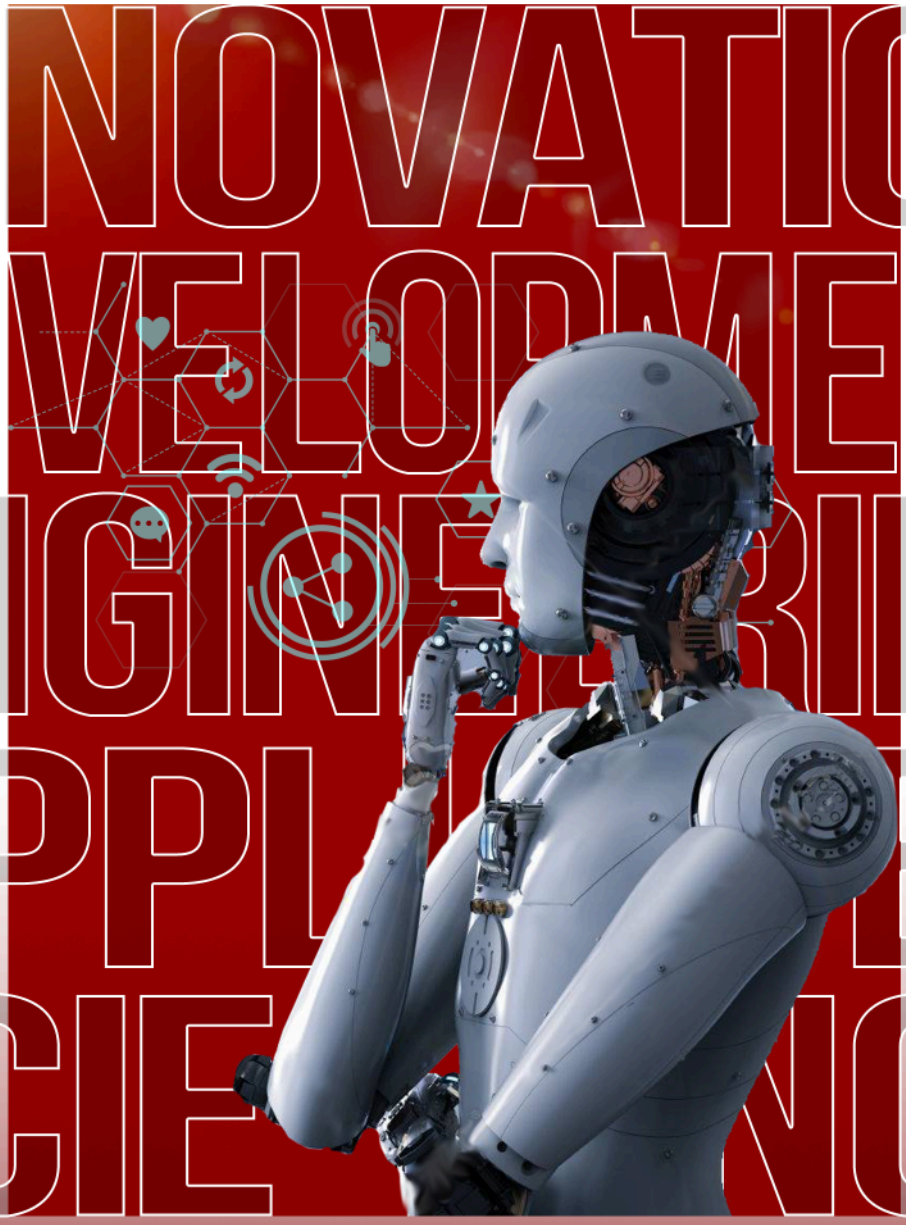
IDEAS JOURNAL

Volume 3 / N°1 July 2021

ISSN:2600-5573

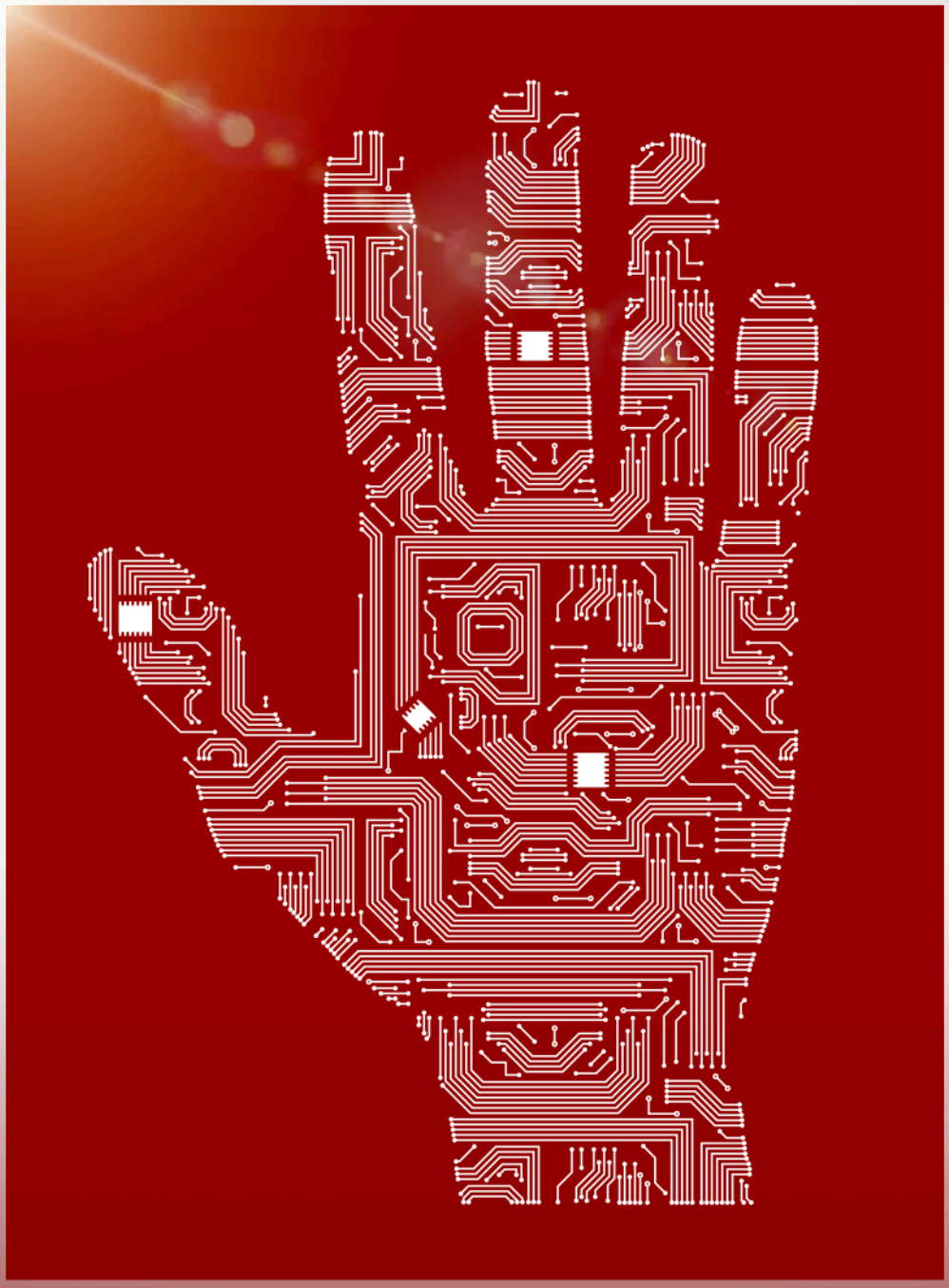
INNOVATION DEVELOPMENT ENGINEERING APPLIED SCIENCE



UTN
IBARRA - ECUADOR

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
FICA

http://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas



JOURNAL

I nnovation & D evelopment in E ngineering and A pplied S cience

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

IBARRA - ECUADOR
2021
FICA

COMITE EDITORIAL

Jorge Caraguay, MSc.
MANAGING DIRECTOR
e-mail: jacaraguay@utn.edu.ec

Daisy Imbaquingo, MSc.
GENERAL EDITOR
E-mail: deimbaquingo@utn.edu.ec

Alexander Guevara, MSc.
TECHNICAL EDITOR
email: alexguevara@utn.edu.ec

Marco Ciaccia, PhD.
SECTION EDITOR
E-mail: mciaccia@utn.edu.ec

Marcelo Zambrano, PhD.
SECTION EDITOR
E-mail: omzambrano@utn.edu.ec

David Ojeda, PhD.
SECTION EDITOR
E-mail: daojeda@utn.edu.ec

Fernando Ramírez, PhD.
SECTION EDITOR
E-mail: frramirez@utn.edu.ec

Roberth Valencia, PhD.(c)
SECTION EDITOR
E-mail: rmvalencia@utn.edu.ec

Brizeida Gámez, PhD.
ACADEMIC EDITOR
E-mail: bngamez@utn.edu.ec

Miguel Vivert, PhD.
ACADEMIC EDITOR
Email: mevivert@utn.edu.ec

Vladimir Bonilla Venegas, PhD
ASSOCIATED EDITOR
E-mail: fbonilla@ute.edu.ec

Mario Ron, PhD.
ASSOCIATED EDITOR
E-mail: nbron@espe.edu.ec

Thalia Daniela San Antonio Serrano, PhD
ASSOCIATED EDITOR
E-mail: tsanantonio@uta.edu.ec

Ana Cabrera, PhD.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
E-mail: akcabrera@utn.edu.ec

Lilibeth Zambrano, PhD.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
email: zambranol@itcarlow.ie

Belkys Amador, PhD.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
mail: bamador@unet.edu.ve

Andrea Basantes, PhD.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
mail: avbasantes@utn.edu.ec

Roger Mafla, Lic.
DIAGRAMMER DESIGNER
E-mail: rfmafla@utn.edu.ec

Silvia Arciniega, Dra.
SECRETARY AND STYLE CORRECTOR
E-mail: srarciniega@utn.edu.ec

Leonardo Ibujés
ASSISTANT
email: lvibujesc@utn.edu.ec

Jerson Vásquez
ASSISTANT
email: jjvasquezp@utn.edu.ec

COMITE EDITORIAL

Marcelo Cevallos Vallejos, PhD.
RECTOR
email: rectorado@utn.edu.ec

Dr. Miguel Naranjo Toro, PhD
ACADÉMIC VICE-RECTOR
email: viceacademico@utn.edu.ec

José Revelo Ruiz, Dr.
ADMINISTRATIVE VICE-RECTOR
email: viceadministrativo@utn.edu.ec

Jorge Caraguay, MSc.
DEAN FICA
email: jacaraguay@utn.edu.ec

Catalina Ramírez, MSc.
SUBDEAN FICA
email: mcramirez@utn.edu.ec

Luis Súarez, MSc.
RESEARCH COORDINATOR
email: lesuarez@utn.edu.ec

Pedro Granda, MSc.
COORDINATOR CISIC-CSOFT
email: pdgranda@utn.edu.ec

Ing. Edgar Daniel Jaramillo Vinueza, MSc.
CCOORDINATOR CIERCOM-CITEL
email: edjaramillo@utn.edu.ec

Ing. Karla Paola Negrete, MSc.
CCOORDINATOR CINDU
email: kpnegrete@utn.edu.ec

Diego Ortiz, MSc.
COORDINATOR CIME
email: dlortiz@utn.edu.ec

Gerardo Collaguazo, PhD.
CCOORDINATOR CIELE
email: gicollaguazo@utn.edu.ec

Ignacio Benavides, MSc.
COORDINATOR CIAU
email: ibbenavides@utn.edu.ec

Ing. Marco Naranjo Toro, MSc.
COORDINATOR CITEX
email: mfnaranjo@utn.edu.ec

EDITORIAL UTN
IBARRA - ECUADOR

UNIVERSITY PRINTING 2021
Universidad Técnica del Norte
Ibarra-Ecuador

IDEAS

IDEAS

I D E A S

JOURNAL

IDEAS

IDEAS

EDITORIAL

In this XXth edition, IDEAS continues to publish scientific papers from various areas of engineering, coming from prestigious national and international institutions. Therefore, we appreciate the confidence deposited in this journal of important researchers around the world to visualize their results.

As in previous editions, double-blind peer review was performed. Therefore, the first paper is presented by Cuasapaz, Rosero and Illescas, from the "Instituto Superior Tecnológico Sucre". They propose a methodology that help to take fast decisions in place illuminations using the software Dialux 8.1 following the ARCONEL 006/18 regulations.

Revelo and Cuasapaz, from "Universidad Politécnica Salesiana" and Rosero from the "Instituto Superior Tecnológico Sucre" present a hybrid isolating net system design for the "Centro de Operaciones Espaciales Cotopaxi", using the software iHOGA (Hybrid Renewable Optimization by Genetic Algorithms).

González and García de María, from "Universidad Politécnica de Madrid", show a modelling and simulation of thermal storage tank for supercritical Brayton cycle power to take advantage of energy heat.

Andrade, from "Escuela Politécnica Nacional", presents the development of coffee capsules using biodegradable material from vegetal origin.

On the other hand, Urbáez and Urbina from "Universidad de Carabobo" and Ojeda from "EAFIT", show a presurgical stabilization splint design for femur fractures following measures anthropometric of an adult. It can be used for different positions.

An analysis of pickup truck diesel consumption in different altitude is presented by Caiza from "Mecánica Agrícola Espín".

The last work presented by Bahamond and Zambrano from "Escuela Politécnica Nacional" and Rosero from the "Instituto Superior Tecnológico Sucre" propose a remote system to read the domestic water consumption using a web page and/or mobile app.

In IDEAS, we reiterate our acknowledges to all researcher that contributed with their works from different engineering and sciences applied areas making reality the volume XX, of 2021.

Finally, we invite to every national and international researcher in publish their scientifical works in IDEAS, journal that is strengthen every day

Jorge Caraguay Procel, M.Sc.
Editor-in-Chief

Daisy Imbaquingo, M.Sc.
General Editor


FICA

INDEX

PAGE 11 — PAPER 1 — Administración efectiva de recursos técnicos para el diseño de iluminación Viaria mediante Tecnología

PAGE 27 — PAPER 2 — Factibilidad técnica y económica de un sistema eléctrico híbrido aislado para el Centro de Operaciones Espaciales Cotopaxi, por medio del software iHOGA

PAGE 47 — PAPER 3 — Modelado y simulación de tanques de almacenamiento térmico para Ciclos de Potencia Brayton supercríticos

PAGE 63 — PAPER 4 — Diseño y estudio de Cápsulas de Café para compostaje como modelo de negocio utilizando Café de la región

PAGE 75 — PAPER 5 — Férula de estabilización preoperatoria en fracturas de fémur

PAGE 93 — PAPER 6 — Análisis del consumo de combustible en un vehículo “pickup” ciclo Diesel bajo distintas condiciones de altura

PAGE 121 — PAPER 7 — Sistema remoto para la medición y visualización del consumo de agua



IDEAS

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

Administración efectiva de recursos técnicos para el diseño de iluminación viaria mediante tecnología LED

https://doi.org/10.53358/ideas.v3i1.532

Darwin Cuasapaz[1], Ricardo Rosero[1], Santiago Illescas[1]
[1] Instituto Superior Tecnológico Sucre, Tecnología Superior en Electricidad,
Avenida 10 de agosto N26-27 y Luis Mosquera Narváez-Ecuador 170109 Quito, Ecuador

[1]dcuasapaz@tecnologicosucre.edu.ec, sillescas@tecnologicosucre.edu.ec, rrosero@tecnologicosucre.edu.ec

RESUMEN

A nivel mundial el diseño de sistemas de iluminación viario debe cumplir con normas y criterios de acuerdo al tipo de vía, densidad de tráfico, topología entre otras. Según el CENACE en Ecuador el sistema de alumbrado público supone un 6% del consumo eléctrico nacional. La tecnología LED hasta el momento se muestra como la mejor opción para sistemas de iluminación industrial y comercial, respecto a sistemas de iluminación viario cabe mencionar que los costos de adquisición van en decremento; sin embargo, al compararlo con tecnologías convencionales como son las lámparas de vapor de sodio aún son mucho más costosas. Si bien es cierto la potencia de las luminarias LED es baja respecto a tecnologías convencionales, el flujo luminoso es superior. La presente investigación muestra una metodología que permitirá tomar una decisión rápida del diseño en tramos de 100m lineales, el análisis se realiza en diferentes escenarios empleando el software Dialux 8.1 y en correlación a los criterios de la regulación ARCONEL 006/18. Se procedió a evaluar en tres escenarios, teniendo como resultado que dos de ellos cumplen con los criterios de calidad.

Palabras Clave: Dialux, Flujo luminoso, Iluminancia, Sistema de iluminación.

Abstract. Worldwide, the design of road lighting systems must comply with standards and criteria according to the type of road, traffic density, topology, among others. According to CENACE in Ecuador, the public lighting system accounts for 6% of the national electricity consumption. LED technology so far is shown as the best option for industrial and commercial lighting systems, with respect to road lighting systems we can mention that the acquisition costs are decreasing, however, when compared with conventional technologies such as street lamps. Sodium vapor are still much more expensive, although the power of LED luminaires is low compared to conventional technologies, the luminous flux is higher. The present investigation shows a methodology that will allow a quick design decision to be made in sections of 100 linear meters, the analysis is carried out in different scenarios through the help of the Dialux 8.1 software and in correlation to the criteria of the ARCONEL 006/18 regulation. . Three scenarios were evaluated, with the result that two of them meet the quality criteria.

Keywords: Dialux, Luminous flux, Illuminance, Lighting system.

Introducción

Hoy en día, el uso eficiente de la energía eléctrica se plantea como una necesidad global para solucionar los problemas climáticos y de contaminación medio ambiental.

La iluminación artificial representa alrededor del 20% de la producción eléctrica mundial y las emisiones de CO2 de 1900 Mt por año [1]. La tecnología de iluminación por diodos emisores de luz (LED) es la indicada para reemplazar las tecnologías de sodio incandescente, fluorescente, de baja y alta presión (HPS) y de halogenuros metálicos (MH), que se utilizan masivamente para la iluminación de espacios al aire libre. Estas luces tienen una amplia gama de longitudes de onda, consumen grandes cantidades de energía eléctrica y producen calor, lo que hace que estos elementos del sistema sean ineficientes [2]. Entre las ventajas de las luminarias LED tenemos; son de bajo consumo energético, la baja emisión de calor al ambiente, el mantenimiento es nulo y tiene una larga vida [3].

En el Ecuador el alumbrado supone un 6% del consumo eléctrico nacional y se lo ha categorizado en Alumbrado Público General (Iluminación de vías), Alumbrado Público Ornamental (Iluminación de parques, plazas, iglesias, monumentos) y Alumbrado Público Intervenido. La tecnología LED avanza rápidamente y ofrece un gran potencial de ahorro de energía. El aumento de la eficacia y la mejora del diseño de luminarias y control de la iluminación permite mejorar la optimización de diferentes condiciones de iluminación, la tecnología LED cumple con los criterios de calidad como luminancia, color de la luz, reproducción del color, distribución de la luz, parpadeo y deslumbramiento. el estudio realizado por Mónica Sabogal (2015) realizado en Colombia, donde se evidencia la urgente necesidad de cambiar los modelos de iluminación del país, implementando tecnología LED con un beneficio directo en el consumo de energía, logrando ahorros de electricidad de entre el 50% y el 90%, proyectando un retorno de la inversión a muy corto plazo [4].

Referente al diseño es importante considerar que la temperatura de color de la fuente de luz tiene un efecto sobre la eficiencia energética del sistema de iluminación y puede causar efectos fisiológicos para los seres humanos y los animales. Se ha demostrado que la luz blanca favorece la percepción del ojo humano de manera más efectiva que la luz ámbar, pues se percibe una mayor intensidad.

Leyes y curvas

Ley inversa de los cuadrados

La ley inversa del cuadrado se refiere a aquellos fenómenos físicos ondulatorios, como la luz y el sonido, cuya intensidad disminuye de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al centro donde se origina [5].

$$(I = E_1 d_1^2 I = E_2 d_2^2) \rightarrow E_1 d_1^2 = E_1 d_2^2 \rightarrow \frac{E_2}{E_1} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (1)$$

Donde:

E_1 Iluminación a la distancia d_1

E_2 Iluminación a la distancia d_2

d_1 = distancia 1

d_2 = distancia 2

En la figura 1 se aprecia la representación gráfica de dicha ley, se observa cómo la intensidad luminosa disminuye a medida que la distancia aumenta.

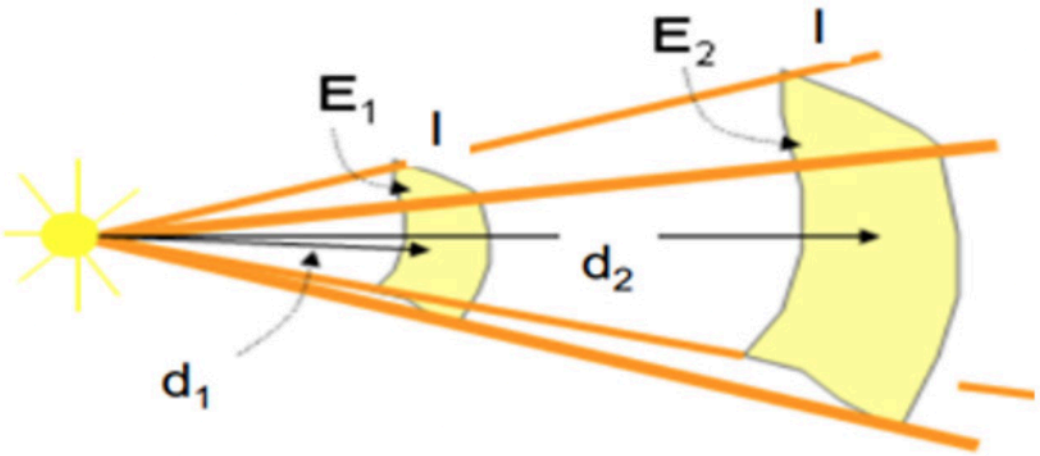


Fig. 1. Ley inversa de los cuadrados

Ley de los cosenos

Cuando la superficie iluminada no es perpendicular a la dirección del rayo luminoso, como el punto considerado en la figura 2, la iluminancia recibida se descompone en una componente horizontal E_H y una componente vertical E_V[6].

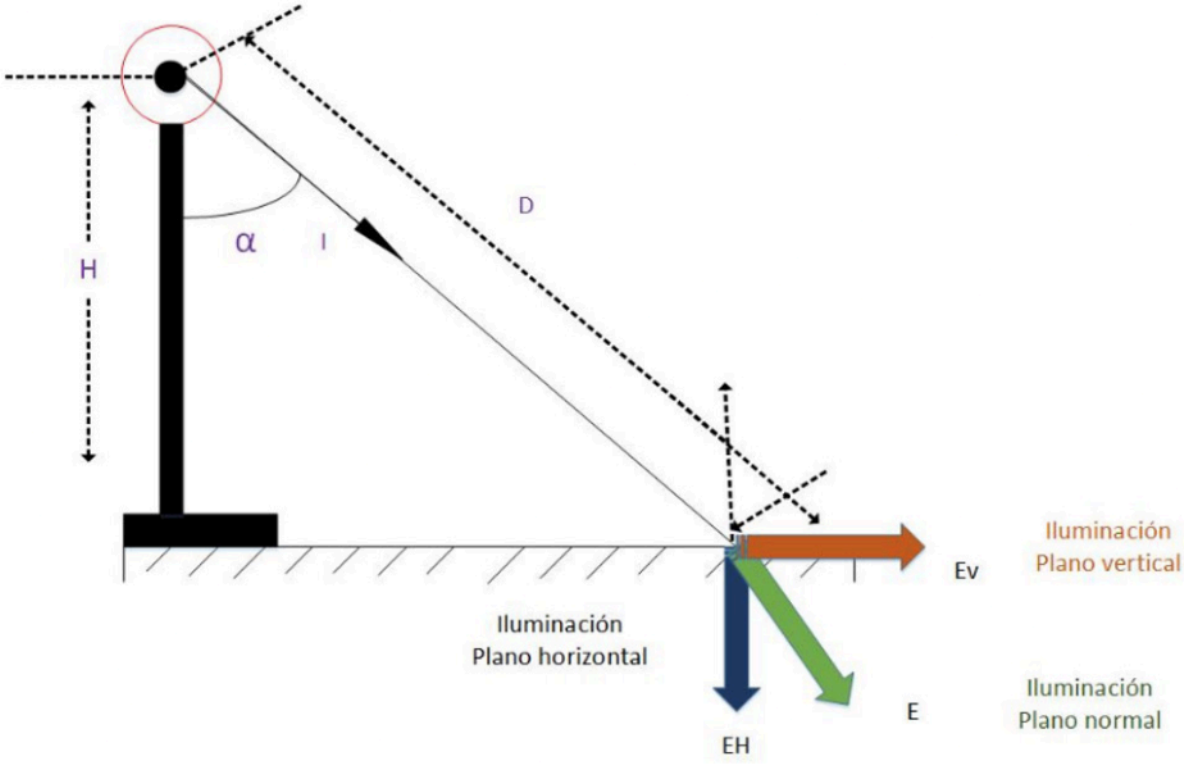


Fig. 2. Ley de cosenos

En función de la figura 2 obtenemos para E_H:

$$E_{H=}\frac{I\cos^3\propto}{H^2} \quad (2)$$

Mientras que para EV:

$$E_{V=}\frac{I}{H^2}sen\alpha\,.\cos^2\alpha \quad (3)$$

Para ambos casos tenemos que:

E_H= Iluminación plano Horizontal

E_V= Iluminación plano vertical

d = distancia de la luminaria al punto donde se quiere saber la iluminación

H = altura de la luminaria al piso

Curvas de distribución luminosa

Las curvas fotométricas son la representación gráfica del comportamiento de la luz, muestran diferentes características relacionadas con la naturaleza de la fuente, el tipo de reflector, la óptica o el diseño de las luminarias [7]. Contar con las curvas y sus correspondientes archivos fotométricos es una herramienta importante para la selección de la luminaria o la fuente ideal para cada proyecto de iluminación. Es importante disponer de archivos fotométricos fiables y acordes a las curvas polares presentadas por los fabricantes en sus catálogos de luminarias para contar con los cálculos correctos [8].

Curvas Isolux

Son puntos que unen espacios de una superficie que tienen igual nivel de iluminación, Son análogas a las curvas de nivel de los planos topográficos, pero ahora de relación en metros, se indican en lux[5]. Normalmente, las curvas Isolux se suministra, para una determinada luminaria, reducidas a la distancia de un metro y referidas a 1000 lúmenes [9].

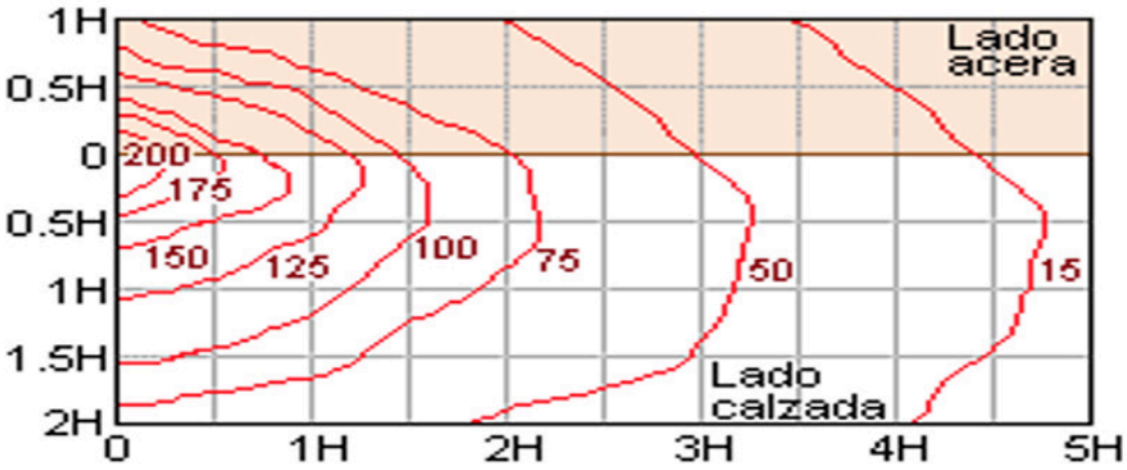


Fig. 3. Curva Isolux

Tipos de iluminación

Iluminación viaria y urbana

El objetivo principal de la iluminación viaria y urbana es permitir una visión segura y cómoda a los conductores y peatones, durante las horas en las que la luz natural no es suficiente, cabe diferenciar que la iluminación funcional hace referencia a las instalaciones de iluminación de carreteras, autopistas, autovías y vías urbanas mientras que la iluminación ambiental se refiere a las instalaciones de alumbrado sobre soportes de baja altura, entre 3 y 5 metros, en zonas urbanas para la iluminación de vías peatonales, comerciales, aceras, parques, jardines y vías de velocidad limitada estas instalaciones requieren unas condiciones visuales distintas por la velocidad de movimiento de las personas y la importancia de los objetos u obstáculos que están cerca, en lugar de los que están más alejados[8].

La iluminación ambiental comparte los mismos objetivos que la iluminación funcional pero también debe formar parte integral del paisaje urbano durante el día y crear sensación acogedora de bienestar en la noche [9].

En las luminarias para alumbrado público, para definir una dirección, se utilizan los ángulos C y ϒ, usados en los diagramas polares [10]. Se supone la luminaria situada dentro de una esfera y sobre ella, se dibujan las líneas isocandelas [11].

Los puntos de las curvas se obtienen por intersección de los vectores de la intensidad luminosa con la superficie de ésta. Para la representación plana de la superficie, se recurre a la proyección azimutal de Lambert, como lo muestra la figura 4.

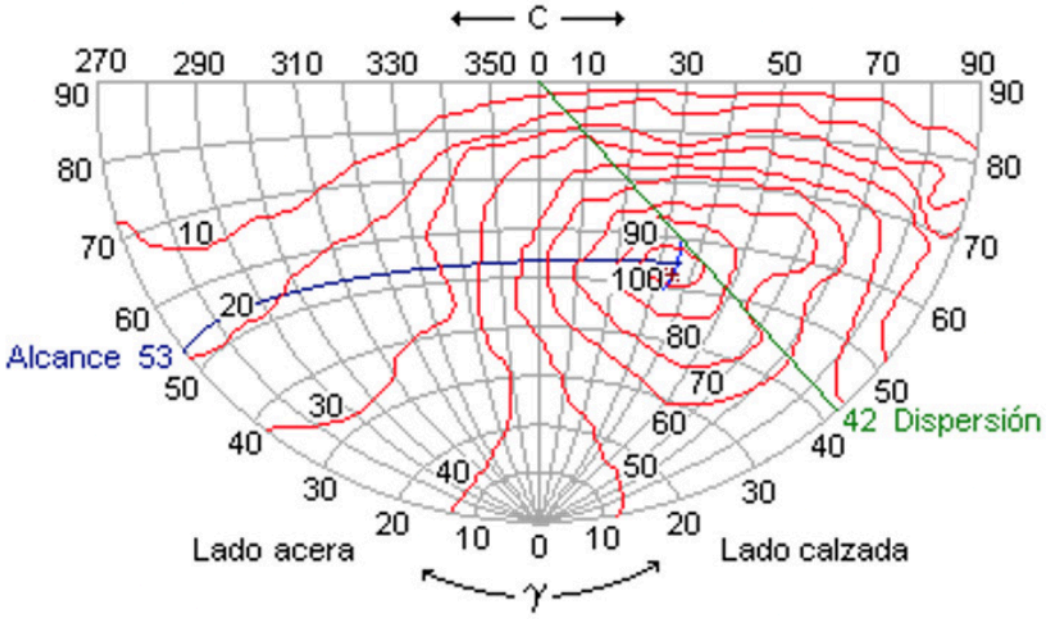


Fig.4. Líneas isocandelas

En la figura 4, los meridianos representan el ángulo C, los paralelos el ángulo Y y las intensidades las líneas rojas, se representan en tanto por ciento de la intensidad máxima. Como en este tipo de proyecciones las superficies son proporcionales a las originales, el flujo luminoso se calcula como el producto del área en el diagrama (en estereorradianes), por la intensidad luminosa en el área [12].

Además de intensidades y flujos, este diagrama informa sobre el alcance y la dispersión de la luminaria [13]. El alcance da una representación de la distancia longitudinal máxima que llegaría el haz de luz en la calzada, mientras que la dispersión se refiere a la distancia transversal [14].

Metodología de diseño

Se presenta una base metodológica para el diseño de iluminación viaria a 100m lineales, el análisis se lo realiza en diferentes escenarios por medio de la ayuda del software Dialux 8.1 y en correlación a los criterios de la regulación ARCONEL 006/18. Se procedió a evaluar en tres escenarios en los que se toma en cuenta los parámetros de: dimensiones de la vía, presencias de curvas, aceras laterales, línea verde, tipo de iluminación, características de la firmeza de la calzada y la distancia calzada-acera

Las especificaciones sobre la clase de alumbrado están clasificadas de M1 a M5, y son seleccionadas conforme a: la función de la vía pública, densidad de tráfico, complejidad del tráfico, separación del tráfico y la existencia de facilidades para el control de éste, tales como señales de tránsito (Ver tabla 1).

Tabla 1. Clases de alumbrado para diferentes vías públicas

Descripción de la vía	Clase de alumbrado
Vías de alta velocidad, con pistas separadas libres de intersecciones al mismo nivel y con accesos completamente controlados, autopistas, autovías. Con densidad de tráfico y complejidad de circulación	
Alta (Más de 1000 vehículos/hora)	M1
Media (Entre 500 y 1000 vehículos/hora)	M2
Baja (Entre 150 y menos de 500/hora	M3
Vías de alta velocidad, vías con doble sentido de circulación. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía:	
Pobre	M1
Bueno	M2
Vías secundarias de conexión, carreteras distribuidoras locales, vías de acceso principales residenciales, carreteras que proporcionan acceso a propiedades y conducen a conexiones de carreteras. Con control de tráfico y separación de diferentes usuarios de la vía:	
Pobre	M4
Bueno	M5

Fuente: Arconel 008/16

Conocidas las características de las vías y sus requerimientos visuales, se deberá asignar la clase de iluminación necesaria. A cada clase de iluminación se le establece los requisitos fotométricos mínimos mantenidos a través del tiempo, los cuales se condensan en la tabla 2 para luminancia, cuando este es el criterio aplicado.

Tabla 2. Valores mínimos de iluminancia

Clase de iluminación — Valor promedio (mínimo a mantener) de iluminancia según tipo de superficie de la vía (lx) — Uniformidad de la iluminancia

Clase de iluminación	Valor promedio (mínimo a mantener) de iluminancia según tipo de superficie de la vía (lx)			Uniformidad de la iluminancia
	R1	R2 y R3	R4	Emin/Eprom (%)
M3	12	17	15	34%
M4	8	12	10	25%
M5	6	9	8	18%

Fuente: Arconel 008/16

Los diseños podrán ser realizados en base al criterio de iluminancia para las vías cuyas características se encuentran en la tabla 3 consideradas en la tabla 2.

Tabla 3. Características de la calzada

Clase de iluminación	Descripción del uso de la calzada
R1	Superficies de asfalto con un mínimo del 15 % de materiales reflectivos o materiales artificiales claros o al menos un 30 % de anortositas muy brillantes. Superficies que contienen gravas que cubren más del 80% de la superficie de la calzada, y las gravas constan de gran cantidad de material claro, o reflectivos o están compuestas al 100% de anortositas muy brillantes. Superficies de calzada de hormigón de concreto. Superficies con textura rugosa que contienen agregados normales.
R2	Superficies asfálticas (pavimentos bituminosos que contienen el 10% al 15% de abrilladores artificiales. Hormigón bituminoso grueso y rugoso, rico en gravas (más del 60%) de tamaños mayores a 10 mm. Asfalto mástico después de ser tratado.
R3	Revestimiento en Hormigón (asfalto frío, asfalto cemento) con tamaño de grava superior a 10 mm, con textura rugosa. Superficies tratadas con textura rugosa pero pulimentada.

Fuente: Arconel 008/16.

Mediante la recolección de información en diferentes catálogos de luminarias y el análisis de sus características lumínicas tales como: curvas isolux, curvas de distribución luminosa, potencia, aplicaciones y garantía, ayudo a determinar el tipo de luminaria más adecuada desde un punto de vista técnico y económico.

Resultados

Para la determinación de la opción más viable desde un punto de vista técnico y económico se procedió a generar tres escenarios distintos, en los mismos se aprecia el diseño de iluminación, fuerza y un análisis de costos.

Los distintos escenarios han sido simulados en el software DIALUX 8.1 tomando en cuenta las siguientes características:

Tabla 4. Características del caso de estudio

Dimensiones de la vía	5m/ 100m
Presencia de curvas	No
Aceras laterales	No
Línea verde	Costados
Tipo de iluminación	M4
Características de la firmeza de la calzada	R3
Distancia calzada-acera	0.60m (Por normativa)

Para efectos de estudio se ha seleccionado una luminaria con las siguientes características:

Tabla 5. Características del caso de estudio

Tecnología	LED
Potencia	100 W
Flujo luminoso	12379 lm
Factor de utilización/degradación	0.670

Escenario 1

En este escenario se considera tres luminarias separadas por una distancia entre mástiles de 31m y 19m de distancia desde el inicio de la calzada hasta el primer mástil dicha distancia se replica desde el ultimo mástil hasta el final de la calzada (Figura 5)

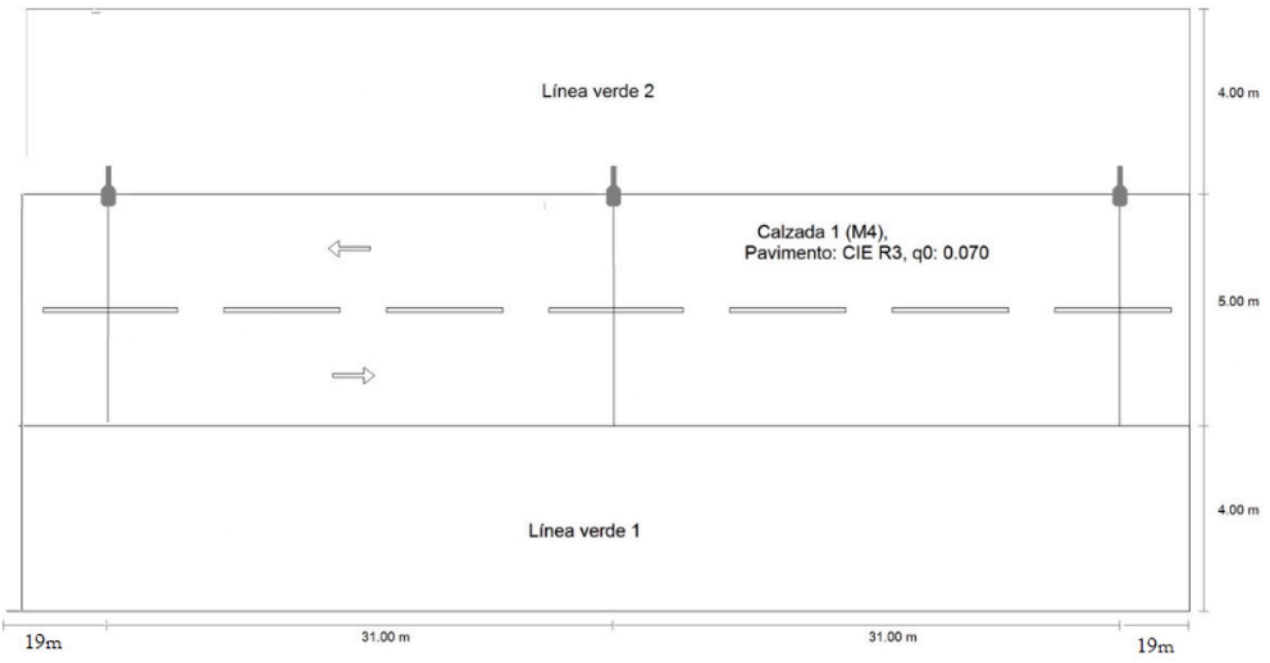
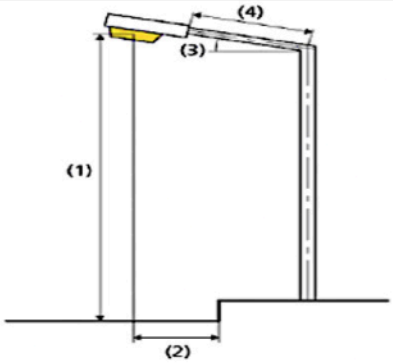


Fig. 5. Distancia entre mástiles-escenario 1

En la tabla 6, se puede observar el dimensionamiento de cada luminaria incluido el mástil, en las pruebas realizadas se pudo determinar que la altura de punto de luz no puede ser menos a 8m pues no se cumpliría con el factor de uniformidad Ui.

Tabla 6. Dimensionamiento de la lámpara

1.- Altura de punto de luz	8m
2.- Saliente del punto de luz	0m
3.- Inclinación del brazo	0.00
4.- Longitud del brazo	0.60



Los datos arrojados en la simulación realizada en DIALUX 8.1 son los siguientes:

Luminancia medida (***Lm***): Valor medio de la luminaria en una superficie Cd/m^2

Uniformidad global de luminancias (***Uo***): Es la relación entre la luminancia mínima y la media.

Uniformidad longitudinal de luminarias (***Ui***): En alumbrado viales, es la relación mínima/ media a lo largo de un eje de circulación.

Tabla 7. Resultados de simulación escenario 1- Altura de punto de luz 6m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	0.97cd/m²	≥ 0.75 cd/m²	✓
	Uo	0.42	≥ 0.40	✓
	Ui	0.35	≥ 0.60	x
	TI	11%	≤ 15%	✓
	R□	0.64	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Tabla 8. Resultados de simulación escenario 1- Altura de punto de luz 8m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	0.78cd/m²	≥ 0.75 cd/m²	✓
	Uo	0.58	≥ 0.40	✓
	Ui	0.61	≥ 0.60	✓
	TI	7%	≤ 15%	✓
	R□	0.74	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Tabla 9. Resultados de simulación escenario 1- Altura de punto de luz 10m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	0.65cd/m²	≥ 0.75 cd/m²	x
	Uo	0.71	≥ 0.40	✓
	Ui	0.78	≥ 0.60	✓
	TI	5%	≤ 15%	✓
	R□	0.79	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Escenario 2

En este escenario se considera dos luminarias separadas por una distancia entre mástiles de 40m entre mástiles y 10m de distancia desde el inicio de la calzada hasta el primer mástil dicha distancia se replica desde el ultimo mástil, se intentó determinar la factibilidad de utilizar dos luminarias, sin embargo, a pesar de que se realizó una variación de la altura de punto de luz de 6m hasta 12m no se obtuvo resultados favorables pues no se cumplió con los criterios de calidad.

