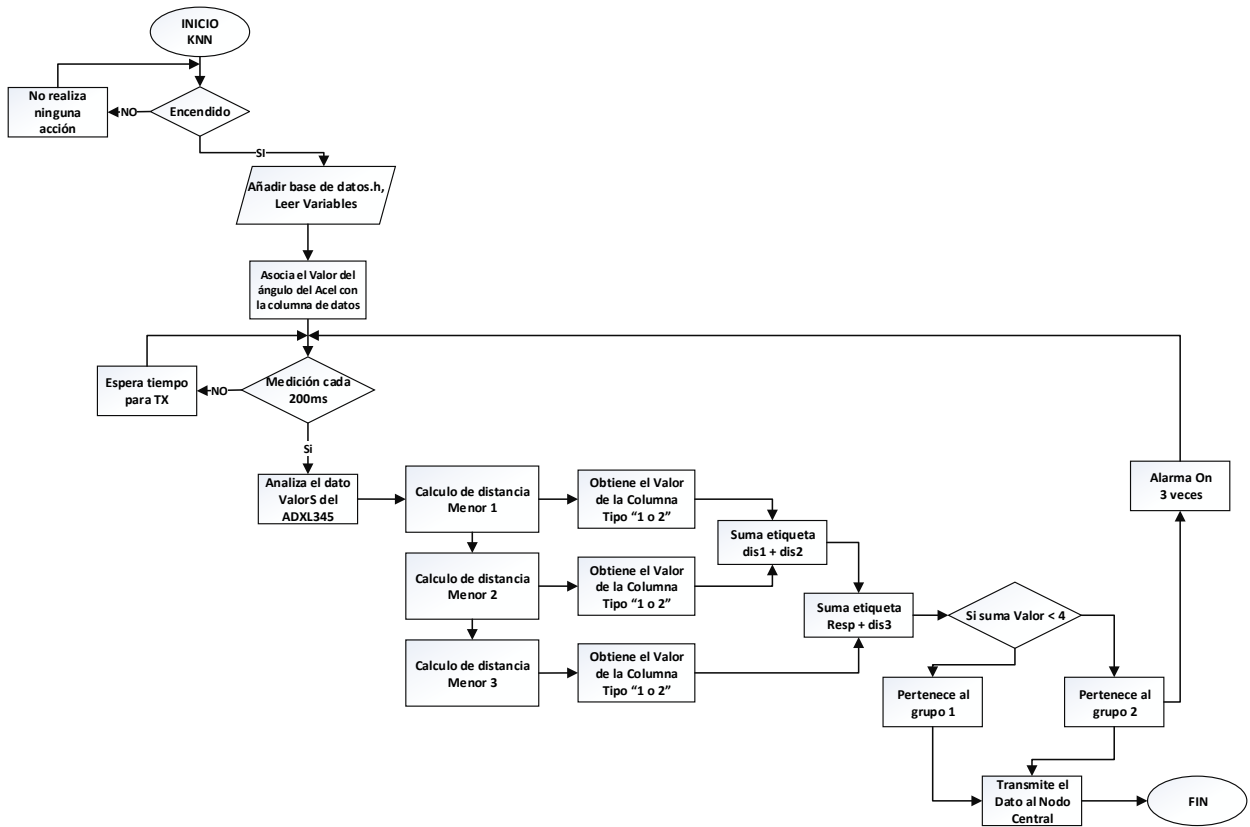


Figura 45. Diagrama de flujo de Algoritmo de aprendizaje autónomo KNN

Fuente: [Arduino IDE - Elaboración propia]

En la figura 45 se indica el proceso que se realiza en la aplicación Arduino para la selección de datos utilizando el algoritmo KNN, para lo cual analiza la base de datos de las repeticiones buenas y las repeticiones malas, pertinente a esto asocia el dato ingresado a la columna de Datos Cinturón o Datos de la Barra, al realizar una medición cada 200 ms determina la distancia del dato ingresado con el total de datos existentes, una vez que se tenga la menor distancia el algoritmo extrae la etiqueta del dato con menor distancia y la añade al dato ingresado, esta etiqueta es la que determina si es 1 Repetición Buena y 2 Repetición mala.

3.5.3 Diagrama de Conexión

Para el desarrollo del diagrama de conexión fue necesario conocer las especificaciones técnicas de cada elemento para su utilización dentro del proyecto. Es por ello que se presenta un análisis del Sensor ADXL345 y Arduino Nano.

Sensor ADXL345

Como indica la figura 16, es un dispositivo electrónico de uso en el sistema que cumple la función de obtener el ángulo de inclinación de la espalda cuando el deportista realice una sentadilla con barra libre, de esta manera permite identificar la correcta posición en el ejercicio y en base a estos datos estimar cuando se genera una mala postura.

Los sensores van a ser ubicados dependiendo de las pruebas en el momento de evaluar resultados de una postura del movimiento. Su funcionamiento se basa en las fuerzas de aceleración que actúan sobre el sensor, las cuales variarán la disposición de unas con respecto a las otras modificando la capacitancia existente entre ambas. Estos cambios serán traducidos posteriormente en señales que se puede utilizar para determinar el ángulo de inclinación y determinar cuándo se produce una falla.

Los modos de baja potencia del ADXL345 permiten la administración inteligente de energía basada en movimiento con detección de umbral y medición de aceleración activa con una disipación de potencia extremadamente baja.

Tabla 23. Descripciones de los pines del sensor ADXL345.

Mnemotécnico	Descripción
GND	Este pin debe estar conectado a tierra
VCC	Voltaje de suministro
CS	Chip Select
INT1	Salida de interrupción 1
INT2	Salida de interrupción 2
SDO	Salida de datos en serie (SPI 4-Wire) / I2C Address Select
SDA / SDI / SDIO	Datos serie I2C / Entrada de datos en serie (SPI 4-WIRE) / Entrada y salida de datos en serie (SPI 3-Wire)
SCL / SCLK	Reloj de comunicaciones serie

Fuente: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/adx1345-hookup-guide>

La tabla 23 muestra los pines de conexión con la descripción de la función que realiza cada uno, los pines más relevantes son SDA para establecer el modo de comunicación I2C y el SDO. El pin de voltaje será alimentado con 5V 40 mA que suministra el micro controlador Arduino Nano, y las interrupciones no serán utilizadas para este proyecto.

Arduino Nano.

La placa a utilizarse es el Arduino Nano como se observa en la figura 46, este se va encargar de procesar y analizar todos los datos provenientes de los sensores ADXL345, y mediante un análisis de los datos se encargará de definir un ángulo de acuerdo a los rangos de entradas digitales de cada uno de los sensores.

Esta versión de Arduino cumple las características de los requerimientos anteriores analizados como: tamaño pequeño que permite crear un circuito impreso el cual se lo pueda ubicar fácilmente en el cinturón y en la barra, cumpliendo la función de que no sea de molestia o incomodidad para el usuario al realizar el ejercicio.

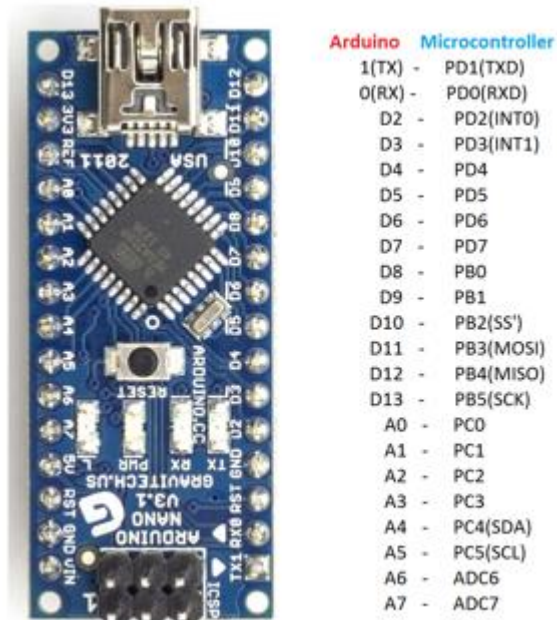


Figura 46. Arduino Nano Vista superior con descripción de pines de conexión

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>

El Arduino Nano posee pines con entradas analógicas, digitales y puerto serial, otras características se especifican en la tabla 19. Contiene un PIN especial para brindar un voltaje de 3,3V el cual es el adecuado para la alimentación del NRF24L01 como se observa en la figura 46. Posee una entrada Micro USB la cual es utilizada para grabar el Sketch de Arduino desde el computador. Su voltaje de funcionamiento es de 5v y su corriente de 40mA en los pines de entrada o salida como se muestra en la figura 47. Se aprecia que en el centro de la placa Arduino Nano existe un botón pequeño el cual sirve para reiniciar el Arduino cuando no esté funcionando debidamente.

Tabla 24. Características Técnicas de Arduino Nano.

Microcontrolador	Atmel ATmega168 o ATmega328
Tensión de funcionamiento (nivel lógico)	5 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12 V
Voltaje de entrada (límites)	6-20 V
E / S digitales prendedores	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	8
Corriente continua para Pin I / O	40Ma
Memoria flash	16 KB (ATmega168) o 32 KB (ATmega328) de los cuales 2 KB utilizado por el gestor de arranque
SRAM	1 KB (ATmega168) o 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 bytes (ATmega168) o 1 KB (ATmega328)
Velocidad de reloj	16 MHz
Dimensiones	0,73 "x 1,70"
Longitud	45 mm
Anchura	18 mm
Peso	5 g

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>

La tabla 24 indica las características más importantes de la placa Arduino Nano, los parámetros más importantes son su voltaje de funcionamiento, la corriente con la que opera, el número de pines análogos y el tamaño de la memoria en este caso de 16kb.

Después de analizar las características de los elementos se concluye que cada uno de los dos sensores ADXL345 se comunica a los puertos digitales del Arduino Nano con la siguiente configuración de circuito La Alimentación es mediante una batería recargable de 9 voltios y la resistencia de polarización a tierra de 10k ohmios.

Comunicación I2C del Sensor acelerómetro y Arduino

El modo I2C está habilitado si el pin CS está conectado al nivel alto. No existe modo establecido si el pin CS se deja desconectado, por lo cual continuamente debe estar vinculado al nivel alto o intervenido por un controlador externo.

Las resistencias externas de pull-up son necesarias para el correcto funcionamiento de I2C según el datasheet del acelerómetro ADXL345, véase Anexo 2. En este diagrama de conexión se usan dos resistores de 4.7 k Ω .

El valor de los resistores de polarización externa es importante, y puede ir desde 1K Ω (1.800 ohms) a 47K Ω (47.000 ohms). A menor valor de resistencia incrementa el consumo de los integrados pero disminuye la sensibilidad al ruido y mejora el tiempo de los flancos de subida y bajada de las señales. Los valores más comunes en uso son entre 1K Ω y 10K Ω .

Tabla 25. Pines de Conexión modo de comunicación I2C

Pin Arduino	ADXL345 Pin
GND	GND
3V3	VCC
3V3	CS
GND	SDO
A4	SDA
A5	SCL

Fuente: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/adxl345-hookup-guide>

Dado a que el SEEPES estará alimentado por baterías portátiles de 9V se recomienda que tenga un consumo de potencia moderado para que su rendimiento pueda durar al menos un día.

La tabla 25 describe la conexión de pines en el acelerómetro para la comunicación I2C con Arduino. Como se puede apreciar no se hace uso de los pines de interrupción int1 e int2

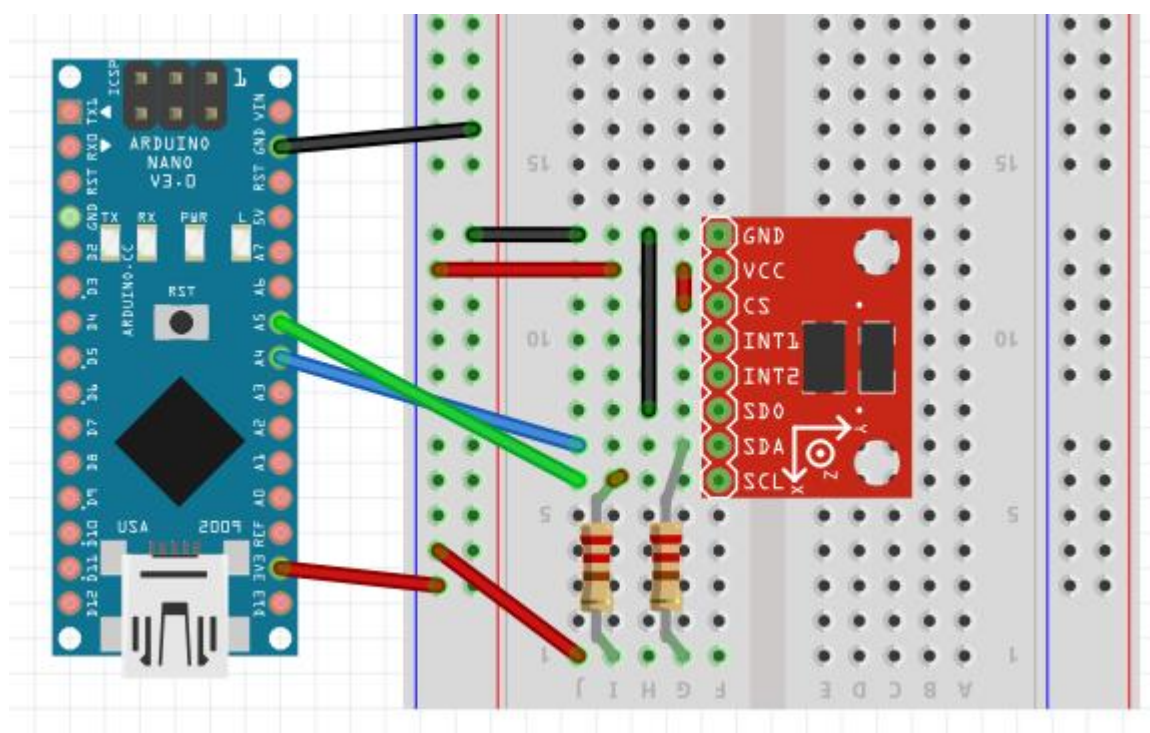


Figura 47. Conexión del sensor ADXL345 y Arduino Nano en Fritzing

Fuente: [Fritzing-Elaboración propia]

De acuerdo con la especificación I2C de NXP / Phillips (los diseñadores de I2C) la carga óptima del bus es de 3 miliamperios, o aproximadamente 4,7k para un sistema de 3.3V. La mayoría de los PCB I2C disponibles tienen pull-ups en el rango de 4.7K a 10K ohms para los buses estandar (100KHz).

Para realizar la conexión del acelerómetro ADXL345 con la placa Arduino se debe conectar el pin CS en alto como se observa en la figura 47, se aprecia el uso de 2 resistencias Pull Up para la configuración del protocolo de comunicación I2C en los Pines SDA y SCL, el pin de GND y SDO del Sensor Acelerómetro se encuentran puenteados al Pin GND del ARDUINO, así también el pin Vcc y Cs del ADXL345 están puenteados a los 3 voltios que suministra el Arduino para realizar la comunicación I2C.

Conexión del Módulo transceiver NRF24L01

Los módulos transceiver operan en la banda de 2.4GHz, son muy utilizados por su funcionalidad, bajo consumo de energía y bajo costo, lo cual cumple con los requerimientos de STAKEHOLDERS.

Las conexiones tanto para Emisor y Receptor son iguales, al tener una topología Maestro-Esclavo se tiene que diseñar y programar 3 dispositivos conectados a cada una de sus placas.

Tabla 26. Pines de Conexión módulo transceiver NRF24L01 con Arduino Nano

NRF24L01	Arduino UNO,Nano
1: GND	pin GND
2: VCC	pin 3V3
3: CE	pin 9
4: CSN	pin 10

5: SCK	pin 13
6: MOSI	pin 11
7: MISO	pin 12

Fuente: http://www.naylampmechatronics.com/blog/16_Tutorial-b%C3%A1sico-NRF24L01-con-Arduino.html

Como se muestra en la tabla 26 el pin Vcc del transceiver debe ir conectado con el pin de 3,3V para su correcto funcionamiento. Los pines de conexión presentados pueden ser utilizados tanto para el Arduino uno y el Arduino nano sin ningún cambio.

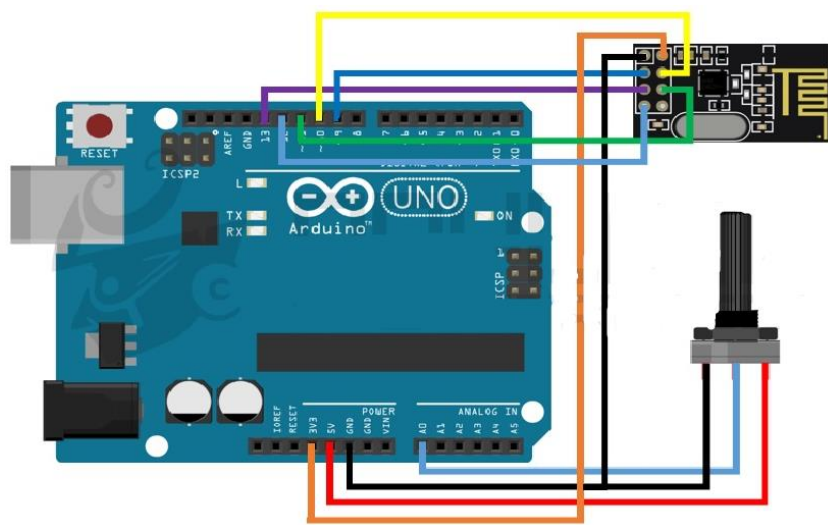


Figura 48. Conexión del módulo NRF24L01 y Arduino Uno.

Fuente: [Conexión del transceiver y Arduino en Fritzing- Elaboración propia]

Como se observa 48 en la imagen el pin 2 del NRF24L01 (VCC) va conectado al pin 3V3 del Arduino, debido a que el módulo transceiver funciona con 3.3V. NO se debe conectar a 5V porque podría quemar al módulo.

La banda de frecuencia es de 2400 a 2525 MHz, se puede utilizar entre 125 canales espaciados a 1MHz. Se recomienda usar las frecuencias de 2501 a 2525 MHz para evitar interferencias con las redes Wifi de los routers Cisco 3500 utilizados dentro de la Universidad.

Los canales de Radio Frecuencia RF son configurados mediante el comando de registro RF_CH siguiendo la ecuación 3, de acuerdo al Datasheet del NRF24L01 en el anexo 4.

$$F_0=2400 + RF_CH \text{ [MHz]}$$

Ecuación 3. Cálculo del canal de Frecuencia

Se debe programar el transmisor y el receptor con el mismo canal de Radio Frecuencia para comunicar el uno con el otro

La ventaja de los Routers Cisco 3500 es que poseen un sistema de detección automático de canales libres dado el caso de que exista interferencia entre tecnologías con la misma frecuencia de trabajo de acuerdo al datasheet del Router Cisco 3500 en el anexo 6.

3.5.4 Simulación en Proteus Software

Se realizó una simulación para detallar las partes y pines de conexión en el software Arduino de todo el módulo transmisor incluido el acelerómetro, transceiver, salida y alerta de vibración.

- 1 – Tensión de entrada
- 2 – Masa
- 3 – Tensión de salida

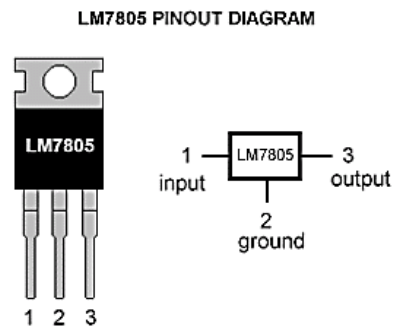


Figura 49. Regulador de voltaje 7805

Fuente: <http://www.electrontools.com/Home/WP/2016/03/09/regulador-de-voltaje-7805/>

La figura 49 muestra los pines de conexión del regulador de Voltaje de 9V a 5V utilizado para la alimentación de los nodos esclavos, a continuación se detalla el circuito desarrollado para la fuente en el simulador de Proteus de la figura 50. Se coloca un diodo en el PIN de entrada para evitar voltajes negativos que dañe el dispositivo.

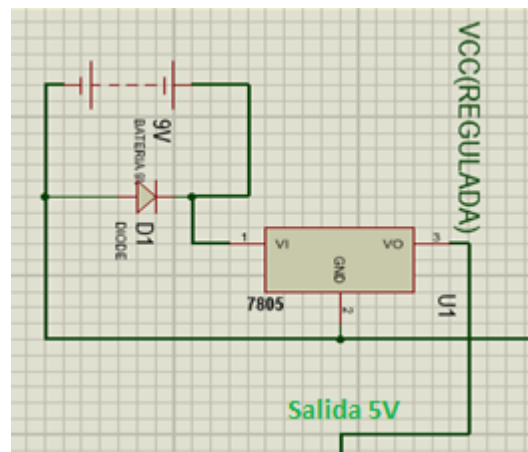


Figura 50. Fuente de alimentación de nodos esclavos

Fuente: [Simulador Proteus- Elaboración Propia]

En figura 51 se muestra que el Pin 3 del Arduino nano es el asignado para la alerta sonora y vibratoria por lo cual se hace uso de un transistor NPN 3904, este dispositivo está diseñado para amplificaciones de propósito general y aplicaciones de conmutación en las corrientes de colector de 10 mA a 100 mA el cual ayuda como alimentación de corriente para el funcionamiento del Buzzer y del motor Vibratorio. En la figura 52 se puede observar los pines de conexión del dispositivo.

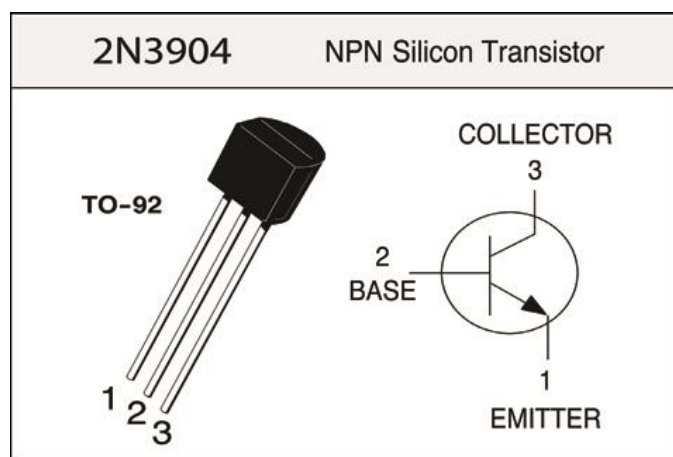


Figura 51.2N3904 Transistor NPN Pines de conexión

Fuente:<http://www.geekbotelectronics.com/producto/2n3904-transistor-npn/>

Como muestra la figura 51 este dispositivo ayuda a aumentar la corriente para la alimentación de la chicharra y del motor vibratorio, proporciona una corriente de colector constante de 200mA. Al pin del colector se conecta un Diodo Común el cual solamente permite que la corriente vaya en una sola dirección con la finalidad de evitar corrientes negativas producidas por el motor las cuales pueden dañar el Pin del Micro Arduino Nano.

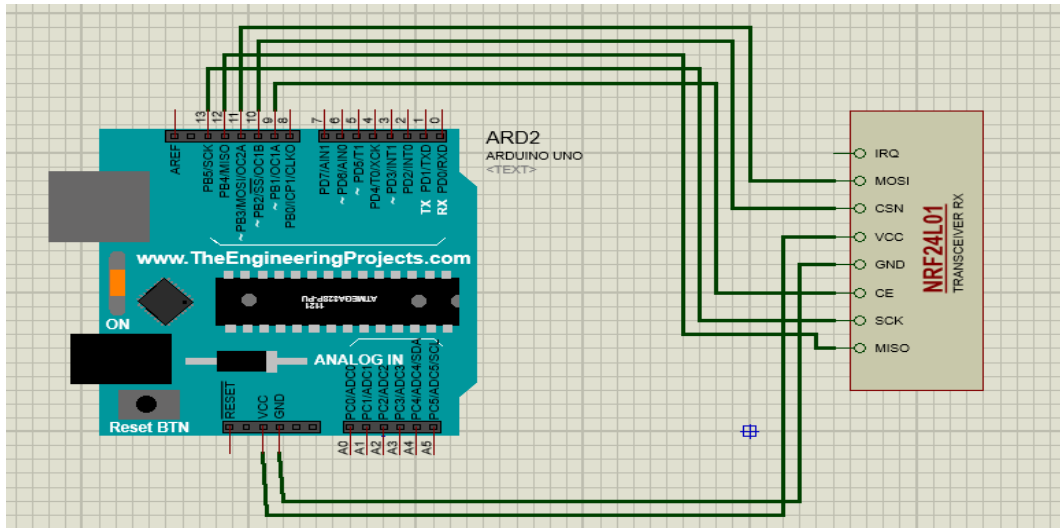


Figura 53. Módulo Receptor master.

Fuente. [Simulador Proteus-Elaboración Propia]

3.5.5 Calculo de la fuente de energía

Se procede a realizar un cálculo para especificar la fuente de alimentación que se debe utilizar para el correcto funcionamiento tomando en cuenta los datos de consumo de los elementos basado en sus datasheet.

El consumo de los elementos a utilizar en el nodo del cinturón son los siguientes:

- Arduino nano = 16mA
- Adx1345 = 45uA
- NRF24L01 = 14mA
- Motor Vibrador = 60mA
- Buzzer = 20mA
- Led = 5mA

Ecuación 4. Cálculo del consumo de los elementos de nodo del cinturón

$$\text{Consumo total} = 16\text{mA} + 45\mu\text{A} + 14\text{mA} + 60\text{mA} + 20\text{mA} + 5\text{mA}$$

$$\text{Consumo total} = 115\text{mA}$$

[Elaboración propia]

El consumo de los elementos se tomó tanto de los datasheet de los elementos como de las mediciones reales teniendo en cuenta una temperatura ambiente de 18°C.

De la ecuación 4 se concluye que el SEEPES necesita una fuente de 5V a 1A para su correcto funcionamiento.

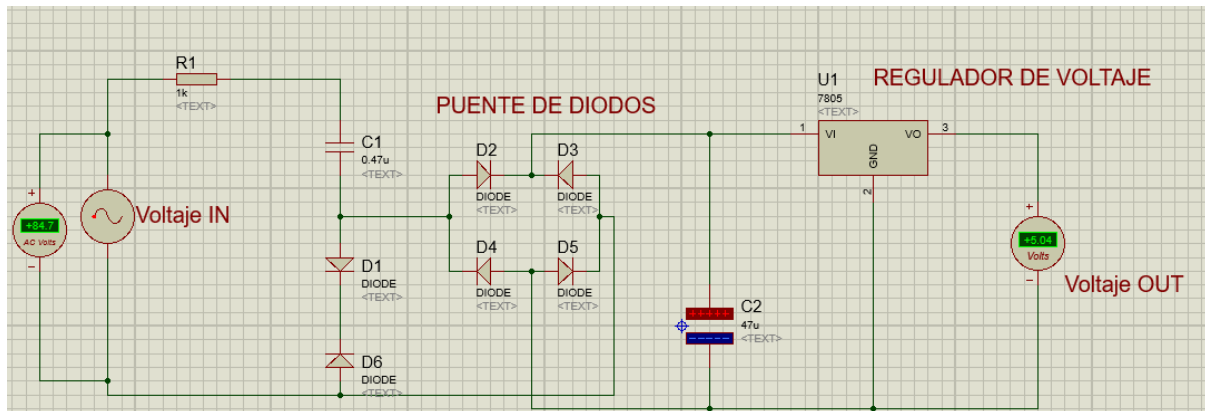


Figura 54. Circuito de fuente de alimentación

Fuente: [Simulador Proteus-Elaboración Propia]

Como indica la figura 54 la fuente de alimentación para el funcionamiento del SEEPES es una corriente de 1A y un voltaje continuo de 5V. Debido a los requerimientos de usuario y de funcionamiento se opta por reemplazar esta fuente por una Batería de 9V recargable para brindar movilidad y facilidad de uso.

Como se observa en la tabla 24 del Arduino Nano se especifica que el voltaje de operación es de 5V por lo cual se procede a realizar un regulador de voltaje de 9V a 5V. Se observa en la figura 50 que en la fuente de alimentación se utilizó un regulador de voltaje LM7805 el cual es un dispositivo electrónico que tiene la capacidad de regular voltaje positivo de 5V a 1A de corriente el cual está energizado por una batería de 9V con 175mA recargable. En la figura 49 se detallan los pines de conexión del Regulador de Voltaje 7805. En el anexo 10 se muestra el datasheet de la Batería con las horas de funcionamiento.

Para la alimentación del Nodo master se utiliza el puerto USB del computador debido a que además de energizar al nodo sirve de transmisor de información a la aplicación, debido a que la potencia requerida por el nodo master será igual a:

- Arduino Uno = 46mA
- NRF24L01 = 14mA

Ecuación 5. Cálculo del consumo de los elementos de nodo master

$$\text{Consumo total} = 46\text{mA} + 14\text{mA}$$

$$\text{Consumo total} = 60\text{mA}$$

[Elaboración propia]

Como muestra la ecuación 5 el nodo master necesita 60mA por lo cual el puerto USB del computador sí abastece dado que entrega un voltaje de 5V a 100mA.

3.5.6 Diseño de Placas electrónicas

Para el diseño de las placas electrónicas de los dos sistemas esclavos se utiliza el software PCB Wizard en su versión más actual. Se toma las medidas milimétricamente para la ubicación del micro controlador ubicándolo de forma horizontal. Los 8 pines del acelerómetro ADXL345 igual son colocados en forma horizontal al igual que el Transceiver NRF24L01. Se utiliza un grosor de unión de pines de 0,04inch para evitar que se desprenda la pista al pasar el ácido en el planchado.

El diseño de la baquelita tuvo dos fases: Cinturón y la barra; debido a que se utilizan los mismos componentes del mismo diseño para los dos casos, con la excepción del Pin 3 de salida del Arduino nano asignado del motor de vibración del nodo de la barra no iría conectado y el botón de inicio y parada que integra el nodo del cinturón sería suprimido ya que el nodo de la barra no necesitara un pulsador para iniciar mientras este encendido estará midiendo los ángulos de inclinación.

La razón de no colocar el botón de inicio y parada en el nodo de la barra es debido a que la barra estará en un lugar especificado y no se moverá de ese lugar como es el caso del cinturón el cual podrá el deportista tener libertad de moverse a donde el desee mientras este en el rango de cobertura del módulo de comunicación y el botón de parada este presionado.

Diseño de nodos esclavos

Como muestra la figura 55 se tiene los pines libres para colocar los elementos electrónicos, debido a que PCB Wizard no cuenta con las librerías de Arduino Nano, ADXL345

y NRF24L01 se procedió a dejar el espacio para los pines de conexión de acuerdo con los pins del datasheet y de la simulación en Proteus.

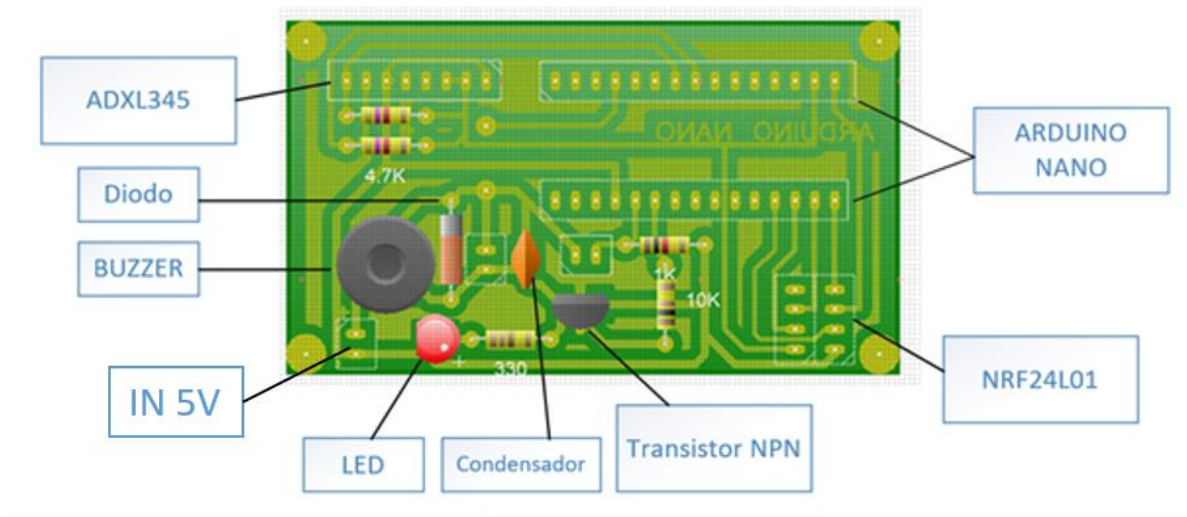


Figura 55. Diseño de Placa de Nodo Esclavo del cinturón

Fuente: [PCB Wizard- Elaboración propia]

Se adaptó una forma compacta para aligerar el espacio y evitar molestias al momento de empotrado en el cinturón de cuero. Los materiales fueron conectados de tal manera que en caso de ser necesario reemplazar algún dispositivo se lo pueda realizar sin ninguna complicación gracias a los pines hembra utilizados.

Tanto el diseño de la placa del nodo esclavo del cinturón y de la barra son similares obviando que el nodo de la barra no posee un motor vibratorio con la finalidad de que la vibración genere molestias en el agarre de la barra.

Diseño de la placa de la fuente de alimentación

En la placa de alimentación consta un LM7805, un Diodo común y una entrada doble para la conexión con la batería de 9v. En la segunda baquelita grande se tiene todos los elementos descritos en la figura 56. Se incluye un diodo común para evitar voltajes negativos debido a la mala conexión de la batería de 9v.

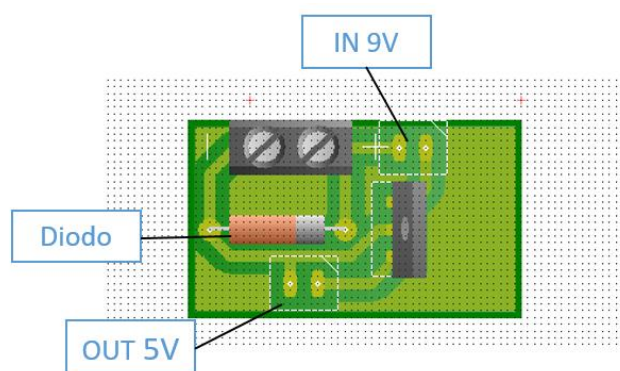


Figura 56. Diseño de Fuente de Alimentación de 9v a 5v

Fuente: [PCB Wizard- Elaboración propia]

3.5.7 Circuitos electrónicos y acoplamiento de dispositivos.

Para el acople se empleó una baquelita de vidrio, los pines del Arduino nano fueron cortados para dejar solo los pines que van a ser utilizados, se fijó la placa con tornillos a una caja plástica para evitar movimientos, se situó los componentes de tal manera que ninguno afecte el funcionamiento del otro.

Como se puede observar en la figura 57 se tiene dos placas una pequeña que será utilizada para la Fuente de alimentación del nodo esclavo y la grande que contiene los elementos (Placa Arduino, Sensor, Transmisor y Sistema de alerta).

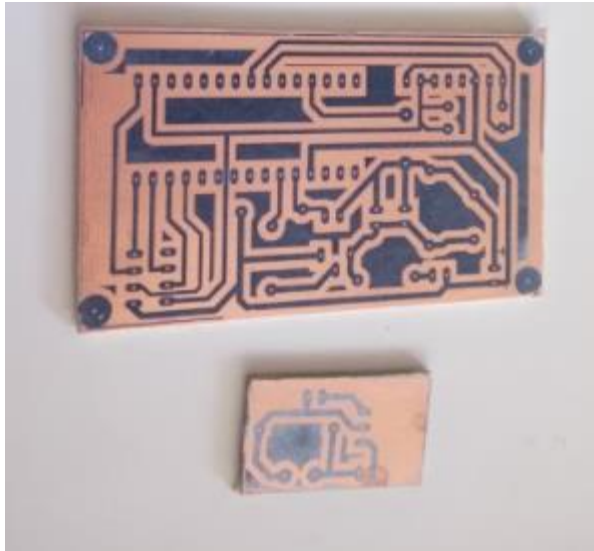


Figura 57. Circuito impreso de nodo esclavo

Fuente: [Elaboración propia]



Figura 58. Circuito electrónico del nodo esclavo

Fuente: [Elaboración propia]

Se puede apreciar en la figura 58 tanto el Arduino Nano, el acelerómetro ADXL345 y el transceiver NRF24L01 conjuntamente a los otros dispositivos de forma horizontal colocados en el fondo de la caja de plástico.



Figura 59. Circuito electrónico del nodo Esclavo (Vista inferior).

Fuente: [Elaboración propia]

En la figura 57 se muestra la posición de la batería y de la baquelita que contiene el regulador de energía, así como también la ubicación del pulsador y en el fondo izquierdo se puede observar el motor de vibración utilizado para la alerta.

3.5.8 Ubicación óptima de los nodos

De acuerdo al análisis del movimiento se establece que un nodo ira ubicado en la parte posterior de la espalda y otro nodo es ubicado en la barra basado en los requerimientos de usuario.

Se optó por utilizar unas cajas de plástico para cubrir al SEEPES brindando seguridad y durabilidad en caso de mala manipulación como muestra la figura 60.



Figura 60. Nodos de comunicación Esclavo-Master-Esclavo.

Fuente: [Elaboración propia]

Acoplamiento nodo del cinturón

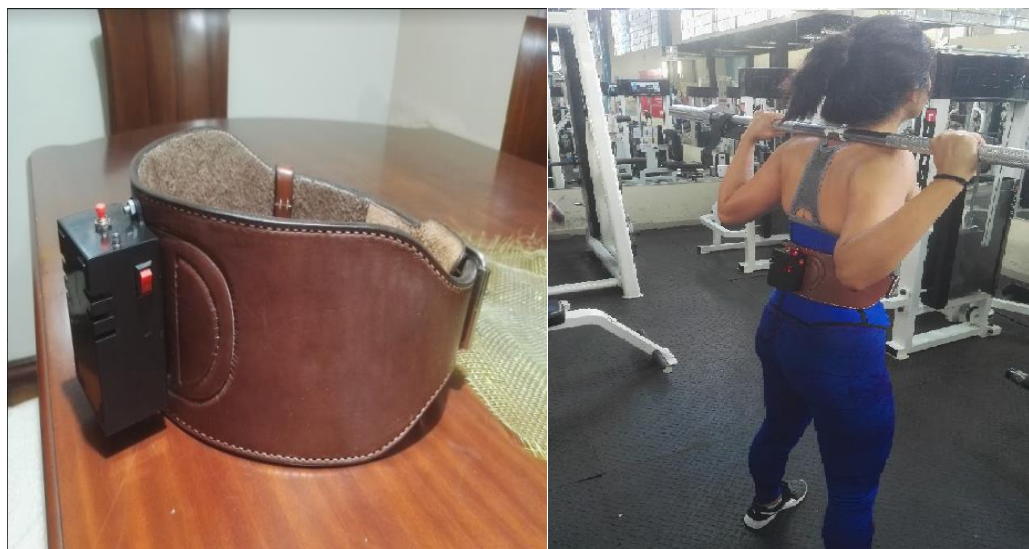


Figura 61. Acople de Nodo esclavo en cinturón de cuero

Fuente: [Elaboración propia]

En la figura 61 se muestra la posición elegida en la mitad del cinturón debido a que es la zona más ideal para tomar la inclinación de la espalda. El nodo con pulsador va alojado

mediante tornillos a un cinturón de cuero, el cual ha sido elegido debido a su dureza rendimiento y permisividad para realizar los agujeros.

Los cinturones de cuero ayudan en el cuidado de la zona lumbar en la espalda baja de potenciales lesiones afines con el levantamiento de peso moderado durante los ejercicios de musculación, en especial dentro de ejercicios en los cuales el deportista no tiene la espalda apoyada en ningún sitio como es el caso de la sentadilla.

Acoplamiento nodo de la barra



Figura 62. Acople del Nodo Esclavo en la barra de acero

Fuente: [Elaboración propia]

Como muestra la figura 62 se diseñó unos soportes de plástico los cuales ayudan a que el nodo se encuentre siempre en sentido horizontal y fijo a la barra de acero. Estos soportes pueden ser removidos cada vez que el deportista desee.

3.5.9 Ubicación del SEEPES dentro del Gimnasio de la Universidad Técnica del Norte

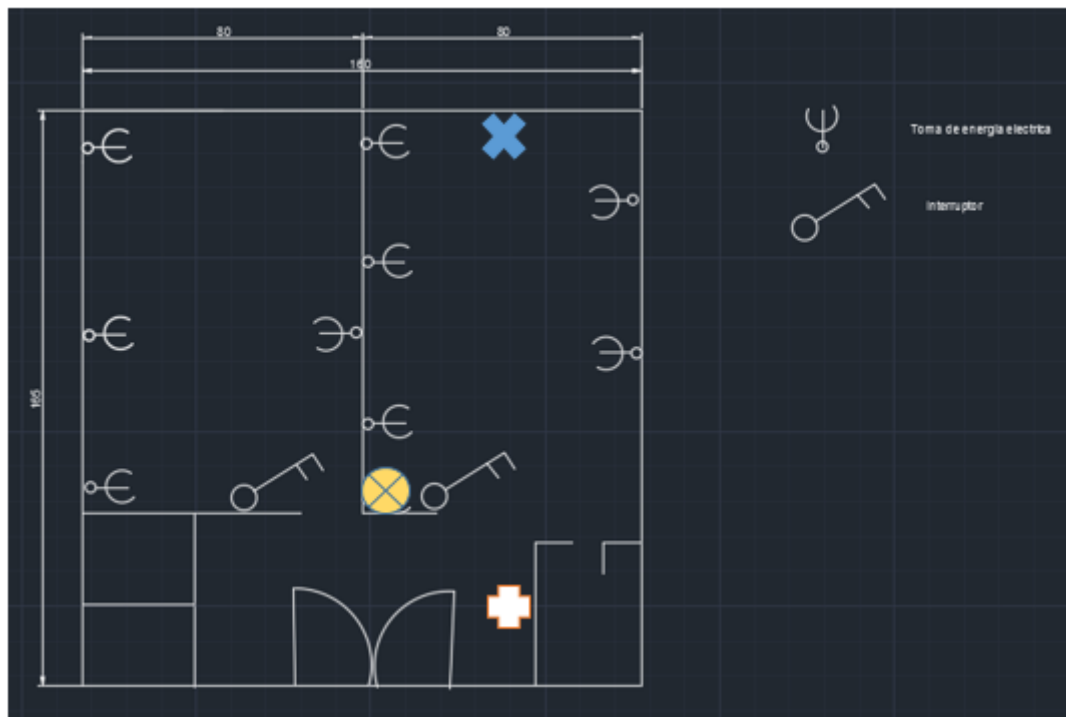


Figura 63. Plano del Gimnasio de la UTN

Fuente: [Instalaciones de la Universidad-Elaboración propia]

Simbología:

Access Point Cisco 3500



Ubicación destinada para el SEEPES



Servidor Local



En la figura 63 se muestra la ubicación del SEEPES en la cual se aprecia que existe una distancia considerable por lo cual se ha elegido unos transmisores transceiver que puedan comunicarse a esta distancia y sin tener interrupciones tanto físicas como por interferencia con otros dispositivos que trabajan a la misma frecuencia.

3.5.10 Diseño de la Aplicación para la visualización de datos

El software utilizado para representar de forma gráfica el conjunto de datos generados por los nodos esclavos es Visual Studio, gracias a su compatibilidad con placas Arduino y su varia gama de utilidades.

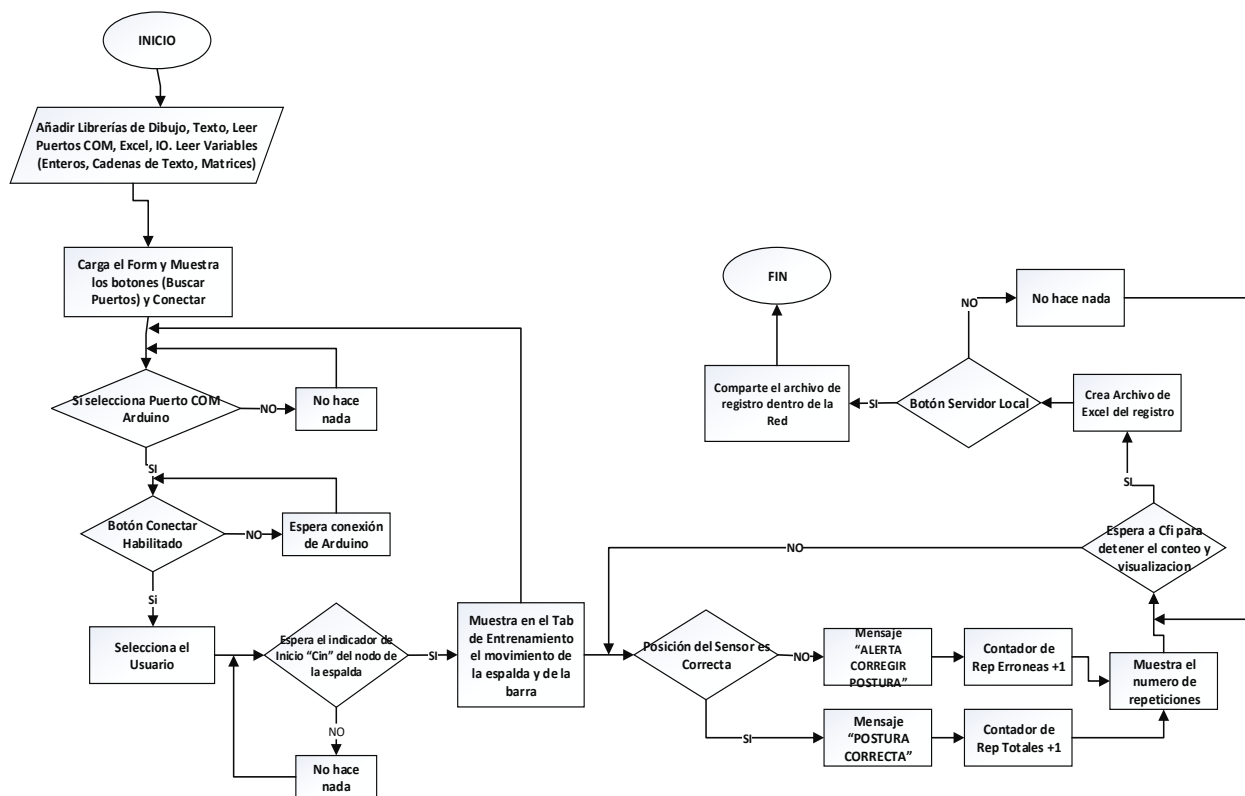


Figura 64. Diagrama de Flujo

Fuente: [IDE Visual Studio-Elaboración propia]

La aplicación una vez iniciada leerá todas las librerías y variables utilizadas como muestra la figura 64, luego carga el form que contiene todas las funciones del SEEPES, muestra dos botones uno para buscar puertos COM para conexión de Arduino y otro para la conexión de la aplicación con el nodo Master. Al conectar la interfaz con el Arduino ya está listo para

recibir los datos, mientras el nodo master no envié la cadena Cin no se iniciara el conteo ni la visualización del movimiento. Si ya se ha presionado el botón dentro del nodo de la espalda el SEEPES automáticamente mostrara la hora y fecha actual y el movimiento del usuario. Al finalizar el ejercicio la aplicación guarda el registro de esa serie. Si el usuario desea compartir el archivo de registro, presiona el botón Servidor Local.

Visualización del ejercicio

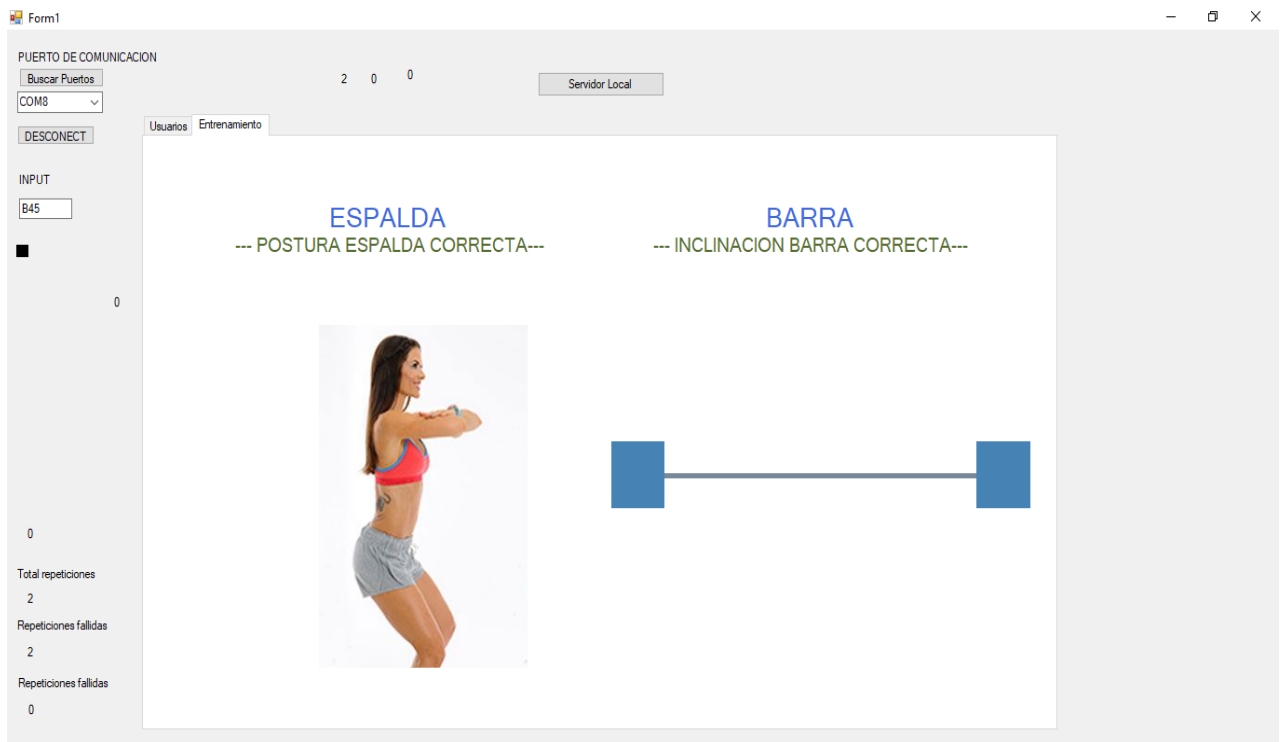


Figura 65. Aplicación del SEEPES

Fuente: [Visual Studio Software]

Se ha desarrollado una aplicación para mostrar el movimiento tanto de la silueta superior del cuerpo humano, como también de la barra de acero al realizar sentadilla con barra libre como muestra la figura 65. En el Anexo 7 se detalla el manual de usuario para el manejo de la aplicación.

CAPITULO IV: PRUEBAS DEL SEEPES

Este capítulo contiene las pruebas de funcionamiento físico, hardware, software, la visualización y registro en servidor local del ejercicio de sentadilla con barra libre dentro de una aplicación, dichas pruebas permitirán identificar las personas con tendencia a realizar un mal ejercicio y ser más propensas a lesiones.