Tabla 10. Resultados de simulación escenario 2-Altura de punto de luz 6m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	0.76cd/m²	≥ 0.75 cd/m²	✓
	Uo	0.30	≥ 0.40	x
	Ui	0.17	≥ 0.60	x
	TI	13%	≤ 15%	✓
	R□	0.64	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Tabla 11. Resultados de simulación escenario 2-Altura de punto de luz 8m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	0.61cd/m²	≥ 0.75 cd/m²	x
	Uo	0.45	≥ 0.40	✓
	Ui	0.38	≥ 0.60	x
	TI	8%	≤ 15%	✓
	R□	0.74	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Tabla 12. Resultados de simulación escenario 2-Altura de punto de luz 10m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	0.51cd/m²	≥ 0.75 cd/m²	x
	Uo	0.59	≥ 0.40	✓
	Ui	0.58	≥ 0.60	x
	TI	6%	≤ 15%	✓
	R□	0.79	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Escenario 3

En este escenario se considera dos luminarias separadas por una distancia entre mástiles de 20m entre mástiles y 20m de distancia desde el inicio de la calzada hasta el primer mástil dicha distancia se replica desde el ultimo mástil, se incrementa el número de luminarias a 4 esperando con ellos poder disminuir la altura de punto de luz y por ende del mástil. (Figura 6)

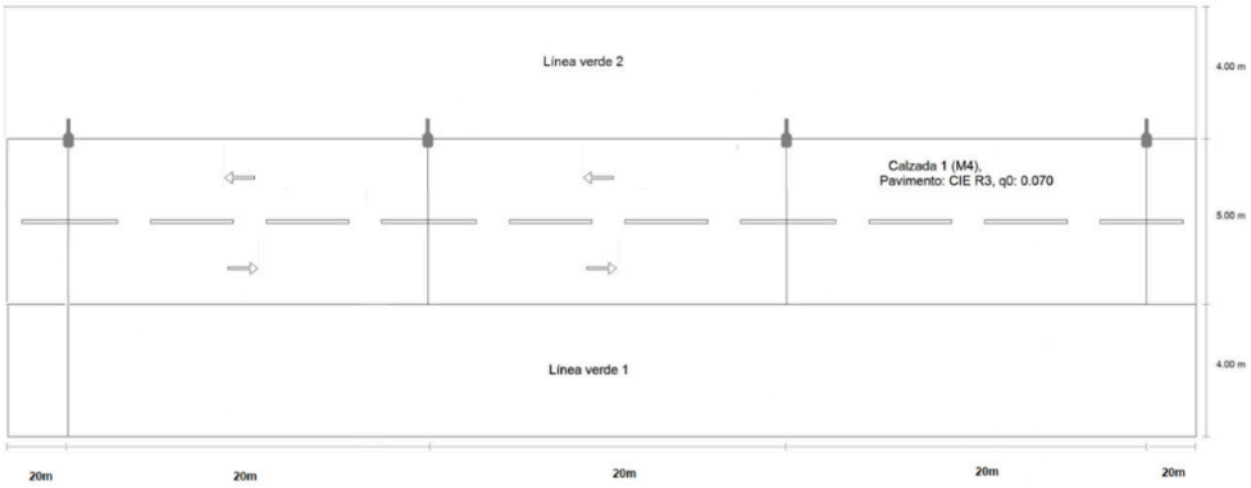


Fig. 6. Distancia entre mástiles-escenario 3

Tabla 13. Resultados de simulación escenario 3-Altura de punto de luz 4m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	1.99 cd/m²	≥ 0.75 cd/m²	✓
	Uo	0.42	≥ 0.40	✓
	Ui	0.39	≥ 0.60	x
	TI	23%	≤ 15%	x
	R□	0.47	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Tabla 14. Resultados de simulación escenario 3-Altura de punto de luz 5m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	1.72 cd/m²	≥ 0.75 cd/m²	✓
	Uo	0.53	≥ 0.40	✓
	Ui	0.60	≥ 0.60	✓
	TI	13%	≤ 15%	✓
	R□	0.57	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Tabla 15. Resultados de simulación escenario 3-Altura de punto de luz 6m

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
Calzada 1 (m4)	Lm	1.51 cd/m²	≥ 0.75 cd/m²	✓
	Uo	0.59	≥ 0.40	✓
	Ui	0.75	≥ 0.60	✓
	TI	9%	≤ 15%	✓
	R□	0.64	≥ 0.30	✓

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.67

Análisis comparativo de los dos escenarios más viables

En la tabla 16 se puede observar la comparativa de materiales a utilizar se desprecia los materiales de obra civil, así como la cantidad de tubería Conduit pues respecto a costos se considera una variabilidad mínima.

Tabla 16. Comparativa entre escenarios viables

	Escenario 1	Escenario 3
Número de luminarias	3	4
Número de poste o mástil	3	4
Altura de punto de luz	8m	5m
Carga total	300W	400W
Metros de conductor requerido por fase	De 121m a 125m	De 125m a 130m

Dimensionamiento de conductores

Para el dimensionamiento del calibre de los conductores se considera como mínimo la capacidad de corriente

Tabla 17. Dimensiones del conductor

	Escenario 1	Escenario 3
Carga total	300	400
Demanda total	3	4
Altura de punto de luz	8m	5m
Carga total	300W	400W
Metros de conductor requerido por fase	De 121m a 125m	De 125m a 130m

Conclusiones

En este caso de estudio y en función de las características propias de la vía se trata de un tramo M4, R3 es decir una vía de bajo tráfico (<100 vehículos por hora) y superficie rugosa.

La simulación se efectuó en el software Dialux donde se puede concluir que para un tramo de 100 m existen dos alternativas viables utilizando 3 y 4 luminarias, por tanto, el número de luminarias en gran medida estará en función de la altura del haz de luz.

El costo del proyecto puede variar en función de la topología seleccionado, pues si bien es cierto en el primer caso se utilizan menos luminarias, se debe considerar que la altura del poste será mayor, lo cual representa tanto un impacto a nivel visual como en el costo del poste.

Si bien es cierto la potencia de las luminarias LED es baja, esto no implica que el efecto de caída tensión debe descuidarse, pues a 100m de distancia se presenta caídas de tensión considerables, aun así y por la potencia de la lámpara, la tecnología LED tiene ventaja, pues los costos en cableado en comparación con tecnologías tradicionales son menores.

Referencias

C. Vargas, M. García, D. Guevara, and A. Ríos, "Escenarios de Integración de Sistemas Inteligentes de Iluminación Fotovoltaica en las Autopistas del Ecuador," Rev. Técnica "energía", vol. 12, no. 1 SE-TECNOLÓGICOS E INNOVACIÓN, p. 251–261 pp., Jan. 2016.

D. López and D. Mideros, "Diseño de un sistema inteligente y compacto de iluminación (Design of a Smart and Compact Illumination System)," pp. 226–235, 2018.

E. Olvera-gonzalez and N. Escalante-garcia, "applied sciences Modeling Energy LED Light Consumption Based on an Artificial Intelligent Method Applied to Closed Plant Production System," 2021.

Hermoso-Orzáez, M., Rojas-Sola, J., & Gago-Calderón, A. (2016). Electrical consequences of large-scale replacement of metal halide by LED luminaires. Lighting Research & Tech-nology, 50(2), 282–293. doi:10.1177/1477153516645647

J. Huam, "CONTROL INTELIGENTE DE EDIFICIOS Jezzy Huamán-Rojas," 2017.

L. A. C. D. E. Cuenca, "UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ciencias Químicas Maestría en Planificación y Gestión Energéticas," 2013.

Naranjo, L. D. M. (2009). Análisis de la ley de cuadrado inverso para medición práctica de iluminancia. Revista Ingeniería, 19(1), 87-96.

Q. García and J. Leonardo, "Caracterización del consumo de energía eléctrica en el edificio Cornelio Merchán de la Universidad Politécnica Salesiana (sede Cuenca)," 2015.

Rehman, M., Ullah, S., Bao, Y. et al. Light-emitting diodes: ¿whether an efficient source of light for indoor plants? Environ Sci Pollut Res 24, 24743–24752 (2017). https://doi.org/10.1007/s11356-017-0333-3

Sabogal Cruz, M. A. (2016). Análisis de costo/beneficio en la implementación de sistemas de iluminación led en la construcción de vivienda multifamiliar de estrato 4 en la ciudad de Bogotá (Bachelor's thesis, Universidad Militar Nueva Granada).

Tovar, I. L. J., & Benavides, H. S. (2015). Eficiencia del Ahorro Energético y Reducción del Impacto Ambiental Negativo de la Tecnología LED. Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información, 2(3).

V. Carlos, G. Jesús, R. Katherine, and R. Alberto, "Sistema de Iluminación Fotovoltaico en el Alumbrado Público Gestionado a través de una Plataforma Cloud / GIS Photovoltaic Lighting System in Public Lighting Managed through a Cloud / GIS Platform," vol. 39, no. 1, pp. 59–66, 2017.

V. Palacio, "Diseño de iluminación: desarrollo, práctica y educación," vol. 19, 2018.

Y. R. Gonzal and E. Ram, "Desarrollo de un sistema de iluminación artificial LED para cultivos en interiores - Vertical Farming (VF) Development of an artificial LED lighting system for indoor," vol. 80, pp. 111–120, 2016.



IDEAS

Journal

Factibilidad técnica y económica de un sistema eléctrico híbrido aislado para el Centro de Operaciones Espaciales Cotopaxi, por medio del software iHOGA

https://doi.org/10.53358/ideas.v3i1.533

Rosalía Revelo[1], Andrés Cuasapaz[2], Ricardo Rosero[2]
[1] Universidad Politécnica Salesiana, Maestría en electricidad Mención Sistemas Eléctrico en Potencia. Quito, (Ecuador)
[2]Instituto Superior Tecnológico Sucre, Carrera de Electricidad Av. 10 de Agosto N26-27 y Luis Mosquera Narváez, Quito, Ecuador.

[1]rrevelos@est.ups.edu.ec, [2]rrosero@tecnologicosucre.edu.ec, dcuasapaz@tecnologicosucre.edu.ec

RESUMEN

Este documento establece una base metodológica para el diseño de un sistema híbrido aislado de red para el Centro de Operaciones Espaciales Cotopaxi del Instituto Espacial Ecuatoriano, utilizando el software iHOGA Hybrid Renewable Optimization by Genetic Algorithms, para la optimización de componentes y la estrategia de control. Además, presenta un estudio de demanda y de los recursos renovables presentes en la estación Cotopaxi, utilizando las mediciones de la Estación M120 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, mediciones de la Nasa de radiación solar y de recurso eólico, los mapas de radiación solar del CONELEC y el mapa Eólico del MEER. Se finaliza con el procedimiento y análisis para la evaluación financiera escogiendo la mejor solución técnica y económica de diferentes escenarios de simulación.

Palabras Claves: iHOGA, Sistema Híbrido, Fotovoltaico, Eólica, Algoritmos Genéticos

Abstract. This document establishes a methodological basis for the design of an isolated hybrid network system for the Cotopaxi Space Operations Center of the Ecuadorian Space Institute, using the iHOGA Hybrid Renewable Optimization by Genetic Algorithms software, for the optimization of components and the control strategy. In addition, it presents a study of demand and the renewable resources present at the Cotopaxi station, using measurements from Station M120 of the National Institute of Meteorology and Hydrology INAMHI, NASA measurements of solar radiation and wind resources, and radiation maps. CONELEC solar and the MEER Wind map. It ends with the procedure and analysis for the financial evaluation, choosing the best technical and economic solution from different simulation scenarios.

Keywords: iHOGA, Hybrid System, Photovoltaic, Wind, Genetic Algorithms

Introducción

Se presenta una base metodológica para el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico con banco de batería aislado a la red para el COEC (Centro de Operaciones Espaciales Cotopaxi) del Instituto Espacial Ecuatoriano. Con el respectivo análisis de viento, de radiación solar y de carga.

El diseño y la optimización del sistema híbrido se realizó, utilizando el software iHOGA (Impruved Hybrid Optimización Genetic Algoritm), que incluye modelos avanzados de optimización por medio de algoritmos genéticos, logrando establecer diferentes escenarios de simulación, en sistemas de baja o alta potencia, los que pueden estar aislados o conectados a la red, con o sin consumo propio, logrando obtener casos de autoconsumo con Balance Neto (Net Metering) o Facturación Neta (Net Billing).

En el software se puede realizar la simulación y optimización de recursos, considerando el tiempo de vida útil de los equipos como son: paneles fotovoltaicos, aerogeneradores y baterías. La simulación se la puede realizar en pasos temporales de hasta un minuto, análisis de sensibilidad, análisis de probabilidad, etc. Utiliza modelos muy detallados de los componentes, obteniendo simulaciones y estimaciones del funcionamiento del sistema.

iHOGA proporciona un coste total actualizado del sistema que se desea realizar, lo que se consigue comparar distintas combinaciones de componentes y estrategias de control y obtener el óptimo. En el diseño se plantea escenarios de simulación, para demanda máxima, media y mínima. Con los resultados de optimización entregados por iHOGA se realiza un análisis desde el punto de vista técnico, financiero, y se selecciona un escenario definitivo.

Antecedentes y Planteamiento del Problema

Reseña histórica y descripción del sistema eléctrico actual

En 1957 la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio), instaló la Estación de Rastreo de Satélites. Actualmente el COEC se encarga del mantenimiento de instalaciones y equipos. [1]



Fig. 1. Vista panorámica estación Cotopaxi 1973
Fuente: Archivos del Instituto Espacial Ecuatoriano

Una vista panorámica de la estación Quito en 1973. La estación se encuentra a 3.650 metros (12.000 pies) de altura 69 kilómetros (43 millas) al sur de la línea ecuatorial (Fotografía de Charles Force)

El COEC obtiene información satelital de la superficie terrestre en un radio de 2 500 km, cubriendo 25 países de Centro América, Sur América y el Caribe. En el COEC se desarrolla geoinformación, para futuros estudios con temas relacionados al manejo de cuencas hidrográficas, planificación y ordenamiento territorial, gestión de recursos naturales, monitoreo ambiental, degradación de los recursos naturales, entre otros.

El suministro de energía eléctrica del COEC, llega a través de una red aérea de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ) de medio voltaje trifásica de 22,8 kV que parte del sector el Chaupi a 11 km. Se dispone de una generación emergente, por medio de motores a diésel marca Caterpillar, modelo 3208T (160 kVA) y con modelo D379 (350 kVA).

Consumo energético y costo de la energía

El consumo histórico registrado, de la red aérea de la Empresa Eléctrica Quito, establece con un máximo de 472,27 MWh/año en el año 2002 y un mínimo de 283,67 MWh/año para el año del 2012. El pago de energía eléctrica registra su valor máximo en el año 2002 con 36 386,19 USD anuales.

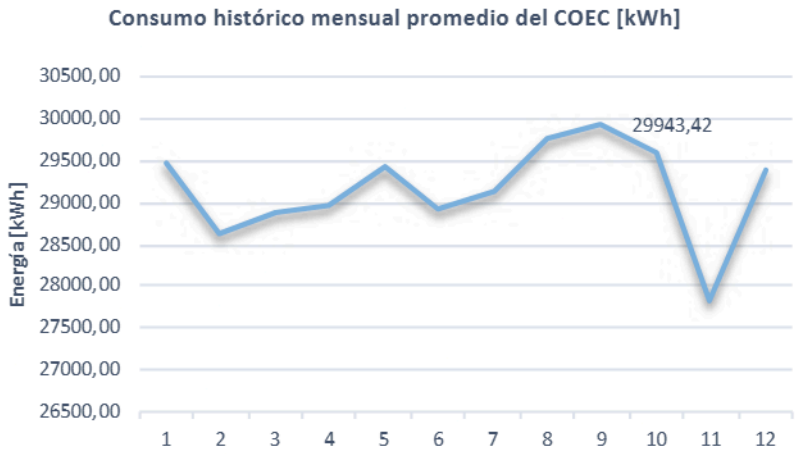


Fig. 2. Consumo histórico mensual promedio del COEC

Los galones totales consumidos desde el año 2008 hasta el año 2013 son 4 465 (46 475kg de C02 equivalentes).

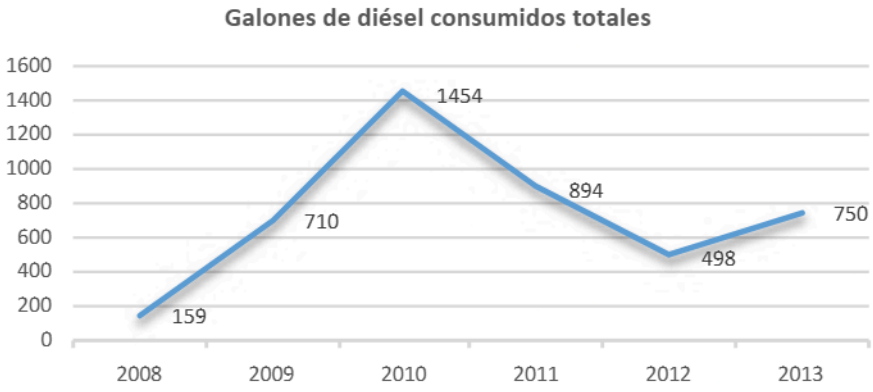


Fig. 3. Galones de diésel totales consumidos en el COEC

Diseño del Sistema Hibrido Utilizando Software iHOGA [2]

Para el diseño se utilizó el software iHOGA, que utiliza algoritmos genéticos para hallar el coste y las emisiones de Co2, permitiendo establecer diferentes escenarios hasta encontrar una solución óptima del número y tipo de paneles, el número y tipo de aerogeneradores, el tipo de inversor, la potencia del rectificador, la corriente del regulador de carga de las baterías y la estrategia de operación de la instalación.

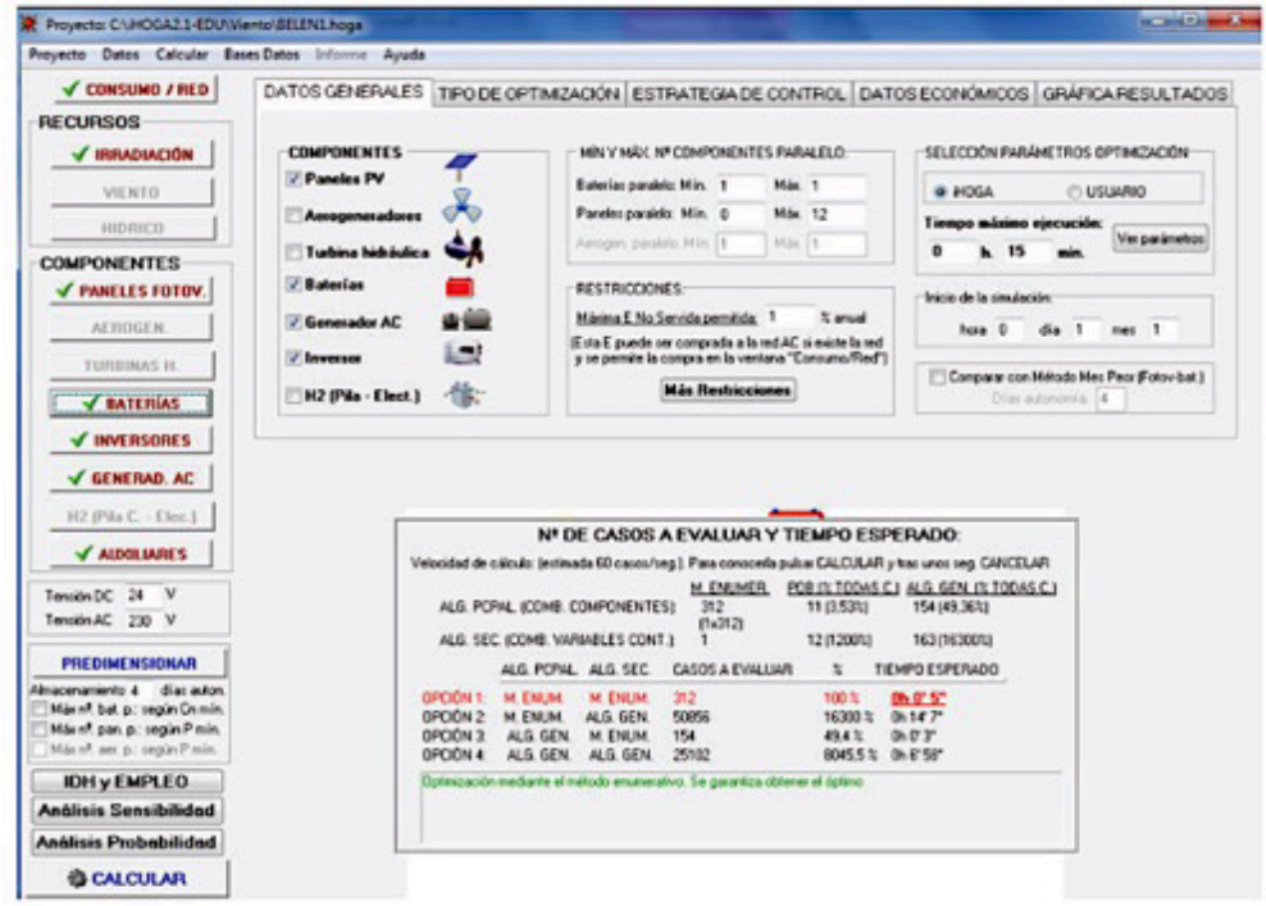


Fig. 4. Pantalla principal de ingreso software iHOGA

Algoritmo principal (optimización de componentes)

Para la optimización de los componentes, el número de casos que se evaluarán son:

Al optimizar con "método enumerativo "*El número de combinaciones posibles será*:

$$Combinaciones_(alg_pcpal) = Nº_tipos_paneles * (1 + Nºmax_paneles_paralelo - Nºmin_paneles_paralelo) * Nº_tipos_aerogen * (1Nºmax_aerogen_paralelo - Nºmin_aerogen_paralelo) * Nº_tipos_baterias * (1 + Nºmax_baterias_paralelo - Nºmin_baterias_paralelo) * Nº_tipos_gen_AC * Nºtipos_turbinas_hid * Nº_tipos_electroliz * Nº_tipos_pilas * Combinaciones_alg_secundario \quad (1)$$

Algoritmo secundario

El genotipo del algoritmo secundario consta de 12 genes, todos ellos variables de control del sistema y números enteros. Plímite_Carga, P1gen, P1pila, P2, Pmin_gen, Pmin_pila, SOCmin, Pcrítica_gen, Pcrítica_pila, SOCstp_gen, SOCstp_pila, H2TANKstp.

El número de combinaciones será:

$$Combinaciones_alg_secundario = Población_sec + (Generaciones_sec - 1) * Población_sec * (Tasa_cruce_sec/100 + Tasa_mutación_sec * long_cadena/100) \quad (2)$$

Al optimizar la estrategia con método enumerativo

En ese caso, el número de combinaciones posibles es:

$$Combinaciones_{alg_{secundario}} = (Precisión_{variables} + 1) * Nº_variables_a_optimiza \quad (3)$$

Seguimiento de máxima potencia (mppt):

Con esta estrategia el voltaje fijado por las baterías (tensión del bus DC), de forma que el voltaje sobre el generador fotovoltaico será la nominal del sistema (VbusDC), es decir, la de un panel multiplicada por el número de paneles en serie:

$$V_{bus\ DC} = V_{npanel} * N_{paneles_serie} \quad (4)$$

En este caso la potencia que suministra el generador fotovoltaico se calcula:

$$P = Isc * G * Vn_panel * Npaneles_serie * Npaneles_paralelo/FS \quad (5)$$

G es la irradiación sobre la superficie de los paneles, en kW/m2 y FS el factor de seguridad elegido.

Sin seguimiento de máxima potencia MPPT

En este caso el regulador de carga de las baterías dispone de seguimiento del punto de máxima potencia, por lo que en cada instante los paneles generan la máxima potencia posible, dependiendo de la irradiación.

La potencia se calcula con la siguiente ecuación, si no se tiene en cuenta el efecto de la temperatura ambiente:

$$P = Pn * G * Npaneles_serie * Npaneles_paralelo\ /FS \quad (6)$$

Pn es la potencia nominal (potencia pico, Wp) de los paneles fotovoltaicos.

Cálculo del número de paneles en serie teniendo en cuenta el voltaje de máxima potencia en lugar de la nominal de los paneles

En sistemas de pequeña potencia fotovoltaica con almacenamiento (baterías), el número de paneles necesario se calcula según:

$$paneles\ serie = \frac{V}{Vn_panel} \quad (7)$$

Efecto de la temperatura ambiente:

El efecto de la temperatura ambiente Tamb (°C) puede considerarse. La temperatura interna de la célula Tc se calcula según:

$$Tc = Tamb + G * (TONC - 20)/800 \quad (8)$$

Una vez calculada la temperatura interna de la célula, la potencia generada por el generador fotovoltaico se calcula según:

$$P = Pn * G * (1 + Ct/100 * (Tc - 25)) * Npaneles_serie * Npaneles_paralelo\ /FS \quad (9)$$

Estudio de Demanda y Recursos Energéticos

Curva de demanda del COEC

Las mediciones se obtuvieron con el Power Quality Analizer, clase A, este equipo tomó mediciones con una frecuencia de 10 minutos, durante 9 días.

El gobierno nacional en conjunto con PLANIFICA ECUADOR, viene desarrollando un proyecto de generación de geo información para la gestión del territorio a Nivel Nacional para lo cual ha creado la Coordinación General del Sistema de Información Nacional (CGSIN).

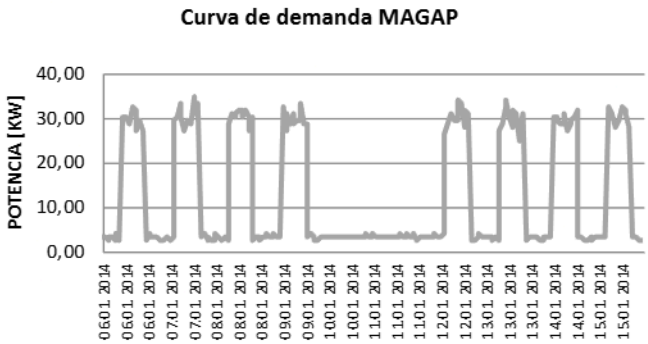


Fig. 5. Curva de demanda MAGAP

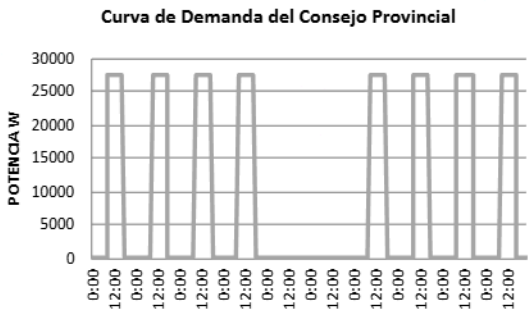


Fig. 6. Curva de demanda Consejo Provincial

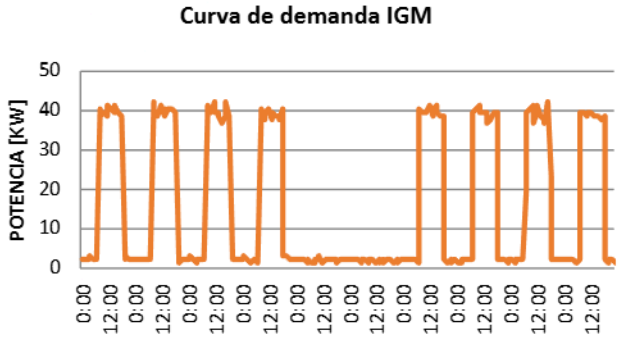


Fig. 7. Curva de demanda IGM

Fig. 7. Curva de demanda IGM

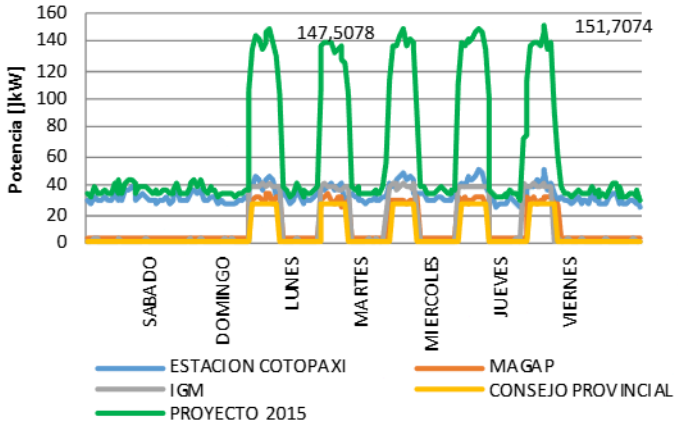


Fig. 8. Curva de demanda unificada COEC

Análisis del recurso eólico [3] [4]

Para tratamiento de datos y análisis del viento se utilizó tres fuentes de información, las mediciones del INAMHI del sitio, se tiene además las mediciones mundiales de la NASA, y finalmente el atlas eólico del MEER.

El instrumento de medición utilizado fue la veleta o aspa de wild ubicada en Estación Cotopaxi a 10 metros de altura, la frecuencia de la toma de datos fue de 1 hora.

Para obtener la curva diaria de viento, se utilizó la fuente de datos diaria cuyos valores se registraron a las 7h00, a las 13h00 y a las 19h00.

En el presente proyecto se utilizó las mediciones históricas de viento, tomadas por la estación M120 del INAMHI por un periodo de 4 años que va desde el año 2008 hasta el año 2012.

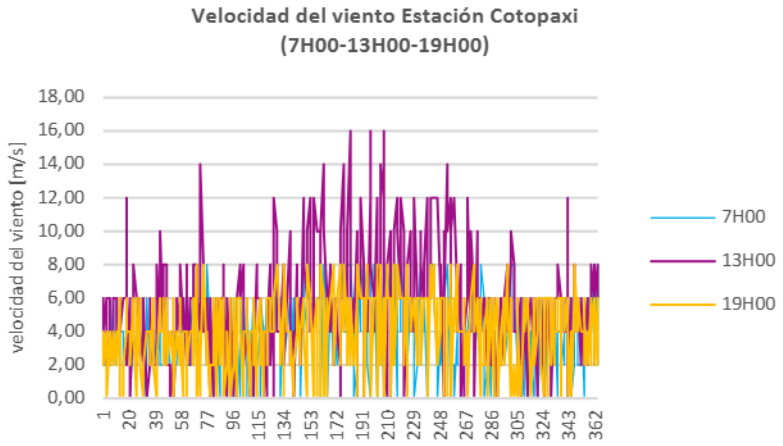


Fig. 9. Velocidad del viento Estación Cotopaxi

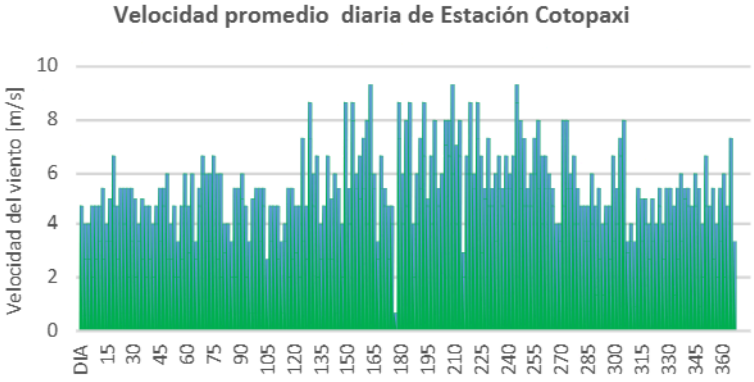


Fig. 10. Velocidad de viento promedio diaria COEC

Las mayores frecuencias se presenta alrededor de los 7 m/s de velocidad y su porcentaje llega al 33%.

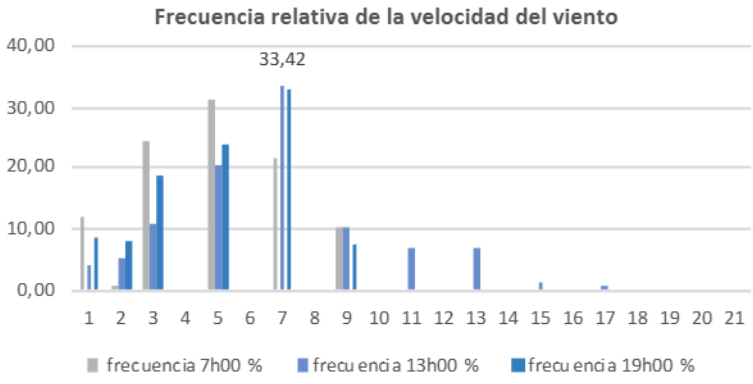


Fig. 11. Frecuencia relativa de la velocidad del viento COEC

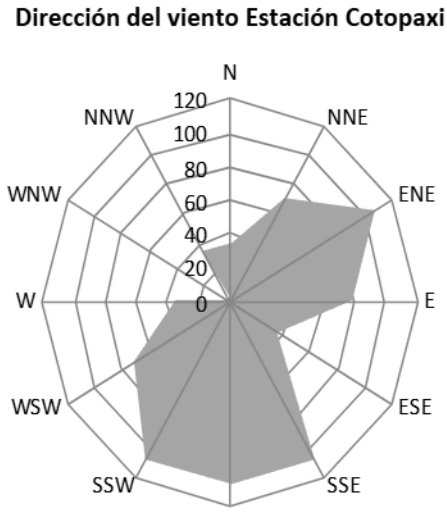


Fig. 12. Dirección de la velocidad del viento COEC

La dirección predominante del viento está en entre el sur este (150°) y sur oeste (210°). [5]

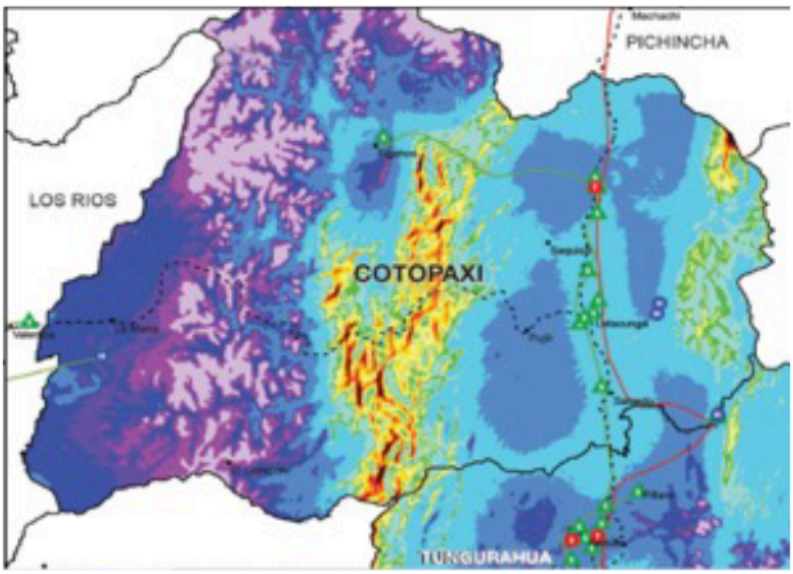


Fig. 13. Velocidad del viento según atlas eólico
Fuente: Atlas eólico oficial MEER [6]

Según el Atlas eólico del MEER la velocidad promedio mensual para el COEC del Instituto Espacial Ecuatoriano está entre los valores de 5m/s a 5.5m/s (18 a 19.5km/h).

Estas mediciones de velocidad de viento tienen similitud con las mediciones presentadas y medidas en sitio a una altura de 10m por el INAMHI, por lo que, para el software iHOGA se utilizará como la fuente oficial las mediciones del INAMHI.

Análisis del recurso solar [2]

Se utilizó mediciones de la Estación Meteorológica M120 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI, las mediciones históricas de radiación datan desde el año 2007. Para el estudio se tomó valores promedio desde el año 2007 hasta el año 2012. [8]

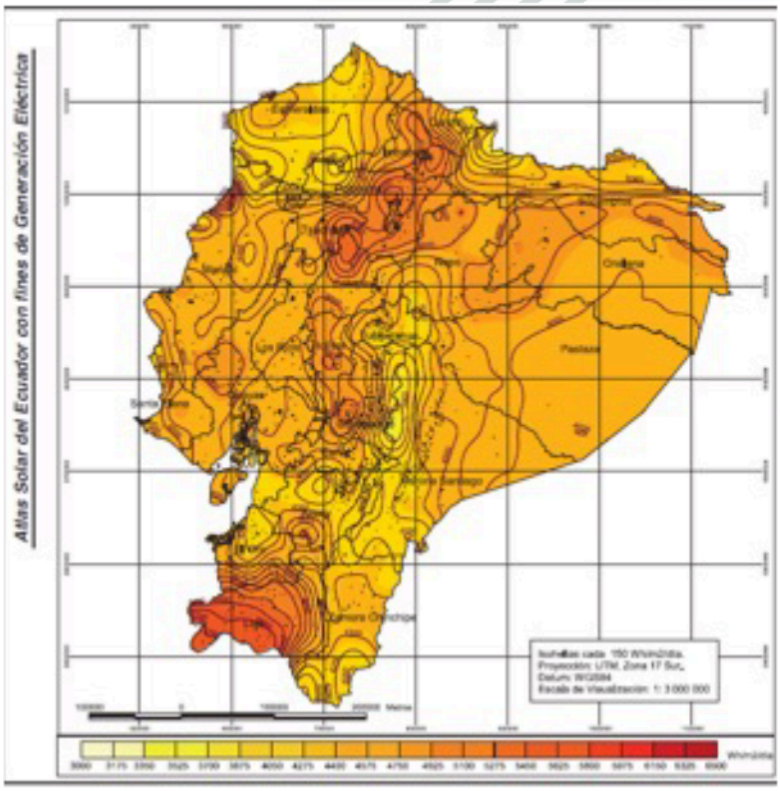


Fig. 14. Mapa de insolación global según CONELEC
Fuente: Atlas solar oficial del CONELEC [7]

La fuente considerada para el software iHOGA, fueron las mediciones de la NASA.

Tabla 1. Mediciones de radiación total

mes	Fuente INAMHI (kWh/m2/día)	Fuente NASA (kWh/m2/día)
Enero	3.44	4.13
Febrero	3.76	4.08
Marzo	3.22	4.2
Abril	3.68	4.13
Mayo	3.17	4.13
Junio	3.26	4.2
Julio	3.37	4.29
Agosto	3.55	4.38
Septiembre	3.55	4.4
Octubre	3.52	4.42
Noviembre	3.48	4.34
Diciembre	3.38	4.15

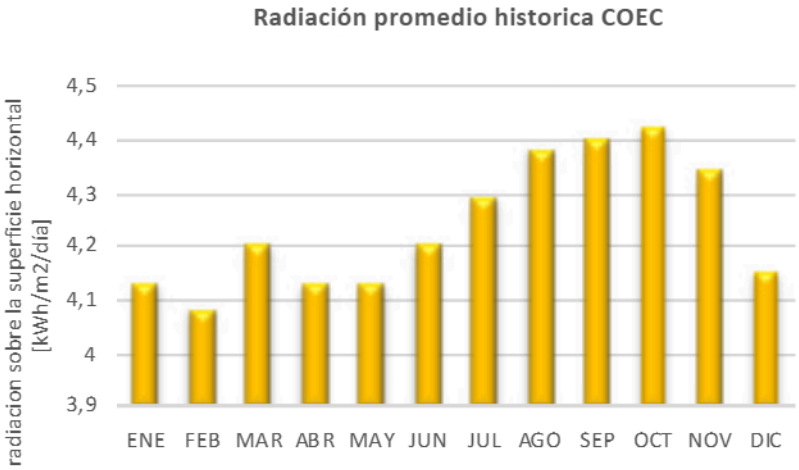


Fig. 15. Radiación promedio histórica COEC

Escenarios de simulación

El dimensionamiento óptimo se ha dividido en cuatro escenarios, las diferentes posibilidades contemplan variaciones de consumo para (100%; 50% y 25%) de demanda.

Tabla 2. Resultados simulación iHOGA

No escenario Descripción	Comparación consumo y componentes			
	1 Sistema fotovoltaico	2 Sistema fotovoltaico eólico	3 Sistema fotovoltaico eólico	3 Sistema foto eólico
% demanda	100	50	25	100
Nº total de paneles solares	2636	1086	632	700
Pot pan(Wp)	135	250	250	250
P total, Fotov,(Wp)	355860	271500	158000	171000
Nº total de baterías	1584	1440	1380	2880
Cap, Bat(Ah)	390	250	250	250
Cap total, Bat,(Wh)	1235520	720000	690000	1372000
Reg, carga, Bat,(A)	14102	5810	3381	3893,63
Inversor(W)	60000	60000	60000	60000
Nº Aer, serie	0	1	1	16
Pot, Aer (Wp)	0	1600	1600	1600
P total Aer,(Wp)	0	1600	1600	25600

Análisis y comparación de escenarios

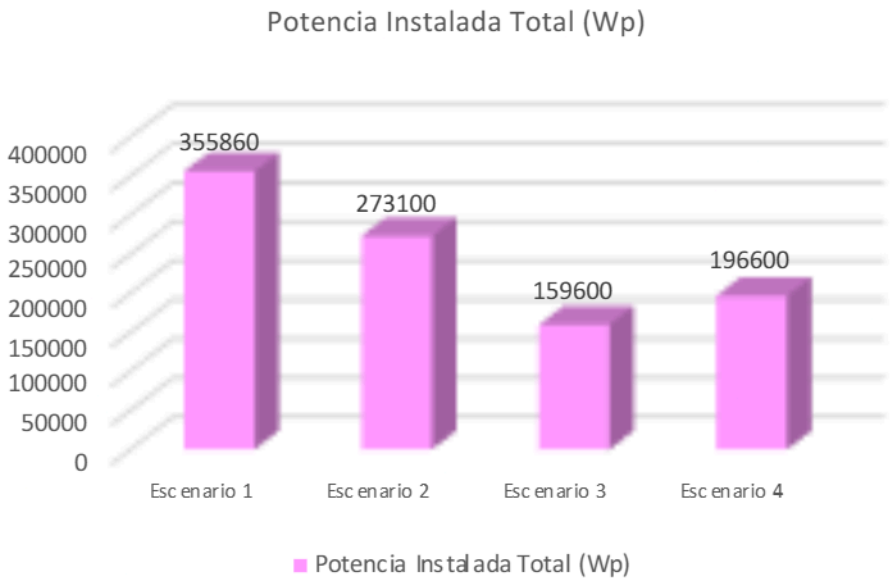


Fig. 16. Potencia instalada Total

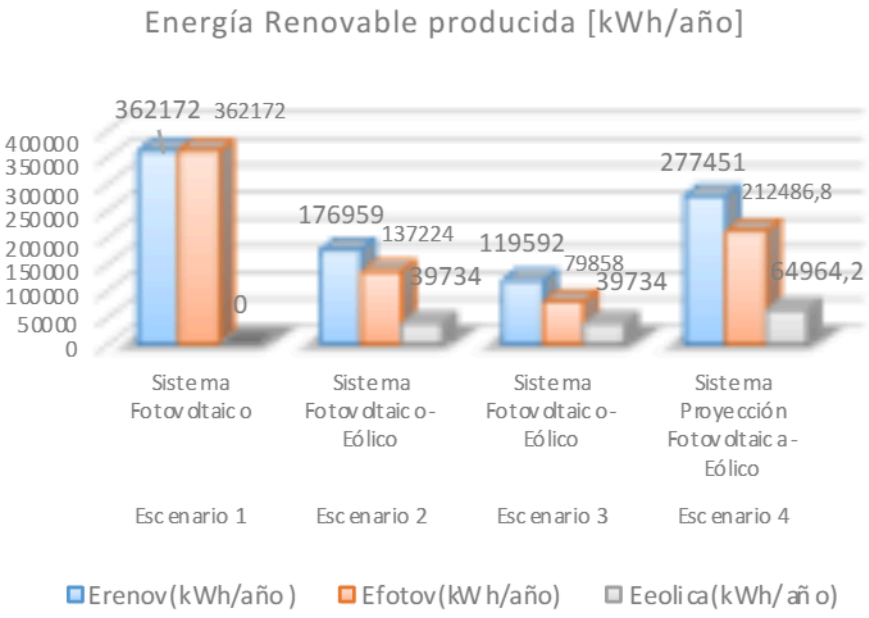


Fig. 17. Producción energética

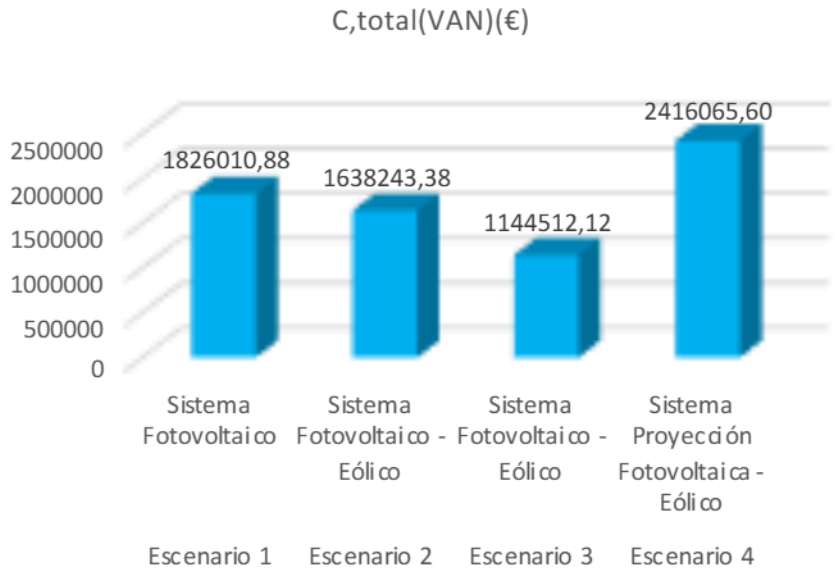


Fig. 18. Costo total Valor Actual Neto

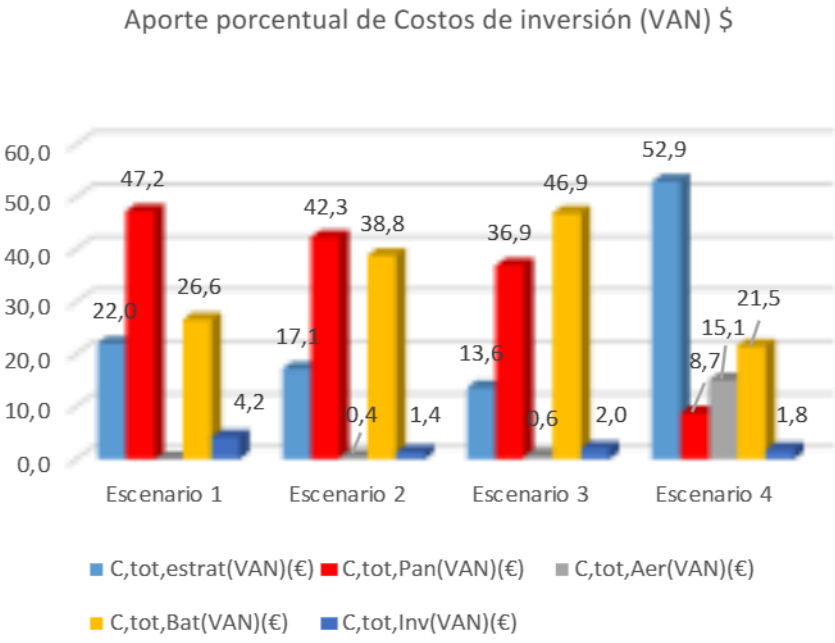


Fig. 19. Aporte porcentual de los costos de inversión

De los cuatro escenarios simulados en el software iHOGA, el escenario 1, es el que tiene mayor potencia instalada 355 860 W presenta con 2 636 paneles utilizados de 135 W, su producción de energía renovable es de 362172kWh/año de origen fotovoltaico.