La fase de pruebas fue realizada a estudiantes tanto hombres como mujeres realizando actividades físicas dentro del Gimnasio de la Universidad Técnica del Norte en el horario matutino. Una vez realizada dicha prueba se obtuvo los estimadores de mala postura, conclusiones y recomendaciones de la Investigación.

5.1 Test de pruebas basadas en el modelo en V

Objetivo

El objetivo de este capítulo es reunir los casos de pruebas que verifican que el sistema satisface los requisitos especificados. Los test de prueba serán realizados basándose en el modelo en V.

5.1.1 DEFINICIÓN DE LOS CASOS DE PRUEBAS

En este apartado se describen en detalle cada uno de los casos de pruebas que se han identificado como necesarios para comprobar la funcionalidad completa del SEEPES. Se debe repetir una tabla por cada caso de prueba que se defina necesario. Del conjunto de casos de pruebas definidos, se identifica aquellos que forman parte del conjunto de pruebas que deben realizarse para asegurar el correcto despliegue del prototipado.

5.1.2 Test Eléctrico	Subsistema prueba	Eléctrico
	¿Prueba de despliegue?	Si/No
<p>Descripción:</p> <p>Prueba de diseño del prototipo basado en el subsistema eléctrico.</p>		
<p>Prerrequisitos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Adquisición de fuentes de energía batería 9v 2. Conexiones de transporte y distribución hacia y desde las placas programables a los sensores 3. Verificar posiciones de dispositivos 		
<p>Pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Verificación de encendido de placa programable Arduino ✓ Verificación de encendido de dispositivos electrónicos: sensores y módulos de comunicación. ✓ Comprobación de niveles bajos de temperatura de elementos ✓ Comprobación de valores de energía en baterías portables de 9v. ✓ Verificación de niveles de voltaje regulados por resistencias. ✓ Consumo de energía de LED, Buzzer, Sensor y Motor de Vibración ✓ Comprobación de suministro de energía continua hacia dispositivos electrónicos. ✓ Verificación de duración de tiempo de funcionamiento de batería en continuo funcionamiento. 		

Resultado esperado:

Poseer todos los elementos necesarios para el suministro y distribución de energía en el SEEPES, con un consumo de energía de las baterías portable controlado de 9v, para que estas no sufran una descarga de energía rápida, mantener una larga duración de tiempo de vida de los dispositivos electrónicos y placa programable, evitar que el SEEPES sufra fallas durante la realización del ejercicio teniendo el SEEPES siempre funcional, controlar fallos eléctricos de la red de energía pública.

Resultado obtenido:

Se pudo verificar que tanto la placa Arduino Uno, Arduino Nano como los dispositivos electrónicos: ADXL345 y NRF24L01 funcionan correctamente y fueron puestos a prueba para el desarrollo del prototipo.

Los valores de energía de las baterías portables fueron óptimos por lo que se procede a la utilización de las mismas, se desarrolló una placa para regulación de voltaje para suministrar 5v a las placas programables mediante el uso de un regulador de voltaje LM7805. Los LED, las Resistencias, el transistor, el buzzer y el motor de vibración fueron probados correctamente con la ayuda del multímetro.

5.1.3 Test Subsistema Pasivo	Subsistema prueba	Pasivo
	¿Prueba de despliegue?	Si/No
<p>Descripción:</p> <p>Prueba de diseño del prototipo basado en el subsistema Pasivo.</p>		
<p>Prerrequisitos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Adquisición de cables conectores para el prototipo móvil 2. Adquisición de permisos para ingreso a gimnasio UTN 3. Datos del gimnasio UTN 		
<p>Pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Comprobación de estado de cables para el prototipo ✓ Verificación de conexiones a pines de placa programable ✓ Posición del nodo Esclavo en el cinturón de cuero ✓ Comprobación de disponibilidad de espacio para el ejercicio en el gimnasio ✓ Verificación de toma eléctrica y puntos de red en gimnasio. ✓ Revisión de conectividad con sistemas inalámbricos. 		
<p>Resultado esperado:</p> <p>Las conexiones con todos elementos electrónicos desde la placa programable deben estar siempre funcionales y no deben sufrir daños al realizar el ejercicio, dando la comodidad y apariencia adecuada al prototipo, el gimnasio debe proporcionar un lugar para realizar la toma de datos sin interrupciones ni interferencias externas, el encargado del Gimnasio Lic. Juan</p>		

Vásquez deberá proporcionar los permisos para realizar las actividades dentro del establecimiento.

Resultado obtenido:

El cable usado para la conexión de elementos dentro de los nodos está en correcto estado, así como también se verifica que todos los pines de la placa Arduino Nano luego de realizar el soldado en baquelita están en buen estado por el cual se procede su uso. Con respecto a la posición de los elementos en la espalda baja y espalda alta se evaluó una ubicación ideal correcta para evitar incomodidad y brindar seguridad al ejercicio. Se pudo comprobar que todos los puntos de red y la toma eléctricas del GYM están funcionando normalmente. El transceiver de los 3 nodos está en correcto funcionamiento.

No existe interferencia en la transmisión de datos debido a que los canales utilizados de la banda 2.4 GHz del Acces Point Cisco 3500 no se transponen a los del Transceiver NRF24L01.

	Subsistema prueba	Activo
5.1.4 Test Subsistema Activo	¿Prueba de despliegue?	Si/No
Descripción: Prueba de diseño del prototipo basado en el subsistema activo.		

Prerrequisitos

- 1. Adquisición de módulos Arduino nano, acelerómetros y transceiver.**
- 2. Revisión de Puertos COM de PC**
- 3. Análisis de funcionamiento de aplicación de registro de fallos**

Pasos:

- ✓ Correcto funcionamiento de placa Arduino Nano
- ✓ Comprobación de conexión de nodos esclavos y nodo master
- ✓ Comprobación de conexión de módulo master con aplicación
- ✓ Verificación de niveles de interferencia a módulos transceiver entre nodos de comunicación.
- ✓ Comprobación de envío y recepción de datos de nodos esclavos hacia aplicación y base de datos.

Resultado esperado:

Mantener una transmisión de datos libres de interferencias, teniendo una adquisición de datos con un margen mínimo de errores, almacenando los datos censados a todo momento y de cualquier miembro del club de físico culturismo, manteniendo la disponibilidad de los servicios presente en todo momento.

Resultado obtenido:

Se pudo comprobar que el módulo Arduino Uno está funcionando en perfecto estado y se pudo acoplar tanto con el acelerómetro como también con el módulo transceiver para la comunicación con el nodo master.

Se comprobó que el nodo master fue reconocido por el puerto COM de la computadora y permite la comunicación con la aplicación. La comunicación entre nodos esclavos y maestro no tiene interferencias hasta una distancia de 25 metros. Se comprobó que los datos se pudieron transmitir correctamente para su análisis e interpretación.

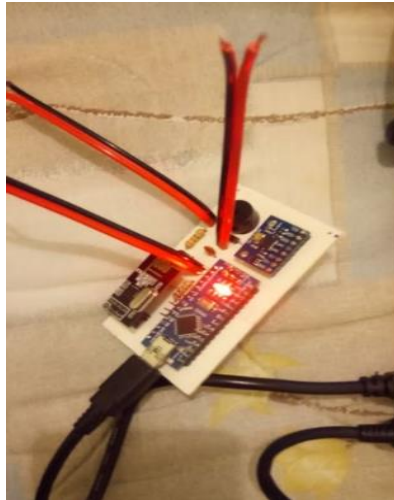


Figura 66. Comprobación de funcionamiento de nodo esclavo

Fuente: [Elaboración propia]

Como se aprecia en la figura 66 el Led interno del Arduino Nano esta encendido lo que significa que la placa ha sido reconocida por la PC por lo tanto el puerto COM se encuentra activo para realizar la programación del sistema de medición de inclinación del ángulo de la espalda.

Pruebas de módulos transceiver NRF24L01

La conexión de hardware acelerómetro, transceiver y Arduino Nano al momento de grabar el Sketch de IDE de Arduino se lo realiza con la consideración de que se usa un cable de comunicación Micro USB.

Se utilizó dos transceiver esclavos que emiten información continuamente cada 200ms hacia un nodo master el cual recibe la información de los 2 nodos. A continuación, se observa la recepción de datos.

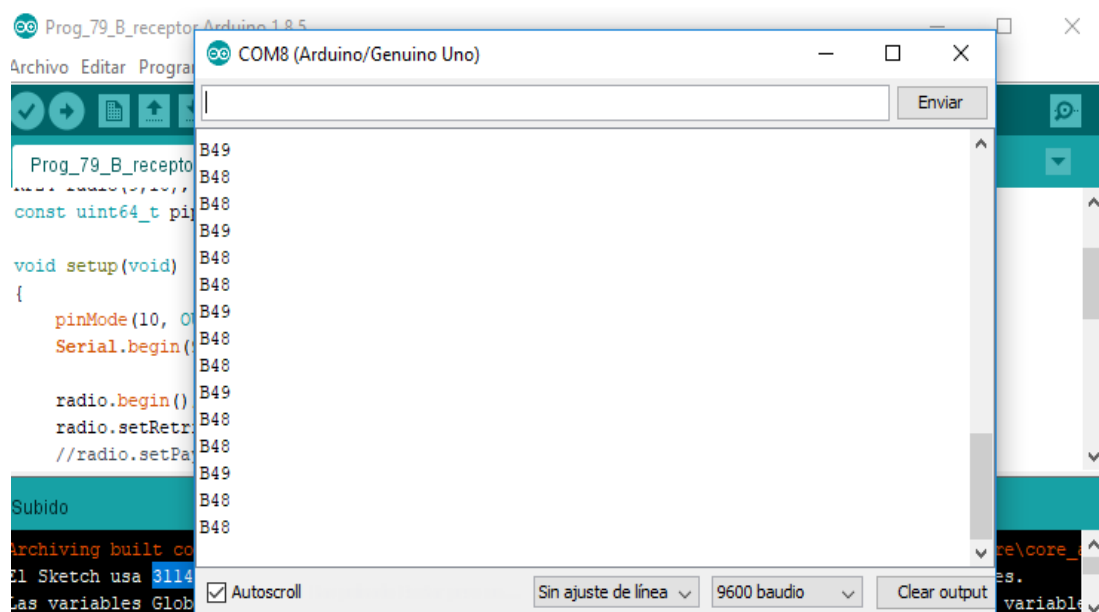
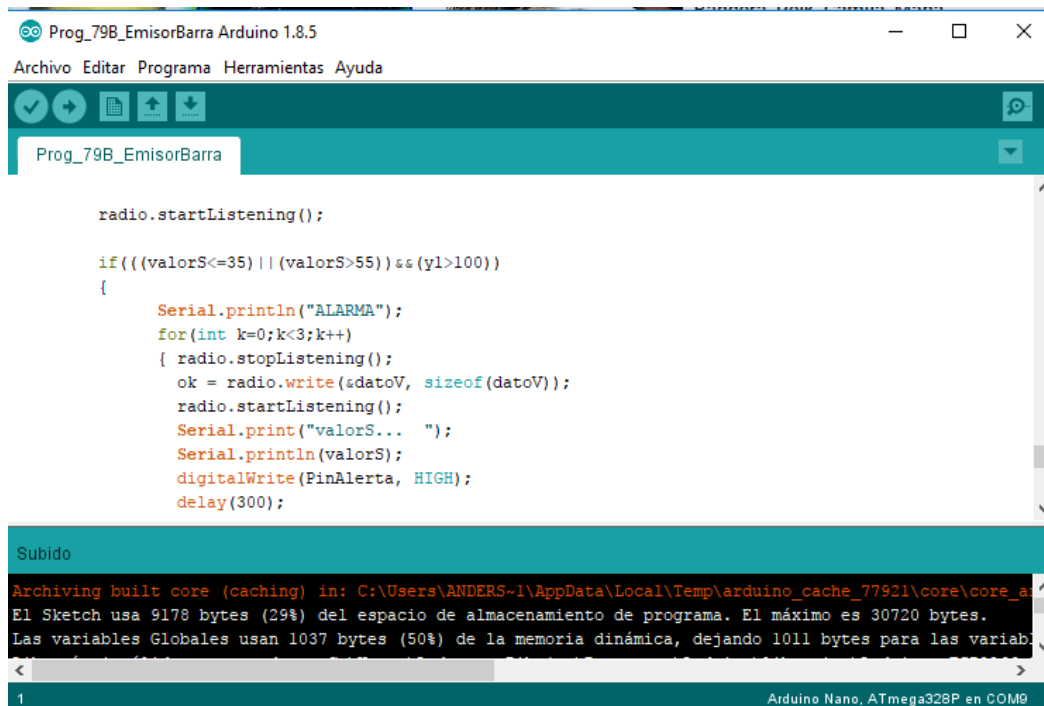


Figura 67. Recepción de Datos en nodo master

Fuente: [IDE Arduino-Elaboración propia]

En la figura 67 se muestra como el nodo master está recibiendo los datos enviados por el nodo esclavo y los muestra al monitor serial. Se puede apreciar el distintivo “B” más el valor del ángulo censado.



```
radio.startListening();

if(((valorS<=35) || (valorS>55)) && (y1>100))
{
    Serial.println("ALARMA");
    for(int k=0;k<3;k++)
    { radio.stopListening();
      ok = radio.write(&datoV, sizeof(datoV));
      radio.startListening();
      Serial.print("valorS... ");
      Serial.println(valorS);
      digitalWrite(PinAlerta, HIGH);
      delay(300);
    }
}
```

Subido

```
Archiving built core (caching) in: C:\Users\ANDERS-1\AppData\Local\Temp\arduino_cache_77921\core\core_a
El Sketch usa 9178 bytes (29%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 30720 bytes.
Las variables Globales usan 1037 bytes (50%) de la memoria dinámica, dejando 1011 bytes para las variab
```

1 Arduino Nano, ATmega328P en COM9

Figura 68. Carga de datos en Placa Arduino Nano de la Barra

Fuente: [IDE Arduino-Elaboración propia]

En la figura 68 se muestra un uso del 29% de almacenamiento del programa y un uso del 50% de la memoria dinámica lo cual es aceptable por la placa Arduino Nano y funcionara sin ningún problema.

El programa no ocupa demasiada memoria flash ni memoria dinámica de la Placa Arduino Nano, por lo tanto, su rendimiento debe ser satisfactorio. Para confirmar esto se puso a los nodos esclavos a transmitir datos de sus ángulos de inclinación hacia el nodo master durante 20 minutos y este no tuvo ningún problema en la saturación de los datos, el nodo master distinguía los datos del nodo del cinturón y de la barra perfectamente.

Pruebas del Nodo Master.

Esta prueba se basa en evaluar si el Sketch que se ejecuta en el Arduino IDE ocupa mayor memoria flash y memoria dinámica de la disponible en el Arduino Uno, la figura demuestra que la memoria del microcontrolador satisface todo el procesamiento de datos que involucra el programa y puede realizar correctamente sus operaciones.



```
Prog_79_B_receptor Arduino 1.8.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Prog_79_B_receptor
const uint64_t pipes[2] = { 0xF0F0F0F0E1LL, 0xF0F0F0F0D2LL };

void setup(void)
{
  pinMode(10, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);

  radio.begin();
  radio.setRetries(15,15);
  //radio.setPayloadSize(8);
}

Subido
Archiving built core (caching) in: C:\Users\ANDERS-1\AppData\Local\Temp\arduino_cache_566228\core\core_
El Sketch usa 3114 bytes (9%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.
Las variables Globales usan 205 bytes (10%) de la memoria dinámica, dejando 1843 bytes para las variables
```

Figura 69. Estado de Compilación del Arduino IDE de Nodo Master

Fuente: [IDE Arduino-Elaboración propia]

En la figura 69 se puede apreciar que el uso del 9% de almacenamiento del programa utiliza 3114 bytes de la memoria de la placa Arduino Uno y un uso del 10% de la memoria dinámica. Dejando 1843 bytes para las variables locales.

Luego se realizó el censo por dos horas y no se tuvo ningún percance en la transmisión de datos, lo cual demuestra que existe un correcto funcionamiento del SEEPES y

de la Fuente de energía en tiempo prolongado sin ningún problema de saturación de datos o fallas de medidas.

A lo largo del censado solo se presentó una pequeña atenuación en el Buzzer de alerta debido al desgaste de la batería, pero aun así el sonido es distinguible de sonidos generados dentro del gimnasio este problema se puede solventar cambiando de batería.

5.1.5 Test de Hardware	Subsistema prueba	Hardware
	¿Prueba de despliegue?	Si/No
<p>Descripción:</p> <p>Prueba de los dispositivos electrónicos utilizados para el desarrollo del prototipo</p>		
<p>Prerrequisitos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Compra de materiales 2. Adquisición de materiales 3. Estudio de funcionamiento de cada dispositivo 		
<p>Pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificación de encendido de los dispositivos electrónicos 2. Análisis de las funciones de cada dispositivo 3. Análisis de sensores acelerómetros 4. Revisión del funcionamiento del micro controlador Arduino 5. Teste de cables y Conectores 		

Resultado esperado:

Los dispositivos electrónicos funcionan correctamente, las placas programables alimentan con 3.3v a los módulos transceiver. El acelerómetro debe ser capaz de medir correctamente el ángulo de inclinación de uno de sus 3 ejes. Los cables escogidos deben ser capaces de soportar la manipulación y permanecer fijos para el ensamblado en la baquelita. Se debe verificar que el motor de vibración se encienda y no regrese señales negativas.

Resultado obtenido

Se elaboró el análisis de hardware en el que se pudo determinar que los equipos llegaron en correcto estado y que el micro controlador Arduino Nano posee un pin encargado de entregar 3.3v necesarios para el funcionamiento del NRF24L01. Con respecto al acelerómetro se pudo verificar que realiza mediciones en sus 3 ejes, el motor de vibración se activa con una corriente de 1 A y el buzzer suena correctamente.

Lo primero que se realizó es la verificación del encendido del SEEPES mediante el uso de una batería de 9v. Se realiza un análisis del funcionamiento de todos los módulos transceiver conectados en la topología Maestro-Eslavos, se comprueba que el sensor acelerómetro este midiendo los ángulos de inclinación y que el nodo master este recibiendo los datos de los nodos esclavos.

A continuación se muestra la transmisión de datos usando dos transeiver NRF24L01 para comprobar su correcto funcionamiento en la topología Maestro-Eslavo.

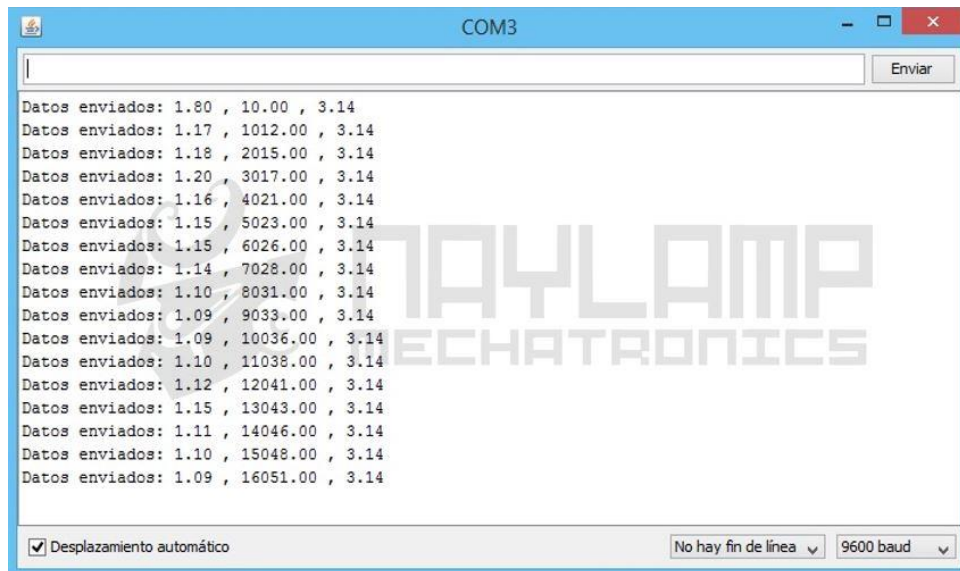


Figura 70. Transmisión de datos Usando Transceiver NRF24L01

Fuente: [IDE Arduino-Elaboración propia]

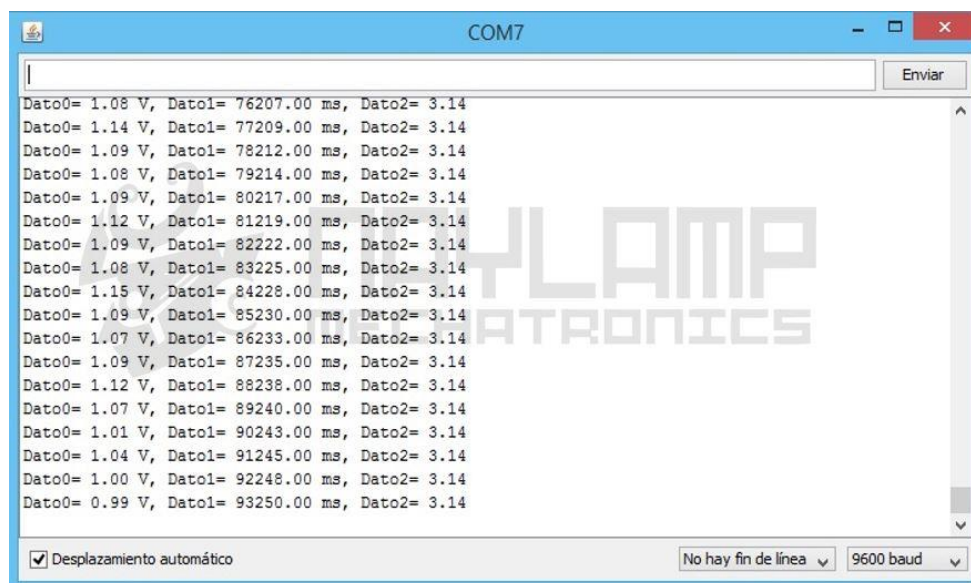


Figura 71. Recepción de datos Usando Transceiver NRF24L01

Fuente: [IDE Arduino-Elaboración propia]

Como se muestra en la figura 70 y 71 el nodo esclavo está enviando datos mediante el transceiver NRF24L01 hacia otro nodo maestro el cual está recibiendo los datos en tiempo real,

la velocidad de comunicación establecida es de 9600 baudios tanto en el nodo esclavo como en el nodo maestro. Se puede apreciar que cada nodo se encuentra conectado a 2 distintos puertos COM vinculados a la PC para realizar su monitorización.

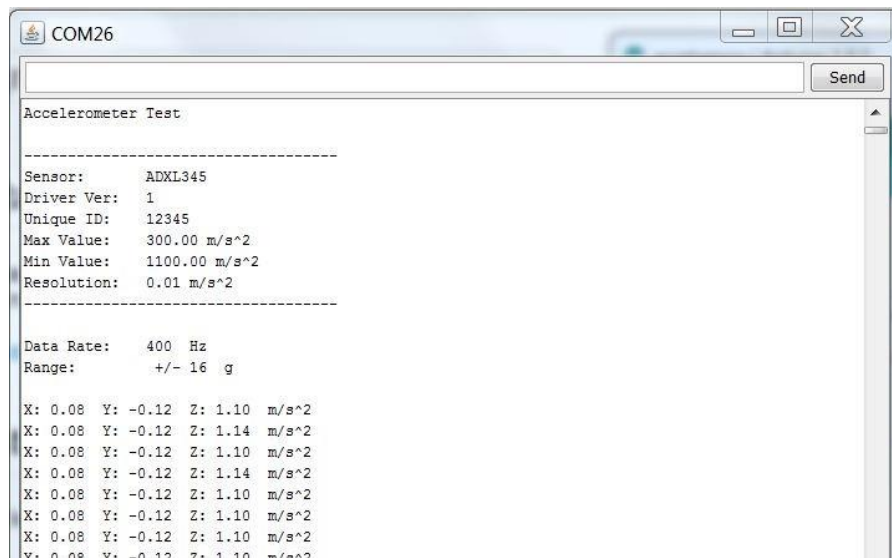


Figura 72. Comprobación de funcionamiento de acelerómetro ADXL345

Fuente: [IDE Arduino-Elaboración propia]

Como se muestra en la figura 72 el acelerómetro ADXL345 ha sido configurado con sus parámetros por defecto y se encuentra analizando los 3 ejes X, Y, Z. Tiene una resolución de 0.01 m/s^2 y un rango de más menos 16 g. Luego de comprobar su funcionamiento se puede enfocar en un eje para su evaluación en el ejercicio de sentadillas.

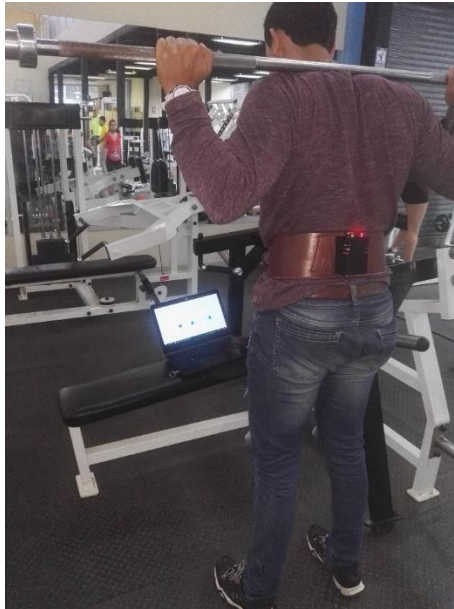


Figura 73. Comprobación del funcionamiento de hardware dentro del gimnasio de la UTN.

Fuente: [Elaboración propia]

Como se observa en la figura 73 el Led Rojo del Nodo de la espalda esta encendido lo que indica que el SEEPES está en funcionamiento. En la pantalla del computador se observa el nodo master recibe el ángulo de inclinación tanto de la barra como del cinturón. Se procedió a realizar inclinaciones para verificar el correcto funcionamiento del Buzzer y el motor vibratorio para verificar que se encienden cuando hay una mala inclinación.

5.1.6 Test de software	Subsistema prueba	software
	¿Prueba de despliegue?	Si/No
Descripción: Prueba de funciones y características del software para el uso del sistema.		

Prerrequisitos

- 1. Verificación de conectividad entre nodos de comunicación**
- 2. Análisis de requerimientos del prototipo**
- 3. Estudio de programación en C++ para Visual Studio.**
- 4. Análisis de funcionamiento de KNN**

Pasos:

1. Configuración del método de análisis de inclinación del sensor en el Arduino Uno
2. Transmisión y recepción de datos entre NRF24L01.
3. Análisis del software a utilizar como aplicación para visualizar los datos de las mediciones, mediante el algoritmo de aprendizaje autónomo KNN
4. Creación de la aplicación para la muestra de información.
5. Almacenamiento del registro de fallos en un documento de Excel.

Resultado esperado:

Se espera que el SEEPES funcione de manera correcta, el algoritmo debe predecir correctamente el movimiento realizado y que el lenguaje de programación aprendido sea útil para la elaboración del proyecto en el Software Visual Studio, así como también se espera desarrollar una aplicación que contenga la visualización y registro de fallos de cada deportista.

Resultado obtenido:

Se logró realizar el método de análisis de inclinación del sensor en el Arduino Uno mediante el análisis de aceleración del eje X del ADXL345, el programa se compilo sin

errores y se completó la conexión entre nodos de comunicación. Se seleccionó la base de datos de repeticiones buenas y malas para comparar con los datos entrantes y a su vez comparar con el algoritmo de KNN de datos entrantes como muestra la figura 72.

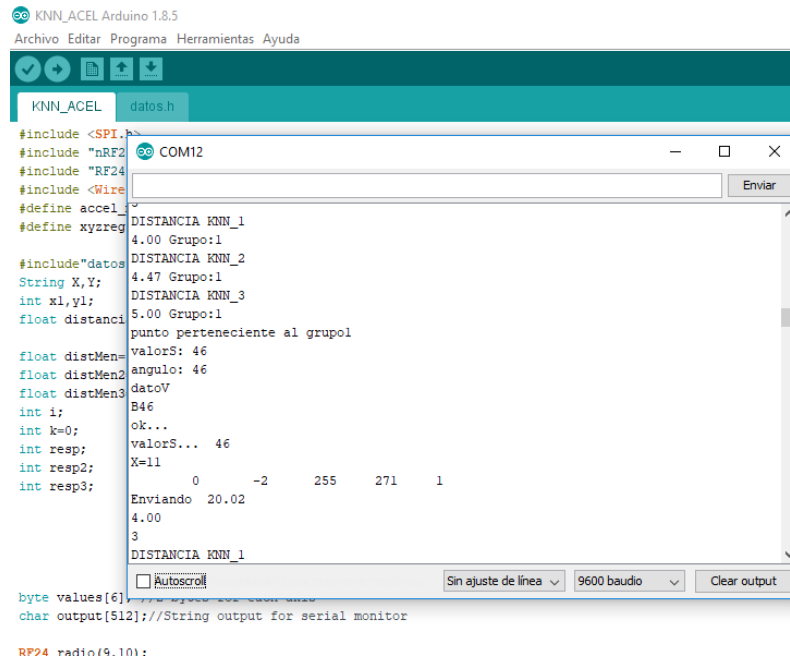


Figura 74. Análisis de KNN en nodos esclavos

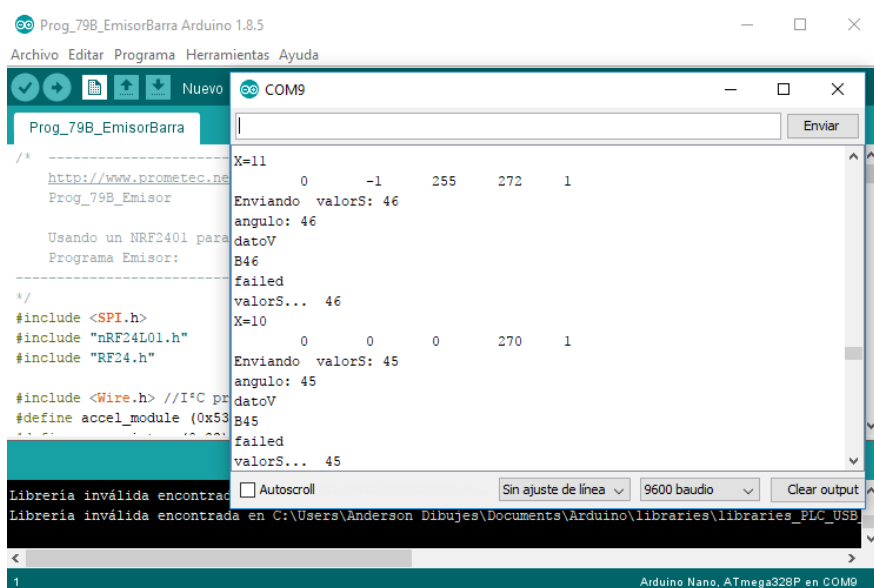
Fuente: [IDE Arduino-Elaboración Propia]

En la figura 74 Se puede apreciar en el monitor serial en el monitor serial de Arduino el cálculo de las 3 distancias más cercanas, y a su vez la etiqueta que le da al dato entrante. En este caso como esta en forma horizontal muestra que se encuentra en el grupo 1, que significa que está correcto, caso contrario mostrara grupo 2 y se encenderá la alarma de alerta.

Los datos dentro de la aplicación pudieron ser interpretados para dar movimiento a dos figuras que simulan la silueta de la espalda y la silueta de una barra con pesas. Se verifico que el registro de fallos de cada serie se almacena en un archivo de Excel el cual puede ser manipulado por la persona encargado del gimnasio para las correcciones pertinentes.

Pruebas de acelerómetro ADXL345

Esta prueba se basa en evaluar si el nodo de comunicación es capaz de medir el ángulo de inclinación correctamente sin generar errores de forma continua. Así como también se pudo verificar si los 3 ejes del Acelerómetro están funcionando correctamente. Se establece un rango de $45^\circ=0^\circ$, esto quiere decir que si el sensor transmite B45 corresponde a 0° , esta relación ayuda a determinar si el sensor está inclinado para una posición o para la posición contraria.



```
Prog_79B_EmisorBarra Arduino 1.8.5
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Nuevo COM9
Prog_79B_EmisorBarra Enviar
/*
  http://www.prometec.net
  Prog_79B_Emisor
  Usando un NRF2401 para
  Programa Emisor:
*/
#include <SPI.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"

#include <Wire.h> //I²C para
#define accel_module (0x53)
// ...

X=11
0 -1 255 272 1
Enviando valorS: 46
angulo: 46
datoV
B46
failed
valorS... 46
X=10
0 0 0 270 1
Enviando valorS: 45
angulo: 45
datoV
B45
failed
valorS... 45
Autoscroll Sin ajuste de línea 9600 baudio Clear output
Librería inválida encontrada en C:\Users\Anderson Dibujes\Documents\Arduino\libraries\libraries_PLC_USB
Librería inválida encontrada en C:\Users\Anderson Dibujes\Documents\Arduino\libraries\libraries_PLC_USB
1 Arduino Nano, ATmega328P en COM9
```

Figura 75. Medición de ángulo de inclinación de la barra horizontal.

Fuente: [Arduino Software monitor serial nodo barra]

Como se observa en la figura 75 el Valor enviado si es B45 por lo cual se determina que la relación antes mencionada está funcionando correctamente y el acelerómetro esta calibrado y transmitiendo los datos.

5.1.7 Test de aplicación	Subsistema prueba	Aplicación
	¿Prueba de despliegue?	Si/No
<p>Descripción:</p> <p>Prueba de diseño del prototipo basado en la aplicación para entrenador del Gimnasio de la Universidad Técnica del Norte</p>		
<p>Prerrequisitos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluar el sistema activo y Pasivo 2. Evaluar el sistema eléctrico 3. Evaluar el software y hardware 		
<p>Pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cargar la base de datos del registro de entrenamiento. 2. Visualizar los datos censados. 3. Listar los errores de cada deportista en cada serie. 4. Visualizar los resultados. 		
<p>Resultado esperado:</p> <p>Se espera que el test de aplicación ratifique la conectividad de todo el SEEPES conectado con la aplicación para la visualización del movimiento y registro de fallos en la base de datos.</p>		

Resultado obtenido:

Se verificó el funcionamiento de la aplicación para la visualización del movimiento en tiempo real y a su vez muestra el conteo de repeticiones y una alerta en caso de haber una mala

postura ya sea en la barra o en la espalda baja. Se creó una lista de errores tanto del nodo del cinturón como del nodo en la barra los cuales irán almacenados conjuntamente con los datos de cada usuario.

Prueba de Visualización y Registro de errores

Se realizó varias pruebas con diferentes miembros del club de físico culturismo para lo cual realizaron el ejercicio de sentadilla con barra libre sin tener la vigilancia de un entrenador. Se comprobó que el SEEPES puede visualizar y realizar un seguimiento continuo del ejercicio en tiempo real con un pequeño retardo en la forma de representar la silueta de la espalda.

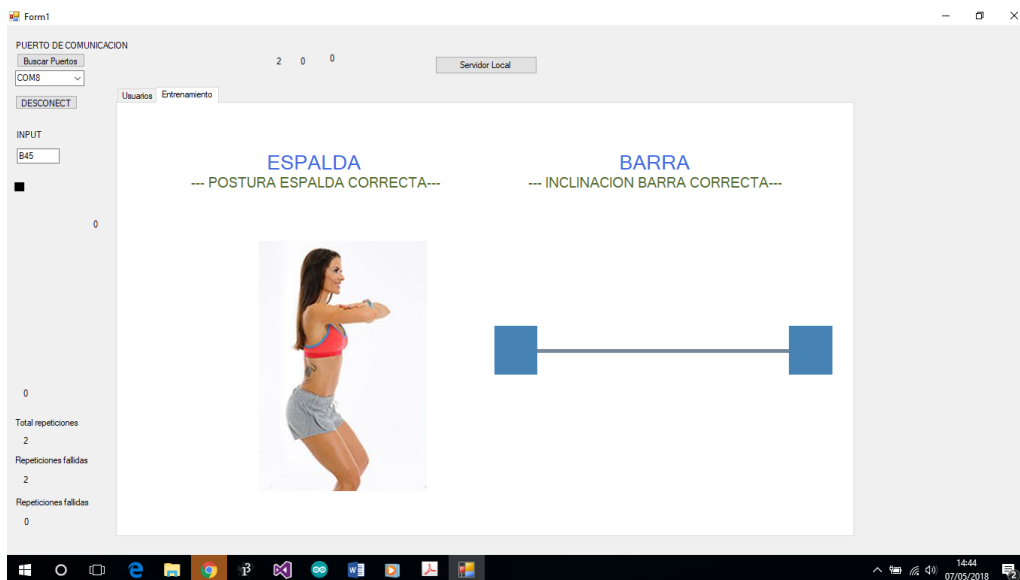


Figura 76. Interfaz gráfica de la visualización del ejercicio.

Fuente: [Aplicación-Elaboración propia]

En la figura 76 se puede apreciar un mensaje indicando cuando se encuentra realizando bien el ejercicio tanto en la inclinación de la espalda como en la inclinación de la barra. En la parte inferior izquierda se muestra el total de repeticiones realizadas, conteo de repeticiones fallidas.

REPETICION	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	SERIE 4	SERIE 5
Totales:	14	2	0	0	0
Incorrecta:	0	1	0	0	0
Incorrecta:	0	0	0	0	0

Figura 77. Registro de Fallos de miembro de club de físico culturismo

Fuente: [Elaboración Propia]

En la figura 77 se puede observar un registro de datos en un documento de Excel el cual contiene el nombre del usuario, la fecha actual, el número de serie, y el conteo de repeticiones. Como se puede observar en la figura el número de repeticiones totales fue de 14. El deportista analizado ya posee algunos años de experiencia realizando ejercicio por lo que no mostro fallos en el movimiento.

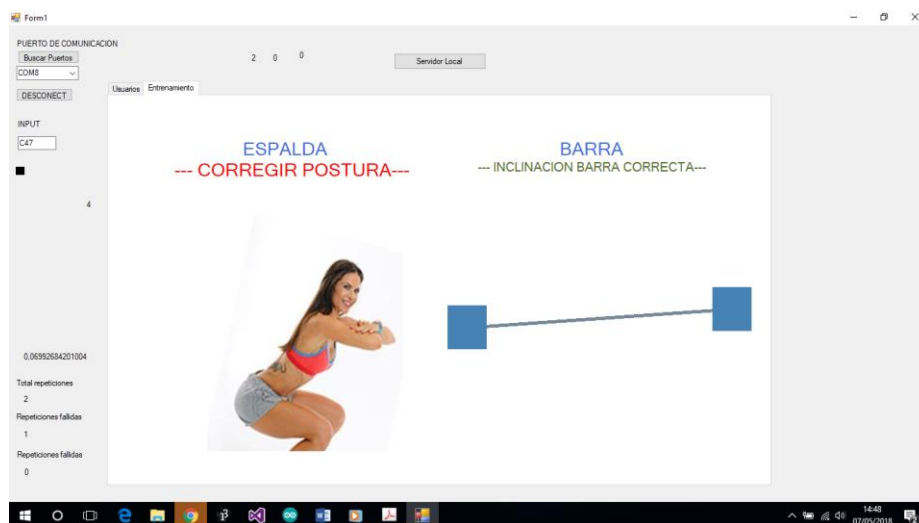


Figura 78. Visualización de una repetición fallida de espalda baja.

Fuente: [Aplicación -Elaboración Propia]

La figura 78 indica la interfaz de la aplicación en la cual contiene dos objetos que se mueven de acuerdo al movimiento de la espalda y de la barra. Existen dos tipos de mensaje uno con letras color Verde y otras con color Rojo que se actualizan automáticamente.

El color verde denota que está en una correcta posición y el color Rojo indica que debe corregir su posición inmediatamente. En la parte inferior izquierda se muestra el contador de repeticiones por cada serie.

5.1.8 Test Funcional	Funcionalidad	Prueba
	¿Prueba de despliegue?	Si/No
<p>Descripción:</p> <p>Prueba de la funcionalidad del proyecto dentro del gimnasio de la Universidad técnica del norte.</p>		
<p>Prerrequisitos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pasar las pruebas de diseño 2. Subsistemas listos para probarse en conjunto 3. Prototipo del sistema implementado en la espalda baja y en la barra 		
<p>Pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pruebas de encendido de SEEPES. ✓ Medición de ángulos a través del sensor acelerómetro ✓ Encendido de la alarma sonora y motor vibratorio de acuerdo con parámetros de la inclinación del deportista. ✓ Envío de los datos a la aplicación para la visualización de errores. 		

Resultado esperado:

Se espera que el SEEPES se encienda de una forma normal, los sensores tomen los datos de forma correcta para de esa forma accionar la alarma sonora en caso de mala ejecución del ejercicio y posteriormente los datos se envíe a la aplicación sin errores.

Resultado obtenido:

El SEEPES funciona correctamente, se logró medir con exactitud el ángulo de inclinación de la espalda baja y de la barra, se comprobó el encendido de la alarma y motor vibratorio cuando el deportista realice una mala inclinación de la espalda o gire la barra. Finalmente, el SEEPES pudo interpretar los datos generados por los sensores mostrando el movimiento en tiempo real y a la vez almacenando el conteo de errores en el archivo de Excel.

Se realizó un monitoreo tanto a hombres como a mujeres en un total de 10 personas, como muestra la figura 77, la interfaz indica al entrenador cuando exactamente se está realizando una mala postura, se puede observar que el número de repeticiones fallidas ha aumentado en 4. Mientras que el total de repeticiones fue de 16.



Figura 79. Pruebas del SEEPES en mujeres miembros del club de físico culturismo de la UTN.

Fuente: [Elaboración Propia]

Como muestra la figura 79 el SEEPES pudo determinar que existe mayor probabilidad de errores en las mujeres más que en los hombres, así como también al incrementar el peso de entrenamiento el porcentaje de error va aumentando gradualmente como se observa en la figura que muestra el registro.

5.1.9 Test de Requerimientos	Prueba de:	Requerimientos
	¿Prueba de despliegue?	Si/No
<p>Descripción:</p> <p>Prueba de requerimientos del sistema de evaluación de postura de la espalda al realizar el ejercicio de sentadilla con barra libre en miembros del club de físico culturismo de la</p>		

Universidad Técnica del Norte.

Prerrequisitos

1. Culminado el test de diseño
2. Culminado el test de funcionalidad
3. Prototipo funcionando al 95 %
4. Prototipo implementado en la espalda.

Pasos:

- ✓ Verificar facilidad de uso del SEEPES
- ✓ Encendido del sistema claro, facilidad de uso
- ✓ Alerta de fallos por sistema de alarma identificable
- ✓ El SEEPES debe ser potable y liviano
- ✓ El SEEPES No debe presentar inconvenientes al usuario al momento de realizar el ejercicio
- ✓ Independiente de la estatura y peso

Resultado esperado:

Cumplir con todos los requerimientos del usuario, lograr que el SEEPES se pueda implementar en el establecimiento y posterior mente salga a la venta.

Resultado obtenido:

Se puede comprobar que se tiene una facilidad del uso del SEEPES y que el material del cinturón de cuero tiene una comodidad al realizar el ejercicio y a su vez no interrumpe en la realización del mismo.

Se puede escuchar claramente la alarma sonora y el usuario está entrenado para reconocer el significado de la alerta y a su vez el entrenador puede visualizar esos datos dentro de la aplicación o en el archivo de registro.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	NOMBRE:	Jason Espinoza						
2	Fecha:	20/02/2018 17:28:29						
3	REPETICIONES	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	SERIE 4	SERIE 5		
4	Totales:	16	0	0	0	0		
5	Incorrecta:	8	0	0	0	0		
6	Incorrecta:	5	0	0	0	0		
7								
8								

Figura 80. Registro de Repeticiones Totales y Fallidas.

Fuente: [Elaboración Propia]

En la figura 80 indica que se pudo analizar y registrar los conteos de repeticiones de cada deportista para luego ser revisados por el entrenador y los datos ser visualizados en un archivo de Excel.

Prueba de Eficiencia del Censado.

El resultado que se desea lograr en esta prueba es preciso al alertar en tiempo real la mala postura tanto del cinturón y de la barra. El conteo de repeticiones tanto de totales y de fallidas tuvo un margen de error menor al 10% tomando en cuenta que una de las personas censadas realizaba el ejercicio muy rápido lo cual genera errores en la medición.

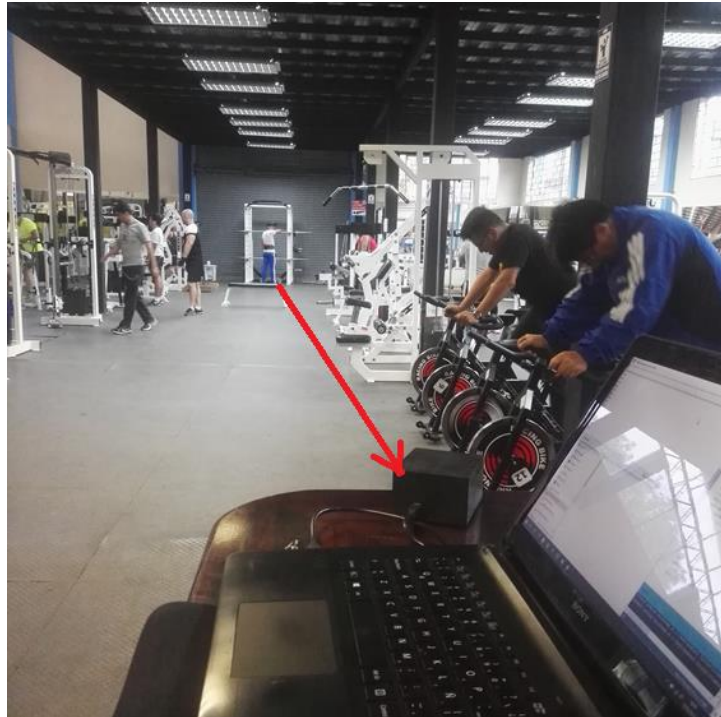


Figura 81. Prueba de conexión inalámbrica entre nodos de comunicación en el Gimnasio.

Fuente: [Gimnasio Universidad Técnica del Norte-Elaboración Propia]

Como se aprecia en la figura 81 los nodos de comunicación están conectados de extremo a extremo dentro del establecimiento lo cual cumple con el requerimiento de portabilidad del SEEPES. Por lo tanto, se puede implementar dentro de la computadora del entrenador sin ningún problema. La eficacia de la transmisión de datos fue exitosa sin tener datos erróneos debido a la presencia de obstáculos en el campo de vista.

CAPITULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones.

Debido a la variación de medida de datos de los sensores acelerómetros se pueden definir rangos que permiten diferenciar entre una inclinación correcta y una inclinación incorrecta de la espalda al realizar el ejercicio de sentadilla con barra libre, el sistema solo es aplicado al ejercicio de sentadilla con barra libre a 90° presentado en la investigación.

El software y el hardware seleccionados fueron los que obtuvieron mejor calificación a la hora de presentar un sistema que se adapte al funcionamiento del sistema tanto en la toma de datos, transmisión y procesamiento de la señal, para esto se tomaron en cuenta criterios de requerimientos de Sistema y arquitectura de la Norma IEEE-29148.

Luego de un análisis en la toma de datos de los sensores usando el algoritmo de aprendizaje autónomo KNN (Vecinos más cercanos) se logró establecer un rango para evaluar las posiciones correctas e incorrectas de los deportistas, con una eficiencia de acierto del 92%, resultado obtenido de un estudio realizado a un total de 10 deportistas con un total de 15 repeticiones cada uno dando un total de 150 muestras.

El resultado del análisis del monitoreo de la espalda en miembros del club de físico culturismo sometidos a entrenamientos de alto rendimiento con pesos máximos fue de un 80% de repeticiones correctas cuando se realiza menos de 10 repeticiones y un 70% cuando se realiza

15 repeticiones, es decir que el deportista tiende a realizar un mal ejercicio de acuerdo al aumento de repeticiones totales con máximo peso.

En base a las encuestas realizadas a 23 miembros del club de fisicoculturismo de la universidad técnica del norte, se pudo determinar que en general los fisicoculturistas de la institución tienen escasos conocimientos sobre la postura adecuada a tomar durante la realización de una sentadilla, pese a que se les ha impartido instrucciones, algunos miembros del club han sufrido molestias musculares en la espalda baja por la mala realización del ejercicio, por lo que es necesario un seguimiento continuo del mismo.

Se planteó 2 algoritmos de aprendizaje autónomo KNN y SVM, para ambos casos se realizó la prueba de eficiencia en la predicción de errores. El algoritmo que obtuvo menos errores en la predicción fue KNN para lo cual se realizó pruebas para obtener el valor de K indicado para un mayor porcentaje de predicciones correctas. Luego de realizar el test final como conclusión se obtuvo que el valor de K será de 3 ya que obtuvo un 100% de acierto en la predicción de errores.

Utilizar una batería de 9V recargable fue la forma más económica para alimentar el sistema, en las pruebas realizadas se tuvo una duración de 6 horas en continuo monitoreo, por lo cual rinde normalmente un día de entrenamiento.

Este sistema está basado en sensores inerciales de tecnología actual y se está orientando a la miniaturización de los dispositivos, y cada vez más se propone fusionar los elementos

mecánicos con la electrónica, basados en estos antecedentes, la tecnología MEMs hoy en día está alcanzando mucha fuerza en la investigación de proyectos y en la implementación de tecnología electrónica en el cuerpo humano y es imprescindible profundizar en su estudio y posibles aplicaciones.

5.2 Recomendaciones:

Realizar una placa electrónica para las conexiones y no tener problemas cuando se sueltan algunos cables, recubrir la placa con algún material resistente debido a que el sistema está expuesto a golpes físicos o movimientos bruscos.

Educar a los usuarios como ubicar los sensores de tal manera que el cinturón quede correctamente centrado y el nodo de la espalda baja tome correctamente las medidas, así también en el nodo de la barra ubicar correctamente de manera que quede suspendido de manera horizontal. Usar una cinta bypass para colocar la batería debido a que es removible y su mal ubicación puede perjudicar el funcionamiento de algún dispositivo

Cuando el sistema se encuentre en funcionamiento evitar que este sufra golpes y caídas fuertes que podrían provocar desconexión de cables y elementos dentro del mismo.

.Para incursionar con este dispositivo en otras investigaciones es indispensable el uso del mismo transmisor para obtener en un solo Nodo master los datos de otras partes del cuerpo y así tener un análisis del movimiento de sentadillas completo.

Se recomienda configurar el canal de comunicación del Transceiver de forma correcta ya que si el receptor y el transmisor no se encuentran en la misma frecuencia no existirá transmisión de datos. El acelerómetro ADXL345 es muy sensible a cambios de aceleración debido a movimientos bruscos por eso se recomienda que se trabaje con un filtro pasa alto para excluir estos datos que provocan errores en la medición del sistema.