Tiene además un excedente de energía de 3815,5 kWh/año. El escenario 1 tiene un banco de baterías de 1 235,52 kWh. La energía fotovoltaica cubre el 22,34% con energía fotovoltaica y el 77,64% es cubierto con energía del banco de baterías.

En el escenario 1 la inversión es de 1 826 010 USD., y está distribuida en un 47,2% para el costo del parque fotovoltaico, el 26,6% de la inversión total corresponde al costo de banco de baterías, el 22% corresponde al costo del sistema de control o estrategia de optimización, y el 4,2% corresponde al costo de inversor.

El área mínima requerida para la ubicación de 2636 paneles solares incluidas conexiones y espacio para la sombra es de 4057,68 metros cuadrados. El banco de baterías requiere un área de 150 metros cuadrados para la ubicación de 1584 baterías. El COEC dispone de 4500 m2 aproximadamente de área verde libre.

Contrastación de Resultados

Cálculo del consumo

$$E_d \text{ promedio} = 794.88 \text{ kWh /dia} \quad (10)$$

$$\text{Perdidas del sitema } 5\% = 39.74 \text{ Wh /dia} \quad (11)$$

$$E_d = 834.63 \text{ kWh /dia} \quad (12)$$

Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador

La irradiación media mensual se calcula tomando en cuenta la orientación de los paneles, el ángulo de inclinación, el factor de incidencia y el factor de sombra. Y se calcula con la siguiente ecuación.

$$Gdm_{(10)} = Gdm_{(0)} * FI * FS * K \quad (13)$$

$$FI = 1 - [1{,}2 * 10^{-4}(\beta - \beta_{Opt})]^2 \quad Si\ 15 < \beta < 9015 < \beta < 90 \quad (14)$$

$$K = \frac{Gdm(\alpha=0;Bopt)}{Gdm(0)} \quad (15)$$

Tabla 3. Cálculo de la irradiación media mensual sobre el plano del generador

Cálculo de irradiación media mensual		
alfa	180	Paneles orientados sur
beta (Angulo de inclinación)	10	Ángulo de inclinación
gdm(0) Ecuador según nasa	4.02	kWh/m2
FS factos de sombra	0.8	Zona nublada
k constante	1.15	por Tabla
fi	-0,62	latitud en grados
Beta opt	-10.62	fi-10
gdm(10)	3.61	kWh/m2/día

$$Gdm_{(10)} = 3.61 \text{ kWh/m2/día}$$

Potencia mínima del generador en base al rendimiento energético

$$PR = \frac{E_d * G_{CEM}}{G_{dm(\alpha,\beta)} * P_{mp}} \quad (16)$$

$$0.6 = \frac{834.63\ kWh\ /dia * 1kW/m^2}{3.61\ \ kWh/m2/día * P_{mp}}$$
$$P_{mp} = 384{,}98\ kWp$$

Selección del tamaño del acumulador

$$A = \frac{C_{20} * PD_{max}}{L_D} n_{inv} * n_{rb} \quad (17)$$

Cálculo del número de Paneles, número de Baterías, y número de inversores

$$número\ de\ paneles = \frac{potencia\ del\ generador}{potencia\ del\ panel} \quad (18)$$

$$número\ de\ paneles = \frac{384{,}98 * 1000}{135}$$

$$número\ de\ paneles = 2581{,}75$$

$$Ns = \frac{V\ nominal}{V\ panel}$$

$$N = \frac{600V}{12V} = 50 \quad (19)$$

$$número\ de\ paneles\ paralelo = 1.2 * [\frac{\frac{P_{mp}}{V_n}}{NS * Imp\ Modulo}]$$

$$número\ de\ paneles\ paralelo = 1.2\ [\frac{\frac{384{,}98 * 1000W}{600V}}{50 * 8}]$$

$$Número\ de\ paneles\ paralelo = nunero\ entero\ mayor\ a\ 2$$

$$número\ de\ baterías = [\frac{Potencia\ del\ acumulador}{Capacidad\ de\ la\ batería}]$$

$$número\ de\ baterías = [\frac{1952348{,}95\ Wh}{780Wh}]$$

$$numero\ de\ baterías = 2503$$

$$número\ de\ inversores = [\frac{Potencia\ del\ acumulador}{Capacidad\ de\ la\ batería}]$$

$$número\ de\ inversores = [\frac{432{,}70kW}{60kW}]$$

$$número\ de\ inversores = \mathbf{7{,}2}$$

Tabla 4. Cálculo generación eólica

comparación de escenarios calculados vs escenarios de iHOGA fotovoltaica

ESCENARIO 1 - CONTRASTACIÓN DE RESULTADOS		
Parámetros de comparación	FOTOVOLTAICO BATERÍAS	
	iHOGA	CALCULADO
Consumo anual	290 133	290 133
energía diaria kWh/día	794,88	794,88
pérdidas del sistema	39,74	39,74
azimut	180	180,00
Gdm	3,61	3,61
Pmp kWp	355,86	384,98
numero de paneles	2 636	2 851,74
paneles serie	50	50,00
paneles paralelos	52,72	57,00
Capacidad del banco	1 235 520	1 952 348,95
numero de baterías	1584	2503,01
baterías serie	300	300,00
baterías paralelos	5,28	8,34
numero de inversores	5	7,21
Costo del Proyecto	1 826 010,88	1 726 014,00
Costo del kW instalado	5 131,26	4483,33

Diagrama Unifilar general

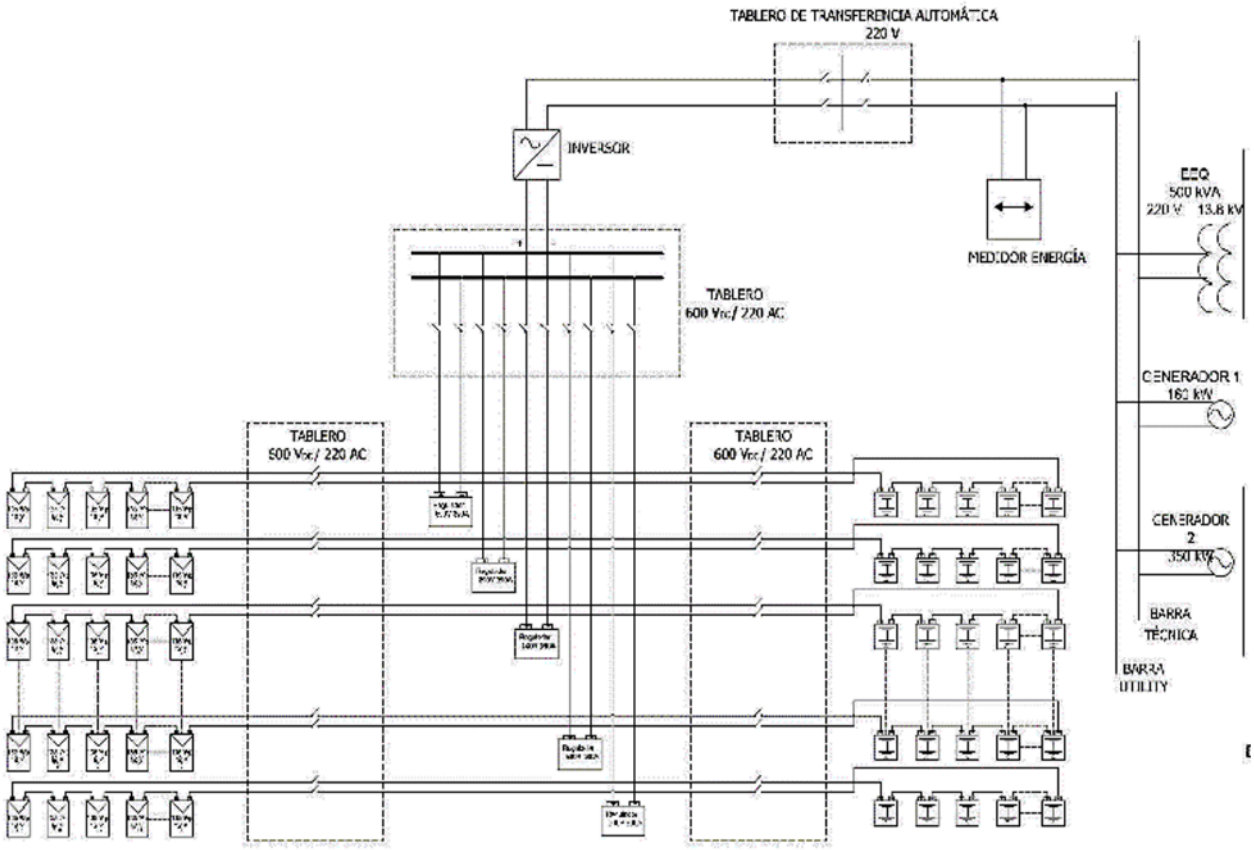


Fig. 20. Diagrama unifilar general

Evaluación financiera

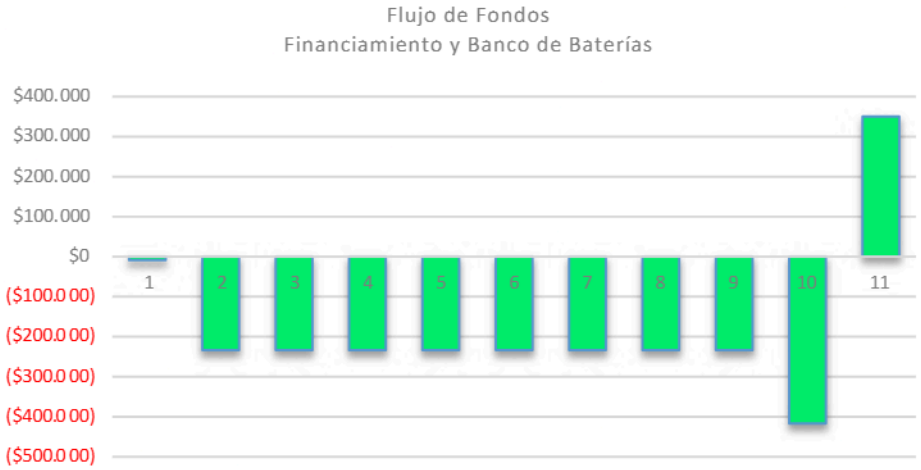


Fig. 21. Flujo de fondos

En el flujo de fondos se concluye que la inversión no se recupera en los primeros 10 años, pues el ingreso para el inversionista es negativo, desde el año 1 hasta el año 10.

El valor actual neto es ($ -1 387 055,37) Económicamente no es viable para el COEC. Pues en ningún año los ingresos superan los egresos el top es igual.

El valor del VAN negativo me indica que pierdo al realizar la inversión. El valor máximo de pérdidas se registra en el año 10 con un valor de 415 000 dólares con novecientos 41 dólares, a partir del año 11 se registra un valor positivo, debido a que los equipos tienen una vida útil de 15 a 25 años.

Tabla 5. Indicadores financieros

Índices financieros	
TOP	8%
TIR	-10%
VAN	($ 1.387.055,37)

Conclusiones

Financieramente el proyecto no es rentable, pues con el sistema de energía alternativa no convencional el Valor Actual Neto (VAN) es de -1 826 010,88 USD, la inversión no se recupera en el tiempo de vida del proyecto. Además, la Tasa Interna de Retorno (TIR) es menor al 10%.

Se recomienda al COEC, continuar con el suministro de energía suministrado por la Empresa Eléctrica Quito, pues los costos actuales de las energías renovables no convencionales, en este caso energía fotovoltaica no son competitivos. Sin embargo, queda claro que técnicamente es factible aislarse de red y autoabastecerse en su totalidad la demanda con energías limpias. Es necesario considerar en estudios futuros la posibilidad de vender energía a la red.

Dentro del estudio de recursos energéticos se determina que, para el sector del Boliche se registra vientos con una velocidad promedio de 5,1 m/s, una velocidad máxima de 5,68 m/s para los meses de agosto y septiembre y la velocidad mínima de 4,68 m/s en el mes de abril. La dirección del viento está entre 150 y 210° al sur.

La radiación solar global, tiene un valor promedio anual de 4,24 kWh/m2/día. Los meses de mayor radiación son agosto, septiembre y octubre con valores de 4,38 kWh/m2/día.

En base a los análisis de resultados de optimización de iHOGA se concluye que el escenario 1, es el que cumple con las mejores condiciones técnicas y financieras es el sistema fotovoltaico con banco de baterías aislado de red para la demanda máxima, con una potencia instalada de 355 860 W compuesta por 2 636 paneles de 135 Wp, su producción de energía renovable es de 36 2172 kWh/año de origen fotovoltaico. Tiene además un excedente de energía de 3 815,5 kWh/año. El banco de baterías de 1 235,52 kWh. El sistema híbrido cubre la demanda de energía en un 22,34% con energía fotovoltaica y el 77,64% es cubierto con energía del banco de baterías.

El área mínima requerida para la ubicación de 2 636 paneles solares incluidas conexiones y espacio para la sombra son de 4 057,68 metros cuadrados. El banco de baterías requiere un área de 150 metros cuadrados para la ubicación de 1584 baterías. El COEC dispone de 4 500 m2 aproximadamente de área verde libre.

Este proyecto en caso de construirse desplazará de la atmosfera 30,8 toneladas de C02 por año y un total de 461,94 toneladas totales de C02.

Referencias

M. Muñoz, Documentación Histórica COEC, QUITO, 2013.

DUFO, HYBRID OPTIMIZATION GENETIC ALGORITM, España: Universidad de Zaragoza, 2006.

J. Mera, Estudio de sistemas híbridos (eólico-solar) para la iluminación y bombeo en la escuela y viviendas de la comunidad Pitiur en el oriente ecuatoriano, primera ed., E. P. Nacional, Ed., Quito: Facultad de ingeniería eléctrica y electrónica, 2006.

N. Rohatgi, An Analysis for the Generation of Wind Power, primera ed., Texas, 1994.

"J. Pramod , Wind Energy Engineering, Primera ed., New York, Chicago San Francisco: Mc GrawHill, 1976.

MEER, atlas eólico, Quito: Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2012.

CONELEC, Atlas solar, Quito: Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2012.

INAMHI, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2012.

Modelado y simulación de tanques de almacenamiento térmico para ciclos de potencia Brayton supercríticos

https://doi.org/10.53358/ideas.v3i1.555

Jenifer C. González G[1], Juan M. García de María [1]
[1] Universidad Politécnica de Madrid, Ronda de Valencia, 3. 28012. Madrid, España

RESUMEN

Hoy en día, la forma de aprovechar las energías renovables es un tema de interés para la comunidad científica, principalmente la energía solar por ser la más abundante, inagotable y disponible en todo el mundo. A fin de aprovechar esta energía en forma de calor los investigadores han diseñado diferentes tecnologías, siendo limitadas en su mayoría por la intermitencia que caracteriza a la energía solar. Como técnica para reducir el impacto por la intermitencia se plantea el diseño de un sistema de almacenamiento, diseño que consta de un tanque para almacenamiento térmico y un fluido de transferencia térmica. En el presente trabajo se presenta el diseño paramétrico del tanque de almacenamiento térmico para una planta de energía solar concentrada que trabaja con ciclos de potencia Brayton supercríticos, diseño que toma en cuenta las sugerencias y disposiciones mencionadas en la norma API-650.

Palabras Clave: Ciclos de Potencia Brayton, Diseño Paramétrico, Energía Solar, Norma API 650, Plantas de Energía Solar Concentrada, Tanque de Almacenamiento Térmico.

optical assembly to design and build.

Introducción

La utilización de energías renovables para la generación de energía eléctrica ha tenido un claro crecimiento en su aplicación debido a los intentos de reemplazar los combustibles fósiles y contrarrestar las emisiones contaminantes generadas por el uso de estos durante años; además, han desempeñado un papel muy importante en la reforma del equilibrio natural y en la satisfacción de la demanda creciente [1].

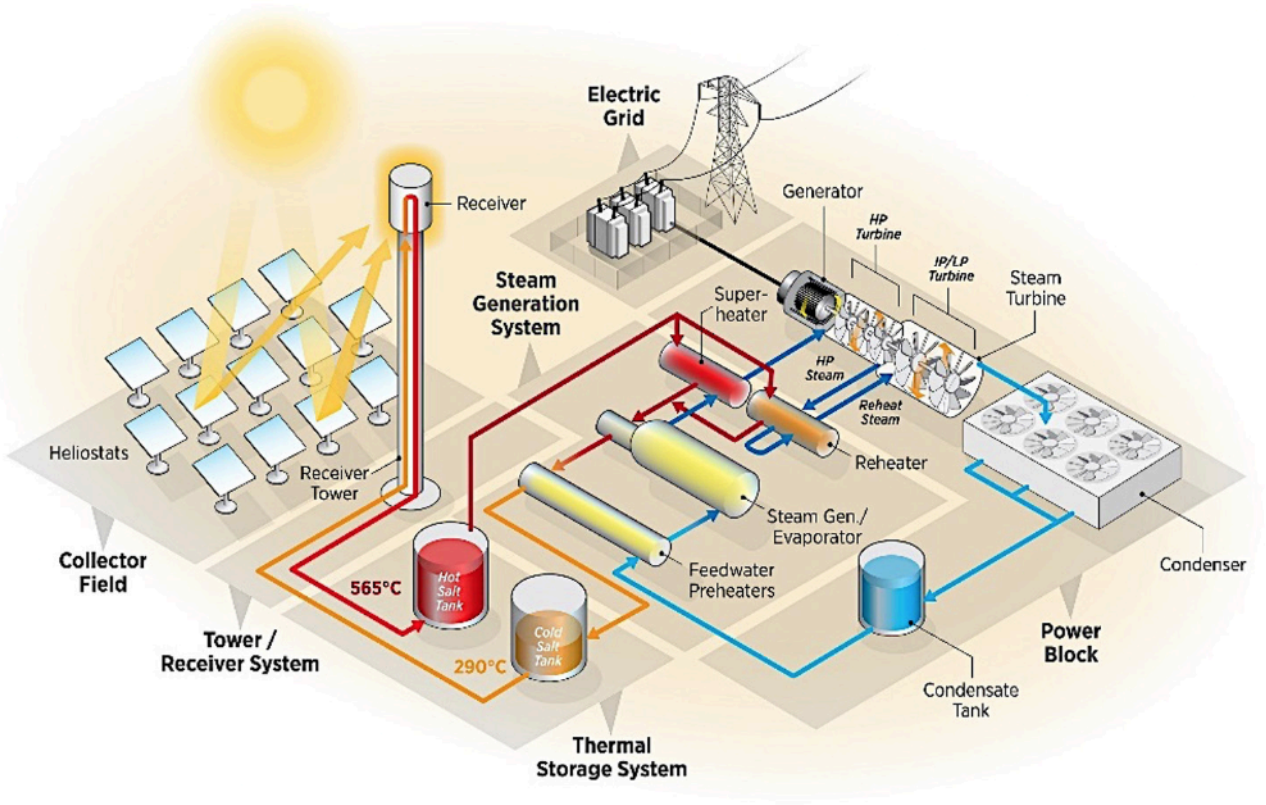
Como área de investigación principal para el presente trabajo se considera la energía a partir de la radiación solar, las plantas de energía solar concentrada, con su traducción en ingles Concentrating Solar Power y sus siglas (CSP); específicamente las plantas con tecnología de ciclo de potencia Brayton supercrítico, las cuales trabajan a altas temperaturas (energía térmica), generando el movimiento de un motor de turbina de gas (energía mecánica) y produciendo energía eléctrica por medio de un transformador.

Teniendo en cuenta que dicha tecnología tiene como desventaja la intermitencia de la energía solar, es necesario aplicar otras tecnologías que permitan el trabajo continuo del sistema, aplicando generalmente el Almacenamiento de Energía Térmica, con su traducción en ingles Thermal Energy Storage y sus siglas (TES), el cual permite aumentar las horas de funcionamiento de la central [2]. Esta tecnología se integra facilmente a las CSP dandole ventaja sobre las otras tecnologías ya que permite mantener el suministro de manera continua [3].

Los TES pueden disminuir el consumo de los combustibles fósiles en millones de GWh por año, además se estima que su implementación permite una reducción de millones de toneladas de emisiones de CO_2 en los sectores de la industria y la construcción en Europa, mejorando el rendimiento y la fiabilidad térmica del sistema; es por ello por lo que el diseño de sistemas TES eficientes y económicos es de gran importancia y tema de investigación actualmente [1].

Al momento de diseñar un sistema TES para una planta de CSP se debe tener en cuenta los siguientes factores: normativa para la elaboración de tanques de almacenamiento a alta temperatura, localización de la planta solar, tipo de sal solar, temperaturas de trabajo, horas de trabajo y almacenamiento de la planta, materiales a implementar y condiciones del lugar [4].

En general, los TES de las plantas se basan en el sistema de doble tanque (caliente y frío) como se muestra en la figura 1, siendo el primero para almacenamiento de fluido caliente el cual será suministrado al generador del enfriamiento y transportado posteriormente al



segundo almacenamiento [5].

Fig. 1. Planta de energía solar concentrada con sistema de almacenamiento térmico. [6]

En el presente trabajo se diseñará los tanques para TES, teniendo en cuenta que los sistemas dependen de sus datos de partida y HTF; además el diseño del tanque debe cumplir de manera correcta con la normativa vigente para el diseño paramétrico a base de las condiciones de trabajo previstas [5]. La manera de estudiar los sistemas TES es por medio del modelado y simulación dinámicos desde el punto de vista del análisis del proceso; empleando como software de simulación al programa ANSYS para las diferentes propuestas a fin de identificar la que mejor rendimiento y eficiencia genere.

Normativa Vigente

Dentro de la política energética nacional, encontramos que el desarrollo de las fuentes renovables de energía es uno de los aspectos claves debido a que:

- Contribuyen a la reducción de emisiones de CO_2.
- Disminuye la dependencia de los productos petrolíferos.
- Diversifica las fuentes de suministro al promover recursos autóctonos.

``La Directiva de 2009/28/CE del Parlamento Europeo y de Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, fija como objetivos generales conseguir una cuota del 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía de la Unión Europea (UE) y una cuota del 10% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía en el sector del transporte en cada Estado miembro para el año 2020", [7].

A día de hoy, algunas fuentes renovables son económicamente competitivas y se espera que la gran mayoría lo sean a corto o mediano plazo en comparación con las energías convencionales. Las centrales eólicas, minihidráulicas y las instalaciones de solar térmica de baja temperatura han alcanzado el umbral de rentabilidad, mientras que la solar fotovoltaica o la solar de alta temperatura necesitan desarrollar su tecnología y la promoción. La política española de estas energías está contenida en el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España (PANER) 2011-2020, la cual ha avanzada con la evolución de los precios del petróleo, distribución geográfica de las reservas de energía, preocupación medioambiental y la inflación sobre las fuentes de energía primaria debido al crecimiento de los países emergentes [8].

La política energética en España se ha singularizado para dar respuesta a los principales retos que caracterizan al sector energético español:

- Consumo energético por unidad de producto interno más elevado; para corregir esta tendencia se han realizado esfuerzos en materia de ahorro y eficiencia energética.
- Elevada dependencia energética; esta dependencia introduce fuentes de riesgo adicionales sobre los procesos productivos, tales como la garantía del suministro energético o la volatilidad de los precios de los mercados internacionales.
- Elevadas emisiones de gases de efecto invernadero; debido al crecimiento de la generación eléctrica y de la demanda de transporte durante las últimas décadas.

A fin de dar respuesta a estos retos, la política energética en España se ha desarrollado alrededor de tres ejes:

- Incremento de la seguridad de suministro.
- Mejora de la competitividad de la economía.
- Garantía de un desarrollo sostenible económica, social y medioambiental.

Resaltando que las energías renovables constituyen una apuesta prioritaria de la política energética española debido a los múltiples efectos positivos como: sostenibilidad de sus fuentes, la reducción en las emisiones contaminantes, el cambio tecnológico, creación de formas de energía más distribuidas, reducción de la dependencia energética y del déficit de la balanza comercial, el aumento del empleo y el desarrollo rural [7].

Fundamento Teórico

Plantas de Energía Solar Concentrada.

Estas plantas generan electricidad mediante la energía solar concentrada (CSP) utilizando el calor de la irradiación solar concentrada en un área pequeña, para recoger ese calor se usa espejos donde se refleja la luz solar para ser absorbida por el transportador de energía térmica, este transportados circula hacia el sistema de almacenamiento, los intercambiadores y posteriormente a la zona de las turbinas produciendo que estas se muevan y generen electricidad [9].

Las plantas de CSP se encuentran formadas por 3 partes; Campo solar, almacenamiento térmico y bloque de potencia; como se muestra en la figura 2, y de un fluido caloportador, estas partes se describen a continuación:

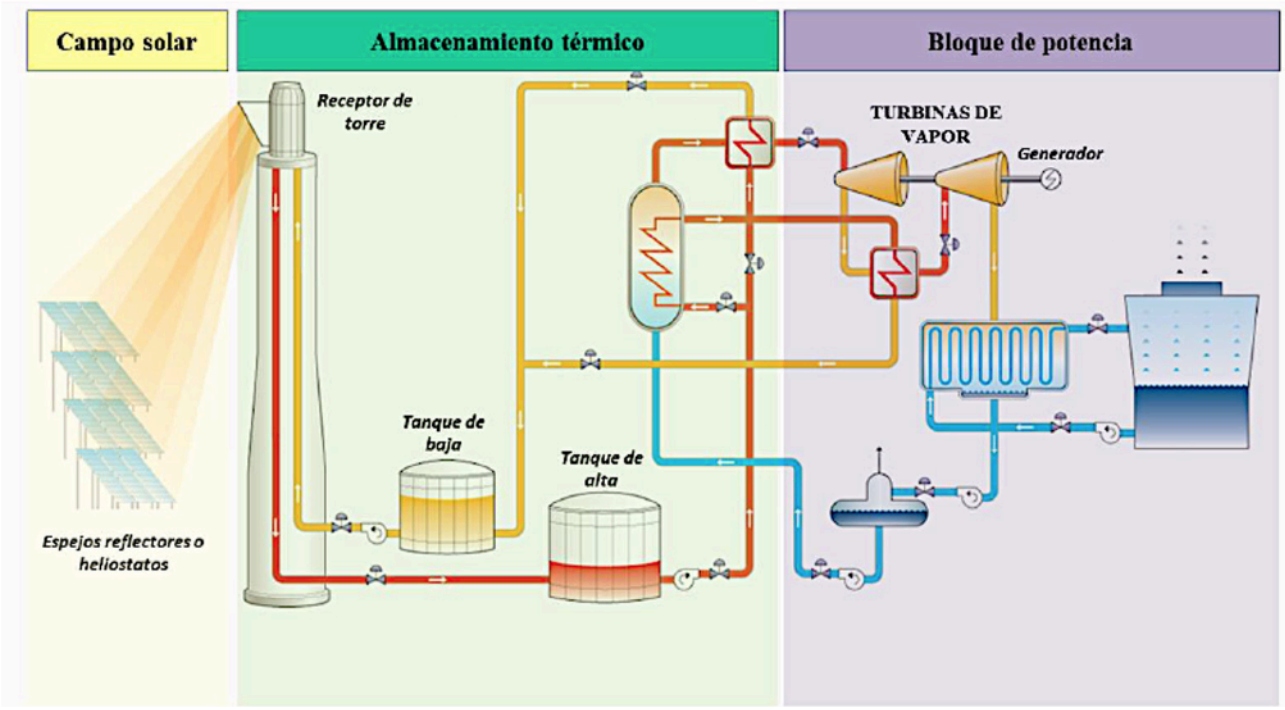


Fig. 2. Esquema de una planta de concentración solar (CSP) tipo torre. [10]

Almacenamiento Térmico.

Las plantas de concentración solar que trabajan con la tecnología de colectores cilindro-parabólicos y de torre central, como se muestra en la figura 2, debido a que presentan la opción de incorporar un sistema de almacenamiento; esta incorporación permite que la central produzca energía de manera continua, disminuyendo el impacto de los días con radiación baja (nubosidad) y durante la noche. Actualmente los sistemas de almacenamiento térmico se dividen en tres tecnologías [10]:

- Calor sensible
- Calor latente
- Termoquímica

Bloque de potencia.

Para la generación de energía eléctrica es necesaria la implementación de un ciclo termodinámico, el cual trasformará la energía calorífica en energía mecánica por medio del paso de un fluido con determinadas características de temperatura y presión para poder generar el movimiento de una turbina el cual estará acoplado a un generador eléctrico para la generación de energía eléctrica.

Los principales ciclos termodinámicos empleados para la generación de energía son el ciclo Rankine, Brayton y el ciclo combinado [11].

Diseño Paramétrico y Simulación.

El diseño trata de un tanque que almacena un fluido a alta temperatura para una estación termosolar, posiblemente ubicada en la provincia de Almería-España; además, para el diseño partimos de los datos de conductancia del intercambiador de calor (kW/K), caudales (kg/s), temperatura de la sal (°C) y la eficiencia térmica del ciclo Brayton de recompresión (%), expuestos en la tabla 1.

Tabla 1. Datos de partida

UA (kW/k)	Caudal (kg/s)	Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Eficiencia (%)
5000	472,00	973,15 923,15 893,15	700 650 620	38,57
10000	480,51	973,15 923,15 893,15	700 650 620	42,85
15000	502,69	973,15 923,15 893,15	700 650 620	42,85
20000	511,93	973,15 923,15 893,15	700 650 620	45,64
25000	519,12	973,15 923,15 893,15	700 650 620	46,26
30000	512,91	973,15 923,15 893,15	700 650 620	46,61

Sal Solar.

Como fluido de transferencia de calor (HTF) tenemos dos tipos de sales las cuales se mencionan en la tabla 2

Tabla 2. Datos de fluidos de transferencia de calor (HTF)

Compuesto	Densidad (kg/m3)	Capacidad térmica (kJ/ kgK)	Temperatura de fusión (°C)	Temperatura máxima de trabajo (°C)	Conductividad térmica (W/mK)
KCl- MgCl2 (62,55%, 37,5%)	1940	1,03	426	>800	0,5047
LiF- NaF- KF (46,5% ,11,5%, 42%)	2530	1,88	454	700	0,92

Materiales.

Los materiales implementados para el diseño del tanque de almacenamiento térmico para el caso de estudio son los mencionados en la tabla 3:

Tabla 3. Datos de los tipos de materiales empleados en el diseño

Materiales	Densidad (kg/m3)	Conductividad térmica (W/m.K)	Calor especifico (J/kg.K)	Precio (€/m3)
Acero AISI 37L	8000	14,6	571-600	20000
Hormigón	2200	1,5	750-1130	75
Perlita	216	0,06	840	38,448
Vermiculita	0,0525	0,046	1000	15,0675
Arcilla	1900	0,114	860-880	120

Volumen y Diámetro.

Con los datos de partida se procede a calcular el volumen y diámetro para cada uno de los casos, para el calculo se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\text{Volumen } (m^3) = \frac{\text{tiempo (s)} * \text{caudal}(kg/s)}{\text{densidad } (kg/m^3)} \quad (1)$$

$$\text{Diametro (m)} = \sqrt{\frac{volumen\ (m^3) * 4}{\pi * altura(m)}} \quad (2)$$

Norma Standard API-650.

Para el diseño de tanques a nivel industrial, específicamente en la industria del petróleo, se ha establecido estándares que recopilan información sobre criterios de fabricación, normas de seguridad, montaje, inspección, aspectos ambientales y/o de higiene y reparación basada en experiencia de compradores y fabricantes de tanques; dando como resultado la creación de los códigos API-620, API-650 y API-653 con respecto a la fabricación de tanques por parte del Instituto Americano del Petróleo, con sus siglas en ingles American Petroleum Institute (API).

De los estándares indicados se empleará el código API-650 debido a que en este código se presentan los cálculos para un diseño de tanque de almacenamiento vertical cilíndrico adecuado, indicando las formas y ecuaciones para el cálculo de tamaño, espesores, diseño de tapas y características de la base como requerimientos mínimos, mas no sugiere un diseño ideal para un fin definido [12]. A continuación, se describen los cálculos mencionados en la norma:

Cálculo para Definir el Espesor del Acero.

La norma establece como primer punto un valor mínimo de espesor de carcasa basado en el diámetro de esta, dichos valores se indican en la tabla 4:

Tabla 4. Espesor de carcasa requerido según API 650 [13]

Diámetro nominal del tanque		Espesor nominal de la placa	
(m)	(ft)	(mm)	(in.)
<15	<50	5	3/16
15 a <36	50 a <120	6	1/4
36 a 60	120 a 200	8	5/16
>60	>200	10	3/8

La norma API, en su apartado 3.6.3 sugiere para el cálculo del espesor requerido para el tanque el método de un pie, el cual consiste en un estudio del espesor tomando en cuenta las condiciones del diseño y por prueba hidrostática, indicados a continuación en las ecuaciones (3) y (4) respectivamente [13]:

$$t_d = \frac{4{,}9D\,(H - 0{,}3)G}{S_d} + CA \qquad (3)$$

$$t_t = \frac{4{,}9D\,(H - 0{,}3)G}{S_t} \qquad (4)$$

Cálculo para Definir el Espesor de la Base.

En la sección 3.5.2 de la norma, indica que el espesor mínimo para la base es de 600mm, y para obtener un valor de acuerdo con las dimensiones del tanque se emplea la ecuación (5) referente para el cálculo del espesor de la base [13].

$$\frac{215_{tb}}{(HG)^{0,5}} \qquad (5)$$

Espesor de la Tapa.

La norma API-650 establece como espesor mínimo de diseño 5mm y un valor máximo de 13mm, y una altura no mayor a los 2m, para el presente diseño se tomará como dato de referencia para el diseño el espesor máximo de 13mm y la altura máxima de 2m [13].

Espesor de Hormigón.

En la ACI350 2R-04 de Concrete Structures for Containmentof Hazasdous Material, indica los espesores mínimos para muros de hormigón reforzado, según la altura y si se trata de concreto vaciado o prefabricado, esta información se observa en la tabla 5 [13].

Tabla 5. Espesores mínimos para hormigón [14]

Descripción	Altura del muro	Espesor mínimo	Ubicación del acero de refuerzos
Concreto vaciado en sitio	Más de 3m	30cm	Ambas caras
	Entre 1,2m y 3m	25cm	Ambas caras
	Menos de 1,2m	15cm	Centro del muro
Concreto prefabricado	1,2m o más	20cm	Centro del muro
	Menos de 1,2m	10cm	Centro del muro

Coeficiente de Convección.

El presente trabajo se lo realiza en el rango de valores de la tabla 6 para el coeficiente de convección:

Tabla 6. Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección [15].

Tipo de convección	h, (W/m2 °C)
Convección forzada de gases (h)	25
	100
	125
	175
	250

Cálculo de Temperatura por Capas.

Para el cálculo de la temperatura final se emplea las ecuaciones de resistencia tanto para conductividad como para convección y finalmente se calcula la temperatura de cada capa; para ello se establece primero la red de resistencias, misma que se observa en la figura 3 la cual hace referencia al caso a desarrollar.

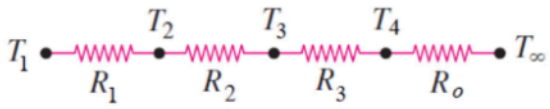


Fig. 3. Esquema de una planta de concentración solar (CSP) tipo torre. [10]

Resistencia por Conductividad y Convección

Al estar formado por varias capas, el tanque presenta una resistencia por conducción (6), y al encontrarse al aire libre, la estructura se encuentra expuesta a los fenómenos ambientales, entre ellos el viento, razón por la cual se calcula la perdida por convección forzada (7). Las ecuaciones a usar son las siguientes:

$$\mathrm{R(°C/W)} = \frac{\ln\left(\frac{r_f}{r_i}\right)}{2 * \pi * \mathrm{k} * \mathrm{L}} \qquad \textbf{(6)}$$

$$R_o\mathrm{(°C/W)} = \frac{1}{\mathrm{h} * \mathrm{A}} \qquad \textbf{(7)}$$

Cálculo de perdida de calor

Para determinar la perdida de calor se emplea la siguiente ecuación (8)

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_\infty}{R_{total}} \qquad \textbf{(8)}$$

Y, para determinar la perdida de calor en cada capa se emplea la siguiente ecuación (9)

$$\Delta\mathrm{T} = \mathrm{R} * \dot{Q} \qquad \textbf{(9)}$$

Cálculo de la Temperatura por Capas y Temperatura Final

A fin de calcular la temperatura por capas se aplica la ecuación:

$$\mathrm{T} = T_i - \Delta T_{capa} \qquad \textbf{(10)}$$

Finalmente, para el cálculo de la temperatura final, procedemos a despejar la Tfinal de la ecuación de calor recibido, dando como resultado la siguiente ecuación:

$$\mathrm{T}_f(°\mathrm{C}) = T_i - \frac{Q}{c * m} \qquad \textbf{(10)}$$

Simulación en ANSYS

Considerando los datos obtenidos se procede a hacer una selección de los casos a simular, tomando en cuenta el valor de convección del aire, la temperatura ambiente, la temperatura de trabajo de las sales fundidas, el tiempo de almacenamiento y el tipo de material aislante.

Como programa para el diseño de cada capa del tanque se usó el software Inventor ya que permite realizar un diseño en 3D, ensamblar y generar archivos en formato .igs; para el diseño de las capas del tanque se toma en cuenta las dimensiones obtenidas de la aplicación de las ecuaciones anteriores; como resultado tenemos 4 cilindros (fluido, acero, aislante-perlita y hormigón) como se observa en la figura 4.

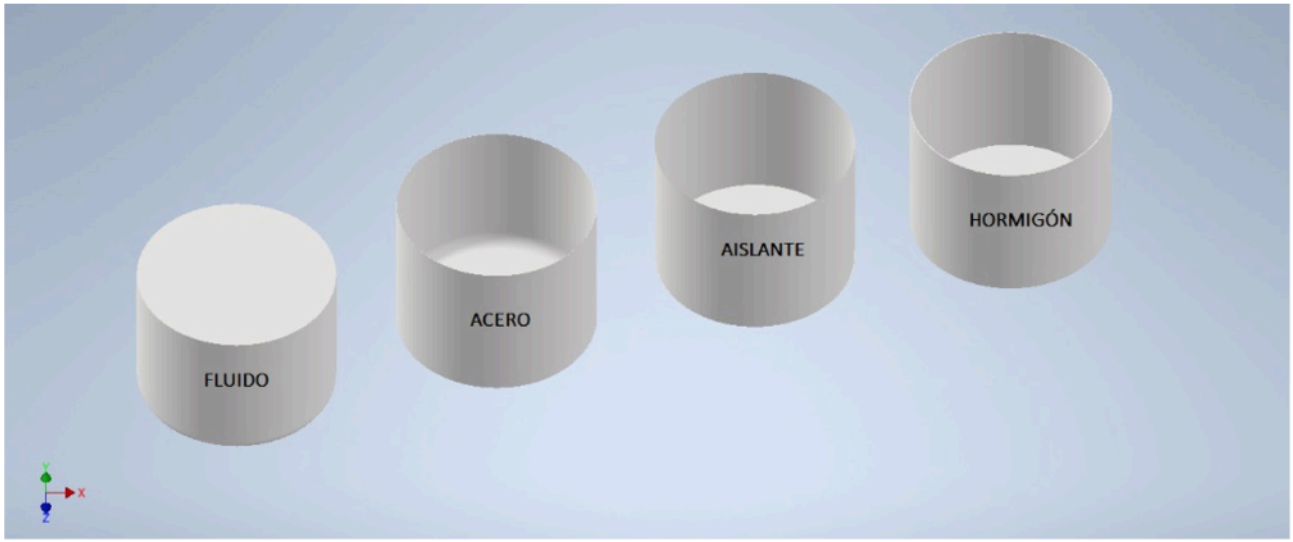


Fig. 4. Diseño por capas en Inventor. [16]

Para realizar la simulación en el programa ANSYS se selecciona la la opción de Steady-State Thermal; esta opción permite obtener los resultados necesarios para casos de transferencia de calor [17], como es el caso desarrollado en este trabajo.