Es recomendable que la investigación de nuevas tecnologías y sus aplicaciones se haga a todo nivel, desde proyectos de titulación, tesis y por parte de grupos designados por la Universidad para realizar dichos trabajos.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDREU, J. (2011). *Redes inalámbricas (Servicios en red)*. España: Editex.
- ANSELMÍ, H. (2007). *Actualizaciones sobre entrenamiento de la potencia*. Buenos Aires, Argentina: Anselmi.
- Arduino. (2012). *What is Arduino?* Obtenido de <http://www.engineersgarage.com/articles/arduino>
- BAHR, R., & MAEHLUM, S. (2007). *Lesiones Deportivas*. Madrid, España: Medica Panamericana.
- CACERES, B., ANGULO, P., & CUENCA, M. (2014). *EFICACIA DE LA INTERVENCIÓN EDUCATIVA SOBRE ERGONOMÍA FÍSICA, APLICADA EN EL DESPEGUE DE LA MODALIDAD DE ARRANQUE*. Cuenca, Ecuador.
- CAMARGO, N. (2013). *La enseñanza de la ergonomía en México*. Rio de Janeiro: Arcos Design.
- CAPPA, D. (2000). *Entrenamiento de la potencia muscular*. Argentina: Mendoza.
- CASCO, M. (2014). *Raspberry Pi, Arduino y Beaglebone Black Comparación y Aplicaciones*. Asunción Paraguay: Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción.
- CAZAR, V. (2014). *Política y Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional de la Universidad Técnica del Norte*. Ibarra: Ibarra.
- Consejo Superior de Deportes. (28 de 10 de 2017). Obtenido de <http://www.csd.gob.es/csd/salud>
- CRESEY, E. (2008). *Maximum Strength*. Hachette Ucrania: Hachette .
- CUREY, R. (2004). *Proposed IEEE inertial systems terminology standard and other inertial sensor standards*. Woodland Hills USA: Northrop Grumman Navigation.
- DELAVER, F. (2007). *GUÍA DE LOS MOVIMIENTOS DE MUSCULACIÓN. DESCRIPCIÓN ANATÓMICA*. Barcelona. España: Editorial Paidotribo.
- DIGGIN, E. (2001). "A BIOMECHANICAL ANALYSIS OF FRONT VERSUS BACK SQUAT: INJURY IMPLICATIONS". *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 1-4.
- ESCAMILLA, R. (2001). *Knee biomechanics of dynamic squat exercise*. Durham, USA: Duke University Medical Center.
- FEI, Y., & SONG, Y. (2014). Sensor Network cuerpo inalámbrica basada en micro-IMU. *IEEE*, 2-3.
- FERNANDEZ, S., & CORDOBA, A. (2012). *Estadística descriptiva*. Madrid: ESIC Editorial.
- FITZGERALD, R., & KAUFER, H. (2004). *Ortopedia Vol 2*. Buenos Aires, Argentina: Médica Panamericana.
- FLORES, M. (2012). *Ergonomía de un velocista profesional*. Rioja. Obtenido de http://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/1142/2012_10_08_TFM
- FRIEDMAN, A., & MILES, S. (2006). *Stakeholders: Theory and Practice*. New York: OUP Oxford.
- GENAIDY, A., & HOUSHYAR, A. (1989). Biomechanical Tolerance Limits for manual lifting task, a toll to control back injuries. *IEEE*, 803-809.

- GONZALES, C., & VAAMONDE, A. (2013). *Graficos estadisticos y mapas con R*. Vigo, España: Ediciones Diaz de Santos.
- GULLET, J. (2008). A Biomechanical Comparison of Back and Front Squats in Healthy Trained Individuals. *Journal. Strength and Conditioning Research*, 3-5.
- HEJEDUS, J. (1991). *Enciclopedia de la musculación deportiva*. Argentina: Stadium.
- HUTTER, M., & SERVEDIO, R. (2007). Algorithmic Learning Theory. *18th International Conference, ALT 2007*, 33-37.
- Lambert , M., & Miriam , T. (2010). *Proteus (Design Software)*. Saarbrücken, Alemania: VDM Publishing.
- LAVORATO , M. (2010). *La sentadilla ¿es un ejercicio potencialmente lesivo?* Buenos Aires, Argentina: Departamento de Investigación y Desarrollo, Fortia.
- LOPEZ, J. (25 de 01 de 2014). *Ergonomia del Deporte*. Recuperado el 28 de 10 de 2017, de <https://sportadictos.com/2014/01/ergonomia-del-deporte>
- MANZANARES DEL MORAL, A. (2008). *Estudio de Modelos matemáticos de Acelerómetros Comerciales*. Sevilla, España: Sevilla.
- MILLER, M. (2005). *Biomecánica clínica de los tejidos articulares del aparato locomotor*. España: Editorial Masson.
- MONDELO, P., TORADA, E., & BOMBARDO, P. (2001). *Mondelo PR, Torada EG, Bombardó PB. Ergonomia I. Fundamentos*. (Primera ed.). Cataluña: Universidad Politecnica de Cataluña. Obtenido de <http://www.cooperativasdegalicia.com/imagenes/programas/pdf>
- MURELL, H. M. (1971). *Ergonomia* . USA: Econ-Verlag.
- NOVÂK, I. (2011). *Beginning Microsoft Visual Studio LightSwitch Development*. Indiana: John Wiley & Sons.
- OLVERA, I. (2015). Como elegir un sensor. *Reportero Industrial*, 2-4. Obtenido de www.reporteroindustrial.com
- ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. (27 de 09 de 2017). *OMS: Temas de Salud*. Recuperado el 27 de 09 de 2017, de <http://www.who.int/topics/es/>.
- OSORIO, J., Clavijo, M., & Arango, E. (2007). *Lesiones deportivas*. España: Latreia.
- RAJAGURU, H., & PRABHAKAR, S. (2017). *KNN Classifier and K-Means Clustering for Robust Classification of Epilepsy from EEG Signals*. Diplom.
- RODRIGUEZ, D. (2014). *Sistemas para determinar la posición y orientación de herramientas quirúrgicas en operaciones de cirugía laparoscópica*. Valladolid: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.
- ROETENBERG, D. (2013). Xsens MVN: Full 6DOF Human Motion Tracking Using Miniature Inertial Sensors. *XSENS TECHNOLOGIES*, 20-25.
- SALAZAR , J. (2015). REDES INALÁMBRICAS. *TECHPEDIA*, 40.
- SANCHEZ, R. (1992). *Medicina del ejercicio Fisico*. Madrid, España: Madrid.

- SHAEFFER, D. (2013). MEMS inertial sensors: A tutorial overview. *Communications Magazine IEEE*, 100-109.
- SOMMERVILLE, I. (2005). *Ingeniería de Software*. Madrid, España: Pearson Editorial.
- TUFTE, E. (1997). *Visual Explanations: Images and Quantities, Evidence and Narrative*. Kansas, USA: Graphics Press.
- VASQUEZ, J. (2014). *Reglamento general del uso y funcionamiento del gimnasio de Especialidades*. Ibarra: Universidad Tecnica del Norte.
- VILLADOT, A. (2001). *Lecciones Básicas de Biomecánica del aparato locomotor*. España: Springer & Business Media.
- WELCH, S. (2016). *An Introduction to the Kalman Filter*. Carolina del Norte, USA: Universidad de Carolina del Norte.
- YEUNG, A., & CHOW, D. (2000). Corelation between static / dinamic squat lifting capacity and back / knee strength in Chinese male adults. *IEEE*, 2452-2455.

Glosario

CIERCOM: Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación.

ESP8266: Microcontrolador Integrado con WI-FI.

EAGLE: programa Eagle es un software de diseño electrónico de realización de esquemas y circuitos impresos con vistas 3D.

GUI: Interfaz gráfica de usuario del inglés Graphical User Interface.

Interfaz C/C++: conjunto de funciones que se establecen para llamar al diver con la operación requerida.

IEEE 29148. Esta norma Internacional proporciona un tratamiento unificado de los procesos

Language C: lenguaje de programación muy utilizado con estructura en funciones.

Modelo en V: define un procedimiento uniforme para el desarrollo de productos.

PCB: Placa de Circuito Impreso. RGB: siglas en inglés de red, Green, blue es la composición del color en términos de la intensidad de los colores primarios de la luz.

Stakeholders: persona u organización que tenga un derecho, acción, reclamo, o interés en un sistema o en su posesión características que satisfagan sus necesidades y expectativas.

WLAN: Wireless Local Area Network.

Kinesiólogos: Persona encargada del estudio científico del movimiento humano empleando los principios de las ciencias físicas.

Biomecánica: Ciencia que estudia las fuerzas y las aceleraciones que actúan sobre los organismos vivos.

Halterofilia: Deporte que consiste en el levantamiento de halteras o pesas.

Lumbalgia: Trastorno doloroso común que afecta la zona inferior de la columna vertebral.

Morfología: Parte de la lingüística que estudia las reglas que rigen la flexión, la composición y la derivación de las palabras.

Fascia: Membrana fibrosa de tejido conectivo que envuelve los músculos, forma las cápsulas articulares, los tendones y los ligamentos.

Psoas: El músculo psoas ilíaco se origina en la zona lumbar y en la cresta ilíaca y se inserta en el trocánter menor del fémur.

BTL: Acrónimo de Below The Line, debajo de la línea y consiste en emplear formas de comunicación no masivas dirigidas a un segmento específico (target).

Miotómica: Es un síntoma de un cierto número de trastornos neuromusculares y que se caracteriza por la relajación lenta de los músculos después de la contracción involuntaria o la estimulación eléctrica.

Dermatoma: Es el área de piel inervada por un solo nervio raquídeo y su ganglio espinal.

Prednisona: Es un fármaco corticosteroide sintético que se toma usualmente en forma.

Radiculopatía lumbar: También denominada ciática es un dolor que se extiende a lo largo del nervio ciático, desde la espalda baja hasta una o ambas piernas.

Músculos sinergistas: Son aquellos que actúan junto con los agonistas al hacer un movimiento.

Fascia lata: Es un músculo que se encuentra en la parte superior y lateral del muslo, de forma aplanada y delgada.

Sartorio: Es un músculo de la región anterior del muslo, el más superficial, tiene forma de cinta que atraviesa todo el muslo en diagonal hacia dentro y abajo

Vasto interno: Es la porción más medial, es decir, cercana a la línea media del cuerpo, de los músculos cuádriceps.

Vasto externo: Porción más significativa del muslo, cuya función es la flexión de la rodilla

Ilíaco: Es un músculo plano y triangular ubicado en la fosa ilíaca

Curvatura cifótica: Es la curvatura fisiológica de la columna vertebral en la región dorsal

Dominancia sinergista: Se produce cuando un músculo que participa como primer movedor durante un ejercicio, está debilitado, obligando a los sinergistas (músculos que ayudan a producir el movimiento) a realizar todo el trabajo para seguir manteniendo la fuerza.

Presión intra torácica: La presión existente dentro de la caja torácica. Suele ser inferior a la presión de los pulmones.

Electromiografía: Examen que a través de un gráfico registra la actividad de un músculo.

Open Source: (Código abierto) es el término con el que se conoce al software distribuido y desarrollado libremente.

ISP: Internet Service Provider Proveedor de Servicios de Internet.

AVR: Son una familia de microcontroladores RISC del fabricante estadounidense Atmel.

Cabeceo: es una inclinación del morro del avión, o rotación respecto al eje ala-ala

Alabeo. Rotación respecto de un eje morro-cola del avión.

Programación APL: Lenguaje de programación de alto nivel, interactivo, con orientación a algoritmos y procedimientos.

Comunicación I2C: Es un estándar que facilita la comunicación entre microcontroladores, memorias y otros dispositivos con cierto nivel de "inteligencia", sólo requiere de dos líneas de señal y un común o masa.

UART: Son las siglas en inglés de Universal Asynchronous Receiver-Transmitter, en español Transmisor-Receptor Asíncrono Universal

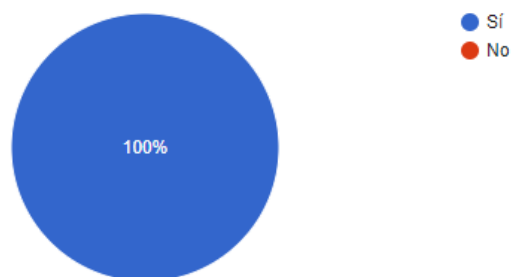
Anexos

Anexo 1. Encuesta

A continuación, se muestran los resultados las encuestas realizadas a los miembros del club de físico culturismo de la Universidad Técnica del Norte. Se realizó un total de 23 encuestas, los resultados se muestran a continuación,

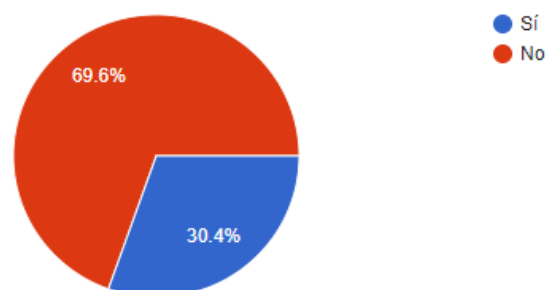
¿Estaría de acuerdo con utilizar un cinturón con un dispositivo capaz de medir la inclinación de su espalda con la finalidad de mejorar su técnica al realizar sentadillas?

23 respuestas



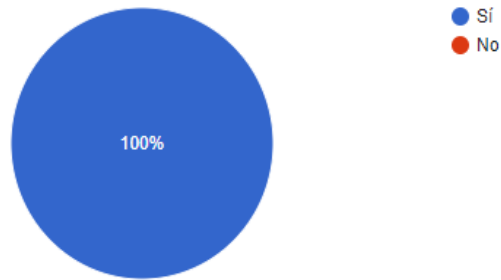
¿Le molestaría tomarse unos segundos antes de realizar el ejercicio para implementarse el sistema?

23 respuestas



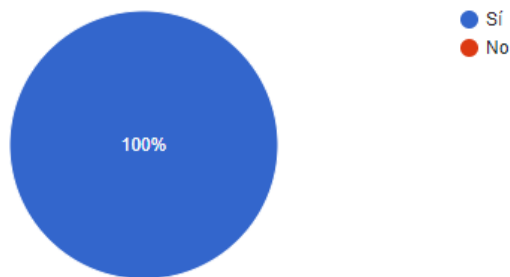
¿Estaría interesado en tener una alarma sonora de alerta temprana para impedir lesiones en su espalda?

23 respuestas



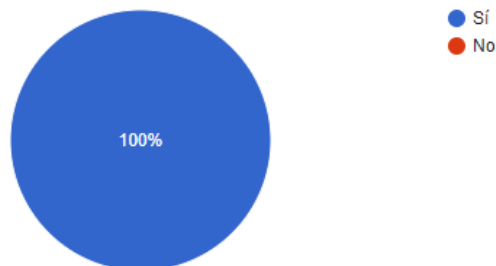
¿Ud. esta de acuerdo que el sistema debe ser aplicable a usuarios de distinto género y estatura?

23 respuestas



¿ Ud. cree que el sistema electrónico debe ser potable y ligero?

23 respuestas





3-Axis, $\pm 2\text{ g}/\pm 4\text{ g}/\pm 8\text{ g}/\pm 16\text{ g}$ Digital Accelerometer

ADXL345

FEATURES

- Ultralow power: as low as 40 μA in measurement mode and 0.1 μA in standby mode at $V_S = 2.5\text{ V}$ (typical)
- Power consumption scales automatically with bandwidth
- User-selectable resolution
 - Fixed 10-bit resolution
 - Full resolution, where resolution increases with g range, up to 13-bit resolution at $\pm 16\text{ g}$ (maintaining 4 mg/LSB scale factor in all g ranges)
- Embedded, patent pending FIFO technology minimizes host processor load
- Tap/double tap detection
- Activity/inactivity monitoring
- Free-fall detection
- Supply voltage range: 2.0 V to 3.6 V
- I/O voltage range: 1.7 V to V_S
- SPI (3- and 4-wire) and I²C digital interfaces
- Flexible interrupt modes mappable to either interrupt pin
- Measurement ranges selectable via serial command
- Bandwidth selectable via serial command
- Wide temperature range (-40°C to $+85^\circ\text{C}$)
- 10,000 g shock survival
- Pb free/RoHS compliant
- Small and thin: 3 mm \times 5 mm \times 1 mm LGA package

APPLICATIONS

- Handsets
- Medical instrumentation
- Gaming and pointing devices
- Industrial instrumentation
- Personal navigation devices
- Hard disk drive (HDD) protection
- Fitness equipment

GENERAL DESCRIPTION

The ADXL345 is a small, thin, low power, 3-axis accelerometer with high resolution (13-bit) measurement at up to $\pm 16\text{ g}$. Digital output data is formatted as 16-bit twos complement and is accessible through either a SPI (3- or 4-wire) or I²C digital interface.

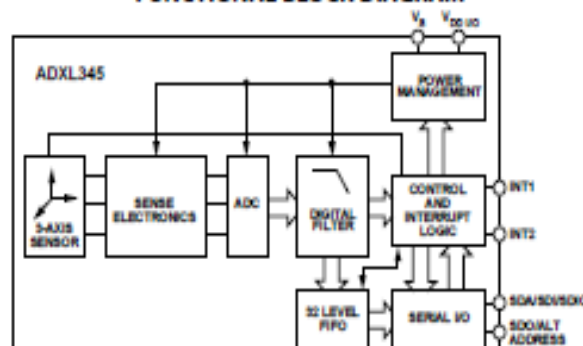
The ADXL345 is well suited for mobile device applications. It measures the static acceleration of gravity in tilt-sensing applications, as well as dynamic acceleration resulting from motion or shock. Its high resolution (4 mg/LSB) enables measurement of inclination changes less than 1.0° .

Several special sensing functions are provided. Activity and inactivity sensing detect the presence or lack of motion and if the acceleration on any axis exceeds a user-set level. Tap sensing detects single and double taps. Free-fall sensing detects if the device is falling. These functions can be mapped to one of two interrupt output pins. An integrated, patent pending 32-level first in, first out (FIFO) buffer can be used to store data to minimize host processor intervention.

Low power modes enable intelligent motion-based power management with threshold sensing and active acceleration measurement at extremely low power dissipation.

The ADXL345 is supplied in a small, thin, 3 mm \times 5 mm \times 1 mm, 14-lead, plastic package.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



Comunicación I2C

I²C

With \overline{CS} tied high to $V_{DD\ I/O}$, the ADXL345 is in I²C mode, requiring a simple 2-wire connection as shown in Figure 8. The ADXL345 conforms to the *UM10204 I²C-Bus Specification and User Manual*, Rev. 03—19 June 2007, available from NXP Semiconductor. It supports standard (100 kHz) and fast (400 kHz) data transfer modes if the timing parameters given in Table 11 and Figure 10 are met. Single- or multiple-byte reads/writes are supported, as shown in Figure 9. With the SDO/ALT ADDRESS pin high, the 7-bit I²C address for the device is 0x1D, followed by the R/W bit. This translates to 0x3A for a write and 0x3B for a read. An alternate I²C address of 0x53 (followed by the R/W bit) can be chosen by grounding the SDO/ALT ADDRESS pin (Pin 12). This translates to 0xA6 for a write and 0xA7 for a read.

If other devices are connected to the same I²C bus, the nominal operating voltage level of these other devices cannot exceed $V_{DD\ I/O}$ by more than 0.3 V. External pull-up resistors, R_p , are necessary for proper I²C operation. Refer to the *UM10204 I²C-Bus Specification and User Manual*, Rev. 03—19 June 2007, when selecting pull-up resistor values to ensure proper operation.

Table 10. I²C Digital Input/Output Voltage

Parameter	Limit ¹	Unit
Digital Input Voltage		
Low Level Input Voltage (V_{IL})	$0.25 \times V_{DD\ I/O}$	V max
High Level Input Voltage (V_{IH})	$0.75 \times V_{DD\ I/O}$	V min
Digital Output Voltage		
Low Level Output Voltage (V_{OL}) ²	$0.2 \times V_{DD\ I/O}$	V max

¹ Limits based on characterization results; not production tested.

² The limit given is only for $V_{DD\ I/O} < 2\text{ V}$. When $V_{DD\ I/O} > 2\text{ V}$, the limit is 0.4 V max.

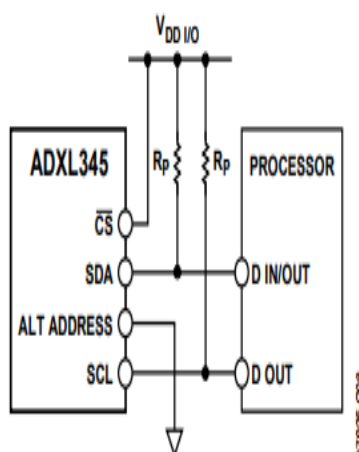


Figure 8. I²C Connection Diagram (Address 0x53)

Anexo 3: Permisos otorgados

Lic. Juan Vásquez

Coordinador del Gimnasio de la UTN

Presente

Por medio del presente, le reitero un cordial saludo. Como estudiantes e la carrera de CIERCOM. Calderón Brayan, Dibujes Anderson, Maldonado Lizandro pretendemos desarrollar un proyecto de aula (prototipo electrónico) que mejore las condiciones de entrenamiento de los deportistas dentro del Gimnasio de la UTN, por lo que necesitamos se nos otorgue los permisos correspondientes para realizar encuestas, entrevistas y pruebas de funcionamiento dentro del gimnasio para el correcto desarrollo del proyecto de aula.

Razón por la cual se espera contar con su autorización para llevar a cabo estas actividades mencionadas con anterioridad.

Éxitos en sus actividades cotidianas.

FIRMA:

Lic. Juan Vásquez

Coordinador del gimnasio de la UTN



ENTREVISTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FICA_CIERCOM

03-07-2017

ENTREVISTA

Destinada a: Javier LLumiQuinga "Instructor del Gimnasio de la Universidad Técnica del Norte"




Objetivo de la entrevista: BRADILI SH Queremos que Javier instructor actual del Gimnasio de la Universidad Técnica del norte nos cuente lo que sabe acerca del ejercicio de la sentadilla con barra libre tradicional.

1. ¿Cuál es el sistema de ~~entrenamiento~~ ^{entrenamiento} para hacer los ejercicios dentro del Gimnasio?
2. ¿En qué consiste la sentadilla ~~tradicional~~ con barra libre ~~existe alguna técnica~~ específica para realizar el ejercicio? ~~Lo sentadilla~~
3. ¿Con que frecuencia se incluye la sentadilla en la rutina de entrenamiento del físico culturista y por qué?
4. ¿Cuáles son los riesgos de realizar mal una sentadilla?
~~Que~~ ~~Corre al~~

Javier Llumiquinga
Instructor del Gimnasio de la UTN





Entrevista al encargado del gimnasio de la Universidad Técnica del Norte

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FICA_CIERCOM		
		
Objetivo: Entrevistar al instructor del gimnasio de la UTN		
Fecha: 29-05-2017		
Participantes	Anderson Dibujes	
	Javier Llumiquinga	
Temas a tratar: Entrevista al instructor del gimnasio de la Universidad Técnica del Norte.		
Observaciones <ul style="list-style-type: none">- Conceptos básicos y técnicos de sentadilla aclarados.- Existencia de miembros del club de Fútbol Continuo con lesiones al no realizar el ejercicio correctamente.- Existe un asesoramiento.		
Siguiente reunión:		

Autorización para realizar entrevistas y encuestas en el gimnasio de la UTN



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FICA_CIERCOM**

Objetivo: Autorización para realizar entrevistas y encuestas en el gimnasio de la UTN dirigido al Lic. Juan Vásquez	
Fecha: 29-05-2017	
Participantes	Anderson Dibujes 
	Lic. Juan Vásquez 
Temas a tratar: Informe de actividades propuestas a realizarse en el gimnasio de la UTN	
Observaciones - Tener contacto continuo con el personal de dirección para seguimiento al proyecto.	
Siguiente reunión:	

Anexo 4: Datasheet de transceiver NRF24L01



1.1 Features

Features of the nRF24L01+ include:

- Radio
 - ▶ Worldwide 2.4GHz ISM band operation
 - ▶ 126 RF channels
 - ▶ Common RX and TX interface
 - ▶ GFSK modulation
 - ▶ 250kbps, 1 and 2Mbps air data rate
 - ▶ 1MHz non-overlapping channel spacing at 1Mbps
 - ▶ 2MHz non-overlapping channel spacing at 2Mbps
 - Transmitter
 - ▶ Programmable output power: 0, -6, -12 or -18dBm
 - ▶ 11.3mA at 0dBm output power
 - Receiver
 - ▶ Fast AGC for improved dynamic range
 - ▶ Integrated channel filters
 - ▶ 13.5mA at 2Mbps
 - ▶ -82dBm sensitivity at 2Mbps
 - ▶ -85dBm sensitivity at 1Mbps
 - ▶ -94dBm sensitivity at 250kbps
 - RF Synthesizer
 - ▶ Fully integrated synthesizer
 - ▶ No external loop filter, VCO varactor diode or resonator
 - ▶ Accepts low cost ± 60 ppm 16MHz crystal
 - Enhanced ShockBurst™
 - ▶ 1 to 32 bytes dynamic payload length
 - ▶ Automatic packet handling
 - ▶ Auto packet transaction handling
 - ▶ 6 data pipe MultiCeiver™ for 1:6 star networks
 - Power Management
 - ▶ Integrated voltage regulator
 - ▶ 1.9 to 3.6V supply range
 - ▶ Idle modes with fast start-up times for advanced power management
 - ▶ 26 μ A Standby-I mode, 900nA power down mode
 - ▶ Max 1.5ms start-up from power down mode
 - ▶ Max 130 μ s start-up from standby-I mode
 - Host Interface
-

5.1 Power consumption

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
Idle modes						
I_{VDD_PD}	Supply current in power down			900		nA
I_{VDD_ST1}	Supply current in standby-I mode	a		26		μ A
I_{VDD_ST2}	Supply current in standby-II mode			320		μ A
I_{VDD_SU}	Average current during 1.5ms crystal oscillator startup			400		μ A
Transmit						
I_{VDD_TX0}	Supply current @ 0dBm output power	b		11.3		mA
I_{VDD_TX6}	Supply current @ -6dBm output power	b		9.0		mA
I_{VDD_TX12}	Supply current @ -12dBm output power	b		7.5		mA
I_{VDD_TX18}	Supply current @ -18dBm output power	b		7.0		mA
I_{VDD_AVG}	Average Supply current @ -6dBm output power, ShockBurst™	c		0.12		mA
I_{VDD_TXS}	Average current during TX settling	d		8.0		mA
Receive						
I_{VDD_2M}	Supply current 2Mbps			13.5		mA
I_{VDD_1M}	Supply current 1Mbps			13.1		mA
I_{VDD_250}	Supply current 250kbps			12.6		mA
I_{VDD_RXS}	Average current during RX settling	e		8.9		mA

- a. This current is for a 12pF crystal. Current when using external clock is dependent on signal swing.
b. Antenna load impedance = $15\Omega + j88\Omega$.
c. Antenna load impedance = $15\Omega + j88\Omega$. Average data rate 10kbps and max. payload length packets.
d. Average current consumption during TX startup (130 μ s) and when changing mode from RX to TX (130 μ s).
e. Average current consumption during RX startup (130 μ s) and when changing mode from TX to RX (130 μ s).

Table 4. Power consumption

5.2 General RF conditions

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
f_{OP}	Operating frequency	a	2400		2525	MHz
PLL_{res}	PLL Programming resolution			1		MHz
f_{XTAL}	Crystal frequency			16		MHz
Δf_{250}	Frequency deviation @ 250kbps			± 160		kHz
Δf_{1M}	Frequency deviation @ 1Mbps			± 160		kHz
Δf_{2M}	Frequency deviation @ 2Mbps			± 320		kHz
R_{GFSK}	Air Data rate	b	250		2000	kbps
$F_{CHANNEL\ 1M}$	Non-overlapping channel spacing @ 250kbps/1Mbps	c		1		MHz
$F_{CHANNEL\ 2M}$	Non-overlapping channel spacing @ 2Mbps	c		2		MHz

- a. Regulatory standards determine the band range you can use.
b. Data rate in each burst on-air
c. The minimum channel spacing is 1MHz

Table 5. General RF conditions

6.3 RF channel frequency

The RF channel frequency determines the center of the channel used by the nRF24L01+. The channel occupies a bandwidth of less than 1MHz at 250kbps and 1Mbps and a bandwidth of less than 2MHz at 2Mbps. nRF24L01+ can operate on frequencies from 2.400GHz to 2.525GHz. The programming resolution of the RF channel frequency setting is 1MHz.

At 2Mbps the channel occupies a bandwidth wider than the resolution of the RF channel frequency setting. To ensure non-overlapping channels in 2Mbps mode, the channel spacing must be 2MHz or more. At 1Mbps and 250kbps the channel bandwidth is the same or lower than the resolution of the RF frequency.

The RF channel frequency is set by the `RF_CH` register according to the following formula:

$$F_0 = 2400 + RF_CH \text{ [MHz]}$$

You must program a transmitter and a receiver with the same RF channel frequency to communicate with each other.

Anexo 5: Algoritmos de aprendizaje autónomo

KNN en R STUDIO

A continuación se muestra el procedimiento que se realizó en el Software R para el procesamiento de datos para determinar la correcta realización de una sentadilla con barra libre. Para efectuar este proceso se procedió a analizar 15 sentadillas buenas y 15 sentadillas malas, y guardar los datos generados para a continuación realizar su respectivo estudio, cabe recalcar que los puntos de aprobación entre sentadilla buena y mala fueron aprobados por 2 profesionales del tema y 2 observadores particulares.

A continuación se detalla los pasos a seguir para la selección de datos.

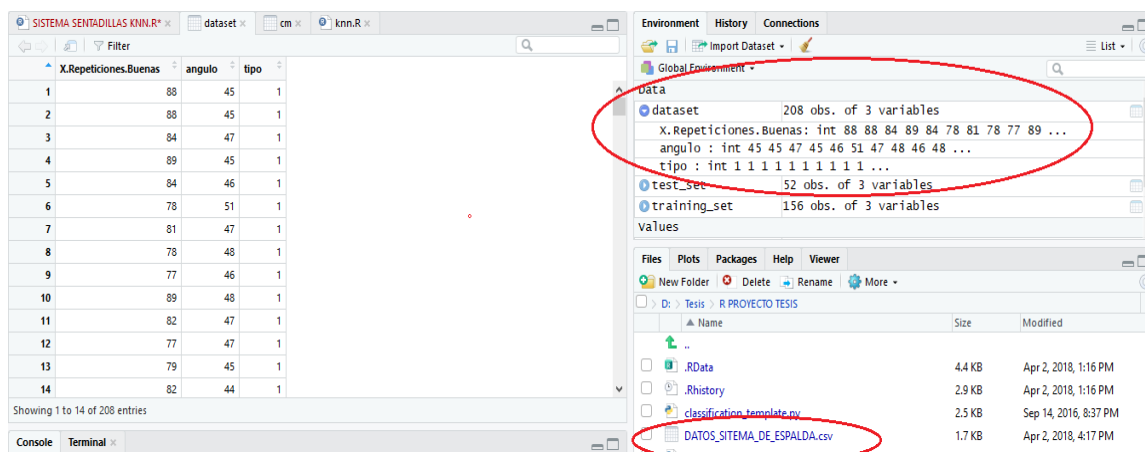
Se almacena los datos de las repeticiones del deportista en un archivo CSV dentro de un archivo de Excel

	A	B
1	Repeticiones Buenas,angulo,tipo	
2	78,45,1	
3	62,46,1	
4	79,48,1	
5	82,46,1	
6	77,47,1	
7	79,45,1	
8	82,44,1	
9	76,45,1	
10	76,49,1	
11	82,46,1	
12	67,49,1	
13	62,48,1	
14	69,48,1	

En la figura se muestra los datos de 15 repeticiones buenas, en la que se observa ángulo de la espalda, ángulo de la barra y tipo.

A continuación se importa la base de datos ubicada dentro de la carpeta contenedora de los archivos en la aplicación de R Studio.

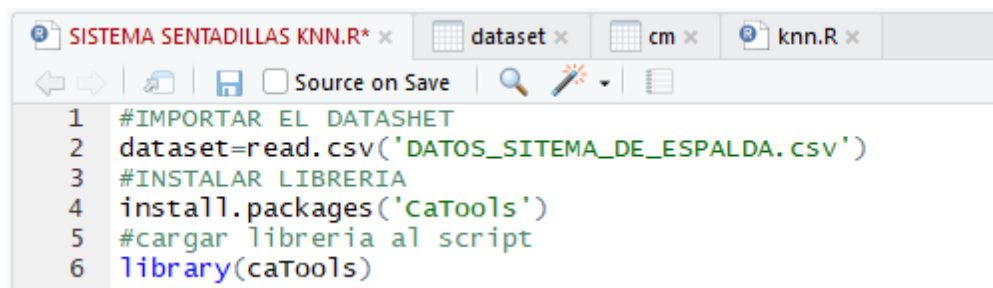
```
dataset=read.csv('DATOS_SITEMA_DE_ESPALDA.csv')
```



En la figura se muestra que la base de datos se encuentra en la carpeta contenedora de archivos y que ha sido cargada con éxito, en la parte izquierda se puede apreciar las columnas con todos los datos.

Luego de que ya este cargada la base de datos en la aplicación se Instala y carga la librería Catools mediante el siguiente comando: `install.packages('CaTools')`

Luego de instalar la librería se la carga al proyecto con el comando: `library(caTools)`



```
SISTEMA SENTADILLAS KNN.R* x dataset x cm x knn.R x
Source on Save
1 #IMPORTAR EL DATASHET
2 dataset=read.csv('DATOS_SITEMA_DE_ESPALDA.csv')
3 #INSTALAR LIBRERIA
4 install.packages('CaTools')
5 #cargar libreria al script
6 library(caTools)
```

Como indica la figura en la ventana de Install Packages se coloca el nombre de la librería a instalar y automáticamente la instala, luego de instalada ya se puede hacer uso como muestra en la ventana de consola con Letras Azules que la librería ya se encuentra activa

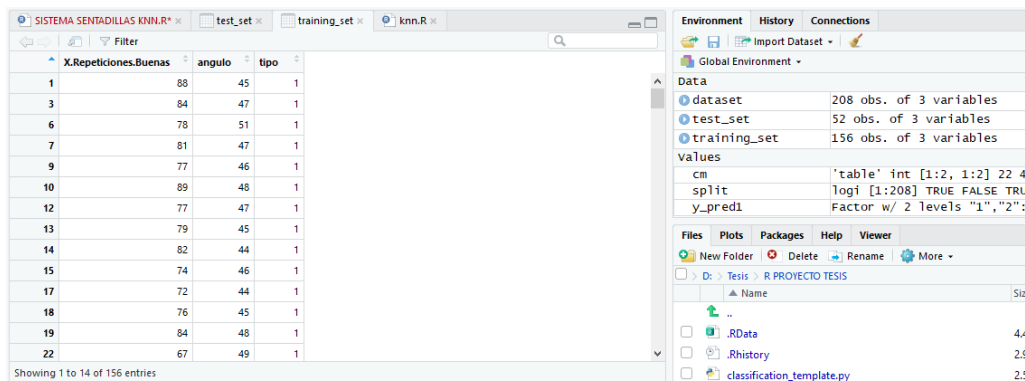
Se procede a escoger aleatoriamente a la base de datos el valor de Split puede variar entre 0.75 y 0.80 dependiendo del usuario con el comando:

```
8 #Escoger aleatoriamente a la base de datos
9 set.seed(123)
10 split = sample.split(dataset$tipo, splitRatio = 0.75)
```

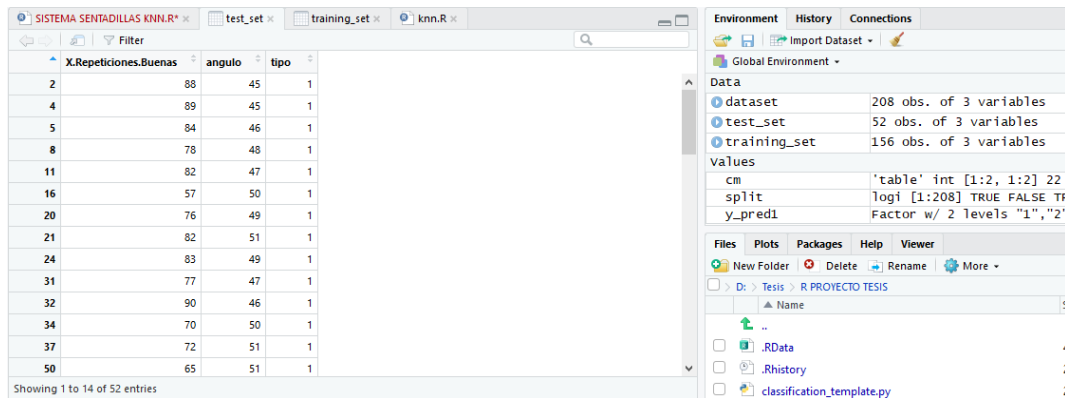
A continuación se carga los datos con TRUE y FALSE tanto a la matriz de entrenamiento como a la matriz de testeo para realizar la comparación.

```
11 training_set = subset(dataset, split == TRUE)
12 test_set = subset(dataset, split == FALSE)
13
```

Ahora ya es posible mirar las tablas que ha creado la aplicación tanto para el conjunto de datos de prueba y el conjunto de datos de entrenamiento.

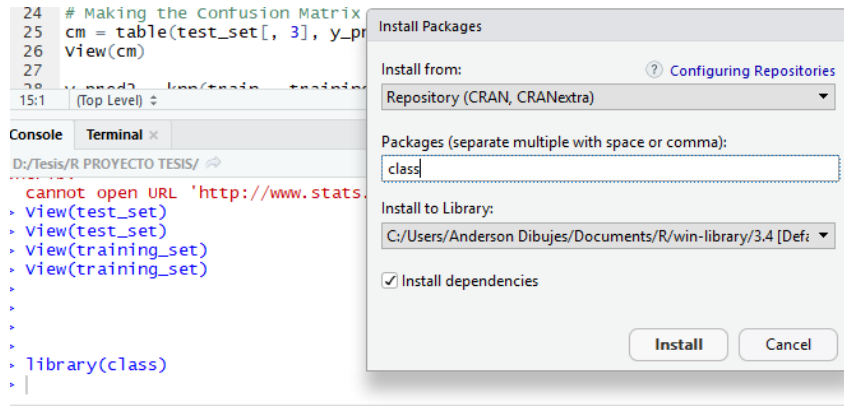


En la figura muestra que la matriz de entrenamiento cuenta con 156 objetos del total de los 208 que en total poseía la matriz original.



En la matriz de entrenamiento se muestran 52 objetos del total de los 208 de la matriz original.

Se realiza la instalación y carga de la librería Class.



En la figura se muestra una forma alternativa para la instalación de paquetes mediante la forma gráfica.

Prueba de funcionamiento de Knn igual a 1 dentro del conjunto de datos

```

Console Terminal x
D:/Tesis/R PROYECTO TESIS/
> y_pred1 = knn(train = training_set[, -3],
+             test = test_set[, -3],
+             cl = training_set[, 3],
+             k = 1,
+             prob = TRUE)
>
>
> # Making the Confusion Matrix
> cm1 = table(test_set[, 3], y_pred1)
> cm1
  y_pred1
    1  2
1 26  0
2  0 26
> |

```

Como muestra la figura el resultado del análisis con KNN=1, es que se tiene un total de 52 datos buenos y 0 datos erróneos. Y para la variable 1 un total de 26 datos TRUE y 0 datos FALSE; Para la variable 2 un total de 0 datos TRUE y 26 Datos FALSE.

Prueba de funcionamiento de Knn igual a 3 dentro del conjunto de datos

```
D:/Tesis/R PROYECTO TESIS/ ↗
> y_pred2 = knn(train = training_set[, -3],
+               test = test_set[, -3],
+               cl = training_set[, 3],
+               k = 3,
+               prob = TRUE)
>
>
> # Making the Confusion Matrix
> cm2 = table(test_set[, 3], y_pred2)
> cm2
  y_pred2
    1  2
1 26  0
2  0 26
> |
```

Como muestra la figura el resultado del análisis con KNN=3, es que se tiene un total de 52 datos buenos y 0 datos erróneos. Y para la variable 1 un total de 26 datos TRUE y 0 datos FALSE; Para la variable 2 un total de 0 datos TRUE y 26 Datos FALSE de la misma manera que con KNN=1.

Prueba de funcionamiento de Knn igual a 5 dentro del conjunto de datos.

```
Console Terminal x
D:/Tesis/R PROYECTO TESIS/ ↗
> y_pred3 = knn(train = training_set[, -3],
+               test = test_set[, -3],
+               cl = training_set[, 3],
+               k = 5,
+               prob = TRUE)
>
>
> # Making the Confusion Matrix
> cm = table(test_set[, 3], y_pred3)
> cm
  y_pred3
    1  2
1 23  3
2  5 21
> |
```

Como muestra la figura el resultado del análisis con KNN=5, es que se tiene un total de 44 datos buenos y 8 datos erróneos. Y para la variable 1 un total de 23 datos TRUE y 3 datos FALSE; Para la variable 2 un total de 5 datos TRUE y 21 Datos FALSE.

Prueba de funcionamiento de Knn igual a 7 dentro del conjunto de datos

```
Console Terminal x
D:/Tesis/R PROYECTO TESIS/
> y_pred4 = knn(train = training_set[, -3],
+             test = test_set[, -3],
+             cl = training_set[, 3],
+             k = 7,
+             prob = TRUE)
>
>
> # Making the Confusion Matrix
> cm = table(test_set[, 3], y_pred4)
> cm
  y_pred4
    1  2
1  23  3
2   7 19
> |
```

Como muestra la figura el resultado del análisis con KNN=7, es que se tiene un total de 42 datos buenos y 10 datos erróneos. Y para la variable 1 un total de 23 datos TRUE y 3 datos FALSE; Para la variable 2 un total de 7 datos TRUE y 19 Datos FALSE.

ANALISIS DE DATOS UTILIZANDO ALGORITMO SVM

Se realiza los mismos pasos para cargar la base de datos como en KNN, se realiza el spliteo siguiendo el parámetro establecido anteriormente entre 0.75 y 0.80

Luego se realiza la matriz de datos de prueba y la matriz de datos de entrenamiento.

```
16 # Feature Scaling
17 training_set[-3] = scale(training_set[-3])
18 test_set[-3] = scale(test_set[-3])
19
```

A continuación se realiza la instalación y carga de la Librería e1071 la cual es propia del método SVM. Luego se realiza la clasificación de los datos utilizando el tipo de la columna 3 de la base de datos y con un Kernel Lineal


```

19
20 # install.packages('e1071')
21 library(e1071)
22 # Fitting SVM to the Training set
23 classifier = svm(formula = tipo ~ .,
24                  data = training_set,|
25                  type = 'C-classification',
26                  kernel = 'linear')
27

```

Para finalizar se realiza la predicción de los datos de prueba y se construye la matriz de confusión

```

Console Terminal x
D:/Tesis/R PROYECTO TESIS/ ↗
> y_pred1 = predict(classifier, newdata = test_set[-3])
>
> # Making the Confusion Matrix
> cm = table(test_set[, 3], y_pred1)
>
>
> view(cm)
> # Making the Confusion Matrix
> cm = table(test_set[, 3], y_pred1)
> cm
  y_pred1
    1  2
1 22  4
2  7 19
> |

```

Como se puede observar los resultados de SVM son menos fiables que los de KNN, posee un total de 41 datos buenos y 11 datos erróneos. Para la variable 1 posee un total de 22 datos TRUE y 4 datos FALSE; Para la variable 2, un total de 7 datos TRUE y 19 Datos FALSE

Como conclusión se puede afirmar que para este caso elige el algoritmo de aprendizaje autónomo KNN con un valor de $K=3$ que son los que mostraron menos errores.

Elección de datos de Knn en Excel

A continuación se muestra el procedimiento para la selección de datos de entrenamiento y los datos de prueba utilizando la aplicación de Excel, para lo cual se ha dividido en varias hojas de cálculo los procedimientos realizados.

Pasos para la selección de datos:

El primer paso para realizar la selección de datos es calcular el promedio tanto para los datos de la columna 1 y los datos de la columna 2, tanto para las repeticiones buenas como para las repeticiones malas

79	50	1	55	58	2
80	47	1	74	58	2
74	45	1	64	58	2
57	44	1	65	56	2
61	45	1	57	56	2
85	47	1	57	58	2
72	45	1	50	56	2
79	49	1	64	57	2
83	46	1	72	59	2
82	48	1	77	56	2
75	47	1	88	56	2
63	48	1	81	56	2
60	46	1	76	56	2
86	47	1	72	56	2
85	48	1	73	56	2
86	50	1			
87	47	1			
72,43902439	46,95121951		65,10714286	56,547619	
PROMEDIO CINTURON	PROMEDIO BARRA	ETIQUETA	PROMEDIO CINTURON	PROMEDIO BARRA	ETIQUETA

En la figura de la izquierda se muestra el promedio de las dos columnas para los datos de las repeticiones buenas con etiqueta 1 y en el de la derecha se muestra el promedio de los datos de las repeticiones malas con etiqueta 2.

Se selecciona aleatoriamente el 20% del total de la base de datos para crear la matriz de entrenamiento

75	48	1
60	47	1
61	47	1
83	45	1
82	47	1
75	48	1
63	46	1
79	47	1
86	45	1
85	47	1
47	56	2
47	56	2
74	58	2
87	58	2
87	55	2
87	58	2
75	56	2
49	55	2

Luego se realiza el cálculo de la distancia al Punto Medio para todos los puntos de la base de datos utilizando la fórmula de la distancia entre 2 puntos:

$$= \text{RAIZ} ((A1 - \text{MediaA})^2 + (B1 - \text{MediaB})^2)$$

Donde:

A1 = Dato de la columna de valores del ángulo del Cinturón

B1 = Dato de la columna de valores del ángulo de la Barra

MediaA = Es el valor del promedio de valores del ángulo del Cinturón

MediaB = Es el valor del promedio de valores del ángulo de la Barra

2 = Exponente al cuadrado.

79	50	1	7,234740038
80	47	1	$4^2 + (B68 - B\$84)^2$
74	45	1	2,49878019
57	44	1	15,71856134
61	45	1	11,60424649
85	47	1	12,56107033
72	45	1	2
79	49	1	6,873419996
83	46	1	10,60372691
82	48	1	9,618326004
75	47	1	2,561440144
63	48	1	9,497111242
60	46	1	12,47534153
86	47	1	13,56106334
85	48	1	12,6046836
86	50	1	13,89946481
87	47	1	14,56105732
72,43902439	46,95121951		17,58671894
PROMEDIO CINTURON	PROMEDIO BARRA	ETIQUETA	DISTANCIA MAXIMA

Luego de calcular las distancias de todos los puntos de la base de datos se realiza el cálculo de la distancia Máxima entre el total de distancias como muestra la figura. El mismo procedimiento se lo realiza para la base de datos de repeticiones Erróneas.

Se procede a normalizar los datos en otra columna para las repeticiones buenas y malas

Datos Normalizados = Distancia de cada punto/ Distancia Máxima

2	0,113722179
6,873419996	0,39083015
10,60372691	0,602939465
9,618326004	0,546908496
2,561440144	0,145646277
9,497111242	0,540016093
12,47534153	0,709361512
13,56106334	0,771096837
12,6046836	0,716716043
13,89946481	0,790338713
14,56105732	0,827957584
17,58671894	
DISTANCIA MAXIMA	Datos Normalizados

Luego de que las distancias estén normalizadas se procede a determinar el criterio de selección para determinar cuál condición reduce de forma correcta la base de datos

1	1	1	1	1	1	
0	0	1	1	1	1	
0	0	0	1	0	1	
0	0	0	1	1	1	
1	1	1	1	1	1	
0	0	0	1	1	1	
0	0	0	0	0	1	
0	0	0	0	0	1	
0	0	0	0	0	1	
0	0	0	0	0	1	
0	0	0	0	0	0	
14	22	29	51	44	59	82
DATOS QUE CUMPLEN	DATOS QUE CUMPLEN	DATOS QUE CUMPLEN	DATOS QUE CUMPLEN	DATOS QUE CUMPLEN	DATOS QUE CUMPLEN	TOTAL DATOS BUENOS
<0.2	<0.3	<0.4	>0.7	>0.6	>0.8	
17,1%	26,8%	35,4%	62,2%	53,7%	72,0%	

En la figura se puede apreciar distintos criterios de selección tomando en cuenta los datos normalizados. Para este caso se selecciona el conjunto de datos que se acerque al 50% de reducción del conjunto de datos de repeticiones buenas. Como se observa en la figura el total de datos son 82 y para la condición >0.6 se obtiene un total de 44 datos que corresponde al 53.7%

Luego de seleccionar el Criterio para la obtención de los datos tanto en las repeticiones buenas y malas se construye la nueva base de datos la cual será la utilizada para la programación en KNN dentro de Arduino

Repeticiones Buenas	Angulo barra	Tipo	>0.6		Repeticiones Malas	angulo barra	Tipo	>0.6
78	45	1	1		46	57	2	1
62	46	1	1		47	55	2	1
79	48	1	1		44	59	2	1
82	46	1	1		45	55	2	1
77	47	1	1		46	56	2	1
79	45	1	1		49	59	2	1
82	44	1	1		81	54	2	1
76	45	1	1		45	58	2	1
76	49	1	1		52	57	2	1
82	46	1	1		51	57	2	1
67	49	1	1		48	56	2	1
62	48	1	1		45	59	2	1
69	48	1	1		48	56	2	1
71	49	1	1		80	56	2	1
74	46	1	1		51	59	2	1
65	48	1	1		49	57	2	1
77	47	1	1		46	59	2	1
75	47	1	1		50	58	2	1
70	47	1	1		50	56	2	1
72	47	1	1		88	56	2	1
81	47	1	1		81	56	2	1

Para finalizar se realiza el cálculo de distancias entre el punto ingresado por la matriz de entrenamiento y las distancias a cada punto de la base de datos final mediante la ecuación

$$= \text{RAIZ} ((A1 - \text{DatoA})^2 + (B1 - \text{DatoB})^2)$$

Donde:

A1= Dato de la columna de valores del ángulo del Cinturón

B1= Dato de la columna de valores del ángulo de la Barra

DatoA= Dato ingresado aleatoriamente de la matriz de datos de entrenamiento del ángulo del Cinturón

DatoB= Dato ingresado aleatoriamente de la matriz de datos de entrenamiento del ángulo de la barra

45	58	2	18,60107524
52	57	2	12,80624847
51	57	2	13,45362405
48	56	2	15
45	59	2	19,20937271
48	56	2	15
80	56	2	21,9317122
51	59	2	15
49	57	2	14,86606875
46	59	2	18,43908891
50	58	2	14,86606875
50	56	2	13,45362405
88	56	2	29,41088234
81	56	2	22,84731932
KNN CON DATOS DE			
60	47		2,236067977
Dato Cinturon	Dato Barra		Distancia Mínima

Como se puede apreciar en la figura luego de calcular la distancia se hace el cálculo de la distancia mínima para determinar a qué tipo pertenece el dato ingresado.