Con la aplicación de este software obtenemos como resultado el análisis de la temperatura en el tanque, como se observa en la figura 5:

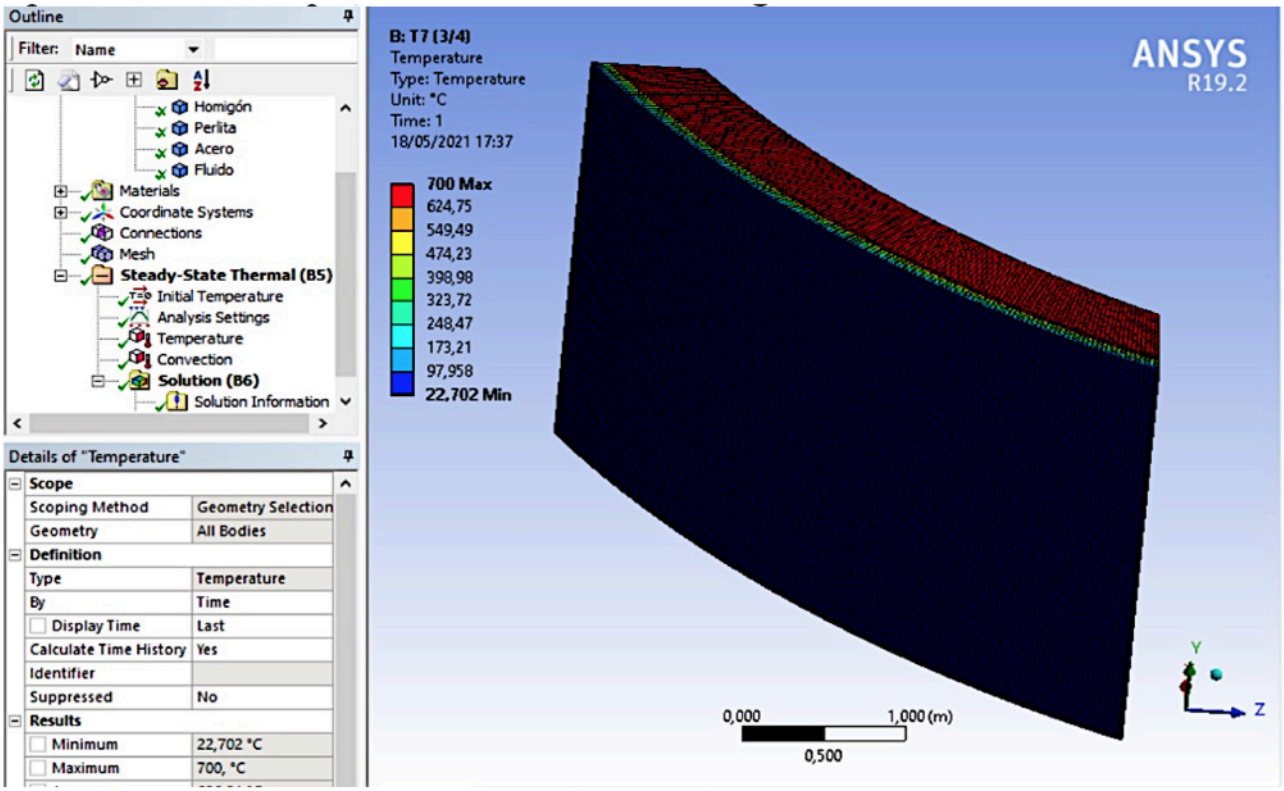


Fig. 5. Resultado obtenido en ANSYS. [17]

El software ANSYS también nos permite un análisis de la temperatura por capas: acero, aislante y hormigón, como se muestra en las figuras 6, 7 y 8 respectivamente:

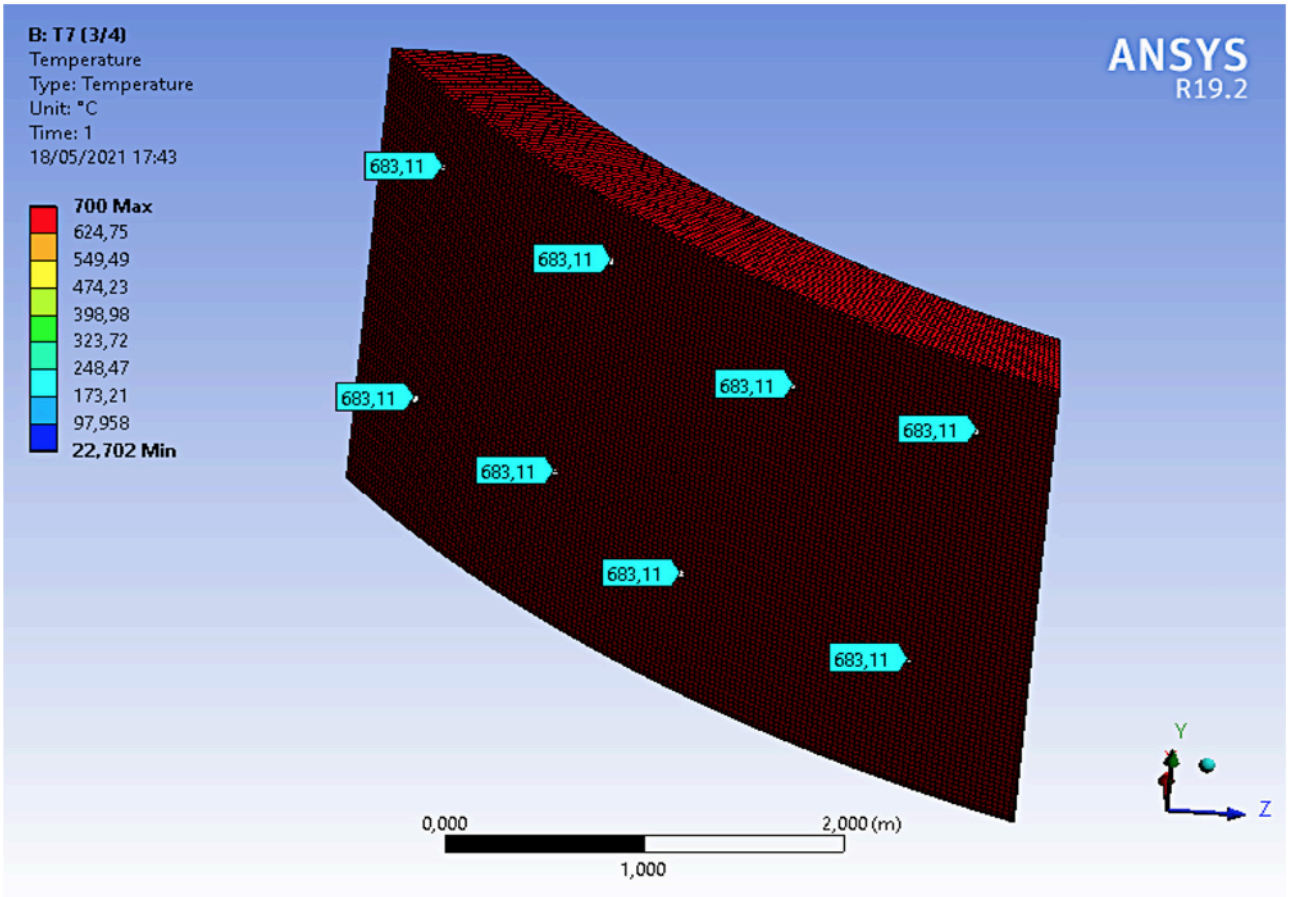


Fig. 6. Resultado exterior capa de acero. [17]

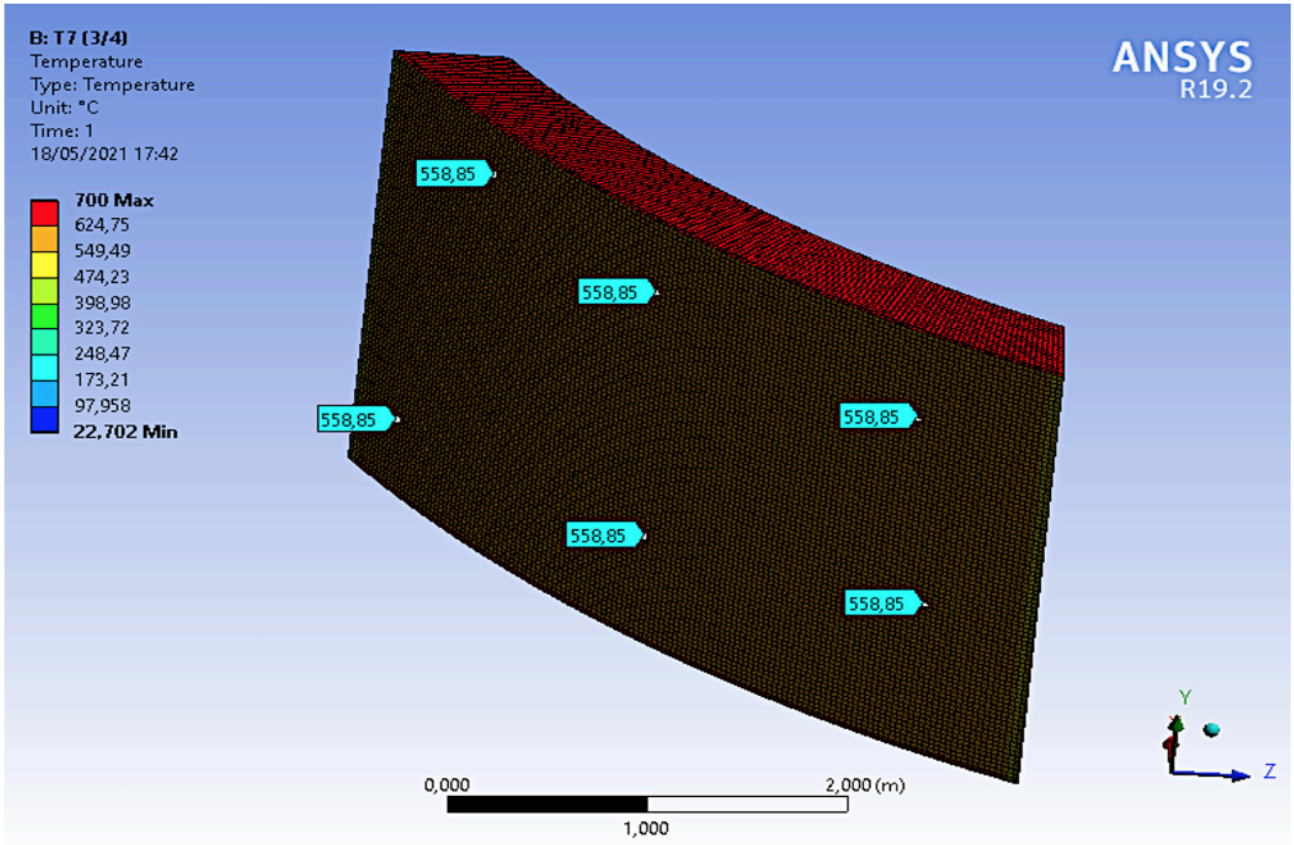


Fig. 6. Resultado exterior capa de aislante. [17]

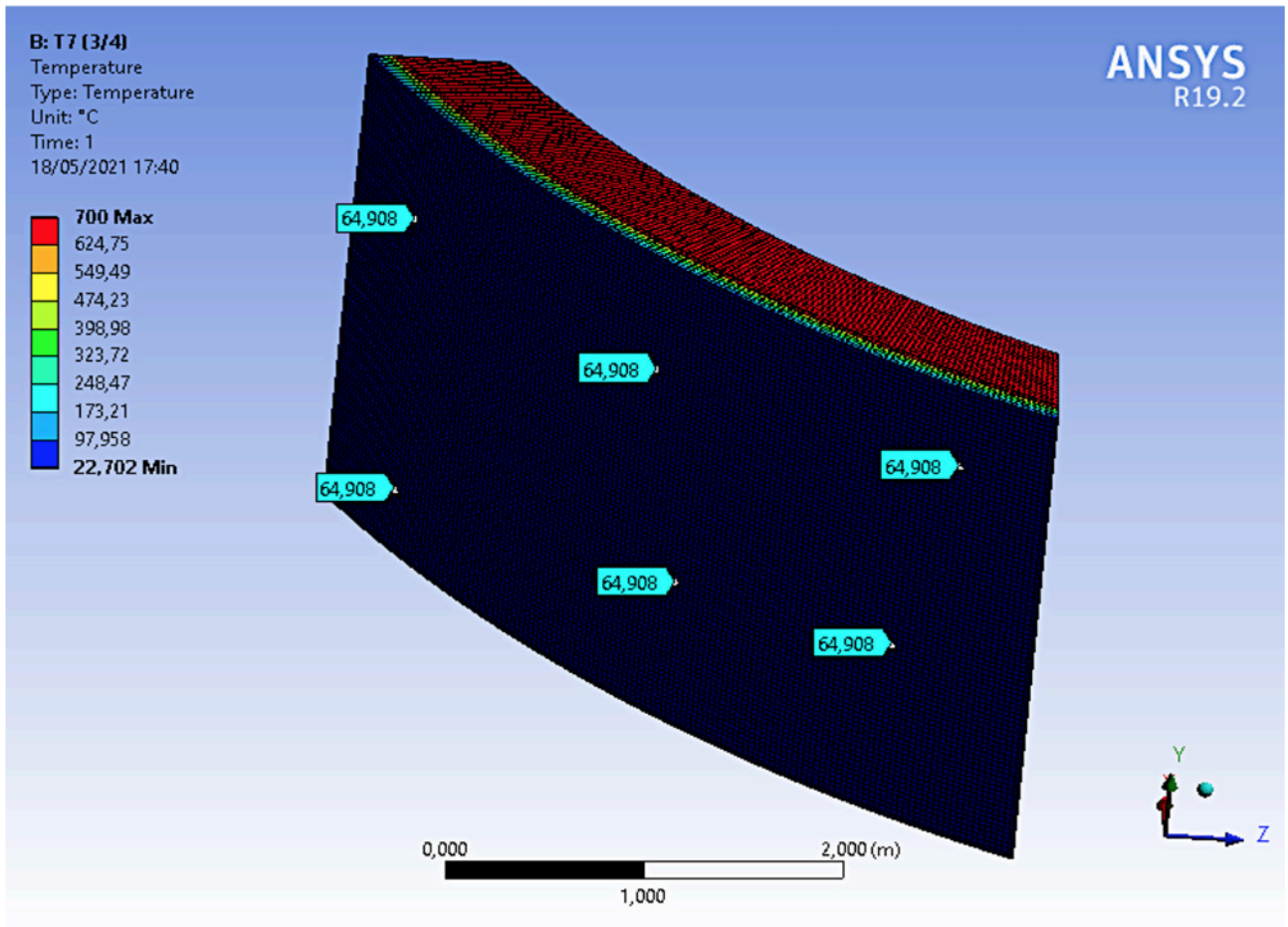


Fig. 6. Resultado exterior capa de hormigón. [17]

Resultado

Después de realizar todos los cálculos y las simulaciones se obtiene como resultado un tanque con las características indicadas en la tabla 7, teniendo un costo estimado de 1.451.062,55 €

Tabla 7. Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección [15].

Material aislante	Vermiculita
Largo (m)	12
Radio interior (m)	8
Espesor Acero (m)	0,027
Espesor Base (m)	1,20
Espesor aislante (m)	0,025
Espesor hormigón (m)	0,1
Costo total (€)	1.451.062,55
Costo total ($)	1.715.903,23

Conclusiones y trabajos futuros

La aplicación de la norma API va desde el cálculo de espesor mínimo, en donde se toma en cuenta los resultados obtenidos de aplicar el método de un pie para condición de diseño por medio de la extrapolación de datos y la aplicación de la ecuación correspondiente. La norma también indica una ecuación para calcular el espero de la base, a más de establecer un valor mínimo que es de 600mm. Otro aspecto a considera es la tapa, para ello la norma hace referencia a diferentes tipos de techo según el fin del taque de almacenamiento. Al no ser un fluido volátil, pero si emitir gases se considera como mejor opción el techo tipo cónico, el cual también tiene como característica un menor costo con relación a los demás diseños. Para el espesor del techo la norma establece un máximo de 13mm, dato que será utilizado para el análisis de costos.

Al estar el tanque ubicado al aire libre se encuentra expuesto a la perdida de calor por convección forzada, parámetro que varía en relación con la temperatura ambiente y velocidad del viento. En Almería la temperatura va de 6 °C hasta 35 °C y presenta vientos de entre 11,7 km/h hasta 17,6 km/h razón por la cual se trabaja con varios valores para el coeficiente de convección a fin de establecer uno para todos los posibles escenarios. Al comparar los resultados se puede observar que los datos se vuelven lineales a partir de 125 W/m^2 °C para los parámetros de estudio.

El módulo para la simulación de los diseños de tanque en el programa ANSYS empleado es Steady State Thermal, el cual permite analizar la temperatura final por capas, requiriendo como datos de inicio las propiedades de los materiales y del HFT, un diseño en 3D y la colocación de las características del ambiente para proporcionar un resultado adecuado. Al comparar los resultados de las simulaciones con los resultados obtenidos de la aplicación de las ecuaciones se observa una similitud lo cual da una garantía del funcionamiento del diseño.

El presente trabajo se lo realiza a base de datos proporcionados por el grupo de investigación Modelización de Sistemas Termoenergéticos del Departamento de Ingeniería Energética de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII), de la Universidad Politécnica de Madrid, en base a su proyecto de investigación y a los resultados previos del grupo [18].

Referencias

I. Sarbu y C, Sebarchievici, "A comprehensive review of Thermal Energy Storage," MDPI Publisher of Open Access Jounals, 2018, consultado en: May 25, 2020. [En línea]. Disponible en: www.mdpi.com/journal/sustainability

M. Liu, N.H. S. Tay, S. Bell, M. Belusko, J. Rhys, G. Will, W. Saman y F. Bruno,"Review on concentratin solar power plants and new developments in high temperaturethermal energy storage technologies," ELSEVIER, enewable and Sustainable EnergyReviews, no. 53, pp. 1411-1432, 2016.

R. Tisketine, R. Oaddi, R. Ait El Cadi, A. Bazgaou, L. Bouirden, A. Aharoune y A. Ihlal, "Suitability and characteristics of rocks for sensible heat storage in CSP plants, ELSERVIER, Solar Energy Materials and Solar Cells, no. 169, pp. 245-257, 2017.

H. Zhang, J. Baeyens, G. Cáceres, J. Degr`eve, y Y. Lv, "Thermal energy storage: Recent developments and practical aspects," ELSEVIER, Progress in Energy and Combustion, no. 53, pp. 1-40, 2016.

Q. Yu, X. Li, Z. Wang y Q. Zhang, "Modeling and dynamic simlation of thermalenergy storage system for concentrating solar power plant," ELSEVIER, Energy, no.198, código. 117183. 2020.

M. Parzen, "Comparison of Heat Transfer Fluids (HTF) for Solar TowerSystems, "2017, consultado en: May 25, 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Major-subsystems-in-a-molten-salt-power-tower-5fig1314258829

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Secretaria de estado de Energía "Energías renovables", (s/f), España, Consultado en: Abr 4,2020. [En línea]. Disponible en: https://energia.gob.es/desarrollo/EnergiaRenovable/Paginas/Renovables.aspx.España. Gobierno de España

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Secretaria de estado de Energía "Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER) 2011-2020", (s/f), España, Consultado en: Abr 4, 2020. [En línea]. Disponible en: https://energia.gob.es/desarrollo/EnergiaRenovable/Paginas/paner.aspx.

P. Tafur, Diseño y simulación de ciclos de potencia Brayton s-CO2con CSP y almacenamiento térmico, Tesis Master, Ing. De la Enegía., Univ. Politécnica de Madrid, Madrid, 2020.

V.Encinas, "Recubrimientos protectores para plantas de concentración solar con almacenamiento térmico: Síntesis, deposición y caracterización," Tesis Ph.D., Dpto. Modelización y Experimentación en Ciencia y Tecnología., Univ. de Extremadura, España, 2019.

R. Durán, Estudio termodinámico del taque de almacenamiento de sales en una central termosolar, Tesis Grado, Dpto.Ing. Térmica y de Fluidos., Univ. Carlos III de Madrid, Madrid, 2014

J. Restrepo, "Código API 650 y 630: Diseño, montaje y construcción de tanques soldados de acero", Elite Trainig, Bogota, 2007.

J. Restrepo,"Welded Steel Tanks for Oil Storage, API standard 650", American Petrolium Institute,Tenth Edition, N.W, Estados Unidos, 2003.

"Guía de especificación para la construcción de tanques o estructuras de ingeniería ambiental de concreto" Euclid group, TOXEMENT, Medellin, Colombia, 2019.

Y. Cengel, "Transferencia de calor y masa. Un enfoque práctico" McGraw-Hill Interamericana,Cuarta edición, Reno, Nevada, Estados Unidos, 2007.

"Autodesk,"Autodesk Inventor, 1999. J. Swanson, "ANSYS 19.2,",ANSYS,Inc.Canonsburg, Pensilvania, Estados Unidos,1970.

R. Valencia, L. Coco y J. Muños, "Supercritical CO2 mixtures for advanced Brayton Power Cycles in line-focusing, Solar Power Plants,"MDPI, Applied Sciences, no. 10, 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.mdpi.com/2076-3417/10/1/55/htm

Diseño y estudio de Cápsulas de Café para compostaje como modelo de negocio utilizando café de la región

https://doi.org/10.53358/ideas.v3i1.565

Cristian Andrade Teràn
Maestría en Diseño y Simulación, Escuela Politécnica Nacional

cristianandradeteran@hotmail.com

RESUMEN

En el presente proyecto se pretende establecer un modelo de negocio donde prime el cuidado al medio ambiente y se genere una oportunidad utilizando materia prima de la región, como es el café orgánico producido en diferentes provincias del país. Se presenta como producto cápsulas de café elaboradas con material biodegradable a partir de origen vegetal con la finalidad que estas sean fáciles de realizar un compostaje al finalizar su vida útil, con la finalidad de remplazar las cápsulas desechables elaboradas a base de aluminio las cuales son muy difíciles de reciclar produciendo alta contaminación por desechos. En este proyecto se realizó un diseño conceptual del producto con conceptos básicos de ingeniería concurrente donde se aplicó estudios de estructura mecánica de los componentes, estudios de factibilidad, de fabricación, ensamblaje, montaje y de mercado, para lograr un producto competitivo, confiable y sobre todo amigable con el medio ambiente. Se desarrolló un sistema tanto para diseño de producto como tal como para el envasado y el empaquetado, encontrándose factibilidad de la idea y oportunidades de negocio altas. Obteniéndose un modelo compatible con las necesidades de la sociedad actual tanto para el consumo de café orgánico y el cuidado del medio ambiente.

Palabras Clave: biodegradable, compost, orgánico, polímeros para compostaje

Abstract. This project aims to establish a business model where care for the environment prevails and an opportunity is generated using raw materials from the region, such as organic coffee produced in different provinces of the country. It is presented as a product coffee capsules made with biodegradable material from plant origin in order that they are easy to make a composting at the end of their useful life, in order to replace the disposable capsules made of aluminum which are very difficult to recycle producing high waste pollution. In this project, a conceptual design of the product was carried out with basic concepts of concurrent engineering where mechanical structure studies of the components, feasibility studies, manufacturing, assembly, assembly and market were applied, to achieve a competitive, reliable and above-mentioned product. all friendly with the environment. A system was developed for both product design as such and for packaging and packaging, finding feasibility of the idea and high business opportunities. Obtaining a model compatible with the needs of today's society for both the consumption of organic coffee and the care of the environment.

Key Words: Biodegradability, compost, composting polymers, organic

Introducción

Una cápsula de café es un recipiente que se sella con una determinada cantidad de café al interior y solo permite la entrada de agua a elevada temperatura la cual genera una presión al interior del recipiente. Esta cápsula debe funcionar como contenedor, filtro y mezclador para obtener un buen café; debe ser apto para estar contacto con alimentos, ser fácil de utilizar y de desechar sin afectar al medio ambiente. Desde principios de los 70 se ha utilizado cápsulas fabricadas en aluminio y hasta la fecha se las sigue usando sin embargo tanto para el consumidor como para empresas de reciclaje el deshacerse correctamente de los desechos que causan estas cápsulas es una tarea difícil. Por lo que ha sido necesario reinventar la idea para adaptarse a una era donde la sostenibilidad y el medio ambiente se han vuelto el foco de atención tanto de la industria como de la investigación.

Este dispositivo tiene que soportar altas temperaturas de hasta 90 – 100 ° C que son en las cuales el agua hierve. Además, soportar presiones de hasta 15 bares o 1,5 MPa, debe ser resistente mientras transporta el café en su interior y durante el proceso dentro de la máquina. Este producto debe brindar su principal ventaja frente otras formas de consumir café que es la velocidad de preparación, no debe ser difícil separar lo orgánico de lo inorgánico y debe poderse desechar en su totalidad de una manera que no cause daños al medio ambiente.

Este es un producto que necesita indispensablemente de un dispositivo o máquina para cumplir su función, por lo que es necesario que este se adapte a los utensilios existentes y así ser compatible con ellos, logrando así ser accesible y atractivo al cliente promedio. Según estudios realizados en España el 45,5 % del consumo de café es de esta forma, utilizando cápsulas [1]. Por otro lado, en Estados Unidos representan el 36 % de las ventas totales según datos del IRI (una agencia investigadora de Chicago). En el Ecuador existe gran diversidad de café, así como de consumidores, por lo que instalar el consumo con este formato es una buena alternativa.

Aspectos de Fabricación y comercialización

Las cápsulas de café son un producto de consumo diario por lo que debe ser producido en masa, puede ser fabricado por partes, varias de ellas pueden ser fabricadas externamente y otras internamente. El ensamblaje no debe ser difícil ni costoso, con lo que el precio disminuiría. Se debe crear un modelo compatible con casi todo tipo de máquina y ser atractivo tanto visual como ecológicamente.

Las cápsulas de café son un producto cuyo diseño se ha liberado hace varios años por lo que existen varios diseños alrededor del mundo en cuanto a forma y función. Sin embargo, en cuanto a medio ambiente apenas en 2016 se empezó a realizar estudios de cartuchos biodegradables y compostables. En la región se presenta como un producto relativamente nuevo por lo que presentaría una ventaja en innovación, sin embargo, al ser un producto extraño se podría tener desventajas con respecto a otros métodos de consumo de café [2].

Como modelo de negocio se pretende que esta cápsula sea totalmente funcional con características similares a una capsula Nespresso (marca líder en este campo), mostrar gran versatilidad y adaptabilidad para ser compatible con la mayoría de las cafeteras de cartucho existentes en el mercado, también ser un producto fácil de manejar antes, durante y luego de utilizarlo. Sobre todo, se pretende presentar un producto totalmente compostable y que no sea necesario ningún tipo de separación de componentes al desecharlo, de esta manera lograr que el usuario deseche esta capsula de una manera correcta incentivando el compostaje. Presenta un atractivo extra al mercado, ofreciendo producto orgánico (café molido) de la región y con variedad de marcas.

Metodología

Origen de las cápsulas

En 1975, los baristas debían tirar continuamente de las palancas de sus máquinas de espresso para aumentar la presión y extraer el café, esta forma de servir el café es muy popular en Europa y Estados unidos hasta la actualidad. Eric Favre es el inventor que vio la oportunidad de simplificar este proceso creando una maquina más pequeña que imite a la máquina de espresso, obteniendo una patente para este producto en 1976 hace más de cuarenta años. Esta cápsula era pesada por si sola y estaba fabricada básicamente de aluminio lo que ya desde ese entonces era mal visto para el medio ambiente [3].

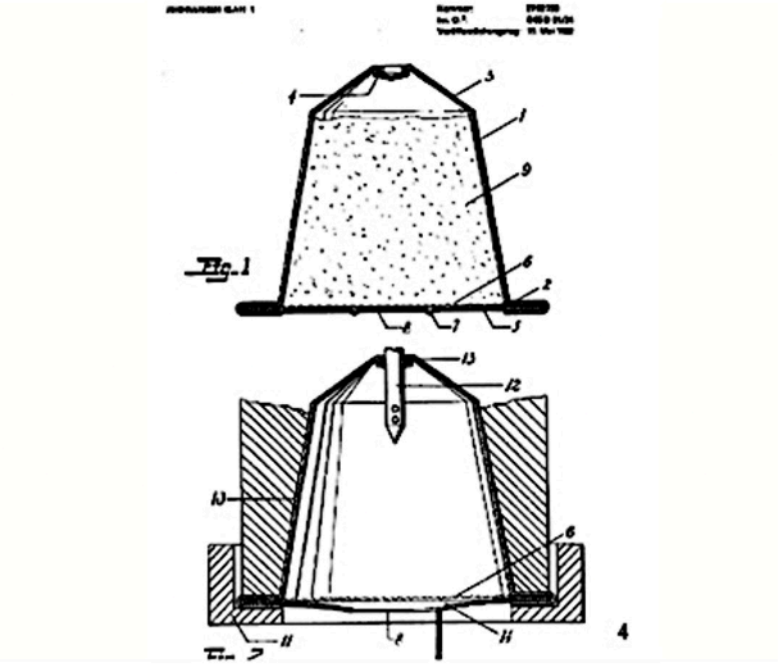


Fig. 1. Modelo original de la capsula de café unidosis

La comodidad y la elegancia de la solución fueron el principal atractivo, que hicieron triunfar a este producto por muchos años, sin embargo, el producto se volvió muy popular y varias empresas lo imitaron a lo largo de la historia. En un inicio, los niveles de fallas en las cápsulas una vez dentro de las máquinas eran altos, al igual que la presencia de oxígeno en las cápsulas, en la actualidad los consumidores también buscan una mayor sostenibilidad y transparencia [4].

Soluciones consideradas

El reciclaje es algo muy conocido en la cultura actual, sin embargo, para el mudo de las cápsulas de café de un solo uso no es una solución, esto debido a las características del diseño. La capsula no puede ser tratada como un envase ya que esto significaría que el contenido adentro del empaque se lo consume y solo queda como desecho el envase, y esto no aplica para las cápsulas ya que el contenido se queda dentro del recipiente una vez terminado su uso lo que dificulta mucho el reciclaje de este. Es un proceso difícil para el usuario por lo que se opta por tirar la capsula sin separar las partes, por ser un producto muy pequeño es difícil para los recicladores separar lo orgánico de lo inorgánico. Según Jan Dube, portavoz del departamento de Energía y Medioambiente de Hamburgo, está en que "las cápsulas no se pueden reciclar con facilidad debido a que normalmente están hechas de una mezcla de plástico y aluminio". Todo esto sumado a que existe un ineficiente llenado y empaquetado colocando poco material en un recipiente que claramente abarca más hace a las capsulas un producto de cuidado. The Grocer indica que uno de cada diez británicos cree que "las cápsulas de café son muy malas para el medioambiente" [5].



Fig. 2. Miles de cápsulas mal desechadas llegan a los depósitos de reciclaje

En el presente trabajo se ha estudiado dos posibles soluciones para consumir café rápidamente en cápsulas sin dañar al medio ambiente con los desechos que causa este proceso. El primero es una cápsula reutilizable que pueda ser usada por mucho y cumpla con todas las características necesarias. Otra solución es un dispositivo de un solo uso que cumpla con todo el proceso de obtención de café pasado, al ser desechado no deba separarse los componentes y no termine su vida contaminando en un botadero.

La solución para los desechos de las cápsulas de café de un solo uso es el compostaje, que quiere decir que todos los desechos se convertirán en compost o abono para la tierra donde se los deseche. Hacer que estas cápsulas estén hechas totalmente de materiales biobasados, es decir vengan de origen vegetal, permite dar al cliente un alivio ambiental al consumir café sin perder la comodidad y elegancia que estos cartuchos ofrecen.

Innovación en el producto

Se presenta un diseño de adaptación que busca mejor los diseños existentes proponiendo lo siguiente:

- Adaptable a más marcas de cafeteras
- Menos componentes de la cápsula
- Utiliza café de la región
- Ofrece una mayor flexibilidad del producto.

Una gestión directa con productores de café de la región para obtener la materia prima y un proceso automático de envasado son factores que beneficiaran mucho al proyecto, así como el hecho de arribar a un campo relativamente nuevo a nivel nacional permitirá una mejor relación con la industria y el mercado. Además, se podría generar fuertes alianzas con productores de café generando nuevas fuentes de trabajo, así como, alianzas con cafeterías y distribuidores de café a nivel nacional [6].

Estructura del diseño

Análisis del problema

Principalmente se necesita un recipiente que no necesite tratarse para desecharse y no dañe al ambiente, ofrecer un buen café, ser adaptable y atractiva para el usuario. Los materiales para fabricar el producto necesitan cumplir las siguientes restricciones.

- Biodegradable
- Certificado
- Tolerante al calor
- Apto para alimentos

También se desea que cumplan con los siguientes criterios:

1. Menor Precio
2. Facilidad de adquisición
3. Facilidad de transformación final (compostable)
4. Facilidad de manipulación (maquilado)
5. Mejor tolerancia al calor

Los materiales analizados para este producto se enlistan a continuación:

- PLA (ácido poliláctico). Derivado del ácido láctico hecho con materias primas 100% renovables. Apto para la confección de recipientes y embalajes que van a estar en contacto con alimentos.
- PBAT (polibutileno de teraftalato adipato). Con buena tolerancia al calor, se caracteriza por su flexibilidad y su transparencia.
- Ecovio. Polímero compostable certificado con contenido biológico

Bajo criterios de ponderación se llega a escoger un polímero biodegradable de la familia Ecovio ofertada por la empresa BASF, ecovio® TA1241, el cual es resistente a temperatura y presión, es fácil de tratar y tiene buena resistencia mecánica y cumple con las normas de. En la figura 3 se presentan los certificados de biodegradable y compostaje del polímero.

European standard
EN 13432
Australian standard
AS 4736

American standard
ASTM 6400

European standard
EN 13432

Norm	EN 13432 (EU)		ASTM D 6400 (USA)
Certification Body	DIN Certco	Vinçotte	BPI
Certification Number	7W0261	016-1902-A	pending

Fig. 3. Certificados del polímero ecovio® TA1241obtenidos del catálogo de BASF [7]

Diseño de geometría

Se buscó un diseño que se adapte fácilmente a una variedad de máquinas de espresso que funcionen con cápsulas, por lo que se parte de un tamaño estándar de 27 mm x 34 mm. Y se enriquece el diseño estudiando diferentes cápsulas desechables existentes para mejorar la geometría de la capsula, la tapa y la forma del filtro. La figura 4 presenta un boceto del modelo seleccionado.

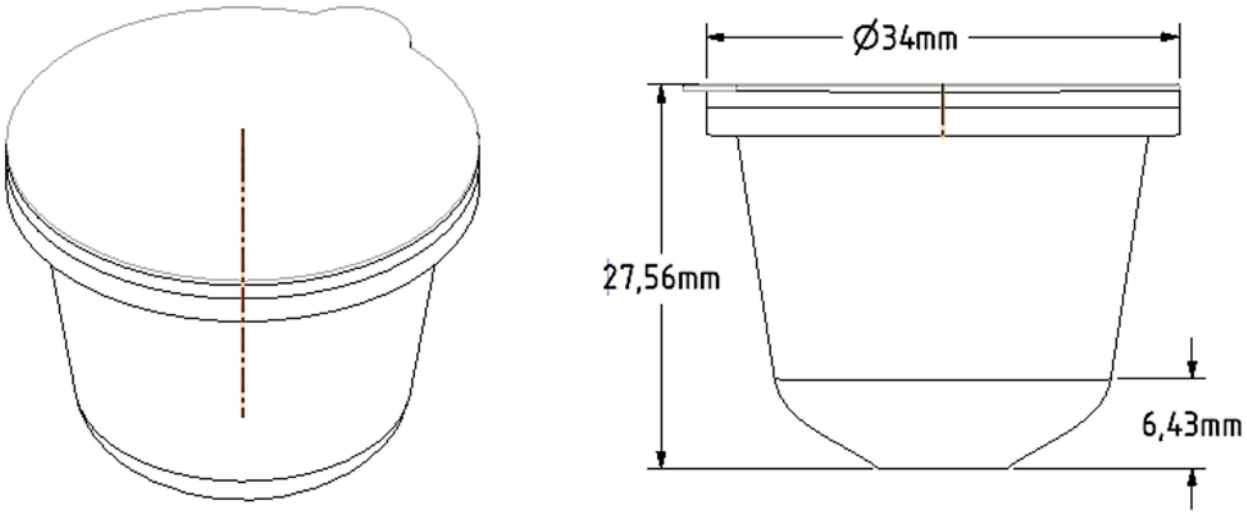


Fig. 4. Modelo propuesto para el análisis

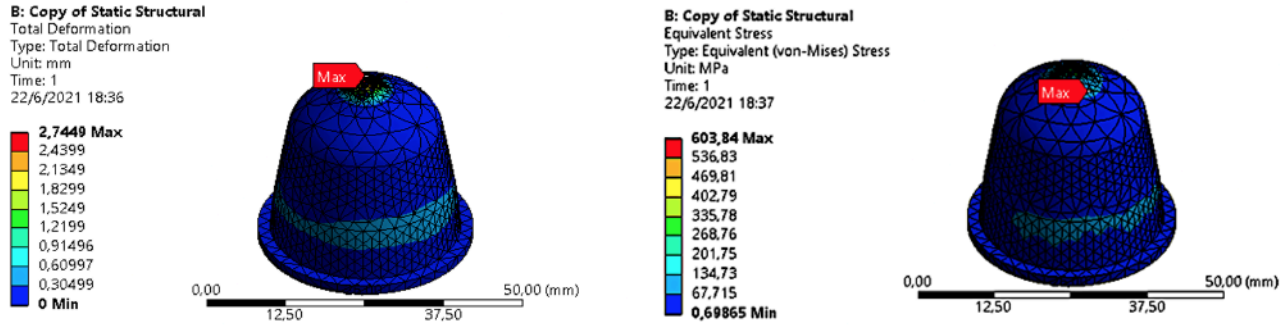
Simulación y Evaluación

Para analizar y evaluar la estructura de la capsula con el material ecológico se realiza un estudio de cómo se comporta la capsula sometida a cargas de presión y temperatura. Se realizan simulaciones numéricas mediante elementos finitos tanto para deformación como tensiones presentes al aplicar las cargas. Se estable el material con las propiedades expuestas en la figura 4. Con los resultados de deformación y tensiones se obtiene datos sobre la estructura de la capsula (Confiabilidad, Durabilidad) y se analiza si el material es adecuado.

Property	Unit	Test Method	ecovio® TA1241
Mass density	g/cm³	ISO 1183	1,494
Melt volume rate MVR 190 °C, 2.16 kg*	ml/10 min	ISO 1133	2.0
Melting Point	°C	DSC	100-110
HDT B (0.45 MPa)	°C	ISO 75-1/2	94
Tensile modulus	MPa	ISO 527	2700
Tensile strengh	MPa	ISO 527	37
Ultimate strengh	MPa	ISO 527	34
Ultimate elongation	MPa	ISO 527	13

Fig. 4. Propiedades del polímero ecovio® TA1241obtenidos del catálogo de BASF [7]

Se establece como condiciones una presión de 15 bares y una temperatura de trabajo de 90 °C. La figura 5 presenta los resultados obtenidos en un estudio mecánico estructural sobre el cuerpo de la cápsula con el material ecovio, como se observa la máxima deformación y esfuerzos se encuentran en la zona del filtro por donde sale el café listo y un ligero incremento de valores en la zona intermedia del producto. Estos valores eran esperados ya que en la zona de la punta se diseñó de un espesor menor para que el café pueda salir por ahí con ayuda de la maquina cafetera.



a) *b)*

Fig. 5. Resultados obtenidos por simulación numérica para: a) Deformación, b) Esfuerzos

Con la elaboración de un prototipo se puede verificar los resultados obtenidos en la simulación y obtener datos de funcionalidad que virtualmente no se puede obtener como el sabor, el olor y la facilidad de compostaje al desecharlo. Un modelo de impresión rápida puede ser muy útil en primera instancia para constatar y verificar el diseño [8].

Diseño de Fabricación

Las cápsulas de café compostable es un recipiente a base de material biodegradable que contendrá café a su interior y soportará alta temperatura y presión para generar una taza de café lista para servirse como producto final. Este recipiente cumple con las especificaciones expuestas en la tabla 1.

Tabla 1. Especificaciones del modelo de capsula a desarrollar

Cápsulas de café compostables		
Función	Cápsula lista para preparar café y sus derivados en máquina.	
Dimensiones	34 mm x 27 mm	
Cargas	Temperatura máx.: 100 ° C	Presión máx.: 15 bares
Materiales	Plástico Biobasado	Papel
Vida útil	1 ciclo	
Patente	Liberada	
Fabricación	Inyección, Impresión de polímeros	
Impacto ambiental	Desechable, compostaje	
Costo c/u	0,63 – 0,75 $	

Como todo recipiente de alimentos a base de plástico este puede ser fabricado por un sistema de inyección de polímeros y soplado. En este caso el material a utilizar (ecovio) es un polímero biodegradable que se origina de una mezcla de PLA y aditivos de origen orgánico, es muy manejable tanto para extrusión como para inyección, es tratable como los polímeros convencionales para recipientes plásticos. Además, el fabricante presenta este producto como material de impresión que trabaja con todo tipo de impresora compatible con PLA y maquinas compatibles con PP [7 - 9].

La materia primordial de esta capsula es el café orgánico que llevará en su interior, en Ecuador existe una inmensa variedad de café, este café debe ser tostado y molido para luego sellarse en estas cápsulas al vacío para evitar que el café pierda sus propiedades, Ecuador produce café en 23 de sus 24 provincias [10]. El ofrecer diferentes tipos de café en cada capsula puede convertir a esta capsula en un alto competidor. El producto podría costar entre 0,63 y 0,75 centavos incluyendo ya el costo del café de llenado, esto depende mucho de la cantidad de cápsulas se elabore. Cada recipiente contiene entre 6 y 10 gramos de café orgánico dependiendo si se desea espresso o americano.

Diseño de Montaje

El montaje o ensamblaje de las cápsulas es el proceso muy importante del proyecto, se debe tomar en consideración muchos aspectos, entre ellos: que el café sea recién molido al momento de envasar, que el sellado no deje entrar oxigeno al recipiente para conservar el café orgánico, que el café se compacte de manera adecuada y que se coloque la cantidad de correcta de café para lograr el tipo de preparación deseada. Además, es necesario que este producto se genere en serie y en grandes cantidades por lo que este proceso debe darse a un tiempo corto y debe ser muy controlado. En la figura 6 se presenta un esquema del modelo a seguir para el proceso de envasado, que comprende el llenado, compactado y sellado de las cápsulas.