78	45	1	18,11077028
62	46	1	2,236067977
79	48	1	19,02629759
82	46	1	22,02271555
77	47	1	17
79	45	1	19,10497317
82	44	1	22,20360331
76	45	1	16,1245155
76	49	1	16,1245155

Como indica la figura la distancia mínima corresponde a un dato del Tipo 1 de repeticiones buenas, como se puede comprobar en la matriz de entrenamiento el dato ingresado efectivamente pertenece al grupo 1

A	B	C
75	48	1
60	47	1
61	47	1
83	45	1
82	47	1
75	48	1
63	46	1
70	47	1

Una vez comprobado su correcto funcionamiento se procede a programar KNN en Arduino para la obtención de los valores por medio del acelerómetro y a su vez verificar en que tipo se encuentran.

Cisco Aironet 3500 Series Access Point



Indoor Access Points

Cisco Aironet® 3500I Model

- Sleek design with internal antennas
- Ideal for carpeted offices

Cisco Aironet 3500e Model

- Rugged metal housing and extended operating temperature
- Ideal for factories, warehouses, and other indoor industrial environments
- Versatile RF coverage with external antennas
- UL 2043 plenum-rated for above-ceiling installation options or suspended from drop ceilings

Self-Healing and Self-Optimizing Wireless

- Classify over 20 different types of interference, including non-Wi-Fi interference within 5 to 30 seconds
- Automatic remedial action and less manual intervention

Secure Interoperability

- Controller-based Deployment Only

Troubleshooting Forensics for Faster Interference Resolution and Proactive Action

- Spectrum Expert Connect provides real-time, raw spectrum data to help with difficult-to-diagnose interference problems
- Air Quality Index provides a snapshot of network performance and the impact of interference
- Historic Interference Information for back-in-time analysis and faster problem solving
- 24 x 7 monitoring with remote access reduces travel and speeds resolution

Robust Security and Policy Enforcement

- Industry's first access point with non-Wi-Fi detection for off-channel rogues
- Supports rogue access point detection and detection of denial-of-service attacks
- Management frame protection detects malicious users and alerts network administrators



Cisco® Aironet® 3500 Series Access Points with Cisco CleanAir technology are the industry's first [802.11n access points](#) to create a self-healing, self-optimizing wireless network. CleanAir technology is a systemwide feature of the Cisco Unified Wireless Network that improves air quality by detecting RF interference that other systems can't recognize, identifying the source, locating it on a map, and then making automatic adjustments to optimize wireless coverage. These innovative access points provide the highest-performance 802.11n connectivity for mission-critical [mobility](#). By intelligently avoiding interference, the 3500 Series offers performance protection for 802.11n networks to help ensure reliable application delivery.

RF Excellence

Building on the Cisco Aironet heritage of RF excellence, the 3500 Series delivers industry-leading performance for secure and reliable [wireless](#) connections. Enterprise-class silicon and optimized radios deliver a robust mobility experience using Cisco M-Drive technology, which includes:

- [ClientLink](#) improves reliability and coverage for legacy clients
- [BandSelect](#) improves 5-GHz client connections in mixed client environments
- [VideoStream](#) uses multicast to improve rich-media applications

All of these features help ensure the best possible end-user experience on the wireless network

Anexo 7: Manual de Usuario de la Aplicación

Primero que nada se debe comprobar que el sistema electrónico de evaluación de postura de espalda en sentadillas se encuentre colocado de forma adecuada y se encuentre encendido.

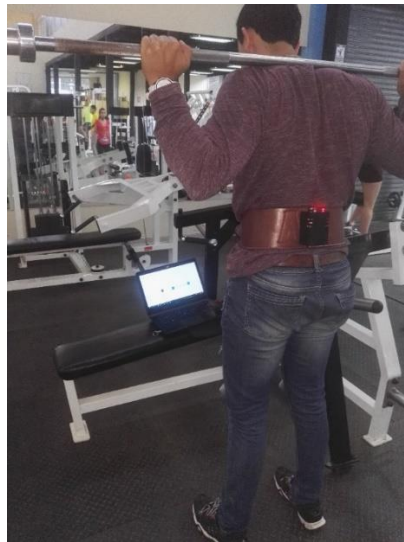


Figura 1. Ubicación del sistema

Como indica la figura 1 del manual, el cinturón se debe colocar de manera que el nodo quede centrado en la parte de la espalda baja y bien ajustado para evitar que exista fallos en la medición del ángulo, el nodo de la barra debe ser colocado abriendo las abrazaderas sujetadas con los tornillos.

Posterior a eso se comprueba que el Nodo master esté conectado al puerto USB del computador por medio del cable como indica la figura 2.

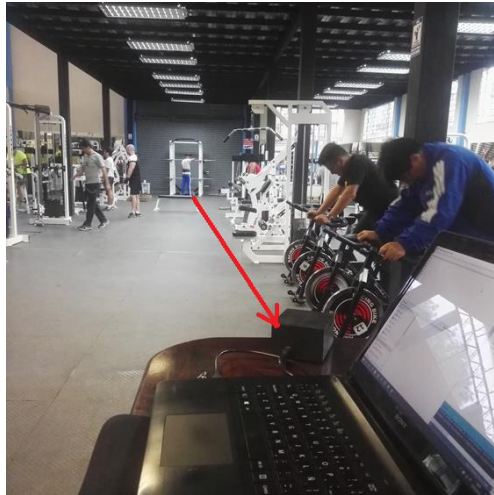


Figura 2. Nodo Master Conectado al computador

El manejo de la aplicación es sencillo y cuenta con unos pasos explicados a continuación:

1. Al iniciar la aplicación se debe verificar que el nodo master o master se encuentre conectado por USB a la computadora. Se debe comprobar que puerto COM se le ha asignado por que este será el utilizado para el análisis de los datos. En la figura 3 se muestra el puerto COM asignado el cual es el (COM8)

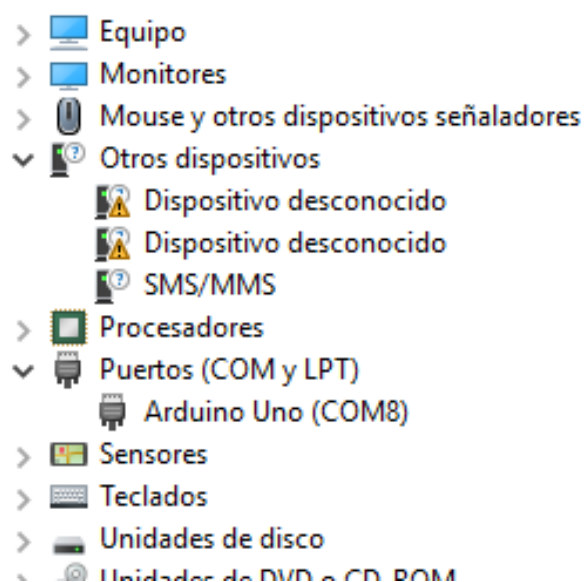


Figura 3. Administrador de dispositivos del computador Puerto COM de Arduino.

2. En la aplicación se debe buscar los puertos disponibles y seleccionar el puerto asignado como se muestra en la figura 4.



Figura 4. Administrador de puertos de comunicación en aplicación.

3. Cuando el usuario haya dado inicio al censado del nodo del cinturon, el sistema mostrara la fecha y hora actual. Se ha habilitado un cuadro de selección múltiple con los nombres de los estudiantes a ser analizados tal como muestra la figura 5.

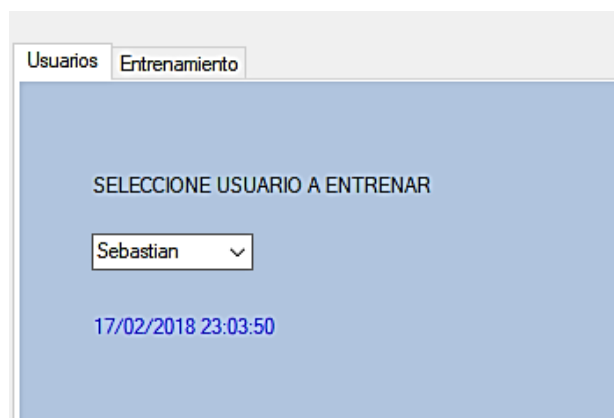


Figura 5. Muestra de inicio de transmisión y selección de usuario.

4. En la pestaña entrenamiento se muestra el análisis del movimiento y el conteo de repeticiones válidas y erróneas de cada deportista. Como se observa en la figura 6 se presenta 2 gráficos: El boceto de la espalda y cabeza de un deportista y el boceto de una barra de acero con pesas. Estos gráficos se mueven de acuerdo al movimiento

real del entrenamiento, siempre y cuando el botón del nodo esclavo del cinturón este iniciado.

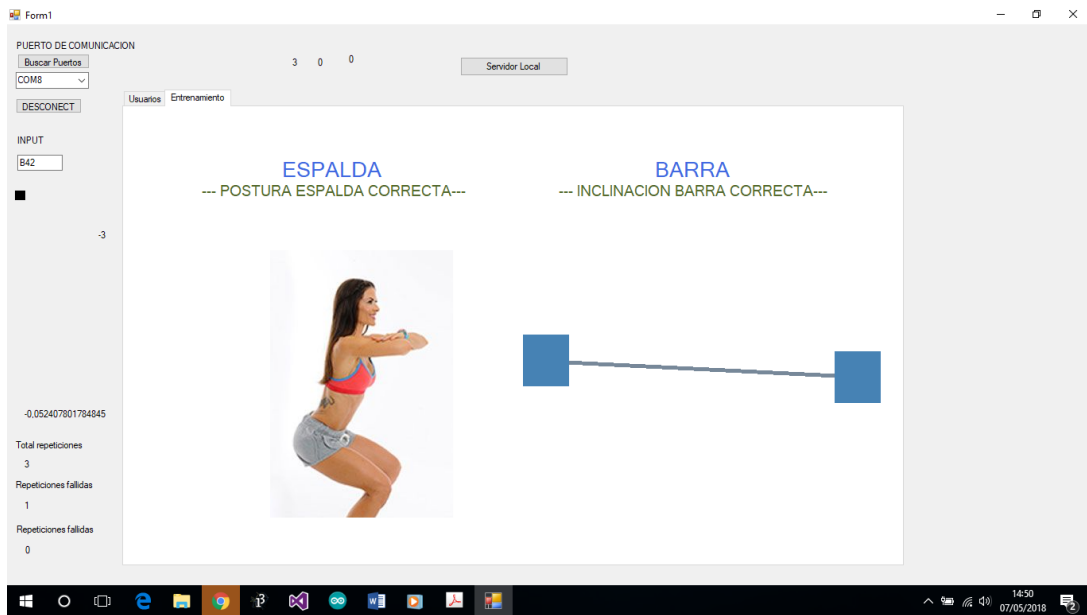


Figura 6. Pestaña Entrenamiento de aplicación.

- Al finalizar el entrenamiento el responsable del gimnasio tiene un registro diario de cada deportista en el cual se detalla: Nombre, Fecha, Número de Series, Número de repeticiones totales y fallidas como se observa en la figura 7.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	NOMBRE:	Sebastian						
2	Fecha:	17/02/2018 23:05:37						
3	REPETICION	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	SERIE 4	SERIE 5		
4	Totales:	5	4	0	0	0		
5	Incorrecta	1	1	0	0	0		
6	Incorrecta	5	0	0	0	0		

Figura 7 Registro de entrenamiento en Excel

6. Para visualizar el registro de errores basta con conectarse a la dirección IP del servidor con el puerto 8000 como muestra la figura 8. Para realizar otra medición del ejercicio se debe realizar los mismos pasos anteriores

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada . . . . . :

Adaptador de LAN inalámbrica Wi-Fi:

Sufijo DNS específico para la conexión. . . :
Vínculo: dirección IPv6 local. . . : fe80::613a:6b26:49d1:2ff%11
Dirección IPv4. . . . . : 192.168.0.13
Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada . . . . . : 192.168.0.1
```

Figura 8. Dirección IP asignada al servidor



Figura 9. Visualización del registro de archivos desde un móvil de la misma red local

Como se observa en la figura 9 se encuentra la lista de archivos con los entrenamientos de cada deportista tomando en cuenta la fecha en la cual fueron guardadas.

Anexo 8: Plan de Contingencia

La realización de planes de contingencia en el sistema planteado es de suma importancia ya que en el caso de surgir algún fallo en el sistema, este deberá garantizar que la persona que está utilizando el sistema y realizando el ejercicio siga contando con un nivel de seguridad adecuada.

Casos de Fallo en el sistema

En el caso de que la alarma sonora propia del sistema falle y no advierta de las equivocaciones se contara con la plataforma de visualización de datos los cuales serán mostrados en el servidor local y este será el que emita alarmas visuales de los errores realizados.

El sistema contara con una señal visual (led) que informara sobre el estado de la fuente de alimentación, Si la fuente de energía ubicada en el cinturón, la señal visual se apagara alertando al usuario del fallo y permitiendo que las sustituya o recargue para continuar con el entrenamiento.

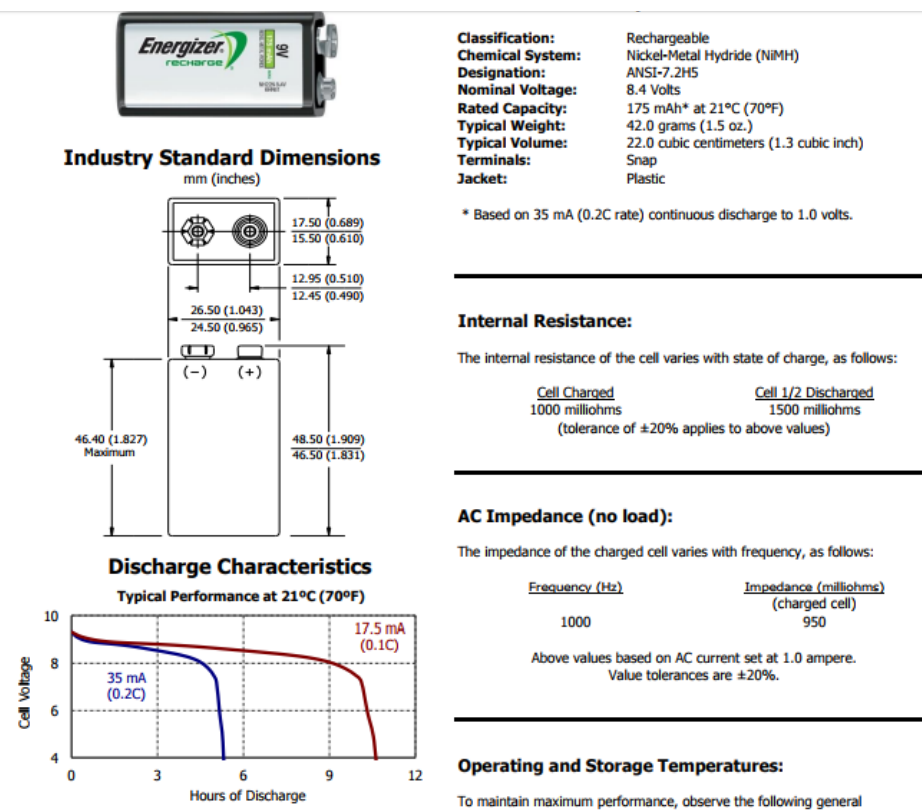
Si el sistema generador de reportes de entrenamiento falla, se contara con un respaldo de la información en servidor local del establecimiento dentro de un archivo Excel, haciendo que cuando el sistema este habilitado y funcionando de nuevo la información sea visible para el entrenador

Los casos más graves de fallos que pueden suscitarse son aquellos en los que falle los sensores y la placa de procesamiento de información en donde por motivo de priorizar la seguridad del usuario el sistema se apagara inmediatamente e informara al usuario para que deje de realizar el ejercicio inmediatamente, dando así la posibilidad de que busque la supervisión de algún compañero u entrenador o simplemente cambie su rutina de entrenamiento.

Anexo 9: Tabla del cálculo del tamaño de una encuesta por niveles de confianza

TABLA DE APOYO AL CALCULO DEL TAMAÑO DE UNA MUESTRA POR NIVELES DE CONFIANZA									
Certeza	95%	94%	93%	92%	91%	90%	80%	62.27%	50%
Z	1.96	1.88	1.81	1.75	1.69	1.65	1.28	1	0.6745
Z ²	3.84	3.53	3.28	3.06	2.86	2.72	1.64	1.00	0.45
e	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.20	0.37	0.50
e ²	0.0025	0.0036	0.0049	0.0064	0.0081	0.01	0.04	0.1369	0.25

Anexo 10: Datasheet de Bateria 9v energizer



Anexo 11: Códigos de programación del sistema

Nodo de la barra en Arduino

```
#include <SPI.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"
#include <Wire.h> //I2C protocol library
#define accel_module (0x53) //Address of ADXL345
#define xyzregister (0x32) //Starting with initial value of x-axis

#include "datos.h"
String X,Y;
int x1,y1;
float distancia;

float distMen=500;
float distMen2=500;
float distMen3=500;
int i;
int k=0;
int resp;
int resp2;
int resp3;

byte values[6]; //2 bytes for each axis
char output[512]; //String output for serial monitor

RF24 radio(9,10);
const uint64_t pipes[2] = { 0xF0F0F0F0E1LL, 0xF0F0F0F0D2LL };

const int PinAlerta = 3;
```



```

String datoS="";
char datoV[3]="";
bool ok;

void setup(void)
{
  pinMode(10, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  radio.begin();

  radio.setRetries(15,15); // Maximos reintentos
  // Open pipes to other nodes for communication
  radio.openWritingPipe(pipes[0]);
  radio.openReadingPipe(1,pipes[1]);

  Wire.begin();
  //Serial.begin(9600);//Baud transmission rate
  Wire.beginTransmission(accel_module);
  Wire.write(0x2D); //POWER_CTL Register
  Wire.write(0);// Wake up
  Wire.endTransmission();
  Wire.beginTransmission(accel_module);
  Wire.write(0x2D);
  Wire.write(16);//Auto Sleep
  Wire.endTransmission();
  Wire.beginTransmission(accel_module);
  Wire.write(0x2D);
  Wire.write(8);//Measure
  Wire.endTransmission();
  Wire.beginTransmission(accel_module);
  Wire.write(0x31); //DATA_FORMAT Register

```

```

Wire.write(0x0A); //±4 g range in full resolution (Can be changed)
Wire.endTransmission();
}

void loop(void)
{

int x, y, z,x1,y1,z1;
Wire.beginTransmission(accel_module);//Beginning of reading values
Wire.write(xyzregister);
Wire.endTransmission();
Wire.beginTransmission(accel_module);
Wire.requestFrom(accel_module, 6);

int i=0;
while(Wire.available())
{
values[i]= Wire.read();
i++;
}

Wire.endTransmission();
x=values[0];
x1=values[1];
y=values[2];
y1=values[3];
z=values[4];
z1=values[5];
x= ((int)values[1] <<8) | values[0];// The most significant byte is shifted to the left
y = (((int)values[3])<< 8) | values[2];
z = (((int)values[5]) << 8) | values[4];

```

```

printf(output, "%d %d %d", x, y, z);
printf(output, "%d ", x); //Printing values on Serial Monitor
Serial.print("X=");
Serial.println(x);
Serial.print("\t");
Serial.print(x1);
Serial.print("\t");
Serial.print(y);
Serial.print("\t");
Serial.print(y1);
Serial.print("\t");
Serial.print(z);
Serial.print("\t");
Serial.print(z1);
Serial.write(10);

radio.stopListening(); // Paramos la escucha para poder hablar
int valorS = x+120;
int xAux=0;

Serial.print("Enviando ");

if(x<128)
{
valorS = valorS;
valorS=map(valorS,0,255,0,90);
}
else
{
x=x;
valorS=x;
}

```

```

    valorS=map(valorS,0,255,0,90);
    valorS=valorS-47;
}
Y=valorS;
y1=Y.toInt();
x1=58;
for(i=0;i<66;i++) // ciclo para recorrer toda la matriz
{
    distancia=sqrt(pow((datos[i][0]-x1),2)+pow((datos[i][1]-y1),2)); // calculo de la distancia
    if(distMen>distancia) //metodo para obtener la distancia menor
    {
        distMen=distancia; // asigno el valor obtenido de la distancia menor
        resp=datos[i][2]; // asigno el grupo obtenido de los datos a una variable
        Serial.println(distMen);
    }
    if(distMen2>distancia && distancia!=distMen ) // metodo para obtener la segunda
    distancia mas cercana
    {
        distMen2=distancia;
        resp2=datos[i][2];
        Serial.println(distMen2);
    }

    if(distMen3>distancia && distancia!=distMen && distancia!=distMen2 ) // metodo para
    obtener la tercera distancia mas cercana
    {
        distMen3=distancia;
        resp3=datos[i][2];
        Serial.println(distMen3);
    }
}

```

```

}
k=resp+resp2+resp3 ; // variable que suma el valor de los grupos a los q pertenece
Serial.println(k);

Serial.println("DISTANCIA KNN_1");
Serial.print(distMen);
Serial.print(" Grupo:");
Serial.println(resp);
Serial.println("DISTANCIA KNN_2");
Serial.print(distMen2);
Serial.print(" Grupo:");
Serial.println(resp2);
Serial.println("DISTANCIA KNN_3");
Serial.print(distMen3);
Serial.print(" Grupo:");
Serial.println(resp3);

if(k<4)
  { // condicion para seleccionar el grupo al q pertenece
    Serial.println("punto perteneciente al grupo1");// para que sea del grupo 1 la suma no
    tiene que dar valores mayores a 4
    distMen=500;
  }
  else
  { // por lo tanto si el resultado de k es menor a 4 al punto se le
  asigna al primer grupo
    Serial.println("punto perteneciente al grupo 2");
    // pertenece al grupo dos si la suma sobrepasa el valor de 4
    Serial.println("ALARMA_BARRA");
    for(int p=0;p<3;p++)
    {
      digitalWrite(PinAlerta, HIGH);
    }
  }
}

```

```

        delay(300);
        digitalWrite(PinAlerta, LOW);
        delay(300);
    }
}

Serial.print("valorS: ");
Serial.println(valorS);
Serial.print("angulo: ");
Serial.println(valorS);

if(valorS<10)
{ //valorS=0;
    datoV[3]=0;
    datoV[2]=datoV[1];
    datoV[1]='0';
    datoV[0]='B';
}
else
{
    datoS=String(valorS);
    datoS.toCharArray(datoV,3);
    datoV[3]=0;
    datoV[2]=datoV[1];
    datoV[1]=datoV[0];
    datoV[0]='B';
}

//if((x1<=200)&&(y1>=100)) //
//{
ok = radio.write(&datoV, sizeof(datoV));

```

```

Serial.println("datoV");
Serial.println(datoV);

if (ok== true)
  { Serial.println("ok...");}
else
  {Serial.println("failed");}

radio.startListening();

delay(1000);
Serial.print("valorS... ");
Serial.println(valorS);
//}

}

```

Nodo del Cinturón en Arduino

```

#include <SPI.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"

#include <Wire.h> //I2C protocol library
#define accel_module (0x53) //Address of ADXL345
#define xyzregister (0x32) //Starting with initial value of x-axis

#include"datos.h"          ///////////////BASE DE DATOS/////////////////
String A,B;

```

```

int a1,b1;
float distancia;

float distMen=500;
float distMen2=500;
float distMen3=500;
int i=0;
int k=0;
int resp;
int resp2;
int resp3;

byte values[6]; //2 bytes for each axis
char output[512]; //String output for serial monitor

RF24 radio(9,10);
const uint64_t pipes[2] = { 0xF0F0F0F0E1LL, 0xF0F0F0F0D2LL };

const int buttonPin = 2;
int buttonState = 0;

//int AnguloMin=50;
const int PinAlerta = 3;
const char inicioS[4] = "Cin";
const char finalS[4] = "Cfi";
const char alertaB[4] = "ABA";
int auxBoton=0;

```



```

String datoS="";
char datoV[3]="";

int aux=0;
bool ok;
void setup(void)
{
  pinMode(10, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  radio.begin();

  radio.setRetries(15,15);    // Maximos reintentos
  //radio.setPayloadSize(8); // Reduce el payload de 32 si tienes problemas

  // Open pipes to other nodes for communication
  radio.openWritingPipe(pipes[0]);
  radio.openReadingPipe(1,pipes[1]);

  Wire.begin();
  //Serial.begin(9600); //Baud transmission rate
  Wire.beginTransmission(accel_module);
  Wire.write(0x2D); //POWER_CTL Register
  Wire.write(0); // Wake up
  Wire.endTransmission();
  Wire.beginTransmission(accel_module);
  Wire.write(0x2D);
  Wire.write(16); //Auto Sleep
  Wire.endTransmission();
  Wire.beginTransmission(accel_module);
  Wire.write(0x2D);
  Wire.write(8); //Measure

```

```

Wire.endTransmission();

Wire.beginTransaction(accel_module);

Wire.write(0x31); //DATA_FORMAT Register

Wire.write(0x0A); //±8 g range in full resolution (Can be changed)

Wire.endTransmission();

pinMode(buttonPin, INPUT);
pinMode(PinAlerta, OUTPUT);
digitalWrite(PinAlerta,LOW);
Serial.print("inicio");
}

void loop(void)
{
    buttonState = digitalRead(buttonPin);

    if (buttonState == HIGH)
    {
        delay(700); // antirebote
        aux=aux+1;
    }

    if((aux==1)&&(auxBoton==0))
    {
        Serial.println("ingresa en inicio");
        Serial.print(inicioS);
        ok = radio.write(&inicioS, sizeof(inicioS));
        auxBoton=1;
    }

    if(aux==2)

```

```

{
  Serial.println("ingresa en final");
  Serial.print(finalS);
  ok = radio.write(&finalS, sizeof(finalS));
  auxBoton=1;
  delay(1000);
  aux=0;
}

```

```

int x, y, z,x1,y1,z1;
Wire.beginTransmission(accel_module);//Beginning of reading values
Wire.write(xyzregister);
Wire.endTransmission();
Wire.beginTransmission(accel_module);
Wire.requestFrom(accel_module, 6);

```