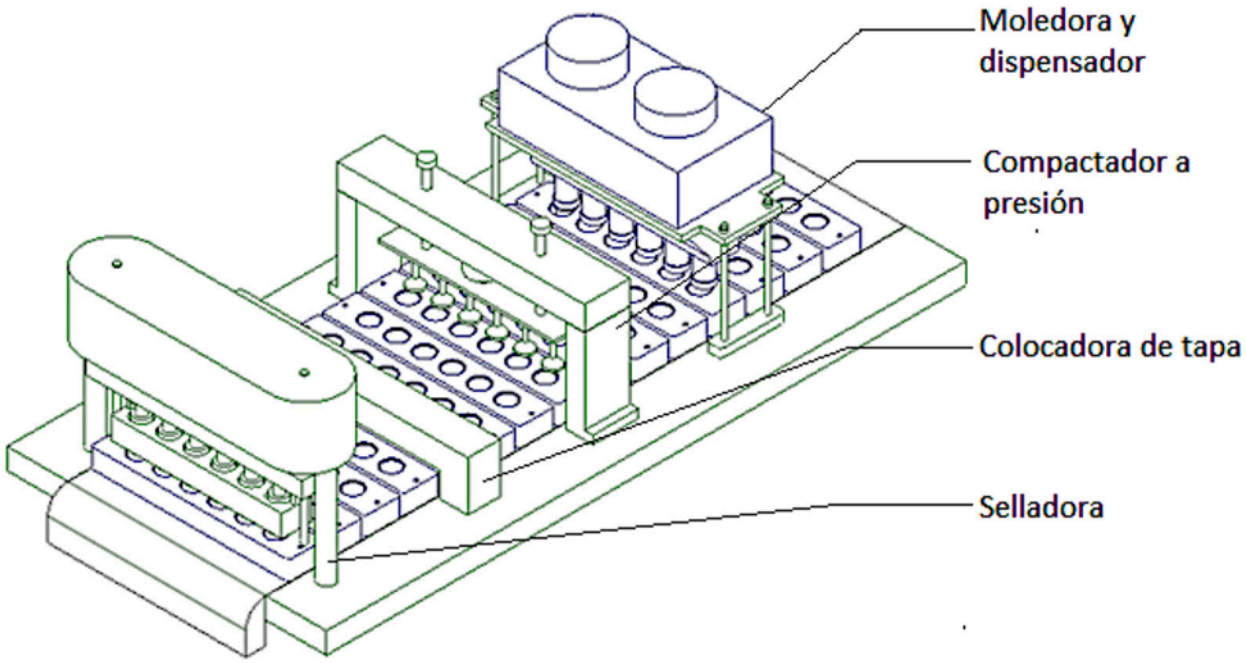


Fig. 6. Modelo propuesto para automatizar el proceso de envasado y sellado.

Aplicando ingeniería y automatización se puede hacer este proceso rápido, eficiente y controlado, con lo que se puede asegurar calidad en el producto. En este proyecto se presenta un modelo de ensamblaje basado en una serie continua de producción con lotes de 6 unidades, partiendo de la colocación de 6 recipientes en una matriz, figura 7, y transportadas por una banda pasa por 4 estaciones.

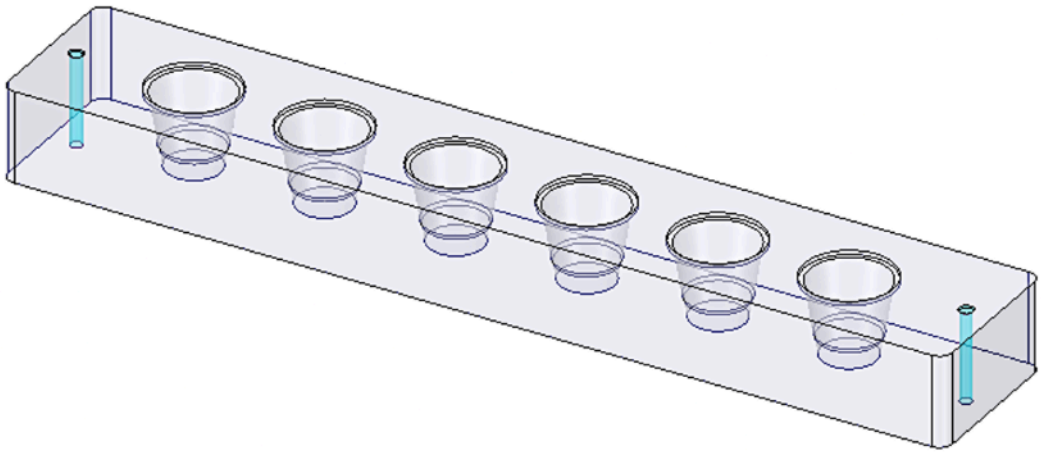


Fig. 7. Matriz de colocacion de cápsulas para un lote

La primera estación es donde se muele el café y enseguida se dosifica la cantidad necesaria de café en cada capsula, esta parada asegura que el café tenga las propiedades de un café recién molido y se controle la cantidad de café se deposita en la capsula. La segunda estación se encarga de compactar el café con la presión correcta para no afectar la estructura de la capsula y fijar el café a la capsula. La tercera y cuarta estación se encargan de colocar la tapa de papel y sellar el recipiente al vacío para conservar el café y así obtener un lote de 6 unidades lista para empacar.

Diseño de empaquetado

Al tratarse de un producto de desechable y de consumo frecuente es necesario ofertar un empaque con varias unidades de cápsulas, variedad de producto en cuanto a sabores y tipo de café, así como variaciones de derivados del café. Es importante no dejar de lado en este proceso el eje principal del producto que es no generar desechos y no contaminar.

Se realizó un estudio de mercado donde se encontró que dependiendo del tipo de capsula se oferta empaques que contienen de entre 6 y 10 unidades y rodean el valor de 10 $ por empaque. Se observa una oportunidad de entrada al mercado proponiendo dos tipos de empaque una con 6 unidades que vendrá con un empaque de papel biodegradable donde se coloca el nombre y logo de la marca. Y un empaque mas grande a base de cáñamo donde se ofertará un numero más grande de cápsulas compostables.



a) *b)*

Fig. 10. Empaques para cápsulas compostables, a) empaque de papel (ejemplo café de Perú) y b) bolsa de cáñamo para café.

Conclusiones y trabajos futuros

- El café es un producto muy consumido alrededor del mundo y las cápsulas de café se ha vuelto una manera muy popular de preparación sobre todo en Europa y Estados Unidos. En Sur América se produce y se comercializa el mejor café del mundo por lo que es una gran oportunidad para explotar este sector.

- Se ha observado que las cápsulas de café generan una cantidad extraordinaria de desechos que no son degradables fácilmente y en muchas ocasiones se vuelve demasiado complicado el proceso de reciclado por lo que optar por materiales que se puedan compostar y utilizar en cultivos hace sustentable a este producto y ayuda a una economía circular.

- Estudios ingenieriles en cualquier campo de la industria deben siempre pensar en el medio ambiente y como crear tecnología que sea eficiente y no contamine al medio ambiente, antes, durante y después que el producto o servicio termine su vida útil.

- Es recomendable para futuros trabajos estudiar mas a fondo la producción y manejo de desechos de estas cápsulas en compostaje para disminuir más el impacto ambiental que causen. Además, es importante concientizar y diseñar un protocolo a seguir en cuanto a compostaje a nivel personal y en la comunidad.

Referencias

OMPI, «¿Un café? La historia tras las cápsulas de café,» Revista de la OMPI, 2010.

Marca Sur, «Nespresso pierde patente,» Marca Sur, 21 Octubre 2013.

T. Grant, «Breve Historia de Las Cápsulas de Café,» Perfect Daily Grind , 26 Agosto 2020.

B. SE, «Ecovio,» 2021. [En línea]. Available: www.ecovio.com.

C. Riba Romeba, Diseño concurrente, Cataluña: UPC, 2002.

M. VALERO-VALDIVIESO, «BIOPOLÍMEROS: AVANCES Y PERSPECTIVAS,» Dyna, n° 181, pp. 171-180, 2013.

S. Carlson, Implementing ConcurrentEngineering inSmall Companies, Afton, Virginia: Macerl Dekker, 2002.

FórumCafé, «EL CAFÉ EN ECUADOR,» revistaforumcafe, 2019.

L. Vanguardia, «Casi la mitad del café que consumimos ya es en forma de cápsula,» Redacción Barcelona , 23 03 2018. [En línea]. Available: https://www.lavanguardia.com/vivo/20180323/441497444582/mitad-cafe-consumimos-capsula.html. [Último acceso: 2021].

C. Stokel-Walker, «La amenaza para el medio ambiente de las cápsulas de café,» BBC, 19 Febrero 2016. [En línea]. Available: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/02/160219_ciencia_capsulas_cafe_contaminacion_prohibicion_gtg. [Último acceso: 2021].

Férula de estabilización preoperatoria en fracturas de fémur

https://doi.org/10.53358/ideas.v3i1.579

Ashtom Urbáez[1], Simón Urbina[1], Brizeida Ojeda[2]
[1] Centro de Biomecánica, Universidad de Carabobo,
Av. Universidad, Naguanagua, Estado Carabobo, Venezuela
[2] Departamento de Ingeniería Mecánica, EAFIT
Carrera 49 N° 7 Sur 50, Medellín, Colombia
1uashtom@gmail.com, 1seuluc@gmail.com, 2bojedag@eafit.edu.co

RESUMEN

Uno de los métodos empleados para controlar el dolor, cuando un paciente ha sufrido una fractura a nivel de la diáfisis del fémur, es la tracción esquelética [1]. A continuación, se presentan los avances en el diseño de una férula de tracción para la estabilización preoperatoria en fracturas de fémur. Para ello se propuso una solución, dimensionada según las características antropométricas de pacientes adultos. Se seleccionó un material de uso hospitalario. El análisis de esfuerzos se llevó a cabo partiendo de la simulación de dos posiciones, en las cuales operará la férula durante su utilización. Para el cálculo numérico se empleó un programa basado en el Método de Elementos Finitos. Se obtuvieron resultados que garantizan la seguridad del dispositivo; así mismo, se verificaron los criterios establecidos en el marco del diseño, tales como la estabilidad del dispositivo, la ergonomía y la posibilidad de colocar la férula en diferentes posiciones.

Palabras Clave: Férula, Preoperatorio, Fractura, Fémur.

Introducción

Las fracturas de miembro inferior generalmente son procesos clínicos que requieren soluciones quirúrgicas [2]. En países con crisis hospitalarias, el tiempo transcurrido entre el ingreso del paciente hasta que se realiza la intervención puede superar los 30 días, debido a la carencia de los insumos necesarios para llevar a cabo la cirugía. En estos casos se requiere inmovilizar el miembro afectado, con férulas, aplicando técnicas de tracción empleadas desde los inicios de la traumatología [3]. Una de las más conocidas es la férula de Braun, un dispositivo rígido, no regulable, que mantiene el miembro inferior elevado en la cama en posición funcional (semiflexión). Su uso es hospitalario, y está diseñada para el tratamiento de diferentes patologías del miembro inferior, entre las que se encuentran las fracturas de la cabeza y las diafisarias del fémur [4].

El uso más frecuente de este tipo de férulas es el tratamiento prequirúrgico de la fractura de fémur, ya que permite mantener el miembro inferior elevado logrando así aliviar el dolor y conseguir alineación de los huesos en caso de que los fragmentos óseos se encuentren fracturados [5].

En la actualidad, en hospitales públicos de Venezuela no se cuenta con los insumos necesarios para cubrir las demandas de las personas que asisten a los centros de salud. Esto implica un significativo desabastecimiento en cuanto a cualquier tipo de material hospitalario, incluyendo el requerido en el área de traumatología.

Dada la situación planteada el Centro de Biomecánica de la Universidad de Carabobo propone el diseño y construcción de una férula de Braun, con el propósito de que este dispositivo sea utilizado por los pacientes que lo requieran en los tratamientos preoperatorios de fracturas femorales.

Metodología

Fase 1: Recopilación de información

En esta etapa se revisa la información referida a los métodos de estabilización de fractura, así como la anatomía de miembro inferior de pacientes adultos. El personal médico y de enfermería señalaron sus requerimientos basados en las situaciones que observan diariamente en los pacientes hospitalizados. Con las apreciaciones mencionadas se establecen las especificaciones del sistema a diseñar.

Fase 2: Diseño de la férula de tracción

Basados en la información de la fase previa se conciben características para la férula. Las mismas tienen que ver con la posición que adoptará el dispositivo para cumplir su función, la ergonomía y adaptabilidad a diferentes posiciones y longitudes de miembro inferior, un material que cumpla con las normas sanitarias, el peso que permita la movilización de un lugar a otro. Para dichos criterios se plantea la solución para la férula. Utilizando un software de diseño asistido por computadora se obtiene el modelo presentado en la Fig. 1. Cabe destacar que las tuberías con agujeros de la estructura base funcionan como reguladoras, tanto de los ángulos a los que se puede elevar el muslo para variar la altura de la pierna como de los ángulos para ejercer la tracción.

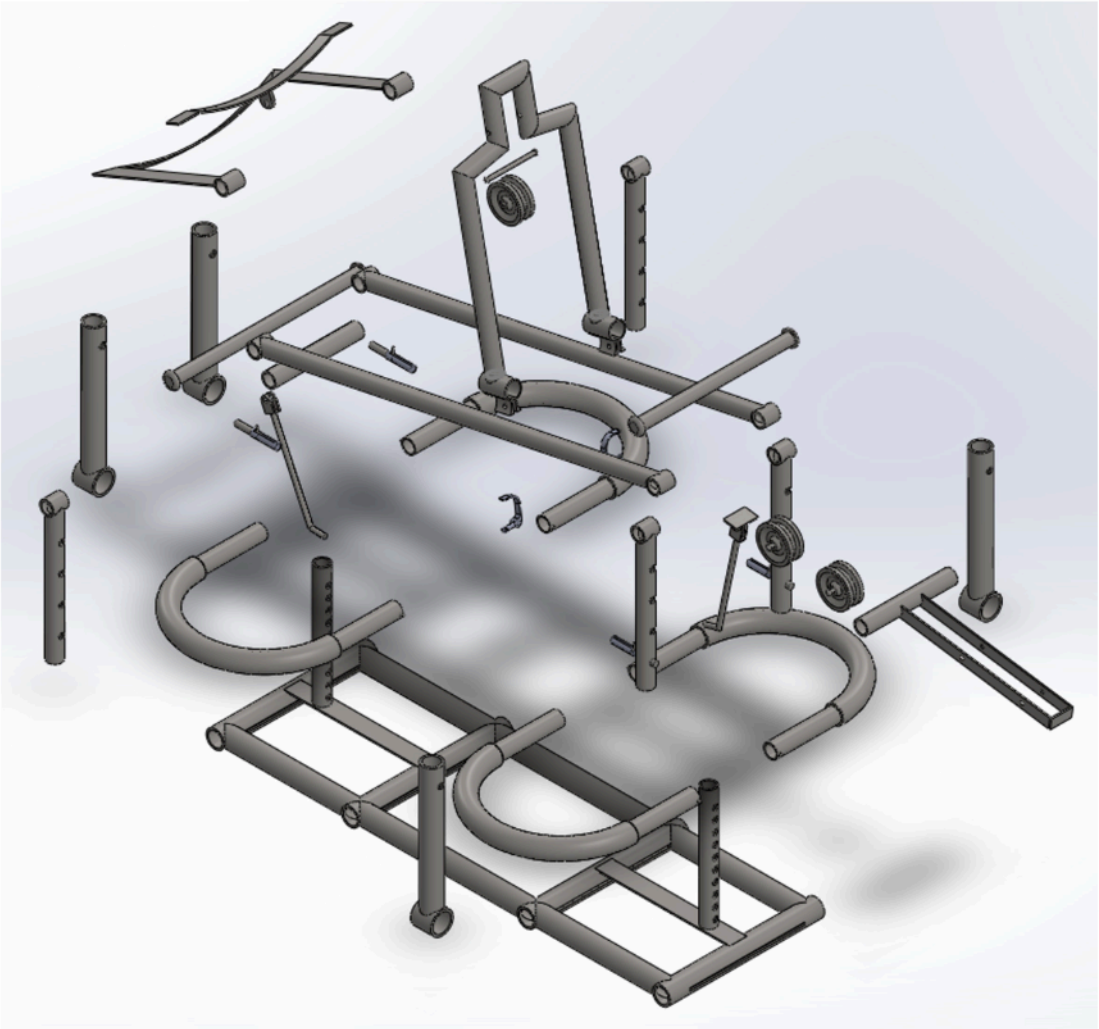


Fig. 1. Vista isométrica en explosión de la férula de tracción.

Partiendo del modelo 3D se comprueba que es posible ensamblar los componentes de la férula (ver Fig. 2). Adicionalmente, se lleva a cabo la selección del material para la estructura de la férula. En esta fase se consideran la resistencia que ofrece el material, soldabilidad, disponibilidad en el mercado y uso hospitalario. En la Tabla 1 se indica la lista de componentes de la solución planteada para la férula.

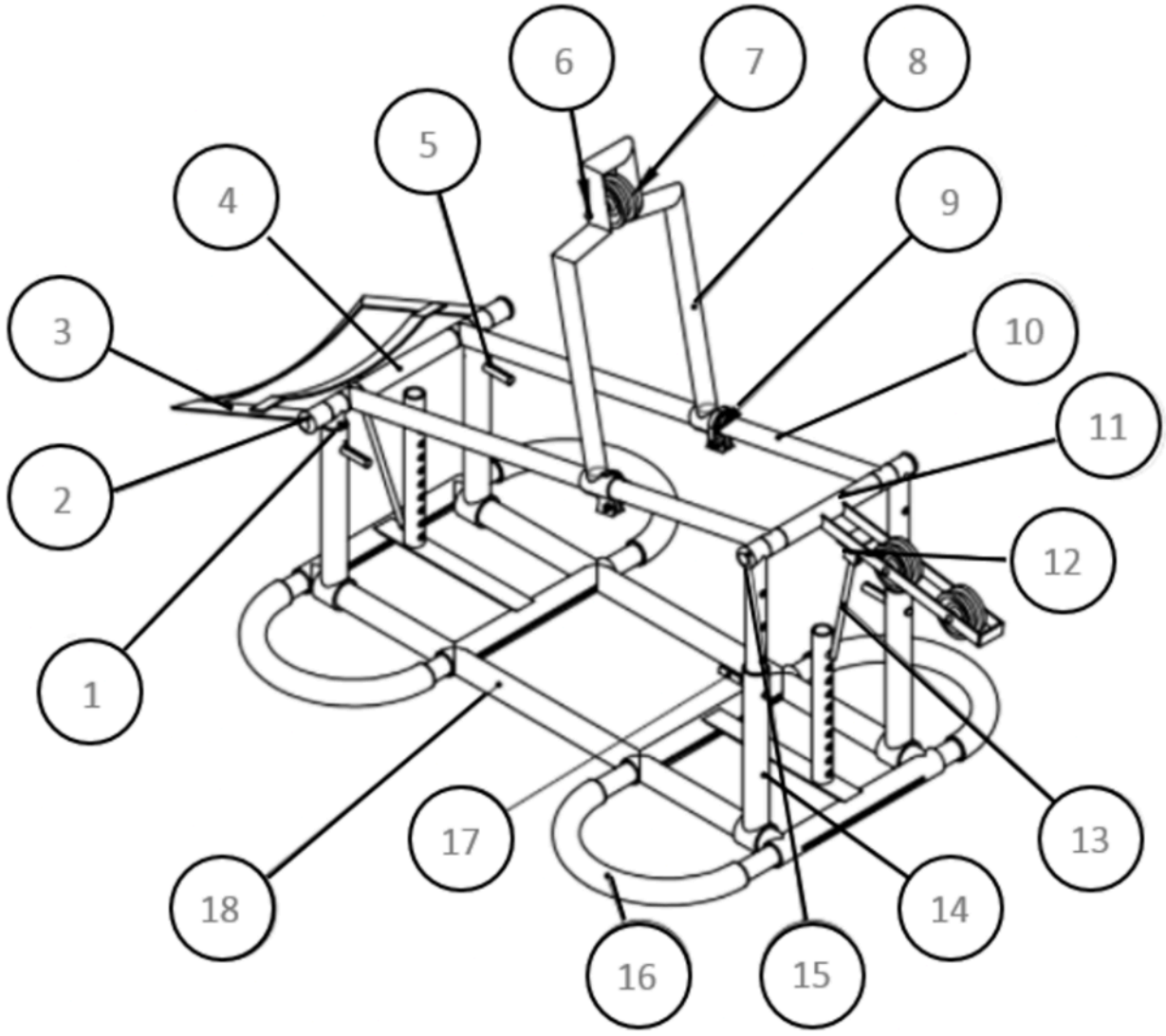


Fig. 2. Vista isométrica de la solución propuesta para la férula de tracción.

Tabla 1. Lista de componentes de la solución planteada para la férula.

N° de Elemento	Descripción	Cantidad
1	Columnas superiores	4
2	Eje posa muslo	1
3	Posa muslo	2
4	Tubería de protección del eje	2
5	Pasador	4
6	Pasador de poles	1
7	Polea	3
8	Campana	1
9	Abrazadera	2
10	Tubería para unión de columnas	4
11	Base de poleas	4
12	Pasador de gancho	2
13	Gancho	2
14	Columnas inferiores	1
15	Eje de posa poleas	1
16	Orejas	1
17	Camisa de pasador	1
18	Estructura base	1

Respecto a los materiales para la férula, según las normas hospitalarias se recomienda para la construcción del dispositivo el acero inoxidable AISI/SAE 304, debido a que tiene una amplia gama de condiciones corrosivas. Adicionalmente es ventajoso porque posee buenas características para la soldadura. La resistencia a la corrosión es excelente. Las propiedades mecánicas del acero inoxidable 304 se encuentran especificadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades mecánicas del Acero inoxidable AISI 304 [6]

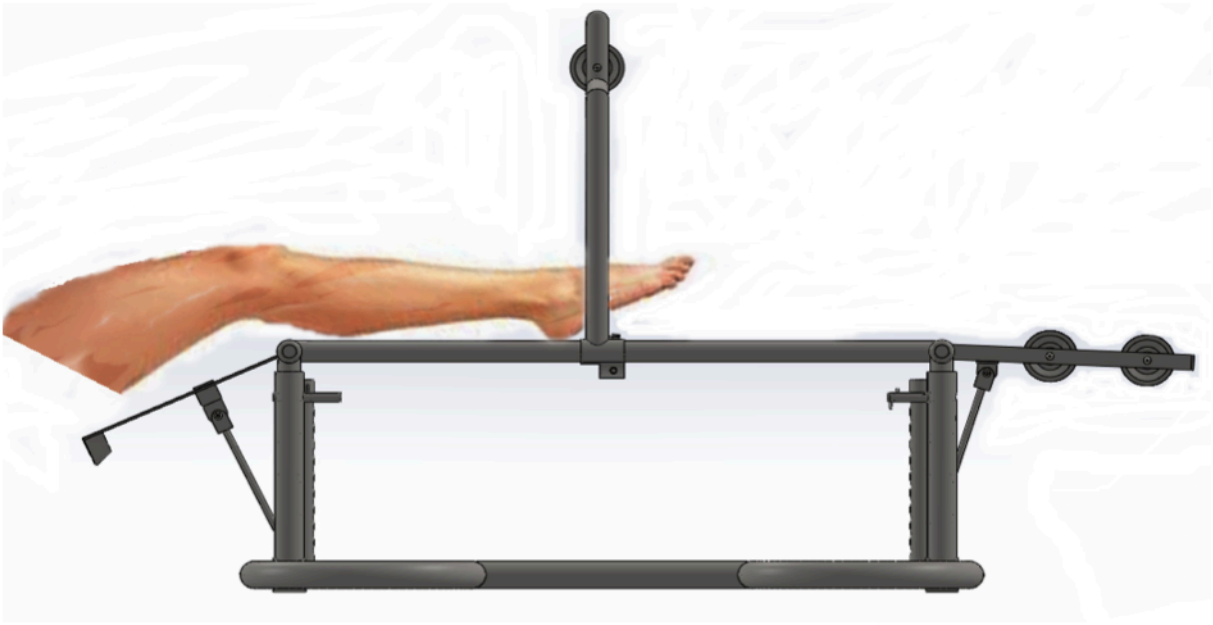
Propiedad	Valor	Unidad
Esfuerzo de fluencia	205	MPa
Esfuerzo máximo	515	MPa
Elongación	30% (en 50 mm)	---
Módulo de elasticidad	190	GPa
Coeficiente de Poisson	0,29	---
Dureza	201	HBN

Fase 3: Cálculos

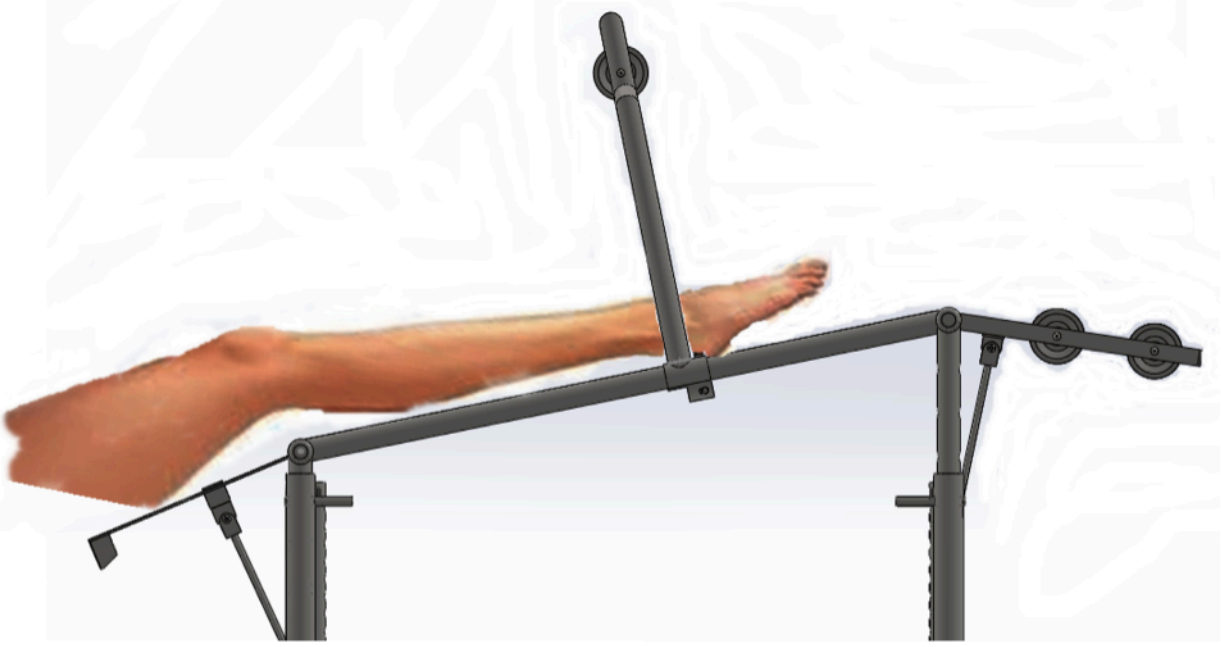
En esta fase se analizan las posiciones críticas que puede adoptar la férula. En la Fig. 3 (a) se observa la primera posición a la que puede colocarse la férula. La pantorrilla del paciente puede situarse sin ningún ángulo de elevación respecto a la horizontal, en caso de que eso sea lo que se necesite en el tratamiento; mientras que en la Fig. 3 (b) se observa la segunda posición a la que puede colocarse la férula. En este caso la pantorrilla del paciente se eleva respecto a respecto a la horizontal un ángulo determinado que dependerá del tratamiento a aplicar.

La férula soporta el peso del miembro inferior de un paciente que es aproximadamente el 10% de su peso total. Para el diseño de esta férula se emplean las características de un adulto promedio: 1,75 m de estatura y 85 kg de masa. La tracción se puede aplicar progresivamente hasta un 15% del peso corporal [7].

La Fig. 4 muestra la distribución de cargas, que representan el apoyo de la tibia del paciente, de acuerdo con la posición inclinada de la férula. La flecha de color rojo representa el peso de la zona tibial junto con el pie del paciente (6,4 kg).



(a)



(b)

Fig. 3. Posiciones que puede adoptar la férula, (a) Posición Nro. 1 (Horizontal), (b) Posición Nro. 2 (con ángulo de inclinación).

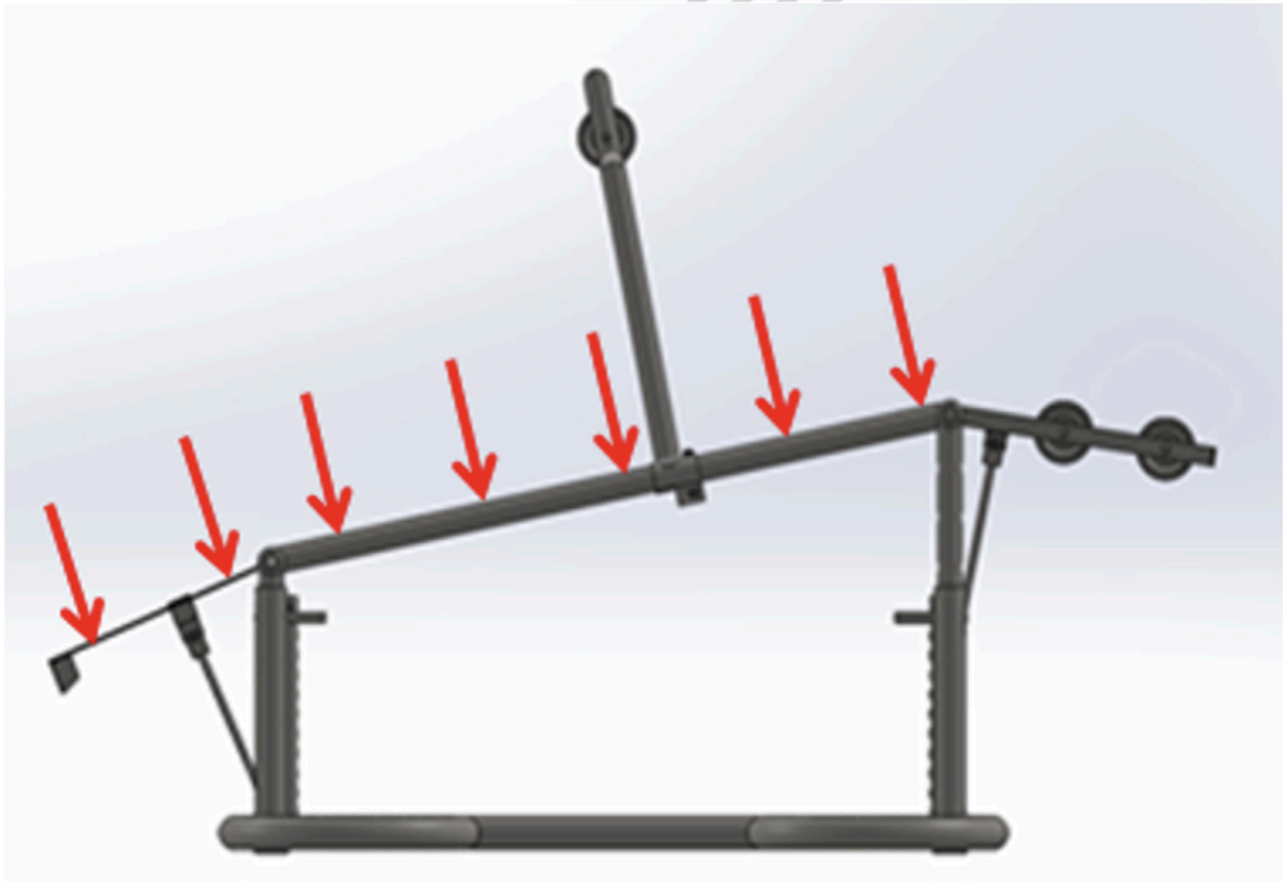


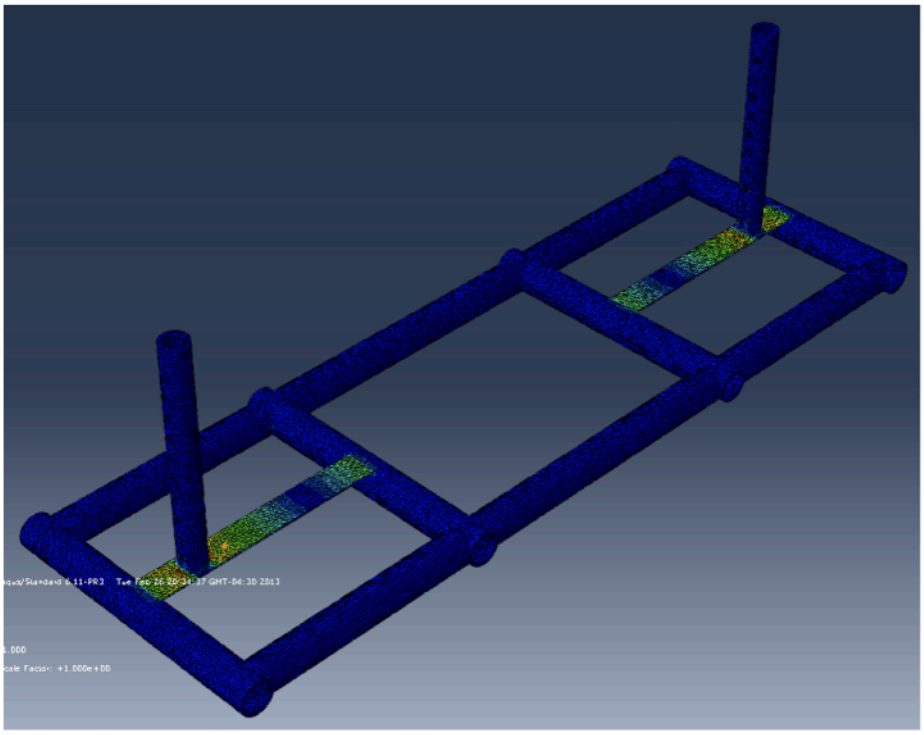
Fig. 4. Distribución de cargas en la férula.

El análisis de esfuerzos de los componentes que pueden presentar fallas, por sus dimensiones y las cargas a las que están sometidas, se realiza empleando un software basado en el Método de Elementos Finitos. La simulación se lleva a cabo aplicando cargas superiores, en magnitud, a las de operación; esto con la intención de garantizar la seguridad del dispositivo y comprobar que para las condiciones y fuerzas a las que estará sujeto en su uso no presentará fallas.

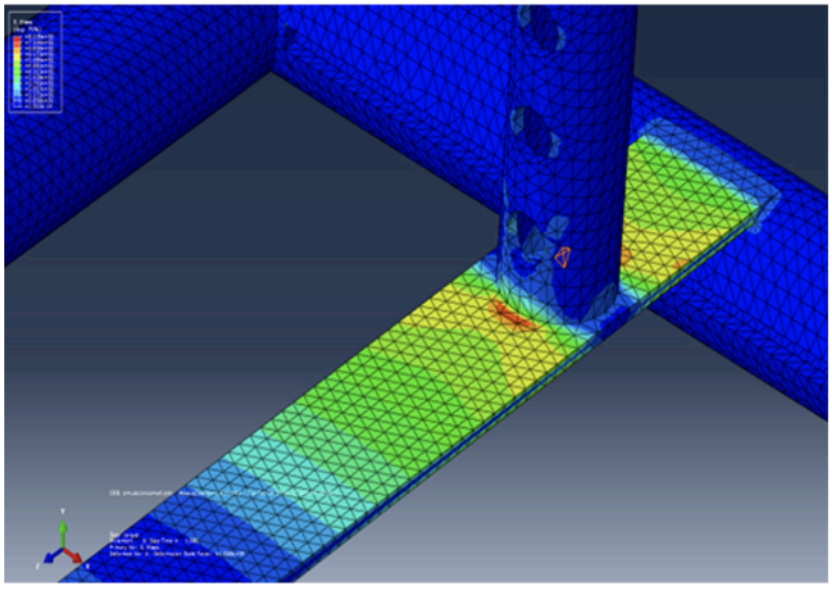
Resultados

Se desarrolla la simulación de esfuerzos para las dos posiciones que puede adoptar la férula. Los elementos se analizan separadamente con las respectivas condiciones de contorno (restricciones y cargas) enumerando los elementos de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1. Al finalizar la sección, en la Tabla 3, se indican los resultados del factor de seguridad para los elementos analizados.

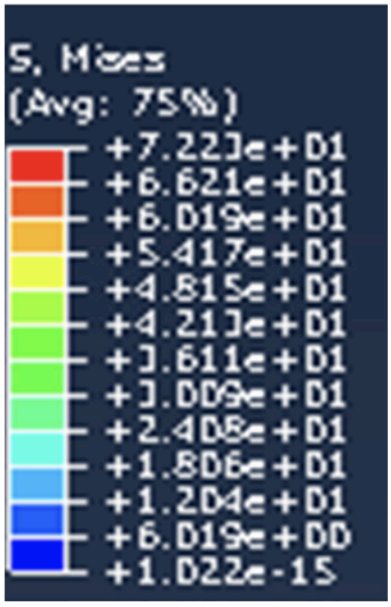
En la Fig. 5-a se muestra el resultado del análisis de la estructura base de la férula (18); así mismo en la Fig 5-b se puede observar el detalle de las zonas más esforzada, mientras que en la Fig. 5-c se indican la escala de esfuerzos de von Mises para el elemento estructural.



(a)



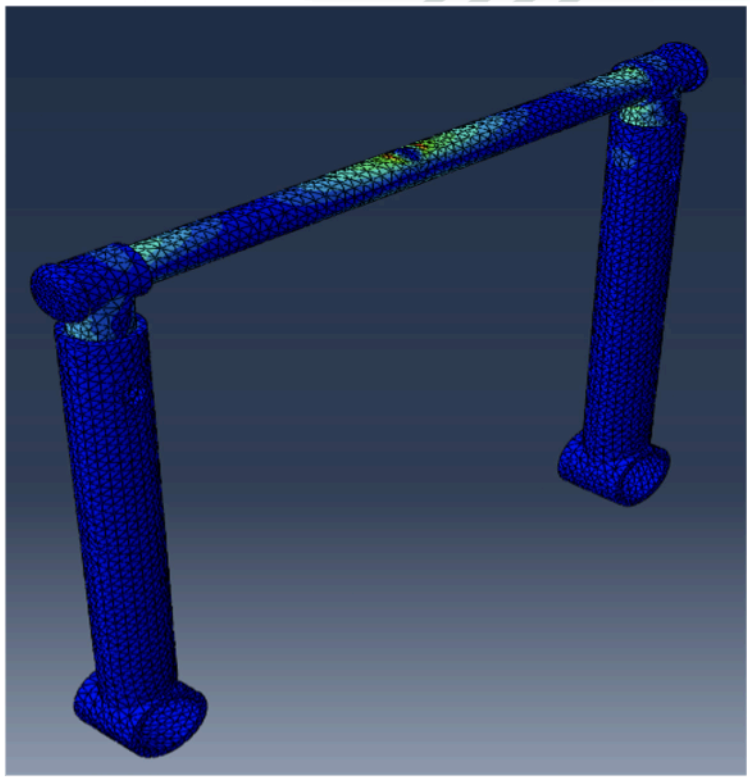
(b)



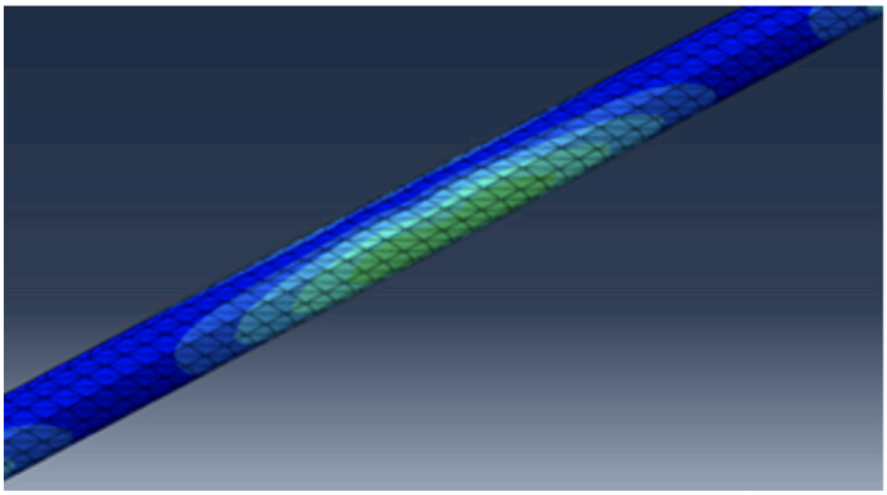
(c)

Fig. 5. Distribución de esfuerzos de von Mises (MPa) en la estructura base de la férula, (a) Vista isométrica de la base m (b) Detalle de la zona más esforzada, (c) Escala de distribución de esfuerzos de von Mises (MPa).

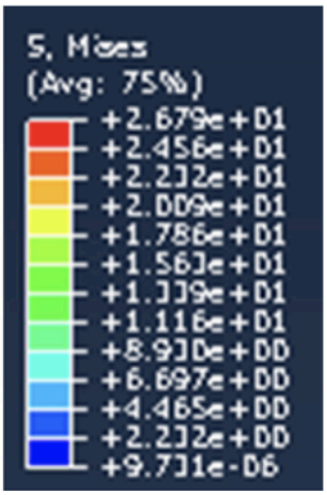
Para analizar los elementos de soporte, se presenta el conjunto columnas-eje (1), para la posición Nro. 1, el cual se analiza sujeto a una carga distribuida en el centro del eje. En la Fig. 6-a se muestra el resultado del análisis de la estructura conjunto columnas-eje (1); así mismo en la Fig 6-b se muestra el detalle de las zonas más esforzada, mientras que en la Fig. 6-c se observa la escala de esfuerzos de von Mises para el elemento estructural.



(a)



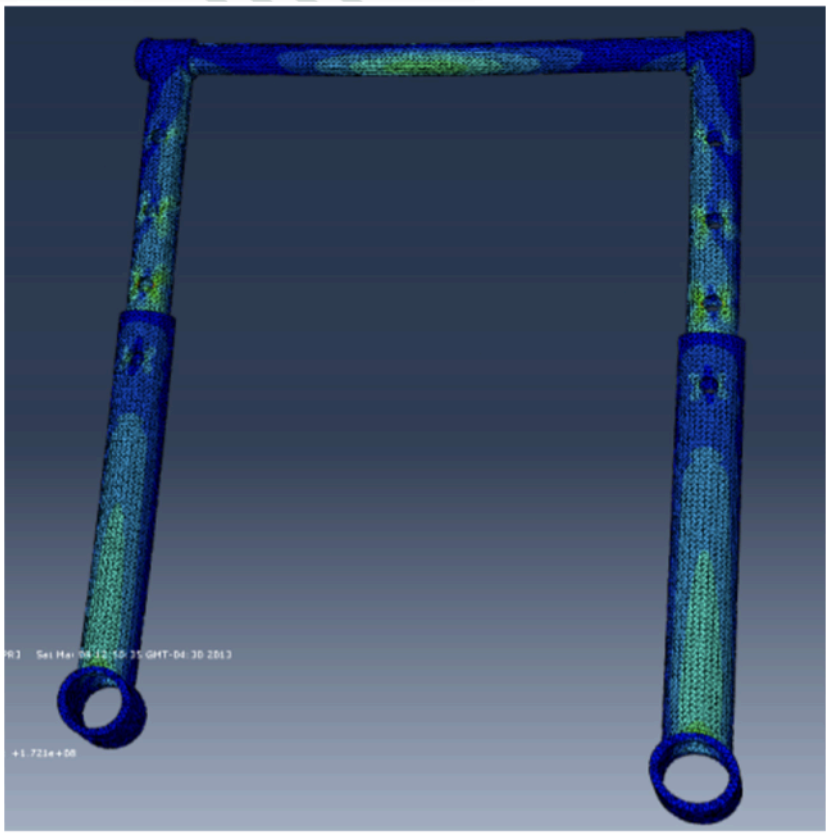
(b)



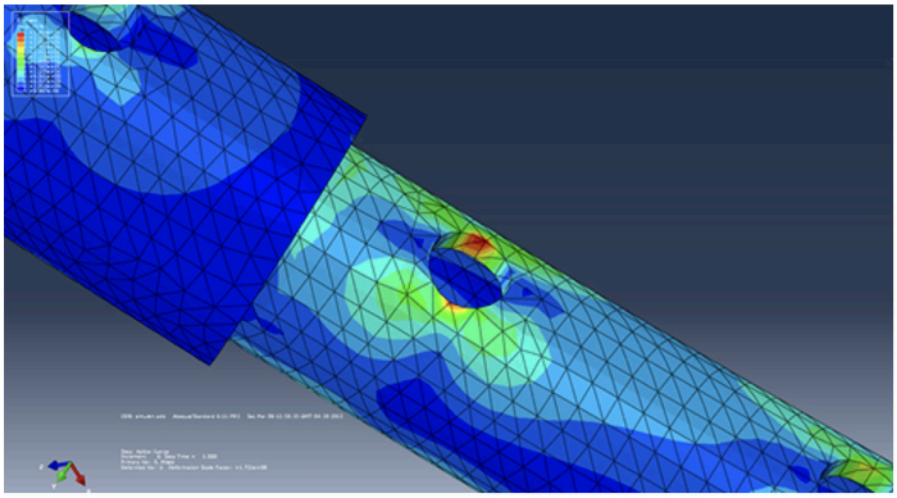
(c)

Fig. 6. Distribución de esfuerzos de von Mises (MPa) en el conjunto columnas-eje en la posición Nro. 1 (a) Vista isométrica del conjunto (b) Detalle de la zona más esforzada, (c) Escala de distribución de esfuerzos de von Mises (MPa).

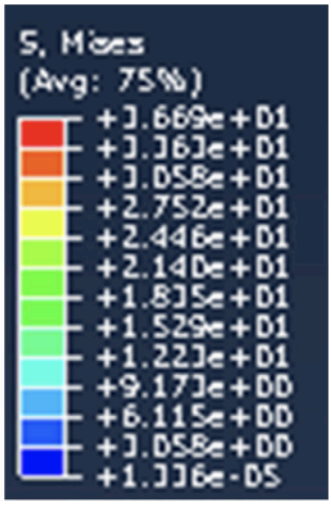
Por otra parte, en la Fig. 7-a se muestra el resultado del análisis de la estructura conjunto columnas-eje (1) para la posición Nro. 2; así mismo en la Fig 7-b se muestra el detalle de las zonas más esforzada, mientras que en la Fig. 7-c se observa la escala de esfuerzos de von Mises para el elemento estructural en la posición correspondiente



(a)



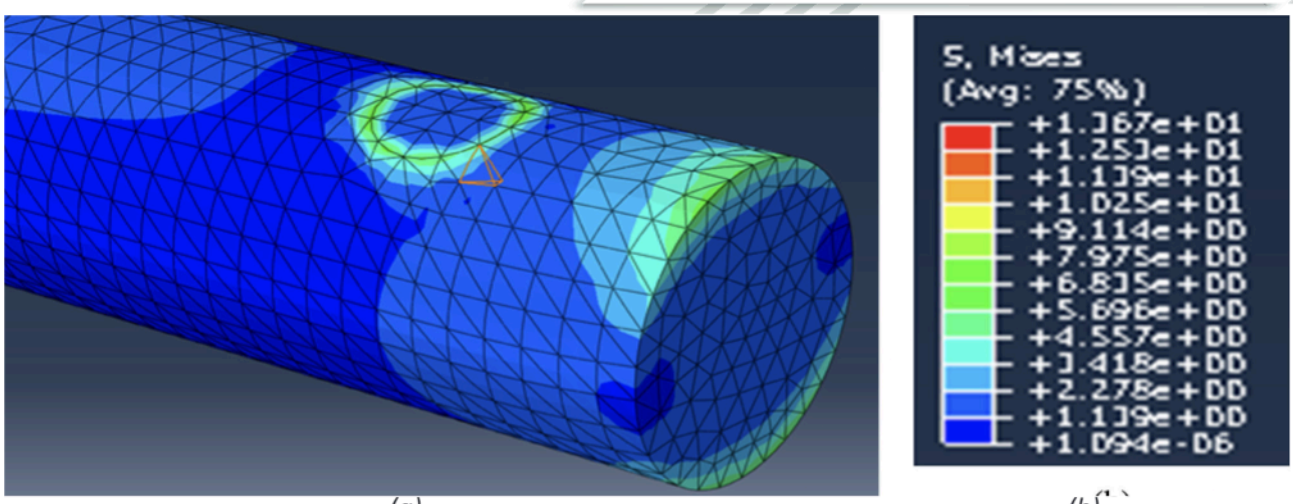
(b)



(c)

Fig. 7. Distribución de esfuerzos de von Mises (MPa) en el conjunto columnas-eje en la posición Nro. 2 (a) Vista isométrica del conjunto (b) Detalle de la zona más esforzada, (c) Escala de distribución de esfuerzos de von Mises (MPa).

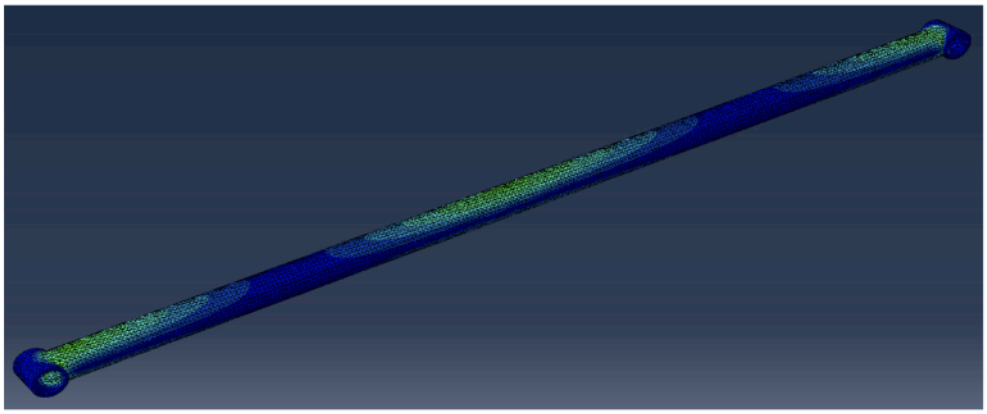
Adicionalmente, se lleva a cabo el análisis de los pasadores que forman parte del sistema de regulación de la elevación a la cual se coloca la pantorrilla del paciente para ejercer la tracción adecuada, según el tratamiento a aplicar. En la Fig. 8-a se muestra el detalle de las zonas más esforzada, mientras que en la Fig. 8-b se observa la escala de esfuerzos de von Mises para el elemento sujeto a esfuerzos cortantes



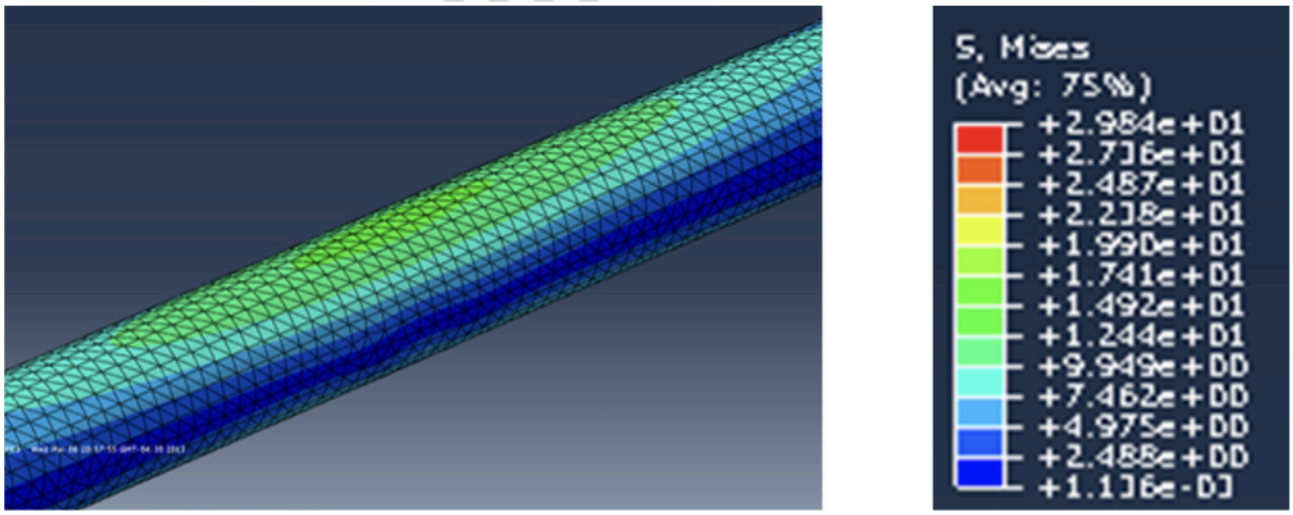
(a) (b)

Fig. 8. Distribución de esfuerzos de von Mises (MPa) en el pasador (a) Detalle de la zona más esforzada, (b) Escala de distribución de esfuerzos de von Mises (MPa).

La tubería para unión de columnas (10) tiene como función sujetar, mediante abrazaderas, a los ejes y funciona como la base donde se deben colocar las telas y/o gasas para vestir a la férula en la zona donde descansa la pantorrilla. En la Fig. 9-a se muestra el resultado del análisis de este elemento en la posición Nro. 1, cargado en su centro geométrico; así mismo en la Fig. 9-b se muestra el detalle de las zonas más esforzadas, mientras que en la Fig. 9-c se observa la escala de esfuerzos de von Mises para el elemento estructural. En el mismo orden, en la Fig. 10, se muestran los resultados de esta tubería cuando la férula adopta la posición Nro. 2.

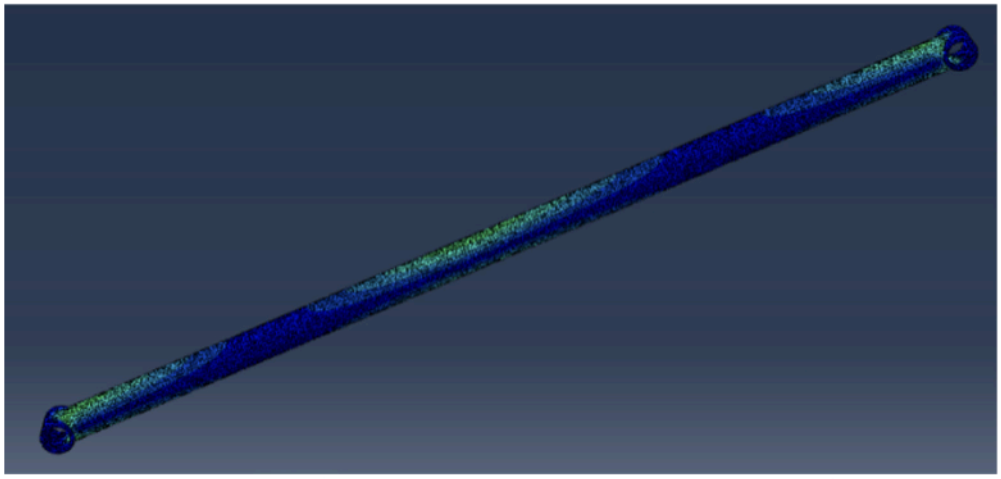


(a)

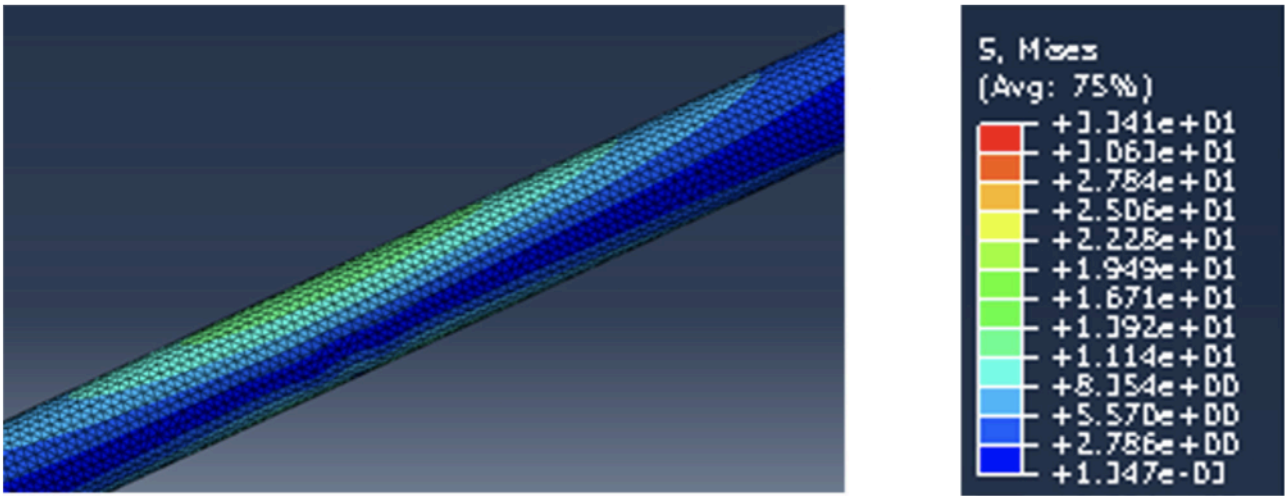


(b) (c)

Fig. 9. Distribución de esfuerzos de von Mises (MPa) en tubería de unión de columnas en la posición Nro. 1 (a) Vista isométrica de la tubería de unión (b) Detalle de la zona más esforzada, (c) Escala de distribución de esfuerzos de von Mises (MPa).



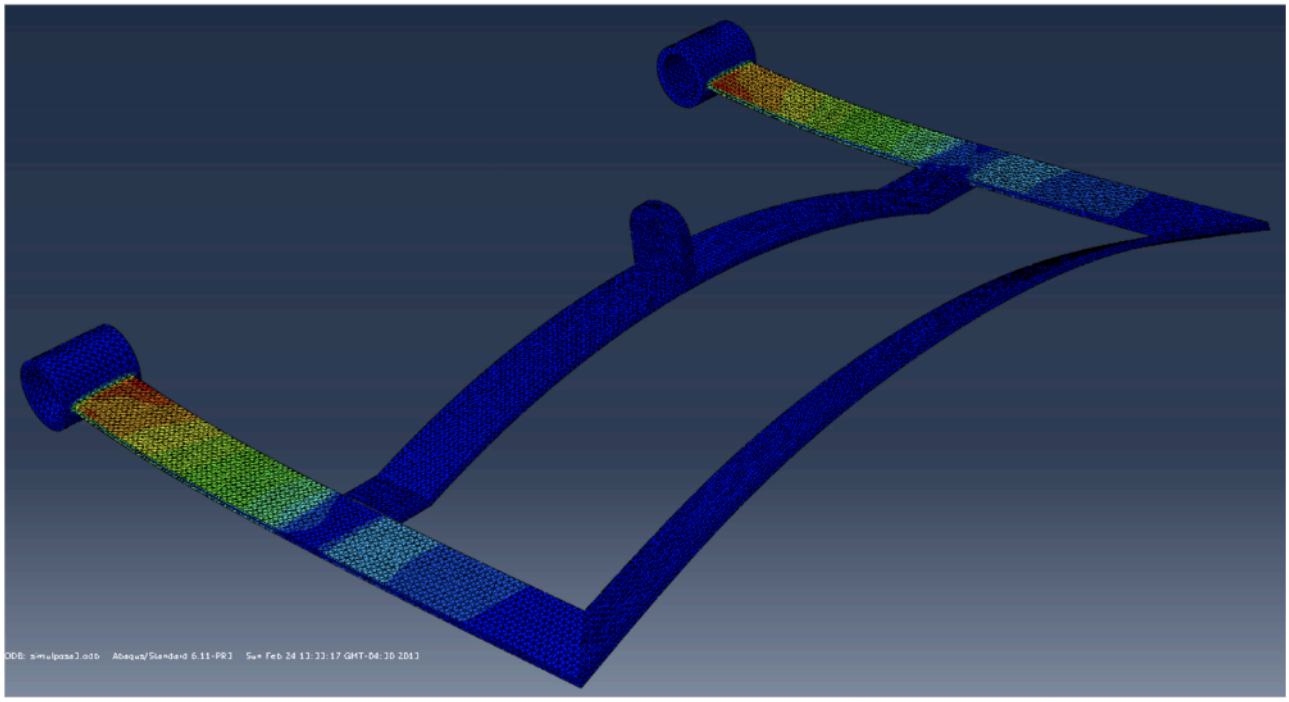
(a)



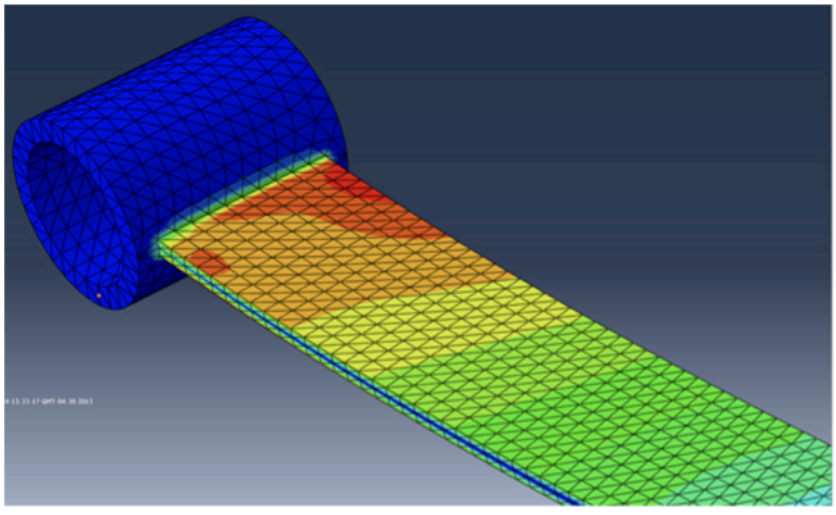
(b) (c)

Fig. 10. Distribución de esfuerzos de von Mises (MPa) en tubería de unión de columnas en la posición Nro. 2 (a) Vista isométrica de la tubería de unión (b) Detalle de la zona más esforzada, (c) Escala de distribución de esfuerzos de von Mises (MPa).

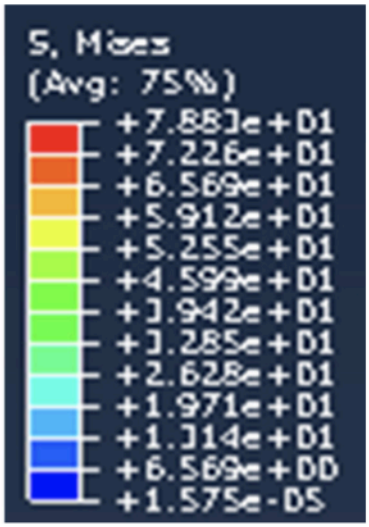
El posa muslo (3) diseñado a partir de láminas de acero inoxidable 304 de 1,5 mm de espesor, cortadas y soldadas que cumple la función de sostener al muslo, carga para la cual se analiza. En la Fig. 11-a se muestra el resultado del análisis del posa muslo, cargado en su centro geométrico; mientras que la Fig 11-b se muestra el detalle de las zonas más esforzada y en la Fig. 11-c se observa la escala de esfuerzos de von Mises para el elemento de soporte.



(a)



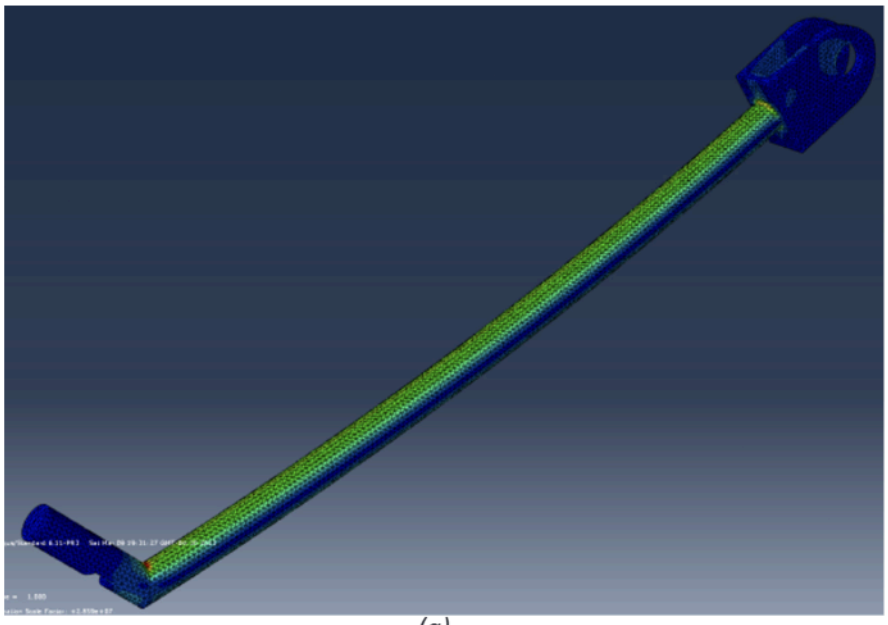
(b)



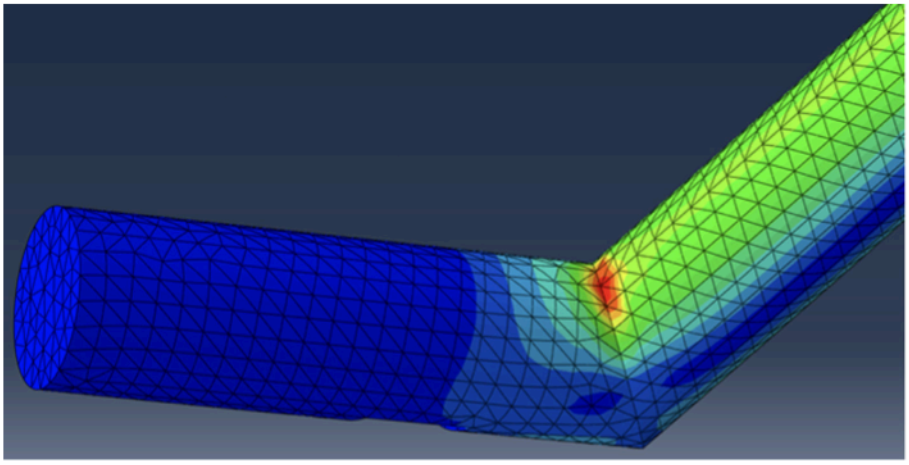
(c)

Fig. 11. Distribución de esfuerzos de von Mises (MPa) en el posa muslo (a) Vista isométrica del posa muslo (b) Detalle de la zona más esforzada, (c) Escala de distribución de esfuerzos de von Mises (MPa).

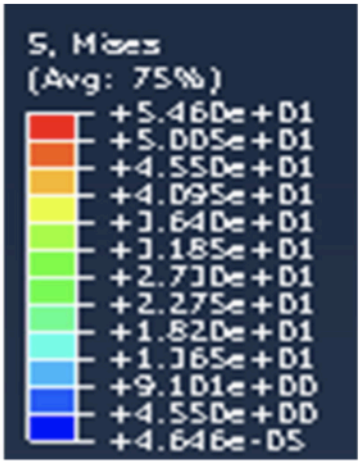
En la Fig. 12 se observa los resultados del análisis de esfuerzo del gancho (13) cuya función es regular la elevación de la pierna y llevar a cabo la tracción, en conjunto con las tuberías con agujeros que están soldadas a la estructura base.



(a)



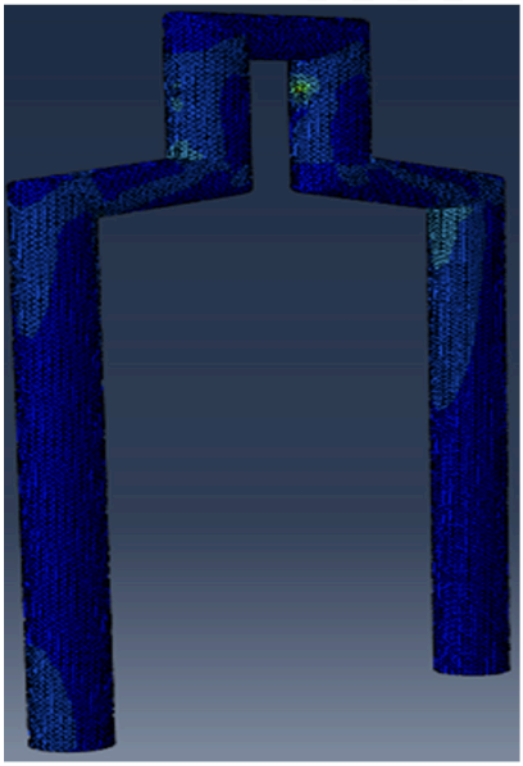
(b)



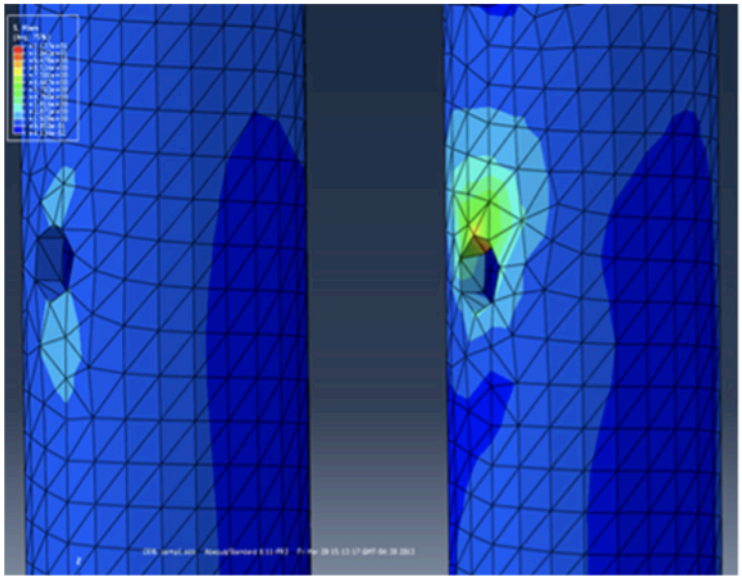
(c)

Fig. 12. Distribución de esfuerzos de von Mises (MPa) en el gancho de la férula (a) Vista isométrica del gancho (b) Detalle de la zona más esforzada, (c) Escala de distribución de esfuerzos de von Mises (MPa).

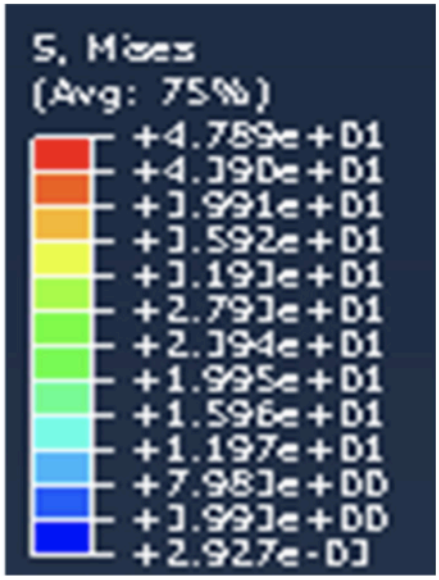
Finalmente, en las Fig. 13 y 14 se muestran los resultados del análisis de los esfuerzos a los cuales se encuentra sometida la campana (8) para las dos posiciones que puede adoptar la férula. Esta pieza funciona como elemento principal de tracción, ya que la polea principal, que se ubica sobre dicho elemento, es la encargada de ejercer la tracción directa sobre la fractura.



(a)

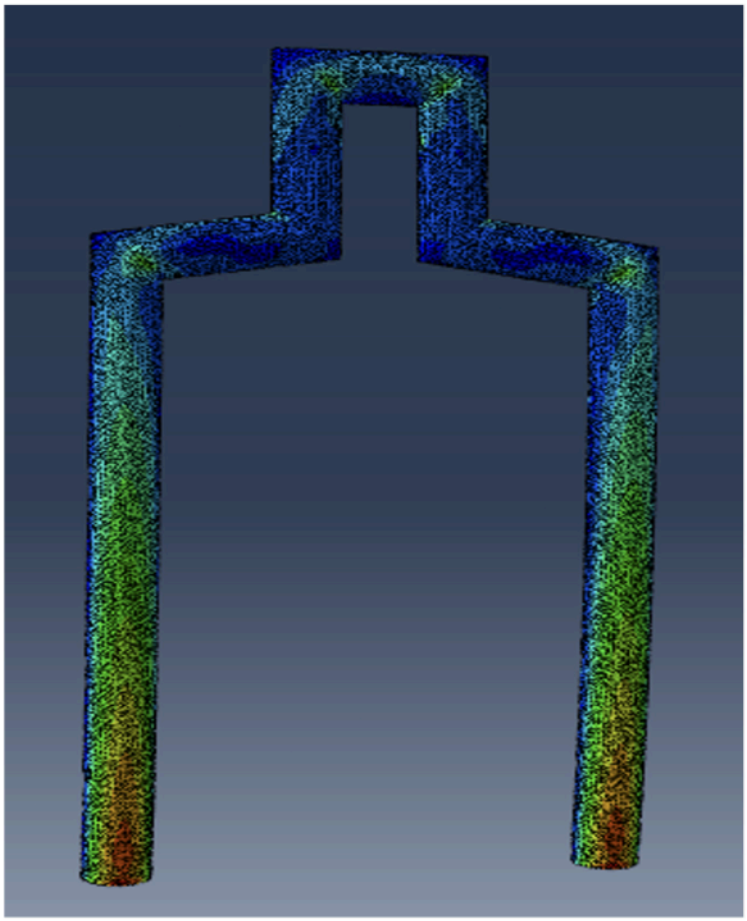


(b)

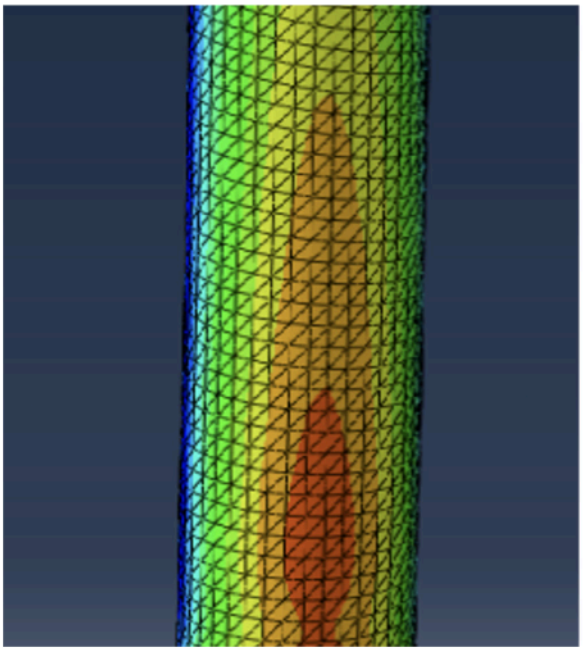


(c)

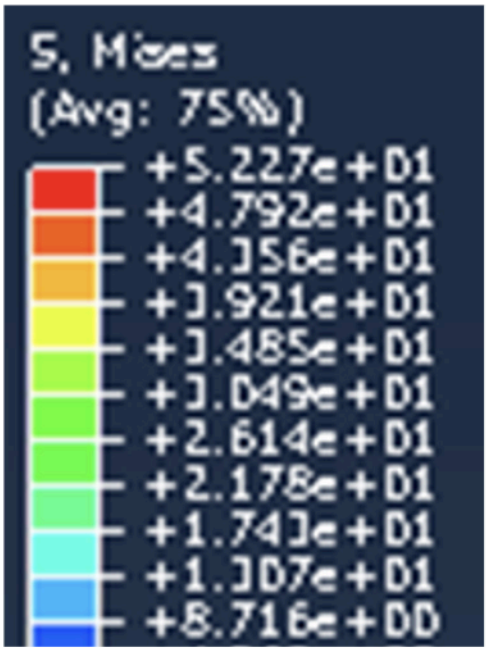
Fig. 13. Distribución de esfuerzos de von Mises (MPa) para la campana en la posición Nro. 1 (a) Vista isométrica de la campana, (b) Detalle de la zona más esforzada, (c) Escala de distribución de esfuerzos de von Mises (MPa).



(a)



(b)



(c)

Fig. 14. Distribución de esfuerzos de von Mises (MPa) para la campana en la posición Nro. 2 (a) Vista isométrica de la campana, (b) Detalle de la zona más esforzada, (c) Escala de distribución de esfuerzos de von Mises (MPa).

Tabla 3. Factor de seguridad para las piezas analizadas

Elemento	Esfuerzo Máximo (MPa)	Factor de seguridad
Estructura base	72,23	2,84
Eje	23,95	8,55
Ensamble columnas-eje	36,56	5,61
Pasador	14,28	14,36
Tuberías de unión de columnas	26,46	7,75
Posa muslo	81,91	2,50
Gancho	56,56	3,62
Campana	47,89	4,28

Conclusiones y trabajos futuros

El diseño propuesto fue analizado mediante el programa computacional ABAQUS/CAE. Los resultados obtenidos de la simulación realizada comprobaron que el dispositivo resiste los estados de carga a los que será sometido durante su operación.

Los factores de seguridad de cada pieza crítica analizada son valores aceptables, mayores a 2,5, por lo que se asegura que el conjunto armado no va a presentar fallas si sus piezas estudiadas de forma individual no sufren deformación.

El diseño es estético y cumple con las especificaciones sanitarias requeridas, ya que puede ser usado más de una vez por distintos pacientes, es de fácil limpieza y es resistente a la corrosión.

El diseño es capaz de resistir las cargas de un miembro inferior en descanso en diferentes posiciones de acuerdo con el tipo de tracción que se aplique.

Referencias

Memarzadeh, A., Khadija Tissingh, E., Hull, P. y Trompeter, A. Intramedullary nailing of femoral shaft fractures in adults. Orthopaedics and Trauma, Volume 31, Issue 2, 2017, Pages 86-92, ISSN 1877-1327.

Etxebarría-Foronda I , Caeiro-Rey JR. Utilidad de la tracción preoperatoria en la fractura de cadera. Rev Osteoporos Metab Miner. 2018;10(2):98-102

García-Alvarez G. Desarrollo histórico de la traumatología y de la cirugía ortopédica a partir del siglo XV. Revista Española de Investigaciones Quirúrgicas. Volumen 20, Nro. 3, 2017, Pages 103-110.

Algarra, L; Sánchez, J; Gámez, B; Valera, Luis. Diseño de una férula de tracción. Revista INGENIERÍA UC, vol. 20, núm. 2, mayo-agosto, 2013, pp. 7-13

Bumpass, D. B., Ricci, W. M., McAndrew, C. M., & Gardner, M. J. (2015). A prospective study of pain reduction and knee dysfunction comparing femoral skeletal traction and splinting in adult trauma patients. Journal of orthopaedic trauma, 29(2), 112–118.

Budynas, R. G y Nisbett, K. J. Shigley's Mechanical Engineering Design. (2019) McGraw-Hill Education

Even JL, Richards JE, Crosby CG, Kregor PJ, Mitchell EJ, Jahangir AA, Tressler MA, Obremskey WT. Preoperative skeletal versus cutaneous traction for femoral shaft fractures treated within 24 hours. J Orthop Trauma. 2012 Oct;26(10):e177-82.

Análisis del consumo de combustible en un vehículo "pickup" ciclo Diesel bajo distintas condiciones de altura

https://doi.org/10.53358/ideas.v3i1.577

Jonatan Caiza Gallo[1]
Mecánica Agrícola Espín

jonatancaizag@outlook.com[1]

RESUMEN

En este trabajo se realizó la adquisición de datos en ruta mediante el empleo de dispositivos digitales en un vehículo con tecnología diésel, año 2015, inyección Common Rail. Se utilizó un receptor electrónico con conexión al puerto OBDII. Se determinaron dos rutas de recorrido, cada una con características diferentes, determinando el consumo de combustible. El combustible utilizado es de comercialización local estándar. Se realizaron seis pruebas en cada ruta con variación en condiciones de carga llegando a los 3 060 kg. Los recorridos fueron realizados respetando protocolos establecidos para obtener resultados con mayor validez. El dispositivo TG3 Turbo Gauge fue calibrado antes de la toma de datos con la información de las características y requerimientos del motor como es capacidad del tanque de combustible, tipo de combustible y cilindraje, en cada viaje se reinicia el dispositivo para proceder a registrar nuevos datos. En la ruta 1 se obtuvo un consumo de combustible de 2,56 litros sin carga y 3,43 litros con carga; en la ruta 2 se obtuvo 2,83 litros sin carga y 3,73 litros con carga. Los menores valores de emisiones se obtuvieron en la ruta 1 sin carga; 148,25 (g/km) de CO2, 0,42 (g/km) de CO y 0,50 (g/km) de NOx, en la ruta 2 con carga se alcanzaron mayor cantidad de emisiones; 159,00 (g/km) de CO2, 0,45 (g/km) de CO, 0,17 (g/km) de PM y 0,53 (g/km) de NOx, estos valores se encuentran dentro de la norma NTE INEN 2207:2002.

Palabras Clave: Consumo de combustible, Emisiones contaminantes, Diesel, Ciclos de conducción, Altura.

Introducción

A nivel mundial se registra un gran consumo de combustible debido al crecimiento del parque automotor. Este crecimiento genera emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxido de nitrógeno (NOx) y material particulado (PM). Estas emisiones pueden ser provocadas por la calidad del combustible, el deterioro de los componentes del motor y por la tecnología que se ha empleado. Los grandes fabricantes de vehículos se plantearon como objetivo principal el reducir las emisiones con el fin de cumplir con las normas Euro para una libre circulación [1].

En el Ecuador al igual que en otros países, se concentra gran cantidad de producción y consumo de bienes y servicios en el campo automotriz. Ahí radica la importancia de realizar una investigación que esté orientada al consumo de combustible en motores de encendido por compresión. En este punto se enfoca el aporte del presente trabajo.

Este estudio se realizó entre las ciudades de Ibarra y Otavalo, con una altura promedio de 2380 msnv. Según estadísticas de la Empresa Pública de Movilidad Movidelnor el parque automotor cada año crece del 8 % al 11 % en la ciudad de Ibarra [2]. Debido a esto hay una mayor demanda de combustible. Con el fin de minimizar el impacto de esta tendencia en el medio ambiente surge la necesidad de optimizar el consumo de combustible, estudiando posibles rutas que reduzcan el tiempo de circulación y así disminuir las emisiones.

Los gases emanados por este tipo de vehículos son monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NOx), dióxido de carbono (CO2) y material particulado (PM) [1].

Es importante analizar los factores que pueden afectar el desempeño del motor, con el fin de ayudar a reducir el consumo de combustible, generación de emisiones y la inversión económica para el mantenimiento del motor.

En la ciudad de Ibarra, la circulación de vehículos tiene particularidades propias debido a su geografía, al crecimiento de la población y del parque automotor. También se debe considerar las paradas que realiza un vehículo debido al tránsito, semáforos, intersecciones, entre otros factores. Esto lleva a que los vehículos emanen mayor cantidad de gases contaminantes debido al incremento en el consumo de combustible.

Este estudio tiene como finalidad dar a conocer el consumo de combustible en un vehículo mediano a diésel el cual circulará por distintas vías de la ciudad tomando en cuenta diferentes circunstancias tales como: el clima, la topografía, el tráfico, semáforos, el recorrido se realizará bajo dos condiciones; sin carga y con carga por distintas rutas las cuales aportaran con tiempos, distancia de recorrido, consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes.

Este trabajo se acoge al Plan Nacional de Desarrollo toda una Vida del Ecuador, en el Eje 1, Derechos para todos durante toda la vida en el objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones literal 3.4 Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global [3].

Fundamento Teórico

Motores de combustión interna – ciclo Diesel.

Los motores de combustión interna que funcionan bajo ciclo Diesel muestran varias características especiales, entre ellas se cuenta con su sistema de alimentación, la forma de realizar la combustión y por su alto rendimiento, ya que consigue trabajar a presiones muy elevadas. De esta manera se obtiene un mayor trabajo útil y un mejor aprovechamiento del combustible. El ciclo recibe el nombre de su inventor, el alemán Rudolf Diesel, que construyó su prototipo en 1897 [4].

El motor diésel muestra gran eficiencia debido a su alto rendimiento térmico. A comparación con un motor a gasolina el motor diésel ahorra aproximadamente un 30% de combustible. Esto implica menos emisiones al momento de la combustión. La cámara de combustión es la encargada de soportar la inflamación provocada por la compresión del aire a altas temperaturas. La inyección se realiza a altas presiones con el fin de dosificar-pulverizar el combustible para facilitar la combustión de la mezcla. Los elementos fijos y móviles que poseen este tipo de motores son muy similares al motor de gasolina, con la única diferencia que algunas de sus partes van a ser reforzadas por las presiones a las que van a estar sometidas.

Para que exista la combustión es necesario que el aire esté comprimido aproximadamente a 40 bar con una temperatura de 600 °C. En este punto la relación volumétrica de mezcla será aproximadamente de 22/1, dando paso a la inyección de combustible la misma que se inflamará al momento de ponerse en contacto con el aire que se encuentra sobrecalentado. Al haber terminado el ciclo de expansión, se realiza el escape el cual consiste en la evacuación de los gases quemados para luego iniciar un nuevo ciclo de trabajo [5].

Sistema de inyección diésel de riel común (common rail).

El sistema de inyección en vehículos diésel ha sufrido grandes cambios debidos a la competencia dentro de la industria automotriz y a las normas de emisiones de gases. Estas innovaciones se han enfocado en el sistema de alimentación de combustible y bombas de inyección. La primera generación de vehículos y maquinaria pesada posee una bomba de inyección de combustible tipo lineal, luego se implementaron bombas de inyección rotativa con un elemento de bombeo de alta presión. Estos dos son los sistemas de inyección tradicionales.

En la actualidad los vehículos utilizan el sistema de inyección common rail que es el encargado de suministrar el combustible a los inyectores por medio de un conducto común. El combustible contenido en el tanque es aspirado por la bomba de alimentación eléctrica. Luego es enviado a través de las tuberías pasando por un filtro cuyo objetivo es retener las micropartículas sólidas que posee el combustible antes de llegar a la bomba de alta presión. Finalmente, el combustible es direccionado al acumulador de alta presión rail y posterior a los inyectores. [6]

Cuando el vehículo se encuentre en ralentí la presión en el conducto es de 150 bares, mientras que en altas revoluciones la presión puede llegar a 1 350 bares y en regímenes intermedios la presión suele oscilar entre los 300 a 800 bares [7].