```

int i=0;
while(Wire.available())
{
  values[i]= Wire.read();
  i++;
}

```

```

Wire.endTransmission();
x=values[0];
x1=values[1];
y=values[2];
y1=values[3];
z=values[4];
z1=values[5];

```

```

x= ((int)values[1] <<8) | values[0];// The most significant byte is shifted to the left
y = (((int)values[3])<< 8) | values[2];
z = (((int)values[5]) << 8) | values[4];
sprintf(output, "%d %d %d", x, y, z);
sprintf(output, "%d ", x);//Printing values on Serial Monitor
Serial.print(x);
Serial.print("\t");
Serial.print(x1);
Serial.print("\t");
Serial.print(y);
Serial.print("\t");
Serial.print(y1);
Serial.print("\t");
Serial.print(z);
Serial.print("\t");
Serial.print(z1);
Serial.write(10);

```

```

radio.stopListening(); // Paramos la escucha para poder hablar
int valorS = x+105;
Serial.print("Enviando ");

```

```

valorS=map(valorS,0,285,0,90);

```

```

if(valorS<10)
{
datoV[3]=0;
datoV[2]=datoV[1];
datoV[1]='0';
datoV[0]='C';
}

```

```

}
else
{

datoS=String(valorS);
datoS.toCharArray(datoV,3);
datoV[3]=0;
datoV[2]=datoV[1];
datoV[1]=datoV[0];
datoV[0]='C';
}

A=valorS;
a1=A.toInt();
b1=45;

if((aux==1 && datoV[1]>=48) && ((x>0)&&(x1<=200)&&(y1>=100))) //
{
ok = radio.write(&datoV, sizeof(datoV));
Serial.println(datoV);
Serial.println(datoV);
Serial.println(datoV);

if (ok== true)
{
Serial.println("ok...");
}
else
{
Serial.println("failed");
}
}

```

```

radio.startListening();

/*if(valorS<AnguloMin)
{
for(int k=0;k<3;k++)
{
radio.stopListening();
ok = radio.write(&datoV, sizeof(datoV));
radio.startListening();
digitalWrite(PinAlerta, HIGH);
delay(300);
digitalWrite(PinAlerta, LOW);
delay(300);
}

}
else
{
digitalWrite(PinAlerta, LOW);
}
*/

for(int h=0;h<66;h++) // ciclo para recorrer toda la matriz
{
distancia=sqrt(pow((datos[h][0]-a1),2)+pow((datos[h][1]-b1),2)); // calculo de la distancia
if(distMen>distancia) //metodo para obtener la distancia menor
{
distMen=distancia; // asigno el valor obtenido de la distancia menor
resp=datos[h][2]; // asigno el grupo obtenido de los datos a una variable
Serial.println(distMen);
}
}

```

```

    }
    if(distMen2>distancia && distancia!=distMen ) // metodo para obtener la segunda distancia
mas cercana
    {
        distMen2=distancia;
        resp2=datos[h][2];
        Serial.println(distMen2);
    }

    if(distMen3>distancia && distancia!=distMen && distancia!=distMen2 ) // metodo para
obtener la tercera distancia mas cercana
    {
        distMen3=distancia;
        resp3=datos[h][2];
        Serial.println(distMen3);
    }

}

k=resp+resp2+resp3 ; // variable que suma el valor de los grupos a los q pertenece
Serial.println(k);

Serial.println("DISTANCIA KNN_1");
Serial.print(distMen);
Serial.print(" Grupo:");
Serial.println(resp);
Serial.println("DISTANCIA KNN_2");
Serial.print(distMen2);
Serial.print(" Grupo:");
Serial.println(resp2);
Serial.println("DISTANCIA KNN_3");

```

```

Serial.print(distMen3);
Serial.print(" Grupo:");
Serial.println(resp3);

if(k<4)
{
// condicion para seleccionar el grupo al q pertenece
Serial.println("punto perteneciente al grupo1");// para que sea del grupo 1 la suma no tiene
que dar valores mayores a 4
distMen=500;
}
else
{
// por lo tanto si el resultado de k es menor a 4 al punto se le asigna al
primer grupo
Serial.println("punto perteneciente al grupo 2");
// pertenece al grupo dos si la suma sobrepasa el valor de 4
Serial.println(alertaB);
for(int p=0;p<3;p++)
{
digitalWrite(PinAlerta, HIGH);
delay(300);
digitalWrite(PinAlerta, LOW);
delay(300);
}
}

Serial.print("valorS: ");
Serial.println(valorS);
delay(300);
}
}

```


Nodo Master en Arduino

```
#include <SPI.h>
#include "nRF24L01.h"
#include "RF24.h"

RF24 radio(9,10);          //Pines de Control Select Chip y Select Mirror
const uint64_t pipes[2] = { 0xF0F0F0F0E1LL, 0xF0F0F0F0D2LL }; //Direccionamiento de envio
recepcion de datos

void setup(void)
{
  pinMode(10, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);

  radio.begin();
  radio.setRetries(15,15);
  radio.startListening();
  radio.openWritingPipe(pipes[1]);      //Escribe en la posicion 1 al Esclavo
  radio.openReadingPipe(1,pipes[0]);    //Escribe en la posicion 0 al Maestro
}

void loop(void)
{
  if ( radio.available() ) // Si hay datos disponibles
  { char text[32] = {0};
    radio.read(&text, sizeof(text));

    Serial.println(text);

    delay(300);
  }
}
```

```
}
```

Programación de KNN en R Studio

```
#IMPORTAR EL DATASET
dataset=read.csv('DATOS_MALOS.csv')
#INSTALAR LIBRERIA
#install.packages('CaTools')
#cargar libreria al script
library(caTools)

#Escoger aleatoriamente a la base de datos
set.seed(123)
split = sample.split(dataset$tipo, SplitRatio = 0.75)
training_set = subset(dataset, split == TRUE)
test_set = subset(dataset, split == FALSE)

#instalar library class
library(class)

##### KNN #####

y_pred1 = knn(train = training_set[, -3],
              test = test_set[, -3],
              cl = training_set[, 3],
              k = 1,
              prob = TRUE)

# Making the Confusion Matrix
cm1 = table(test_set[, 3], y_pred1)
```

cm1

```
y_pred2 = knn(train = training_set[, -3],  
             test = test_set[, -3],  
             cl = training_set[, 3],  
             k = 3,  
             prob = TRUE)
```

Making the Confusion Matrix

```
cm2 = table(test_set[, 3], y_pred2)  
cm2
```

```
y_pred3 = knn(train = training_set[, -3],  
             test = test_set[, -3],  
             cl = training_set[, 3],  
             k = 5,  
             prob = TRUE)
```

Making the Confusion Matrix

```
cm3 = table(test_set[, 3], y_pred3)  
cm3
```

```
y_pred4 = knn(train = training_set[, -3],  
             test = test_set[, -3],  
             cl = training_set[, 3],  
             k = 7,  
             prob = TRUE)
```

```
# Making the Confusion Matrix

cm4 = table(test_set[, 3], y_pred4)

View(cm4)
```

Programación de aplicación

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;
using System.IO.Ports;
using System.Threading;

using DocumentFormat.OpenXml;
using DocumentFormat.OpenXml.Spreadsheet;
using SpreadsheetLight;
using System.IO;

namespace Aplicacion_de_escritorio
{
    public partial class fondo : Form
    {
        private delegate void DelegadoAcceso(string accion);
        private string strBufferIn;
        private int auxPc = 0;
        private int contPc = 0;
        private int auxPi = 0;
        private int contPi = 0;
        private int anguloEspalda = 90;
        private int anguloBarra = 0;
        private int auxBarra = 0;
        private int contBarra = 0;
        public int serie = 1;
        public int fila = 4;
        public int columna = 2;
        public int ContCorrectasSerie1 = 0;
        public int ContCorrectasSerie2 = 0;
        public int ContCorrectasSerie3 = 0;
        public int ContCorrectasSerie4 = 0;
        public int ContCorrectasSerie5 = 0;
        public int ContErroresSerie1 = 0;
        public int ContErroresSerie2 = 0;
        public int ContErroresSerie3 = 0;
        public int ContErroresSerie4 = 0;
        public int ContErroresSerie5 = 0;
        public int ContErroresBarraSerie1 = 0;
        public int ContErroresBarraSerie2 = 0;
        public int ContErroresBarraSerie3 = 0;
        public int ContErroresBarraSerie4 = 0;
```

```

public int ContErroresBarraSerie5 = 0;
private int[] contRep = {0,0,0,0,0,0};
private int[] contErr = { 0, 0, 0, 0, 0,0 };
private int[] contErrBarra = { 0, 0, 0, 0, 0, 0 };

public string[] NombreString = { "", "", "", "", "", "", "", "", };
public int n = 0;

public int[] filaInt = { 0, 0, 0, 0, 0, 0 };
public int[] columnaInt = { 0, 0, 0, 0, 0, 0 };
public int SaltoFila = 1;

private int v = 0;

public string UsuarioActual;

public fondo()
{
    InitializeComponent();
}

private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
    strBufferIn = "";
    // BttConectar.Enabled = false;
}

private void AccesoForm(string accion)
{
    UsuarioActual = CboUsuarios.Text;

    strBufferIn = accion; ////**////
    TxbDatoRecibido.Text = strBufferIn;
    char[] vector = strBufferIn.ToCharArray();

    if ((vector[0] == 'C') && (vector[1] > 0) && (vector[2] > 0))
    {
        anguloEspalda = ((vector[1] - 48) * 10) + ((vector[2] - 48) * 1);
    }

    if ((vector[0] == 'C') && (vector[1] == 'f') && (vector[2] == 'i'))
    {
        serie = serie + 1;
        // LblSerie.Text = serie.ToString();
        // columna = columna + 1;
        contPc = 0;
        contPi = 0;
        contBarra = 0;

        v = v + 1;
    }

    if ((vector[0] == 'B') && (vector[1] > 0) && (vector[2] > 0))
    {
        anguloBarra = ((vector[1] - 48) * 10) + ((vector[2] - 48) * 1);
    }
}

```

```

}
else
{
    //anguloBarra = 0;
}

if (serie == 1)
{
    ContCorrectasSerie1 = contRep[v];
    ContErroresSerie1 = contErr[v];
    ContErroresBarraSerie1 = contErrBarra[v];
}

if (serie == 2)
{
    ContCorrectasSerie2 = contRep[v];
    ContErroresSerie2 = contErr[v];
    ContErroresBarraSerie2 = contErrBarra[v];
}

if (serie == 3)
{
    ContCorrectasSerie3 = contRep[v];
    ContErroresSerie3 = contErr[v];
    ContErroresBarraSerie3 = contErrBarra[v];
}

if (serie == 4)
{
    ContCorrectasSerie4 = contRep[v];
    ContErroresSerie4 = contErr[v];
    ContErroresBarraSerie4 = contErrBarra[v];
}

if (serie == 5)
{
    ContCorrectasSerie5 = contRep[v];
    ContErroresSerie5 = contErr[v];
    ContErroresBarraSerie5 = contErrBarra[v];
}

if (serie == 6)
{
    v = 0;
    //SaltoFila = SaltoFila + 7;
    serie = 1;
    ContCorrectasSerie1 = 0;
    ContCorrectasSerie2 = 0;
    ContCorrectasSerie3 = 0;
    ContCorrectasSerie4 = 0;
    ContCorrectasSerie5 = 0;
    ContErroresSerie1 = 0;
    ContErroresSerie2 = 0;
    ContErroresSerie3 = 0;
    ContErroresSerie4 = 0;
    ContErroresSerie5 = 0;
    ContErroresBarraSerie1 = 0;
    ContErroresBarraSerie2 = 0;
    ContErroresBarraSerie3 = 0;
    ContErroresBarraSerie4 = 0;
    ContErroresBarraSerie5 = 0;
    n = n + 1;
}

```

```

}

//      LblDatoIn.Text = anguloEspalda.ToString();

//      LblDatoIn2.Text = anguloBarra.ToString();

int LargoCuerpo = 200;
double ang = 90;
ang = anguloEspalda;
//      LblAngulo.Text = Convert.ToString(ang);
double x = 1;
double y = 1;
double m = 0;
m = Math.Tan(ang * 0.0174533);
//      LblM.Text = Convert.ToString(m);

x = (panel2.Size.Width / 2) + (LargoCuerpo * Math.Cos(ang * 0.0174533));
y = (panel2.Size.Height - 5) - (LargoCuerpo * Math.Sin(ang * 0.0174533));

//      LblX.Text = Convert.ToString(x);
//      LblY.Text = Convert.ToString(y);

panel2.Refresh();
System.Drawing.Graphics graphicsObj;
graphicsObj = panel2.CreateGraphics();
Pen graphPen = new Pen(panel1.BackColor, 5);
graphicsObj.DrawLine(graphPen, panel2.Size.Width / 2, panel2.Size.Height -
5, Convert.ToInt32(x), Convert.ToInt32(y));

double xc = (x + x-65) / 2;
double yc = (y + y-65) / 2;

System.Drawing.SolidBrush myBrush = new
System.Drawing.SolidBrush(System.Drawing.Color.Black);
graphicsObj.FillEllipse(myBrush, new Rectangle(Convert.ToInt32(xc),
Convert.ToInt32(yc), 65, 65));
myBrush.Dispose(); // https://msdn.microsoft.com/es-es/library/h34kh0x2\(v=vs.110\).aspx

int LargoBarra =400;
double angBarra = 0;
angBarra = anguloBarra-45;    /// angulo referencia - horizontal
LblAnguloBarra.Text = Convert.ToString(angBarra);
double xB = 1;
double yB = 1;
double xB2 = 1;
double yB2 = 1;
double mB = 0;
mB = Math.Tan(angBarra * 0.0174533);
LblMBarra.Text = Convert.ToString(mB);

xB = (panelBarra.Size.Width / 2) + (LargoBarra/2 * Math.Cos(angBarra *
0.0174533));
yB = (panelBarra.Size.Height / 2) - (LargoBarra/2 * Math.Sin(angBarra *
0.0174533));
xB2 = (panelBarra.Size.Width / 2) + (- LargoBarra / 2 * Math.Cos(angBarra
* 0.0174533));

```

```

        yB2 = (panelBarra.Size.Height / 2) - (- LargoBarra / 2 * Math.Sin(angBarra
* 0.0174533));

        // LblX.Text = Convert.ToString(x);
        // LblY.Text = Convert.ToString(y);
        panelBarra.Refresh();
        System.Drawing.Graphics graphicsObjBarra;
        graphicsObjBarra = panelBarra.CreateGraphics();
        Pen graphPenBarra = new Pen(System.Drawing.Color.LightSlateGray, 5);
        graphicsObjBarra.DrawLine(graphPenBarra, panelBarra.Size.Width / 2,
panelBarra.Size.Height / 2, Convert.ToInt32(xB), Convert.ToInt32(yB));
        graphicsObjBarra.DrawLine(graphPenBarra, panelBarra.Size.Width / 2,
panelBarra.Size.Height / 2, Convert.ToInt32(xB2), Convert.ToInt32(yB2));

        double xcB = (xB + xB - 65) / 2;
        double ycB = (yB + yB - 65) / 2;
        double xcB2 = (xB2 + xB2 - 65) / 2;
        double ycB2 = (yB2 + yB2 - 65) / 2;

        System.Drawing.SolidBrush myBrushBarra = new
System.Drawing.SolidBrush(System.Drawing.Color.SteelBlue);
        graphicsObjBarra.FillRectangle(myBrushBarra, new
Rectangle(Convert.ToInt32(xcB), Convert.ToInt32(ycB), 65, 65));
        graphicsObjBarra.FillRectangle(myBrushBarra, new
Rectangle(Convert.ToInt32(xcB2), Convert.ToInt32(ycB2), 65, 65));
        myBrush.Dispose(); // https://msdn.microsoft.com/es-
es/library/h34kh0x2\(v=vs.110\).aspx

        if ((ang <= 75) && (ang > 50) && (auxPc == 0))
        {
            contPc = contPc + 1;
            auxPc = 1;
            //auxPi = 0;
            LblAlerta.Visible = false;
            LblAlertaBarra.Visible = false;
            Lblposturacorrecta.Visible = true;
            pictureBien.Visible = true;
            pictureArriba.Visible = false;
            pictureMal.Visible = false;
        }

        if ((ang <= 50) && (auxPi == 0))
        {
            LblAlerta.Visible = true;
            contPi = contPi + 1;
            auxPi = 1;
            Lblposturacorrecta.Visible = false;
            pictureArriba.Visible = false;
            pictureBien.Visible = false;
            pictureMal.Visible = true;
        }

        if ((ang > 75) && (ang < 90))
        {
            auxPc = 0;
            auxPi = 0;
            LblAlerta.Visible = false;
            auxBarra = 0;
        }

```



```

        Lblposturacorrecta.Visible = true;
        pictureArriba.Visible = true;
        pictureBien.Visible = false;
        pictureMal.Visible = false;
    }

    if ((angBarra <= -10 || angBarra > 10))
    {
        LblAlertaBarra.Visible = true;
        Lblposturabarra.Visible = false;
    }
    else
    {
        Lblposturabarra.Visible = true;
        LblAlertaBarra.Visible = false;
    }

    if ((ang <= 75) && (angBarra <= -10 || angBarra > 10) && (auxBarra == 0))
    {
        auxBarra = 1;
        contBarra = contBarra + 1;
        Lblposturacorrecta.Visible = true;
        LblAlertaBarra.Visible = true;
        Lblposturabarra.Visible = false;
        LblAlerta.Visible = false;
    }

    LblContadorRepet.Text = Convert.ToString(contPc);
    LblContFallas.Text = Convert.ToString(contPi);
    LblContFallasBarra.Text = Convert.ToString(contBarra);

    int[] data = new int[] { contPc, contPi, 0, 0 };
    // string[] datosEncabezado = new string[] { "hola", "fecha" };

    //creamos la clase enviandole el nombre del archivo que deseemos
    //////////////////////////////////////////////////*****
    DateTime thisDay = DateTime.Now;
    string s1 = "RegistroEntrenamiento-"+ UsuarioActual + "-";
    string s2 = thisDay.Day.ToString()+"-"+thisDay.Month.ToString()+"-
"+thisDay.Year.ToString();
    string s3 = ".xlsx";

    string total = s1 + s2 + s3;
    CreadorExcel oCreadorExcel = new CreadorExcel(total);
    //"D:\Bomberos\Registro\Emergencia - " & Date.Now & ".txt"
    //ejecutamos el metodo que crea el excel
    oCreadorExcel.CrearExcel();

    SLDocument libro = new SLDocument();

    //SaltoFila
    libro.AddWorksheet(UsuarioActual);
    /*libro.AddWorksheet(CboUsuarios.Items.ToString());
    libro.AddWorksheet("wimken");*/

    NombreString[n] = UsuarioActual;

```

```
//////////////////////////////////////*****  
*****
```

```
// DateTime thisDay = DateTime.Now;  
// SLDocument libro = new SLDocument();  
  
//fila , columna,  
libro.SetCellValue(1 + SaltoFila, 1, "NOMBRE: ");  
libro.SetCellValue(1 + SaltoFila, 2, NombreString[n]);  
libro.SetCellValue(2 + SaltoFila, 1, "Fecha: ");  
libro.SetCellValue(3 + SaltoFila, 1, "REPETICIONES");  
libro.SetCellValue(3 + SaltoFila, 2, "SERIE 1");  
libro.SetCellValue(3 + SaltoFila, 3, "SERIE 2");  
libro.SetCellValue(3 + SaltoFila, 4, "SERIE 3");  
libro.SetCellValue(3 + SaltoFila, 5, "SERIE 4");  
libro.SetCellValue(3 + SaltoFila, 6, "SERIE 5");  
libro.SetCellValue(4 + SaltoFila, 1, "Totales: ");  
libro.SetCellValue(5 + SaltoFila, 1, "Incorrectas Espalda: ");  
libro.SetCellValue(6 + SaltoFila, 1, "Incorrectas Barra: ");
```

```
LblFecha.Text = thisDay.ToString();  
libro.SetCellValue(2 + SaltoFila, 2, thisDay.ToString());
```

```
// columna = serie;  
contRep[v] = contPc;  
contErr[v] = contPi;  
contErrBarra[v] = contBarra;
```

```
LblContS1.Text = ContCorrectasSerie1.ToString();  
LblContS2.Text = ContCorrectasSerie2.ToString();  
LblContS3.Text = ContCorrectasSerie3.ToString();
```

```
//fila , columna,  
libro.SetCellValue(4 + SaltoFila, 2, ContCorrectasSerie1.ToString());  
libro.SetCellValue(4 + SaltoFila, 3, ContCorrectasSerie2.ToString());  
libro.SetCellValue(4 + SaltoFila, 4, ContCorrectasSerie3.ToString());  
libro.SetCellValue(4 + SaltoFila, 5, ContCorrectasSerie4.ToString());  
libro.SetCellValue(4 + SaltoFila, 6, ContCorrectasSerie5.ToString());
```

```
libro.SetCellValue(5 + SaltoFila, 2, ContErroresSerie1.ToString());  
libro.SetCellValue(5 + SaltoFila, 3, ContErroresSerie2.ToString());  
libro.SetCellValue(5 + SaltoFila, 4, ContErroresSerie3.ToString());  
libro.SetCellValue(5 + SaltoFila, 5, ContErroresSerie4.ToString());  
libro.SetCellValue(5 + SaltoFila, 6, ContErroresSerie5.ToString());
```

```
libro.SetCellValue(6 + SaltoFila, 2, ContErroresBarraSerie1.ToString());  
libro.SetCellValue(6 + SaltoFila, 3, ContErroresBarraSerie2.ToString());  
libro.SetCellValue(6 + SaltoFila, 4, ContErroresBarraSerie3.ToString());  
libro.SetCellValue(6 + SaltoFila, 5, ContErroresBarraSerie4.ToString());  
libro.SetCellValue(6 + SaltoFila, 6, ContErroresBarraSerie5.ToString());
```

```
libro.SaveAs(total); //*****
```

```
}////////////////////  
////////////////
```

```
private void AccesoInterrupcion(string accion)  
{  
    DelegadoAcceso Var_DelegadoAcceso;  
    Var_DelegadoAcceso = new DelegadoAcceso(AccesoForm);  
    object[] arg = { accion};  
    base.Invoke(Var_DelegadoAcceso, arg);  
}  
  
private void BttConectar_Click(object sender, EventArgs e)  
{  
    try  
    {  
        if (BttConectar.Text == "CONECTAR")  
        {  
            PuertoSerial.BaudRate = Int32.Parse(CboBaudRate.Text);  
            PuertoSerial.DataBits = 8;  
            PuertoSerial.Parity = Parity.None;  
            PuertoSerial.StopBits = StopBits.One;  
            PuertoSerial.Handshake = Handshake.None;  
            PuertoSerial.PortName = CboPuertos.Text;  
  
            try  
            {  
                PuertoSerial.Open();  
                BttConectar.Text = "DESCONECTAR";  
  
            }  
            catch (Exception exc)  
            {  
                MessageBox.Show(exc.Message.ToString());  
            }  
        }  
        else if (BttConectar.Text == "DESCONECTAR")  
        {  
            PuertoSerial.Close();  
            BttConectar.Text = "CONECTAR";  
        }  
    }  
    catch (Exception exc)  
    {  
        MessageBox.Show(exc.Message.ToString());  
    }  
}  
  
private void BttBuscarPuertos_Click(object sender, EventArgs e)  
{  
    string[] PuertosDisponibles = SerialPort.GetPortNames();  
    CboPuertos.Items.Clear();  
  
    foreach (string puerto_simple in PuertosDisponibles)  
    {  
        CboPuertos.Items.Add(puerto_simple);  
    }  
}
```

```

if (CboPuertos.Items.Count > 0)
{
    CboPuertos.SelectedIndex = 0;
    // MessageBox.Show("SELECCIONAR EL PUERTO DE TRABAJO");
    BttConectar.Enabled = true;
}
else
{
    MessageBox.Show("NINGUN PUERTO DETECTADO");
    CboPuertos.Items.Clear();
    CboPuertos.Text = " ";
    strBufferIn = "";
    BttConectar.Enabled = false;
}
}

private void DatoRecibido(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    AccesoInterrupcion(PuertoSerial.ReadLine());
}

int CboConteo = 0;
private void CboUsuarios_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    SLDocument libro = new SLDocument();
    CboConteo = CboConteo + 1;
    //LblComboCambio.Text = "ingreso" + CboConteo.ToString() + " " +
CboUsuarios.Text;
    libro.AddWorksheet(CboUsuarios.Text);
}

private void btnservidorlocal_Click(object sender, EventArgs e)
{
    DateTime thisDay = DateTime.Now;
    string s1 = "RegistroEntrenamiento-" + UsuarioActual + "-";
    string s2 = thisDay.Day.ToString() + "-" + thisDay.Month.ToString() + "-"
+ thisDay.Year.ToString();
    string s3 = ".xlsx";

    string total = s1 + s2 + s3;

    string archivo = @"D:\Tesis\Final arduino\FINAL FINAL\Aplicacion de
escritorio\Aplicacion de escritorio\Aplicacion de escritorio\bin\Debug\" + total;
    File.Copy(archivo, @"C:\Users\Anderson Dibujes\Desktop\miniweb-win32-
20130309\miniweb\htdocs\"+total);

    System.Diagnostics.Process.Start(@"C:\Users\Anderson
Dibujes\Desktop\miniweb-win32-20130309\miniweb\miniweb");
    System.Diagnostics.Process.Start(@"D:\Tesis\Final arduino\FINAL
FINAL\Aplicacion de escritorio\Aplicacion de escritorio\Aplicacion de
escritorio\bin\Debug\"+ total);
}

```

} }