Bomba de alta presión.

En el vehículo utilizado en este trabajo se tiene una bomba CP3S3 Bosch, caracterizada por su alto rendimiento y por su resistencia estructural. En la Tabla 1 se describen características de la bomba.

Tabla 1. Especificaciones de la Bomba CP3S3 Bosch: [8]

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN
Tipo de bomba de combustible diésel	CP3S3 Bosch
Vehículos aplicables	Vehículos de turismo, camiones pequeños
Número aplicable de cilindros del motor	4 y 6 cilindros
Dirección de rotación	Hacia la derecha
Método de conducción	Cadena, correa dentada
Presión máxima de la bomba	1 600 bares
Tensión de activación mínima	6 V
Especificación de la batería	12 V; 24 V

El diésel en el Ecuador

El diésel es el combustible más utilizado en el Ecuador. Este combustible es empleado en el transporte y en la industria, y es el que mayor subsidio ha recibido por parte del Gobierno Nacional. Para este fin, en 1987 fue creada la ley de hidrocarburos que regula el subsidio a los combustibles en base a la recaudación del impuesto al valor agregado IVA. La política de subsidios ha mostrado un perjuicio para el Estado debido al contrabando del combustible por las fronteras.

En cuanto a los datos técnicos del diésel, la fórmula química general del gasóleo común es C12H26, variando entre C10H22 a C15H32 C12H26. Está compuesto del 75 % de hidrocarburos saturados y un 25 % hidrocarbonos aromáticos [9].

En el Ecuador el ente regulador es el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1248:2012 menciona los requisitos establecidos para la comercialización del diésel (ver Tabla 2).

Tabla 2. Requisitos que debe cumplir el diésel Premium en el País [10]

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	---	NTE INEN 1493
Contenido de agua y sedimento	%	---	0,05	NTE INEN 1494
Contenido de carbonoso sobre el 10% de residuo de la destilación	%	---	0,15	NTE INEN 1491
Contenido de ceniza	%	---	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	---	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática de 40 °C	mm2/s (cSt)	2,0	5,0	NTE INEN 810
Contenido de azufre	ppm	---	500	ASTM D4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	---	No. 3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	---	NTE INEN 1495
Contenido de biodiésel	%	Nota	5,0	EN 14078

Nota: De no contener biodiésel, no es necesario la relación de este ensayo.

Metodología

Aplicación de la propuesta de análisis

En orden de conseguir el objetivo general de este trabajo, que es analizar el consumo de combustible diésel en dos rutas con características geográficas distintas, se propone el siguiente proceso:

a) *Características del vehículo*

El vehículo utilizado para la investigación es una camioneta Mazda BT-50 CRD 2.5 4x4 doble cabina. Las características técnicas del vehículo se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Características Técnicas del Vehículo MAZDA BT-50 TSX 2.5 TM 4X4 DIÉSEL [16].

Tipo de Combustible	Diésel	Unidades
Año	2 015	-
Cilindrada	2 499	(cc)
Potencia Máxima	141 a 3 500	(HP/RPM)
Par motor máximo	330 a 1 800	(Nm/RPM)
Número de cilindros	4 en línea	-
Número de válvulas	16	-
Peso bruto vehicular	2 975	(kg)
Capacidad de carga	1 093	(kg)
Peso neto	1 882	(kg)
Sistema de inyección	Common Rail	-
Relación de compresión	18:1	-
Transmisión	Manual 5 vel	-
Depósito de combustible	70	(litros)
Consumo de combustible urbano	10,9/100	(litros/100 km)
Consumo de combustible extraurbano	7,8/100	(litros/100 km)
Consumo de combustible combinado	8,9/100	(litros/100 km)
Emisiones de CO2	244	(g/km)

b) Características de las rutas

Para ello se consideró una ruta combinada y una extraurbana atravesando las principales calles, avenidas de la ciudad. Estas rutas fueron seleccionadas con base en los objetivos con la finalidad de comparar los datos obtenidos de las emisiones y consumo de combustible para obtener la ruta con las mejores particularidades para la movilidad, con un mayor rendimiento y que sea ecológico.

Tabla 4. Altura presente en la Ruta 1
El Olivo-Otavalo Ruta 1

Sector	Recorrido (km)	Altura (m.s.n.m)
El Olivo	0	2 200
El Mayorista	0,5	2 202
Redondel de la Madre	3	2 228
La Florida	4	2 241
Hacienda Chorlavi	7	2 255
San Antonio	8	2 317
Natabuela	10	2 416
Atuntaqui	14	2 426
San Roque	17	2 476
Ilumán	19	2 535
Vía Otavalo-Selva Alegre	24	2 526
Camal Municipal Otavalo	25	2 538
Salida de Otavalo (Gasolinera MasGas)	27	2 591

Tabla 5. Altura presente en la Ruta 2
El Olivo-Otavalo Ruta 2

Sector	Recorrido (km)	Altura (m.s.n.m)
El Olivo	0	2 200
La Victoria	2	2 210
UPC La Victoria	3	2 226
Avenida Atahualpa	4,5	2 229
Avenida Eugenio Espejo	6	2 235
Hacienda Chorlavi	9	2 255
San Antonio	10	2 317
Natabuela	13	2 417
Atuntaqui	17	2 427
San Roque	20	2 476
Ilumán	22	2 535
Vía Otavalo-Selva Alegre	26	2 526
Camal Municipal Otavalo	28	2 538
Salida de Otavalo (Gasolinera MasGas)	30	2 591

c) *Instrumentos y equipos para la medición*

Receptor electrónico de datos

Para la obtención de los datos se empleó TG3 Turbo Gauge, es un receptor electrónico de datos que proporciona información instantánea, el cual posee un cable que debe ser conectado en el puerto OBDII para que proporcione la energía al receptor electrónico y pueda comunicarse con la computadora del vehículo para monitorear el rendimiento del motor en tiempo real. Con la ayuda del receptor electrónico se obtendrá datos durante todo el recorrido del funcionamiento del vehículo, a continuación, se detalla sus parámetros.

- Combustible utilizado en el recorrido (litros).
- Consumo medio de combustible (litros).
- Tiempo de conducción (minutos).
- Velocidad máxima (km/h).
- Velocidad media (km/h).
- Distancia de recorrido (km).
- Número de aceleraciones y frenadas fuertes.
- Hora y fecha del viaje

Termohigrómetro

Este equipo (modelo KT 203), permitirá adquirir los datos de la humedad relativa del aire y la temperatura del ambiente, con esto se determinará las variables ambientales que pueden presentarse durante el transcurso de las pruebas.

Equipo de medición a bordo gps

El GPS Speed facilitará la altura sobre el nivel del mar, la velocidad máxima, velocidad promedio, tiempo en movimiento y distancia recorrida.

- Posee un sensor exterior e interior de temperatura.
- Escala temperatura ambiental: -10 °C a +50 °C
- Escala con el sensor adicional: -50 °C a +70 °C
- Rango de humedad relativa: 10 % a 90 %

d) *Pruebas bajo distintas condiciones de carga y rutas*

e) *Levantamiento de datos de cada ruta*

Los recorridos deben ejecutarse en tres pruebas, sin modificar condiciones de conducción.
Para obtener la velocidad máxima, velocidad promedio y el tiempo de inicio se requiere de un GPS el cual posee una exactitud de 0.1 km/h. Los ensayos se realizan a una velocidad constante respetando todas las normas de tránsito.
El cambio de marchas debe ser sincronizado a máximo torque (1800 rpm 330 Nm), de este modo el consumo de combustible es el óptimo.
Los ensayos consisten en dos rutas. Cada ensayo consta de un circuito ya establecido.
Al concluir el recorrido se debe apagar el vehículo para la recolección de datos.

f) *Analizar los datos*

g) *Obtención de resultados*

Modelo internacional de emisiones vehiculares IVE

El modelo IVE fue desarrollado por la Universidad de California – USA en lenguaje JAVA. Este modelo permite estimar emisiones contaminantes y gases efecto invernadero generadas por el parque automotor de una ciudad o localidad [13]. El proceso de estimación empieza con una base de factores de emisión y de corrección aplicables para la estimación de emisiones contaminantes en una amplia variedad de vehículos. Usa tres factores para la creación de un inventario de emisiones confiable.

- Factor de emisión (Base de factores de emisión para cada tecnología)
- Actividad vehicular (Datos de entrada de la localidad)
- Distribución de la flota vehicular (Datos de entrada de la flota)

El modelo IVE tiene la misión de estimar emisiones contaminantes ya sea contaminantes tóxicos y gases de efecto invernadero, dando a conocer los contaminantes más perjudiciales para el medio ambiente y para la salud humana, estos compuestos son producto de la quema de un combustible, en la Tabla 6 se detallan los gases contaminantes que el modelo IVE estima.

Tabla 6. Tipos de contaminantes [14]

CONTAMINANTE	DESCRIPCIÓN
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
CO	Monóxido de carbono
NO_x	Óxidos de nitrógeno
PM	Partículas
CO2	Dióxido de carbono
CH_4	Metano
N2O	Óxido nitroso
NH_3	Amoniaco

El proceso de estimación de emisiones en el modelo IVE consiste en multiplicar la base de factores de emisión por cada uno de los factores de corrección y por la distancia del vehículo para cada tecnología. El proceso de cálculo para estimar los factores de emisión corregidos se muestra en la ecuación (1). Esta ecuación multiplica la base de factores de emisión (B) por la serie de factores de corrección (K) para estimar los ajustes del factor de emisión (Q) para cada tipo de vehículo [14]. Con esta ecuación se ajusta las variables locales de la ciudad en la que se realiza el estudio, tales como: altura promedio, condiciones climáticas, características del diésel ppm.

$$\begin{aligned} Q_{[t]} &= B_{[t]} \times K_{1[t]} \times K_{2[t]} \times K_{3[t]} \times K_{4[t]} \times K_{5[t]} \\ Q_{\text{en ruta}} &= \Sigma_t\{f_{[t]} \times \Sigma_d\{[Q_{[t]} \times U_{FTP} \times f_{[dt]} \times K_{[dt]}]\}/U_c \\ Q_{\text{en partida}} &= \Sigma_t\{f_{[t]} \times Q_{[t]} \times \Sigma_d(f_{[dt]} \times K_{[dt]})\} \\ \text{Pendiente} &= (h_{t=0} - h_{t=-1}/d_{(t=-1to0)}) \end{aligned} \quad (1)$$

La pendiente se debe ingresar solo si los datos no están incluidos en los patrones de conducción por bin o si el usuario desea estimar las emisiones en una subida, se puede ingresar la pendiente y estimar el impacto en las emisiones [14]. El modelo IVE calcula los factores de emisión mediante dos tipos de emisiones: emisiones en ruta y emisiones por partida. Las variables que toma en cuenta se describen en la Tabla 7.

Tabla 7. Variables de las ecuaciones del factor de emisión IVE [14]

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
$Q_{[t]}$	Factor de emisión ajustado para cada tecnología (g)
$f_{[t]}$	Fracción de viaje para una tecnología especifica
$f_{[dt]}$	Fracción de cada tipo de conducción o detección para una tecnología especifica
U_{FTP}	Velocidad promedio del ciclo de conducción FTP (Constante kph)
U_c	Velocidad promedio de un ciclo de conducción especifico, ingresada por el usuario en el archivo de características de cada lugar (kph)
$B_{[t]}$	Factor de emisión base por tecnología (g/km)
$K_{1[t]}$	Factor de emisión base por tecnología (g/km)
$K_{2[t]}$	Factor de corrección por temperatura
$K_{3[t]}$	Factor de corrección por humedad
$K_{4[t]}$	Factor de corrección por mantenimiento y programas de inspección
$K_{5[t]}$	Factor de corrección por calidad de combustible
$K_{[dt]}$	Factor de corrección por altura del lugar
$h_{t=0}$	Es la altitud al comienzo del trayecto o vía (m)
$h_{t=-1}$	Es la altitud al final del trayecto o vía (m),
$d_{(t=-1to0)}$	Es el largo del trayecto o vía desde el comienzo al fin (m)

Los bines de patrones de conducción representa la forma en que los vehículos son conducidos en el área de estudio, esto depende de la potencia vehicular especifica (VSP) y del stress del motor

Ambos parámetros pueden obtenerse conociendo el tipo de vehículo, la altura y la velocidad segundo a segundo recolectados con el equipo GPS. La Potencia Vehicular Específica corresponde a la energía requerida para operar el vehículo por unidad de peso (kW/ton). A cada VSP calculado se le asigna a un bin determinado. Para esto el modelo IVE emplea la ecuación (2).

$$\mathbf{VPS} = \mathbf{v}\{\mathbf{1,1\ a} + \mathbf{9,81}\ tan^{-1}\ [\mathbf{sen(Pendiente)}] + \mathbf{0,132}\} + \mathbf{0,000302}v^3 \quad (2)$$

En donde:

$$\text{Pendiente} = \frac{(h_{t=0} - h_{t=-1})}{v_{t=-1 \text{ a } 0 \text{ segundos}}}$$

v = velocidad [m/s]

a = aceleración [m/s2]

h = Altitud [m]

El modelo IVE calcula el stress del vehículo con la ecuación (3), que define la carga a la que está sometido el motor del vehículo, con un elevado stress emite mayor tasa de contaminantes [15].

$$\text{stress} = \text{índice RPM} + (0{,}08 \text{ ton/kW}) \times \text{potencia promedio} \qquad (3)$$

En donde:

"Potencia promedio=promedio ($VSP_{t=-5 \text{ s to } -25 \text{ s}}$) [kW/ton]

Índice RPM = =velocidad ($velocidad_{t=0}$ × coeficiente velocidad [sin unidades]

El modelo IVE cuenta con tres categorías de stress y 20 para VSP con un total de 60 bins. Los bins informan el tipo de stress que sufre el vehículo en un trayecto, del bin 0-19 es bajo, del bin 20-39 es medio y del bin 40-59 es alto. Ver Anexo I.

Otro factor para tomar en cuenta es el patrón de conducción. Se conoce como patrón de conducción a la serie de datos que representa la velocidad versus tiempo de un vehículo que se traslada en una ruta determinada. "Además, las variables dinámicas tales como aceleración, frenadas, paradas, tiempo en ralentí y en operación constituyen las características del patrón de conducción" [15]. La forma en que se genera este patrón influye fuertemente en la emisión de contaminantes.

Consumo de combustible en vehículos

Para poder determinar el consumo de combustible en un automotor existen varios métodos. El consumo se puede determinar en un laboratorio con ayuda de un dinamómetro de chasis, simulando un ciclo de conducción. Es necesario tomar en cuenta varios factores entre los cuales se encuentra: tipo de vehículo y cilindrada del motor.

Al aplicar el método gravimétrico se utiliza un depósito de combustible para el ensayo, durante la prueba se monitorea la variación del peso del combustible, con ayuda de una balanza [11]. Para obtener el consumo específico de combustible se emplea la ecuación (4).

$$C_e = \frac{100 \times M}{L \times \rho} \qquad (4)$$

En donde:
Ce: Consumo especifico de combustible [L/100km]
M: Combustible consumido durante la prueba [kg]
L: Distancia total de la prueba [km]
ρ: Densidad del combustible [kg/L]

Utilizando el método de flujo se instala flujómetros en la línea de alimentación de combustible. Para calcular el volumen de combustible consumido durante la prueba con una distancia de 100 km [11], se emplea la ecuación (5).

$$C_e = \frac{V[1 + \alpha(T_o - T_f)]}{L} \times 100 \qquad (5)$$

En donde:
Ce: Consumo especifico de combustible [l/100km]
To: Temperatura estándar [20 °C]
Tf: Temperatura del combustible, durante la prueba [°C]
α: Coeficiente de expansión del combustible

El método de análisis y recolección de gases utiliza un sistema de toma de muestras a volumen constante y análisis de carbono. El vehículo ingresa a un laboratorio que cuenta con un dinamómetro de chasis el cual simula el ambiente de conducción en carretera o en ciudad de acuerdo con normativa específica.

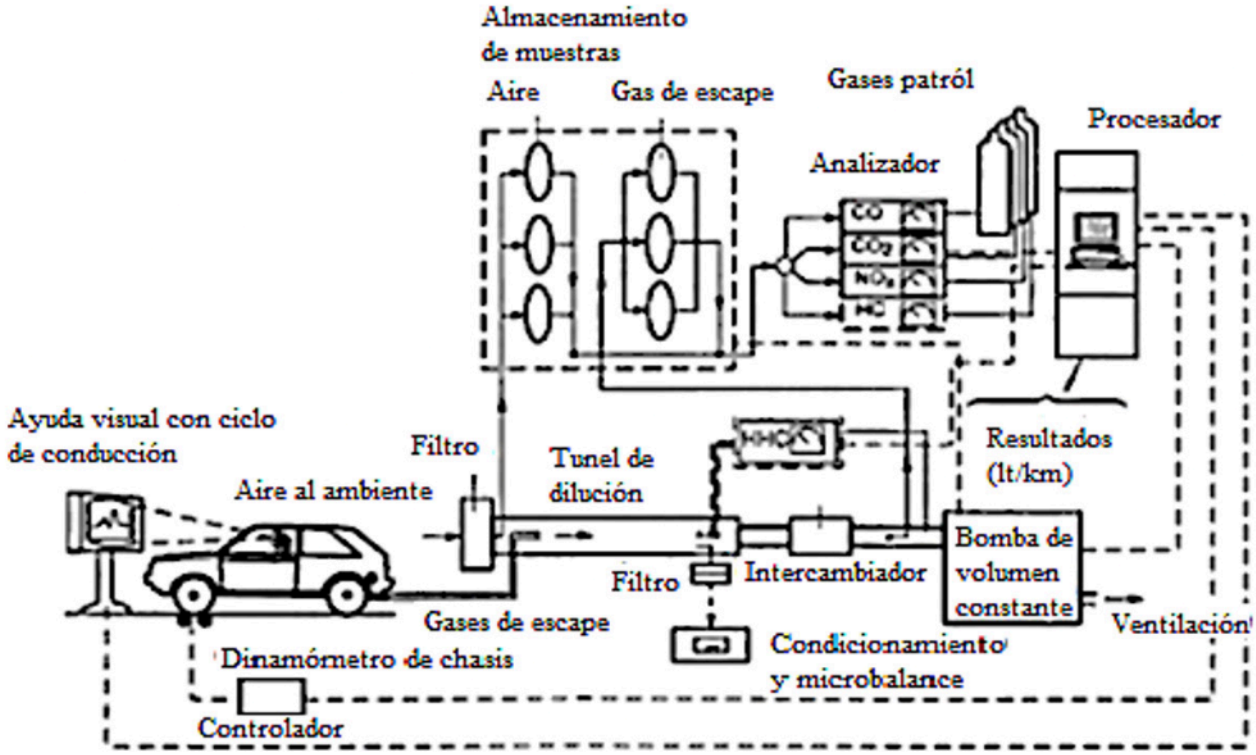


Figura 1. Esquema de pruebas dinámicas [11]

El vehículo de la Figura 1 tiene una manguera conectada al escape para recoger los gases del motor, el carbono del escape se mide para calcular la cantidad de combustible quemado durante la prueba este método es uno de los más preciso [12].

Utilizando interfaces el método electrónico permite la lectura de datos conseguidos mediante los sensores del motor y se calcula el consumo de acuerdo con las señales que provienen de los sensores. El equipo electrónico se conecta al puerto OBD-II, donde los datos de los sensores de flujo másico de aire y sonda lambda, permiten estimar el consumo instantáneo [11]. Con ayuda de la ecuación (6).

$$m_c = \frac{m_a}{r_{a/c} \times \lambda} \times 100 \qquad (6)$$

En donde:

mc: Flujo másico instantáneo del combustible [kg/s]

ma: Flujo masico instantáneo del aire [kg/s]

r(a⁄c): Es la relación de proporción aire combustible para una combustión estequiométrica

λ: Es el factor de relación de mezcla aire combustible en el interior de los cilindros del motor.

Resultados y discusión

Análisis de las rutas

Las dos rutas poseen diferentes distancias la ruta 1 (Panamericana) con 27 km y la ruta 2 (Combinada) con 9 km en la zona urbana y 21 km en la zona interurbana, por lo tanto, se tomó como punto de referencia el kilómetro 25 para realizar la comparación del consumo de combustible bajo dos condiciones, sin carga y con carga.

Prueba en la ruta 1 sin carga Ibarra-Otavalo (Panamericana)

Para iniciar las pruebas se requirieron tomar datos de humedad y temperatura del ambiente, estos datos son requeridos en el programa IVE para la estimación de emisiones, como se aprecia en la Tabla 8 existe varias temperaturas y humedades por cada recorrido con esto al final se obtiene un promedio.

Tabla 8. Especificaciones climáticas Ibarra - Otavalo

Ruta 1 sin carga				Ruta 1 con carga			
Temperatura (°C)		Humedad (%)		Temperatura (°C)		Humedad (%)	
Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
27	25	42	45	23	20	50	51
Ruta 2 si carga				Ruta 2 con carga			
Temperatura (°C)		Humedad (%)		Temperatura (°C)		Humedad (%)	
Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
23	24	55	45	23	24	53	50

Tabla 9. Datos registrados en la realización de las pruebas en ruta

Peso neto del vehículo	1 890 kg
Peso bruto del vehículo	3 060 kg
Temperatura promedio Ibarra	24 °C
Temperatura promedio Otavalo	23 °C
Humedad promedio Ibarra	50 %
Humedad promedio Otavalo	42 %

Se realizaron tres pruebas por cada ruta, para que los datos sean más precisos y confiables, los estados de conducción no deben variar durante los recorridos, se debe mantener una velocidad constante sin sobrepasar los límites de velocidad permitidos en la zona urbana y en la panamericana.

La Tabla 10 presenta un promedio total del tiempo y consumo de combustible estos valores son registrados en los puntos de control durante las pruebas realizadas en la ruta 1 con el vehículo sin carga adicionada.

Tabla 10. Datos obtenidos del ensayo en la ruta1 sin carga

Distancia (km)	Tiempo (min)			Consumo de combustible (litros)		
	1°	2°	3°	1°	2°	3°
5	15	14	15	0,5	0,5	0,6
10	18	21	21	1,2	1,2	1,2
15	23	26	25	1,6	1,6	1,4
20	28	31	30	2,0	2,1	1,9
25	35	38	37	2,3	2,4	2,2
27	41	44	42	2,5	2,7	2,5
Promedio	**42,33**			**2,56**		

Luego de realizar las tres pruebas se obtuvo el promedio del tiempo que duro el recorrido en esta ruta, siendo 42,33 minutos. El consumo de combustible que fue registrado con el receptor electrónico de datos fue de 2, 56 litros en una distancia de 27 Km.

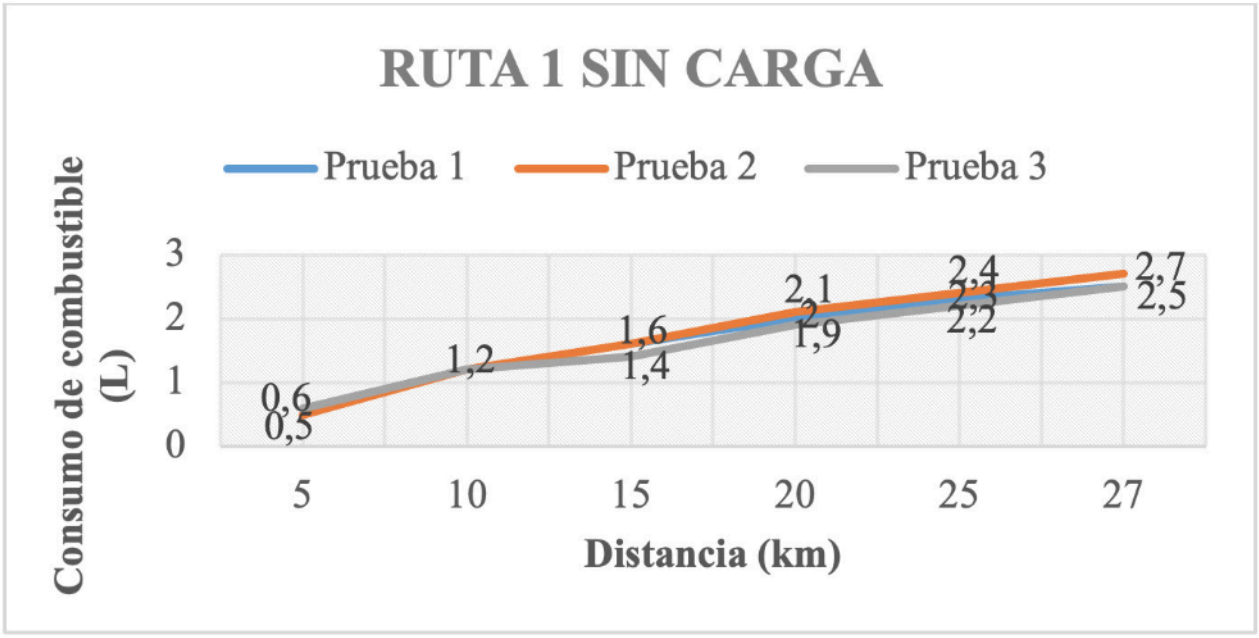


Figura 2. Consumo de combustible en puntos de control de la ruta 1 sin carga

Para poder apreciar de una mejor manera, la Figura 2 detalla el consumo de combustible cada 5 kilómetros, en el kilómetro 10 las tres pruebas registraron el mismo consumo, en el resto de los puntos de control mostraron diferentes valores que no tenían diferencias significativas de más de 0,2 litros.

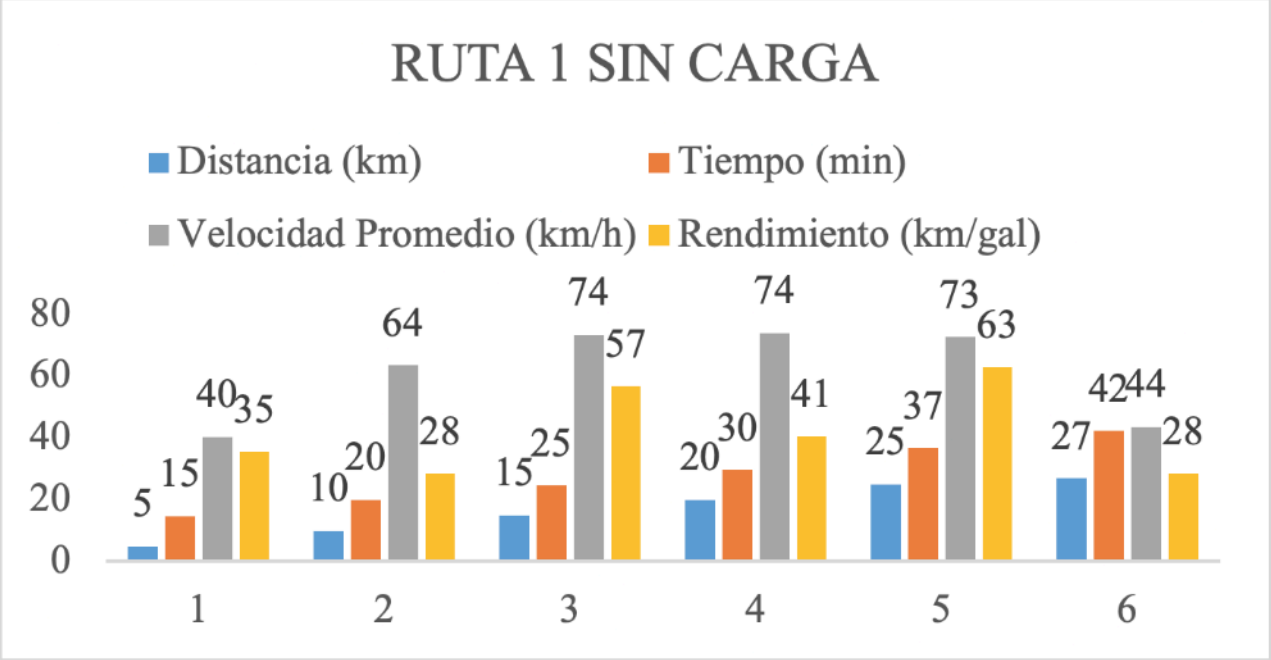


Figura 3. Datos promedio de la ruta 1 sin carga

Al primer punto de control el vehículo llegó a los 15 minutos, el tiempo promedio que se demoró en llegar a los siguientes puntos de referencia fue de 5 minutos, se registraron las mayores velocidades desde el kilómetro 15 al 25, al tener mayores velocidades en este tramo, el rendimiento de kilómetros por galón de combustible mejoró. En el punto de control uno que son los primeros 5 km, la velocidad promedio es de 40 km/h, para recorrer la distancia de 5 km se requirió de 0,53 litros el valor obtenido es la séptima parte de un galón, entonces con un galón se recorrerá 35 km. En el control 5 se obtuvo un mejor rendimiento del combustible de 0,30 litros.

Prueba en la ruta 1 con carga Ibarra-Otavalo (Panamericana)

De la misma forma se realizaron tres pruebas con carga en la ruta 1, al igual que en todas las pruebas se siguieron los protocolos establecidos para obtener datos precisos y confiables. El peso se estableció de acuerdo con la capacidad de carga del vehículo según con fabricante ver Tabla 3. La Tabla 11 presenta los datos de tiempo y consumo de combustible obtenidos en las pruebas realizadas en la ruta 1 con carga agregada.

Tabla 11. Datos obtenidos del ensayo en la ruta1 con carga

Distancia (km)	Tiempo (min)			Consumo de combustible (litros)		
	1°	2°	3°	1°	2°	3°
5	16	23	15	0,7	0,7	0,6
10	22	29	22	1,5	1,5	1,5
15	26	34	27	1,9	1,9	1,9
20	31	39	32	2,7	2,7	2,7
25	38	46	40	3,1	3,1	3,0
27	43	52	45	3,4	3,5	3,4
Promedio	**46,66**			**3,43**		

Al adicionar carga al vehículo, los tiempos registrados en las pruebas durante el recorrido en esta ruta se incrementaron, se obtuvo en promedio una duración de 46,66 minutos. Con carga adicional el vehículo registró de la misma forma un aumento de los datos del consumo de combustible, empleando 3,43 litros de diésel para una distancia de 27 kilómetros.

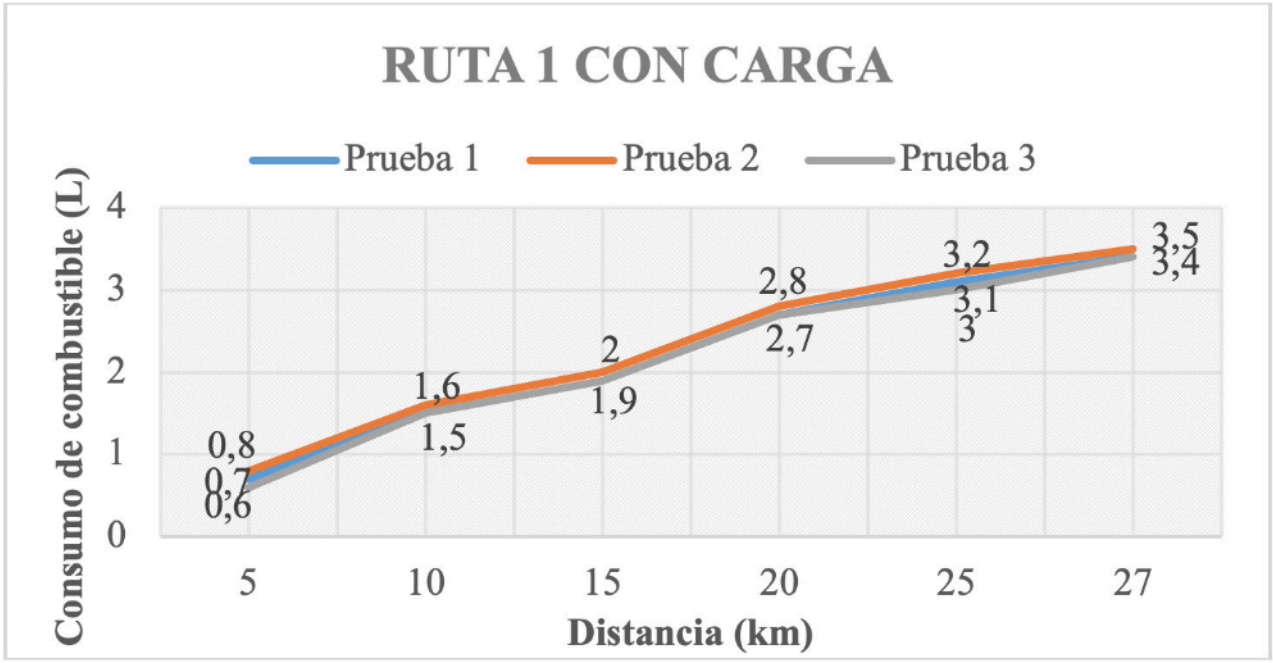


Figura 4. Consumo de combustible en puntos de control de la ruta 1 con carga

El consumo de combustible en los puntos de control en las pruebas realizadas en la ruta 1 con carga, presentaron mediciones parejas, las lecturas del consumo de combustible registradas con el dispositivo electrónico empleado mantienen valores comprendidos entre 0,1 a 0,2 litros de diferencia como se puede apreciar en la Figura 4.

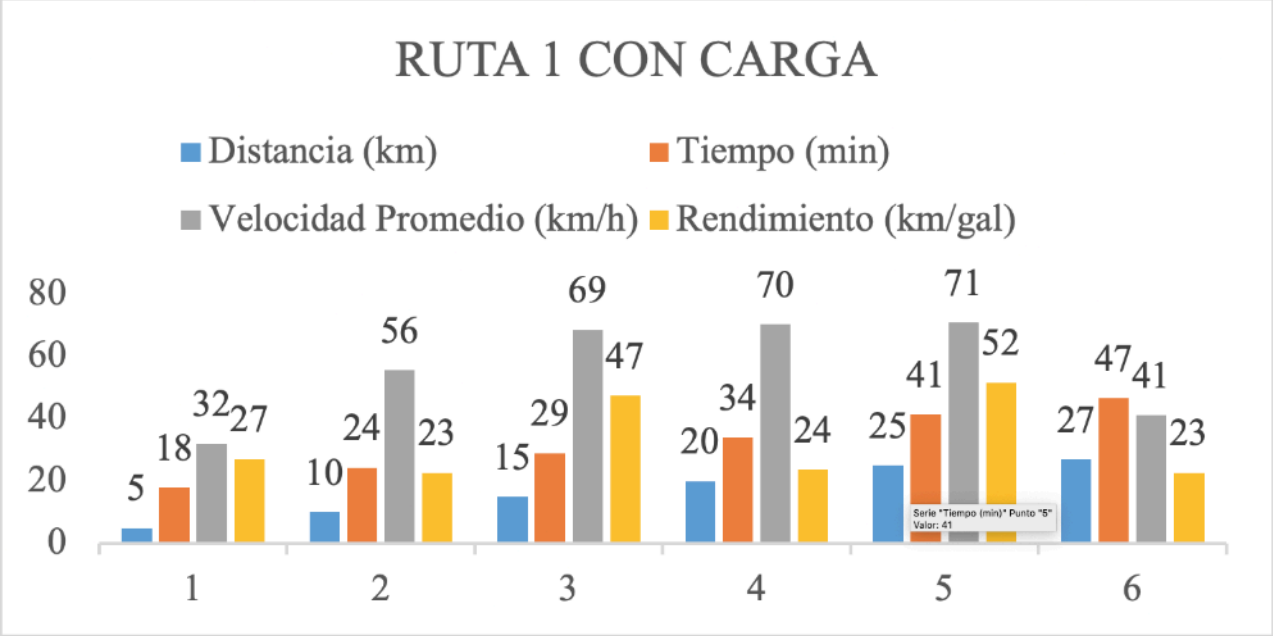


Figura 5. Datos promedio de la ruta 1 con carga

Los primeros cinco kilómetros de recorrido el vehículo tardó 18 minutos, la velocidad promedio registrada en ese tramo es la más baja de esta ruta, los tiempos empleados en los otros puntos de control fueron de 6 minutos, los últimos dos kilómetros también registraron 6 minutos, las velocidades más altas fueron desde el kilómetro 10 al 25, obteniendo un mejor rendimiento del combustible, se alcanzó 52 km/gal en el punto 5 de control.

Prueba en la ruta 2 sin carga Ibarra-Otavalo (combinada)

En la ruta 2 también se ejecutaron tres recorridos con el vehículo sin carga, la conducción fue similar tratando de mantener una velocidad constante, sin forzar al motor para tener mediciones más acertadas. La Tabla 12 muestra los valores del tiempo empleado en cada punto de control con su respectivo consumo de combustible en las pruebas realizadas en esta ruta.

Tabla 12. Datos obtenidos del ensayo en la ruta 2 sin carga

Distancia (km)	Tiempo (min)			Consumo de combustible (litros)		
	1°	2°	3°	1°	2°	3°
5	15	15	13	0,6	0,5	0,5
10	23	22	20	1,1	1,1	1
15	30	27	25	1,7	1,6	1,5
20	34	31	30	2,1	2	2
25	39	36	35	2,5	2,3	2,3
30	50	46	43	3	2,8	2,7
Promedio	**46,33**			**2,83**		

La ruta 2 posee una distancia de 30 km, el tiempo promedio de duración del recorrido fue de 46,33 minutos. El vehículo sin carga obtuvo un consumo medio de combustible de 2,83 litros de diésel en las pruebas realizadas.

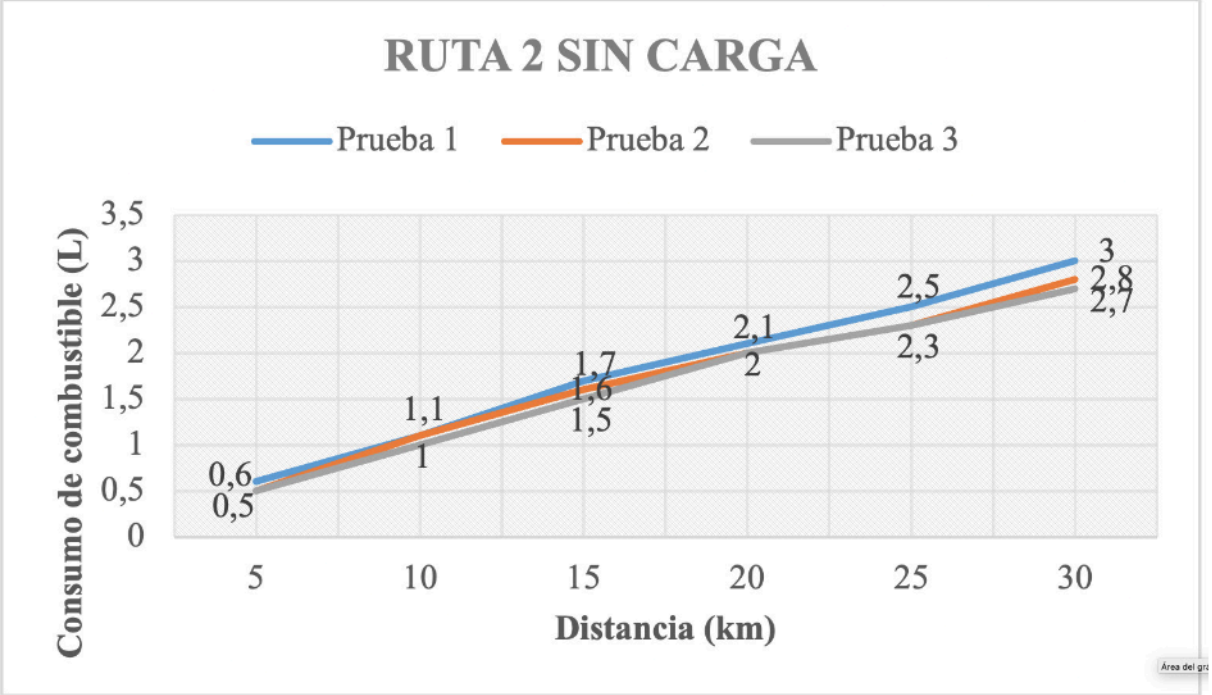


Figura 6. Consumo de combustible en puntos de control de la ruta 2 sin carga

Al igual que en la ruta 1, en esta ruta el consumo de combustible no presenta diferencias significativas, el mayor consumo de diésel se obtuvo en la primera prueba de color azul, empleando 3 litros para el recorrido.

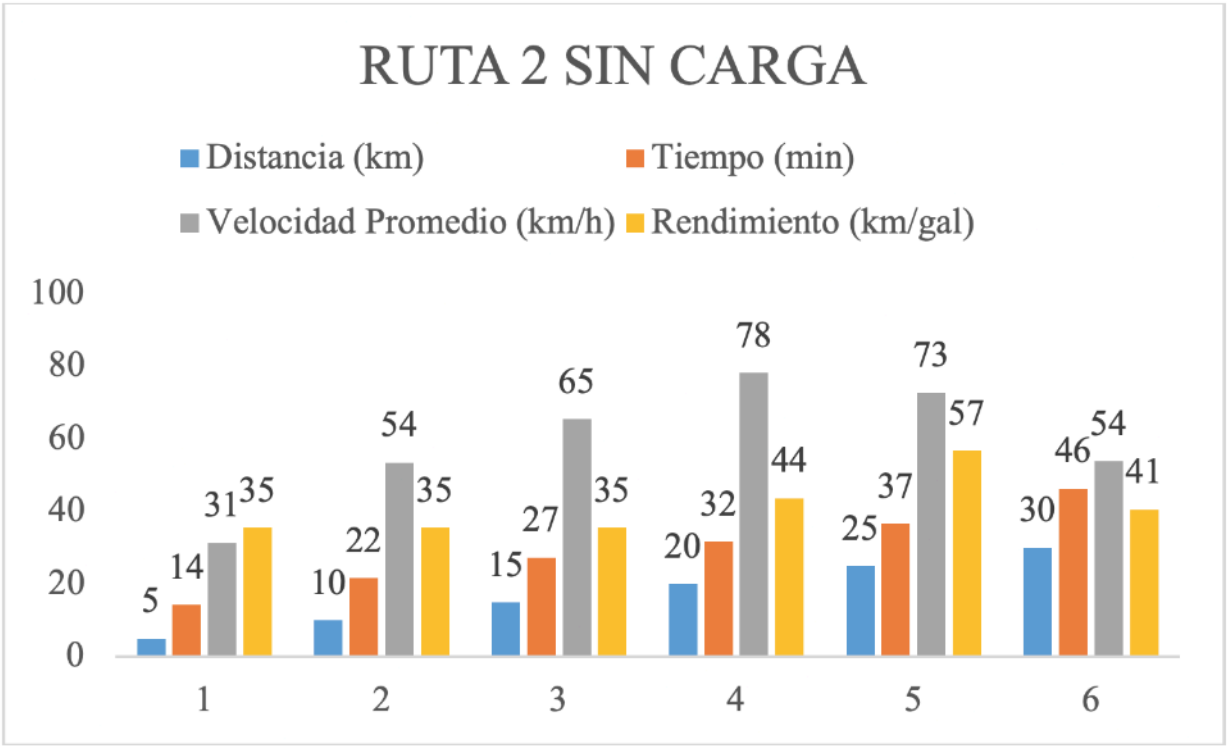


Figura 7. Datos promedio de la ruta 2 sin carga

El rendimiento del combustible se mantiene en 35 km/gal hasta el punto de control 3, en los siguientes kilómetros recorridos comienza a bajar el consumo de diésel, elevando el rendimiento a 57 km/gal en el punto de control 5, el mejor registro de velocidad promedio ocurre en el kilómetro 20, marcando 78 km/h en este tramo de la ruta, el mayor tiempo empleado en recorrer 5 km fue al llegar al primer punto de control, empleando 14 minutos.

Prueba en la ruta 2 con carga ibarra-otavalo (combinada)

Las tres pruebas realizadas en la ruta 2 con carga fueron realizadas siguiendo los protocolos establecidos, obteniendo datos más precisos y confiables. La Tabla 13 presenta los datos registrados de tiempo y consumo de combustible en cada punto de control del recorrido en esta prueba.

Tabla 13. Datos obtenidos del ensayo en la ruta 2 con carga

Distancia (km)	Tiempo (min)			Consumo de combustible (litros)		
	1°	2°	3°	1°	2°	3°
5	17	15	12	0,7	0,6	0,7
10	24	22	21	1,4	1,3	1,4
15	31	24	24	2,1	2	2,1
20	36	34	33	2,7	2,6	2,7
25	40	39	39	3,1	3,1	3,2
30	50	49	47	3,8	3,7	3,7
Promedio	**48,67**			**3,73**		

Con un recorrido de 30 kilómetros para esta ruta, se obtuvo un tiempo promedio de duración de la prueba de 48,67 minutos, al emplear carga adicional al vehículo, este presentó un incremento en el consumo de combustible, la media de consumo fue de 3,73 litros de diésel.

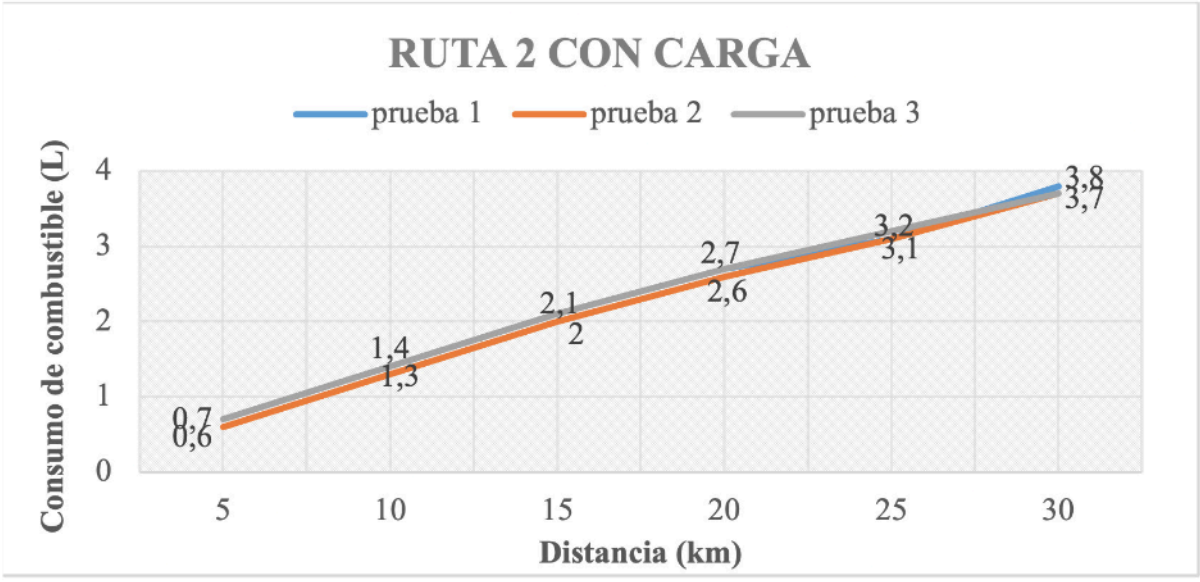


Figura 8. Consumo de combustible en puntos de control de la ruta 2 con carga

En la Figura 8 se especifica el consumo de combustible durante el recorrido de esta ruta, algunas pruebas presentan diferencia de 0,1 litros en las mediciones registradas en los puntos de control, las pruebas 2 y 3 obtuvieron los mismos valores del consumo de diésel hasta el kilómetro 20.

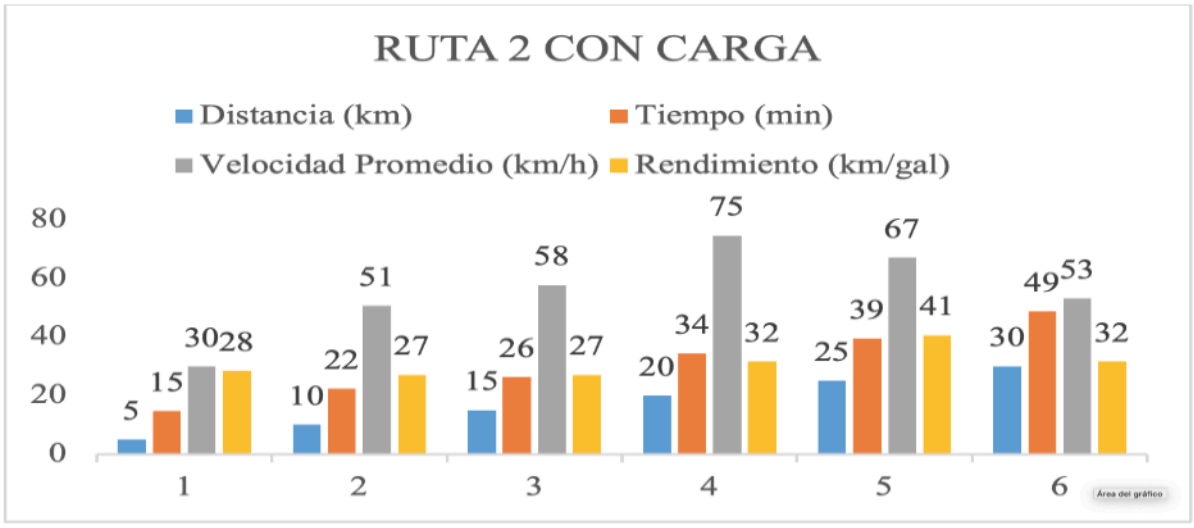


Figura 9. Datos promedio de la ruta 2 con carga

En esta ruta el consumo promedio de combustible en cada punto de control se mantiene constante hasta el kilómetro 20, en el siguiente tramo experimenta un menor consumo de combustible, llegando a suministrar el vehículo un rendimiento de 41 km/gal, la mayor velocidad promedio alcanzada en esta ruta fue en el punto de control número 4, alcanzando los 75 km/h.

Factores que afectan al consumo de combustible

Patrones de conducción

Según el modelado IVE en los patrones de conducción el vehículo experimenta tres niveles de estrés: estrés bajo entre los bines de 0 a 19, estrés moderado entre los bines 20 a 39 y estrés alto entre los bines 40 a 59, la Figura 13 presenta los niveles de estrés que experimentó el motor durante la ruta 1 en las pruebas realizadas.



Figura 10. Bines obtenidos en la ruta 1

El motor presenta un estrés bajo tanto en las pruebas realizadas con carga y sin carga, el patrón de conducción tiene mayor frecuencia entre los bines 10 al 14, este comportamiento se lo puede relacionar con múltiples paradas durante el recorrido, dentro del área urbana la ruta 1 posee semaforización que obliga a detener el vehículo, también se tiene presente el tráfico de la ciudad, en la prueba sin carga el motor presenta un incremento del 1% en los bines de estrés moderado que la prueba con carga.

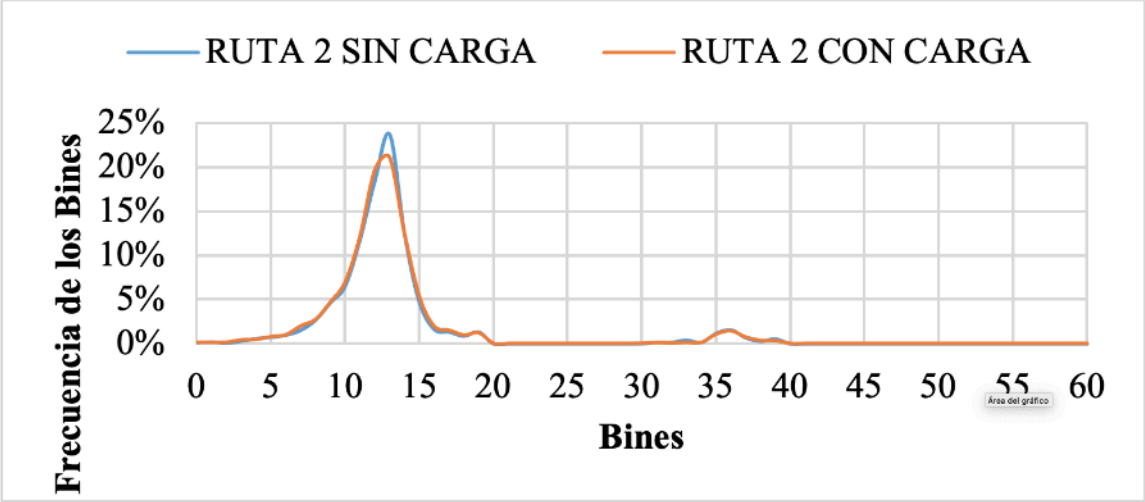


Figura 11. Bines obtenidos en la ruta 2

La Figura 14 presenta los patrones de conducción en la ruta 2, de la misma forma muestran mayor frecuencia dentro de los bines 10 al 15, determinando un estrés bajo para el motor del vehículo, sin embargo, se ve un incremento de bines en las pruebas realizadas sin carga, la ruta presenta paradas que modifican el patrón de conducción, en lo relacionado al estrés moderado el motor no refleja cambios considerables en esta ruta.

Estimación y comparación del inventario de emisiones

Con el software IVE se realizaron las estimaciones de emisiones para las rutas en las pruebas realizadas, la Tabla 14 presenta los resultados estimados de CO2, CO, NOx y PM. El software require los parámetros de la localidad a ser estudiada con sus respectivas características, se debe ingresar las características del combustible, los factores climatológicos, la velocidad promedio durante el recorrido, la altitud, pendiente, los Bins, la distancia del recorrido y el número de paradas. Con estos datos el software IVE ajusta las variables locales de la ciudad por donde circula la flota a ser estudiada. Para tener una mayor claridad en el Anexo 2 se detalla los requerimientos de este proceso.

Tabla 14. Estimación del inventario de emisiones con IVE

Prueba	CO2 (g)	CO (g)	NOx (g)	PM (g)
Ruta 1 sin carga	4 002,73	11,33	13,55	4,40
Ruta 1 con carga	4 085,21	11,55	13,50	4,49
Ruta 2 sin carga	4 554,58	12,68	15,30	4,49
Ruta 2 con carga	4 769,85	13,41	15,96	5,24

Las emisiones totales de CO2, CO y NOx se incrementaron en las pruebas realizadas en la ruta 2, esto se debe a que esta ruta tiene una distancia mayor en su recorrido, realizando la transformación de estas emisiones en las unidades de g/km tenemos el promedio de emisiones por kilómetro recorrido. La Tabla 15 presenta los resultados de las emisiones en g/km.

Tabla 15. Emisiones de CO2, CO, NOx y PM

Prueba	CO2 (g)	CO (g)	NOx (g)	PM (g)
Ruta 1 sin carga	148,25	0,42	0,50	0,16
Ruta 1 con carga	151,30	0,43	0,50	0,17
Ruta 2 sin carga	151,82	0,42	0,51	0,17
Ruta 2 con carga	159,00	0,45	0,51	0,17

La ruta 2 presenta un incremento en las emisiones de CO2 en la prueba realizada con carga, las características de esta ruta como pueden ser: pendiente de la ruta, tráfico en la zona, señalética, semáforos y patrones de conducción, aportan para que este resultado se eleve 5%. La Figura 12 presenta de forma separada la estimación de emisiones.

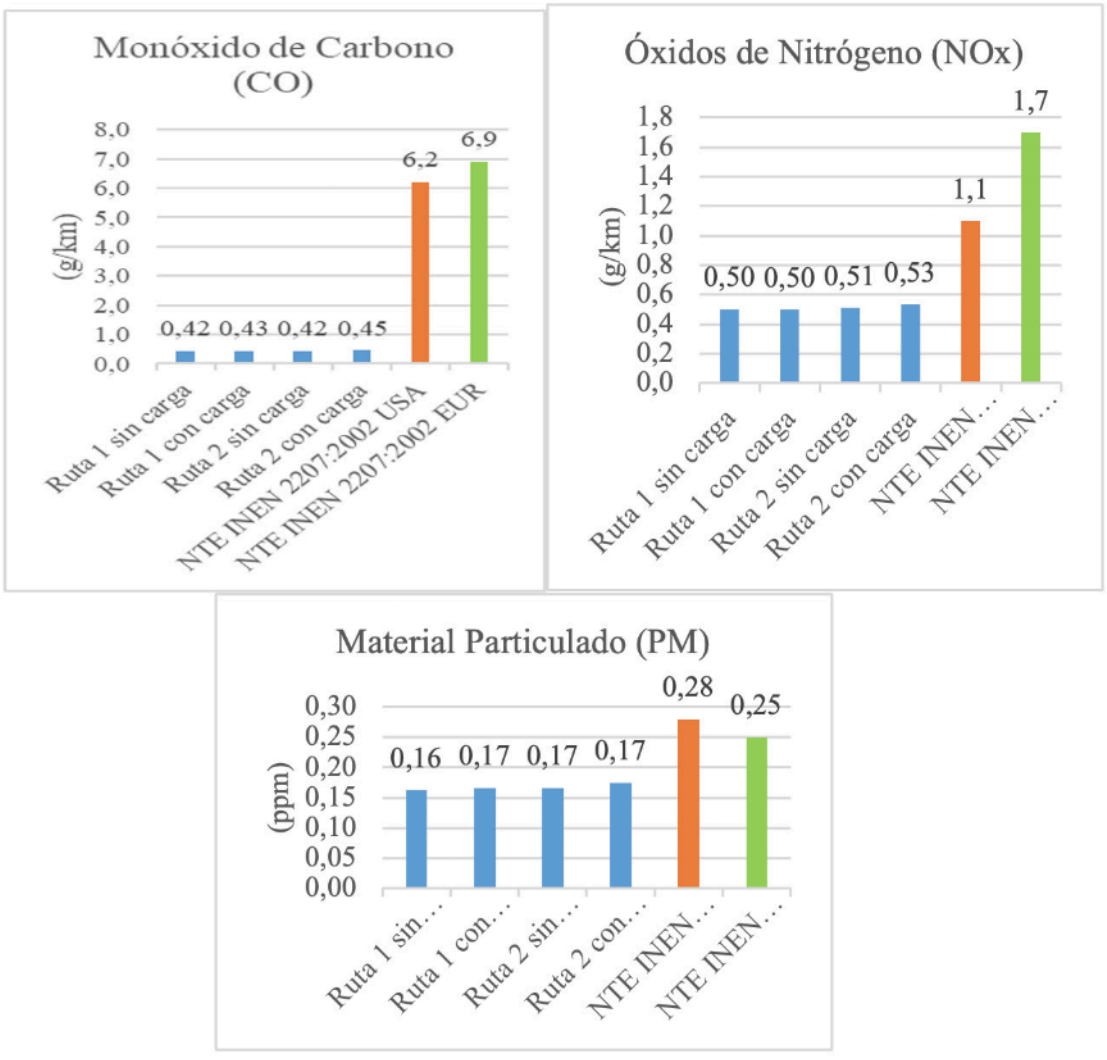


Figura 12. Estimación de emisiones con IVE

Las emisiones estimadas de monóxido de carbono (CO), material particulado (PM) y óxidos de nitrógeno (NOx) se encuentran en los límites permitidos por la norma NTE INEN 2207:2002 para ciclos de prueba americanos y europeos, en vehículos medianos con un peso > 1 700 kg ≤ 3 860 kg.

En la Tabla 16 se muestra el consumo de combustible del presente trabajo comparado con las especificaciones del fabricante.

Tabla 16. Consumo de combustible Mazda BT-50
Pruebas en ruta Mazda BT-50

Condición	Extraurbano	Combinado
Sin carga	9,2 litros/100 km	9,6 litros/100 km
Datos del fabricante Mazda BT-50		
7,8 litros/100 km	8,9 litros/100 km	

Conclusiones

Después del análisis realizado, se puede concluir que en el kilómetro 25 con la primera condición sin carga hay un incremento 2,6 % de consumo de combustible en la ruta dos y con la segunda condición con carga se obtuvo un incremento de 0,9 % de consumo en la ruta 2, con relación a la ruta uno.

El software IVE se emplea con flotas vehiculares, dando como resultados emisiones contaminantes, sin embargo, en el desarrollo del presente proyecto se logró obtener factores de emisiones vehiculares tomando como flota universal a un solo vehículo y se obtuvo los valores de CO, NOx, PM y CO2. Este tipo de análisis esta abalado por el manual de usuario del programa IVE.

Se estimó las emisiones del vehículo Mazda BT-50 con ayuda del programa IVE obteniendo como resultado un factor de emisión de 0,43 g/km CO, en comparación a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2207: 2002 ciclo americano, el CO está dentro de los límites permitidos de 6,2 g/km. De la misma manera en óxido nitrógeno se obtuvo 0, 51 g/km NOx, este gas si cumple con los límites permitidos en la NTE INEN 2207: 2002 que fija este valor en 1,1 g/km NOx para vehículos medianos.

Para el material particulado PM, se obtuvo un valor promedio en la ruta 1 de 0,165 g/km, esto se consiguió en distintas horas, con y sin tráfico, en la ruta 2 el promedio emitido es 0,17 g/km PM, con esto se obtuvo una diferencia entre las dos rutas de 0,03 %, en comparación con la NTE INEN 2207: 2002 ciclo americano, el PM está dentro de los límites permitidos de 0,28 g/km.

De los datos obtenidos mediante el programa IVE el dióxido de carbono es de 152 g/km CO2 y en comparación con los datos de la ficha técnica del vehículo Tabla 2.1, establece un valor máximo de 244 g/km CO2, existe un porcentaje de variación 39 %, llegando a determinar que los valores obtenidos por el programa IVE están dentro del rango de los datos técnicos del vehículo.

Con los patrones de conducción estimados el programa IVE determino que la mayor cantidad de bines obtenidos se encuentran en la zona de estrés bajo, esto se relaciona con las características que poseen las rutas seleccionadas. Los bines calculados son similares en la ruta uno con carga y sin carga de las pruebas realizadas, en la ruta dos existe un incremento de bines del 8,3 % en relación con la ruta 1 bajo esas mismas condiciones. Este comportamiento se da por las múltiples paradas en el recorrido debido a semáforos, tráfico vehicular e intersección de avenidas, que altera al comportamiento de los bines.

Referencias

A. Torres y E. Valladares, «Estudio de factibilidad para la creación de un centro de revisión vehicular y control de emisión de gases de escape, previa a la matriculación y prevención de la contaminación ambiental,» 07 2010. [En línea]. Available: http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2227/3/05%20FECYT%20887%20ANTEPROYECTO%20Mayo2010.pdf.

D. Moreno, «Diario El Norte,» 28 09 2018. [En línea]. Available: https://www.elnorte.ec/ibarra/parque-automotor-de-ibarra-ya-demanda-mas-espacio-HX189595.

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo , «Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021,» 2018. [En línea]. Available: http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf.

S. Escudero, J. Gonzáles, J. Rivas y A. Suárez, «MOTORES,» 01 01 2009. [En línea]. Available: https://ebookcentral.proquest.com/lib/utnortesp/reader.action?docID=3195396&query=motores+.

A. . Hernández Guzmán y R. Morales, «Manual De Conducción Técnica De Vehículos Automotores Diésel,» 2012. [En línea]. Available: https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt360.pdf.

D. González Calleja, Motores Térmicos y sus Sistemas Auxiliares, Madrid: Paraninfo, 2015.

M. Acevedo, O. Boada y L. Shkiliova, Etapa del desarollo de transporte automotor y los sitemas de alimentación de combustible Diésel., Santa Clara: Feijóo, 2007.

Grupo Bosch, «Productos de inyección diésel,» 2014. [En línea]. Available: https://www.boschecuador.com/sites/default/files/ProdDiesel.pdf.

E. Kates y W. Luck, Motores diesel y de gas de alta compresión, España : Reverté, S. A, 2003.

INEN, «Norma Técnica Ecuatoriana,» 2012. [En línea]. Available: http://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/06/NTE-INEN-1489-7-ENMIENDA-1.pdf.

G. Álvarez, A. Baquero, M. Coello, A. López y F. Torres, «Análisis de Los Métodos de Medición de Consumo de Combustible de Vehículos Automóviles en El Dinamómetro de Chasis.,» 15 05 2018. [En línea]. Available: https://es.scribd.com/document/379243385/Analisis-de-Los-Metodos-de-Medicion-de-Consumo-de-Combustible-de-Vehiculos-Automoviles-en-El-Dinamometro-de-Chasis.

United States Environmental Protection, «Estimando las MPG en pruebas de laboratorio,» 2010. [En línea]. Available: https://www.fueleconomy.gov/feg/eshow_tested.shtml.

O. Arciniegas, «Estimación de emisiones contaminantes de vehículos de transporte escolar e institucional en la ciudad de ibarra mediante modelado computacional,» 26 06 2018. [En línea]. Available: http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8355/1/04%20MAUT%20066%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf.

IVE MODEL, «Manual del Usuario del Modelo IVE Versión 2.0,» 2008. [En línea]. Available: http://www.issrc.org/ive/downloads/manuals/UsersManual%28sp%29.pdf.

M. Caballero, «Análisis de Emisiones de Vehículos Livianos Según Ciclos de Conducción Específicos para la Región Metropolitana,» 01 2011. [En línea]. Available: http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-caballero_mm/pdfAmont/cf-caballero_mm.pdf.

Mazda Motor, «Manual Mazda BT-50,» 17 06 2017. [En línea]. Available: https://es.scribd.com/document/336804892/Manual-de-Taller-Mazda-BT50.

ANEXO I

BINES OBTENIDAS MEDIANTE PROGRAMA IVE

Tabla 17. Bines obtenidos en la ruta 1

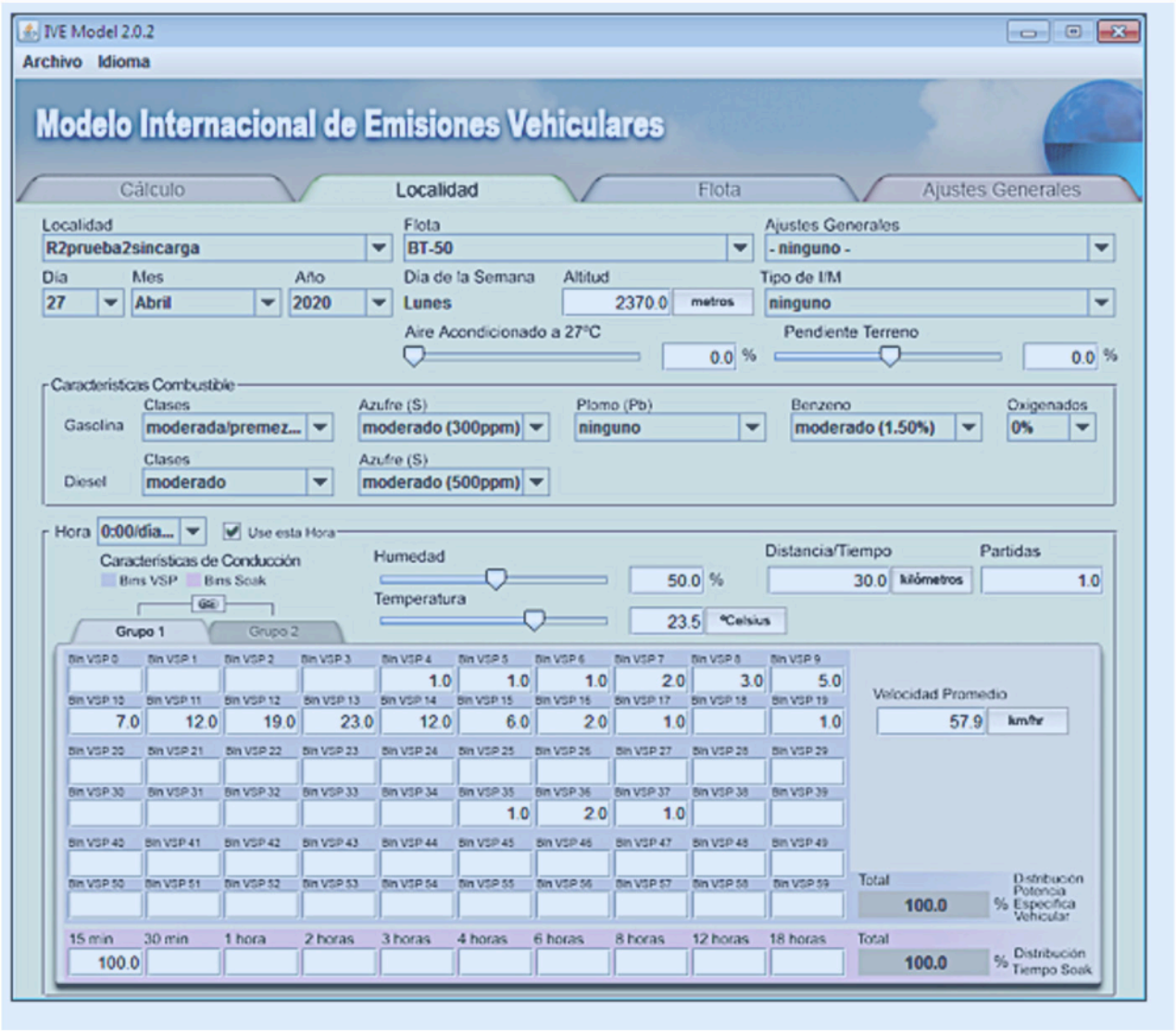
Número de BINES

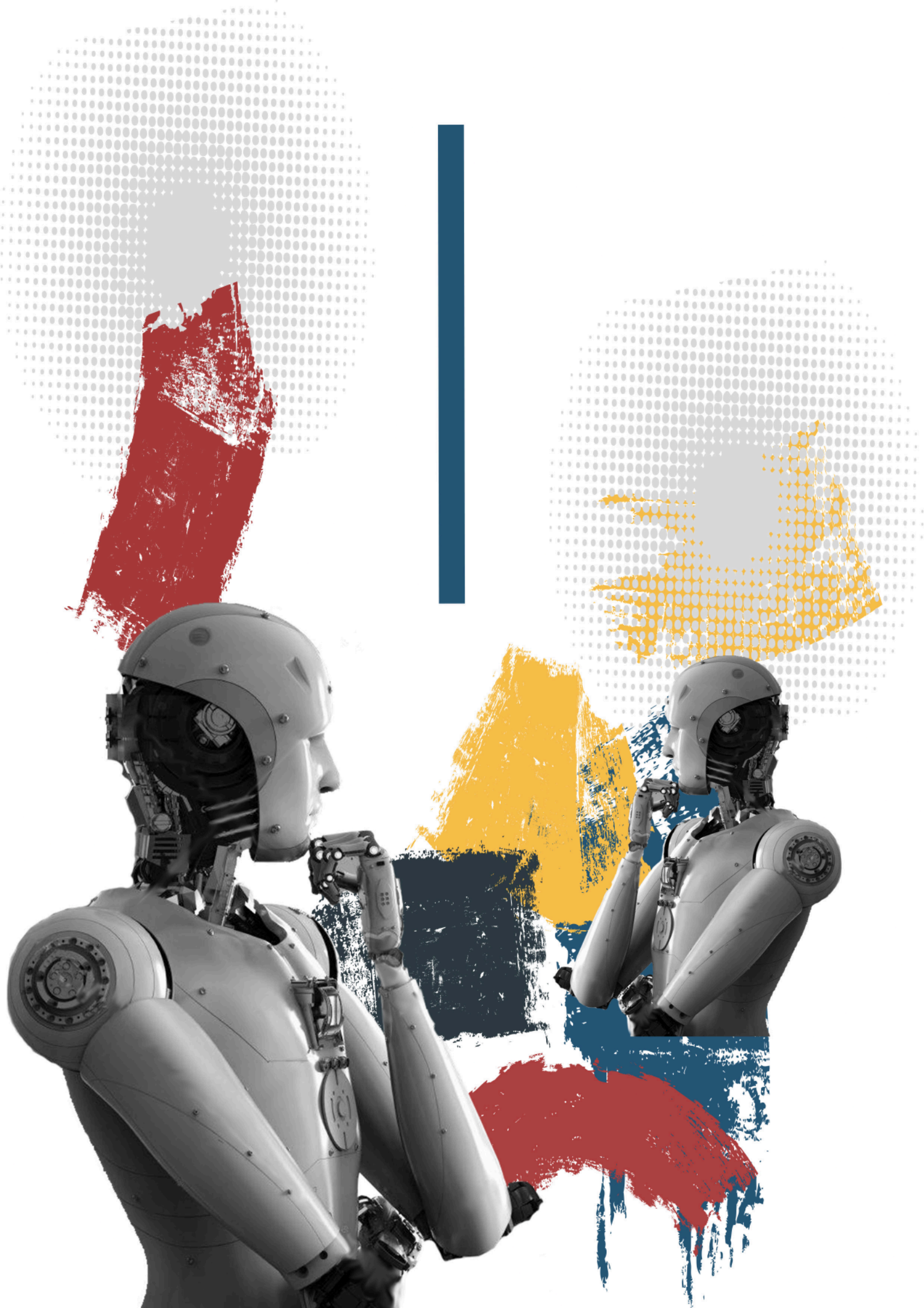
Stress Bajo		Stress Medio		Stress Alto	
(-1,6 – 3,1)		(3,1 – 7,8)		(7,8 – 12,6)	
Bin	Rango VSP	Bin	Rango VSP	Bin	Rango VSP
0	0,001	20	0,000	40	0,000
1	0,001	21	0,000	41	0,000
2	0,002	22	0,000	42	0,000
3	0,006	23	0,000	43	0,000
4	0,007	24	0,000	44	0,000
5	0,009	25	0,000	45	0,000
6	0,009	26	0,000	46	0,000
7	0,017	27	0,000	47	0,000
8	0,029	28	0,000	48	0,000
9	0,045	29	0,000	49	0,000
10	0,056	30	0,001	50	0,000
11	0,115	31	0,001	51	0,000
12	0,198	32	0,001	52	0,000
13	0,234	33	0,003	53	0,000
14	0,121	34	0,001	54	0,000
15	0,046	35	0,008	55	0,000
16	0,015	36	0,015	56	0,000
17	0,018	37	0,007	57	0,000
18	0,013	38	0,003	58	0,000
19	0,014	39	0,006	59	0,000

ANEXO II

CREACIÓN DEL ARCHIVO LOCALIDAD

Figura 13. Modelo IVE





Sistema remoto para la medición y visualización del consumo de agua

https://doi.org/10.53358/ideas.v3i1.554

Sebastián Bahamonde[1], Ana Zambrano[1], Ricardo Rosero[2]
[1]Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional; Quito, Ecuador
[2]Instituto Superior Tecnológico Sucre, Carrera de Electricidad,
Avenida 10 de agosto N26-27 y Luis Mosquera Narváez-Ecuador 170109
Quito, Ecuador

[1]{jorge.bahamonde, ana.zambrano}@epn.edu.ec, [2]rrosero@tecnologicosucre.edu.ec

RESUMEN

El presente trabajo propone un sistema de distribución para leer y visualizar el consumo de agua de manera remota, por medio de una página web y un aplicativo móvil. Para la implementación del sistema se lo ha dividido en tres etapas que son: módulo electrónico, módulo web y módulo móvil, y, para su desarrollo se ha establecido una arquitectura de tres niveles: presentación, aplicación y datos. Cada uno de estos niveles se encuentran alojados en el Cloud Computing de Microsoft Azure. El módulo electrónico se encarga de medir y registrar el consumo de agua y los datos obtenidos se guardan en una base de datos, el módulo web se encarga de gestionar los usuarios y administradores, permite las consultas sobre el consumo de agua de los diferentes controladores y en el módulo móvil se encuentra un APK que puede ser instalado en un dispositivo móvil para consultar el consumo de agua de los diferentes controladores.

Palabras Claves: Medidor Remoto, APK, Consumo de Agua, Microsoft Azure

Abstract. This document proposes a distribution system to be able to read and view water consumption remotely, through a web page and a mobile application. For the implementation of the system, it has been divided into three stages which are: electronic module, web module and mobile module and for its development a three-level architecture (presentation, application and data) has been established. Each of these levels are hosted in Microsoft Azure Cloud Computing. The electronic module is in charge of measuring and recording water consumption and the data obtained is stored in a database, the web module is in charge of managing users and administrators, it allows queries about the water consumption of the different controllers and in the mobile module there is an APK that can be installed on a mobile device to be able to consult the water consumption of the different controllers.

Keywords: Remote Meter, APK, Water Consumption, Microsoft Azure

Introducción

El uso de servicios por medio de las redes de comunicación, en los últimos años ha aumentado considerablemente, debido a las ventajas de accesibilidad permanente y la reducción de tiempo, en el caso de la realización de un trámite o la consulta de un servicio, sin la necesidad de que el usuario tenga que desplazarse hacia la institución para poder realizar algún servicio. Actualmente en el Ecuador, el servicio de agua potable no se ha visto beneficiado del uso de nuevas tecnologías y sistemas de comunicación; la toma del valor del consumo de agua potable se lo realiza manualmente en cada una de las viviendas.

El uso de sistemas distribuidos para la lectura del consumo de agua se lo está empleando en Chile, donde ya se han hecho pruebas de funcionamiento de este tipo de sistemas con NB-IoT [1] y medidores Kamstrup [2]. Es por eso que, en el país es necesario modernizar estos servicios y establecer un sistema que permita la recolección de datos del consumo de agua potable con las tecnologías e infraestructura que se tiene actualmente, por lo que, se va a desarrollar un sistema de distribución para la medición de consumo de agua y visualización de información.

El sistema se encuentra dividido en tres etapas. La primera etapa, está conformado por la parte sistema electrónico que realiza la medición del consumo de agua potable mediante un sensor de flujo que se encuentra conectado a una placa de Arduino WENOS D1, la que contiene una conexión Wifi para el enlace, con alguna red local para el envío de información hacia el internet, un lector de tarjeta Micro SD y un circuito de alimentación; la información del sensor de caudal es almacenada en una base de tatos. La segunda etapa está conformada por el aplicativo web para la administración del sistema, donde se podrá crear, registrar, actualizar y eliminar a los clientes y medidores; además, de poder observar en tiempo real el consumo de agua de los clientes. La tercera etapa se compone del diseño e implementación del aplicativo móvil, en la misma que, el cliente pueda realizar consultas sobre el consumo del o los medidores que se encuentren vinculados. El valor de consumo se almacenará una vez al día en un horario específico, y si no existe una conexión hacia internet en el horario establecido para el almacenamiento de éste, se almacenará en una memoria externa con la fecha de cuando se realizó la medición. Este valor o valores

serán enviados y almacenados en la base de datos cuando exista conexión a internet en el horario específico.

Fundamento Teórico

Estado del arte de sistemas de medición de agua potable

El desarrollo de las comunicaciones electrónicas ha permitido realizar el envío de datos entre sistemas, haciendo uso de diferentes tipos de medios; estos datos pueden ser: voltajes, velocidades, flujos, presiones, temperaturas entre otros.

En la actualidad existen sistemas de medición remotas que hacen uso de radio frecuencias, telefonía celular e internet. Con los sistemas de medición remota se llega a tener información de diferentes equipos en tiempo real como: perfiles de consumo, fugas, daños en instrumentos de medición, entre otros.

Además, si estos sistemas son aplicados a tareas como la medición del consumo de agua potable, el usuario se asegura de conocer lo que realmente ha consumido [3].

Entre las soluciones actuales para la medición del consumo de agua remotamente, existen soluciones que hacen uso de nuevas tecnologías de comunicación como es el caso de BMETERS [4], la cual implementa la tecnología de comunicación LoRaWan. El funcionamiento de esta solución se basa en un módulo de radio, agregado a un medidor de consumo de agua que posee una salida de pulsos eléctricos; el módulo de radio es el encargado de realizar la conexión a la red y de enviar el valor de consumo del usuario para ser almacenado [4].

Otra solución a la medición remota del consumo de agua potable, la entrega Gignac Energie [5], que consta de un sensor iPERL sensor de medición con tecnología magnética, que es un sistema de comunicación por radio llamado SensusRF, el cual opera en una banda sin licencia y un portal web para tener acceso a los datos llamado H2Olmes. El funcionamiento de esta solución se basa en el sistema de comunicación SensusRF, que consta de dos partes: la una se encuentra en el medidor de agua y la otra, montado sobre un vehículo móvil. La parte del sistema de comunicación que se encuentra en el medidor de agua es la encargada de escuchar peticiones y enviar el valor de consumo de agua; por otro lado, la parte del sistema de comunicación que se encuentra en el vehículo móvil, es el encargado de solicitar y de receptar la información de los medidores. Además, posee una antena de telefonía móvil, encargada de realizar la conexión hacia internet para enviar la información hacia el servidor. Por la manera del funcionamiento del sistema SensusRF, el vehículo deberá desplazarse cerca de los medidores de agua para realizar la medición, puesto que, el alcance de la comunicación es máximo de un kilómetro [5].

El desarrollo de diferentes sistemas para realizar la medición remota de los medidores de agua dependerá de las tecnologías de comunicación usadas, así como también, de las necesidades y/o prestaciones que se tengan para implementarlas. En la actualidad, existen tecnologías de comunicación para realizar este tipo de mediciones como: Wireless M-Bus2, Sigfox3, LoRaWan, NB-IoT4. Cada una de estas tecnologías tienen diferentes propósitos, como también, diferentes características, así: el alcance de la comunicación, la capacidad de transmitir datos con bajo consumo de energía, inmunidad a las interferencias con otros dispositivos, y otras.

Servicios web, aplicaciones web y móvil

Son aplicaciones que se pueden escribir, publicar, localizar y buscar a través de una red y por su flexibilidad permiten integrar aplicaciones para la generación de redes de comunicaciones. Los servicios web permiten la interoperabilidad; lo que significa que, los servicios se pueden utilizar desde cualquier tipo de aplicación web o móvil, independientemente del lenguaje de programación en el que se haya desarrollado [6].

La comunicación que ofrece los servicios web entre aplicaciones se basa generalmente en dos tipos de arquitecturas: la arquitectura de Protocolo Simple de Acceso a Objetos o SOAP (Simple Object Access Protocol) y la arquitectura de Transferencia de Estado Representacional o REST (Representational State Transfer). [7].

Cloud Computing

El Cloud Computing es una tecnología que permite brindar una infraestructura informática, servicios o aplicaciones a cualquier usuario a través de internet. La nube es un conjunto de recursos virtuales como velocidad de procesamiento o memoria de almacenamiento, los cuales, se administran mediante un software de gestión y automatización. Para hacer uso de la nube o Cloud Computing es necesario sistemas operativos, software de virtualización, software de gestión y automatización. Los sistemas operativos hacen uso de las redes e interfaces del usuario host, el software de virtualización extrae todos los recursos y los agrupa en la nube, el software de automatización asigna los recursos y, por último, las herramientas de gestión proporcionan nuevos entornos [8].

Una nube pública es un depósito de recursos virtuales que son implementados a partir de un hardware, su propiedad es de una empresa ajena a la compañía o al usuario. En este tipo de nube, varias empresas pueden hacer uso de estos recursos, pero, de una manera separada; y, el proveedor es el encargado de realizar el mantenimiento y de la seguridad. Existen varios proveedores de nubes públicas, de los cuales, los más conocidos son AWS (Amazon Web Services), GoogleCloud, AlibabaCloud y Microsoft Azure.

Una nube privada es un grupo de recursos software y hardware, que se ofrecen a través del internet y que son de uso exclusivo para una empresa u organización. Este tipo de nubes se puede encontrar en el centro de datos de una empresa o alojarlas en proveedores externos, puesto que, a este, la define los ajustes de privacidad y las responsabilidades de gestión [9].

Infraestructura como Servicio (IaaS)

Un servicio IaaS es aquel, donde un proveedor brinda una infraestructura informática, posee un hardware y software mínimos requeridos para implementar una nube: la red, el almacenamiento, seguridad mediante firewalls, los servidores y la virtualización. El proveedor será el encargado de realizar la administración y el mantenimiento a estos recursos y el usuario puede hacer uso de estos, según lo requiera. Existen varias formas de uso para este tipo de servicio, que pueden ser: de manera temporal, para experimentación, alojamiento de proyectos web grandes, para dar solución al almacenamiento y copia de seguridad, análisis de big data, entre otros.

Una de las características más importantes para el usuario que hace uso de este tipo de servicio es la de realizar el pago al proveedor solo por los recursos que él está usando [10].

Metodología

Estado actual del sistema de medición del consumo de agua

El funcionamiento del sistema actual de medición y toma del valor de consumo de agua potable de los usuarios se muestra en la Fig. 1. Este sistema comienza por el medidor de agua potable del usuario, el cual tiene un flujómetro del tipo turbina tangencial. Este tipo de flujómetro es del tipo de "chorro único", lo que quiere decir que el caudal de entrada del flujómetro es desviado para incidir de forma tangencial sobre una turbina o hélice. Esta hélice se encuentra en sentido perpendicular al flujo del agua girando a una velocidad directamente proporcional al caudal volumétrico del líquido. El giro de la turbina o hélice hace que el contador mecánico se mueva y muestre la cantidad de consumo.

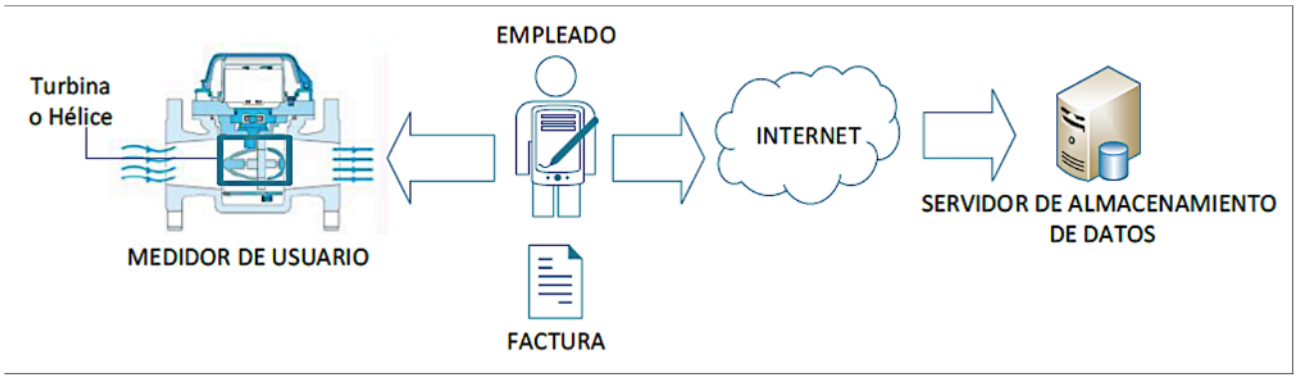


Fig. 1. Sistema actual de medición de agua potable.

Una vez que se tiene la forma de medir la cantidad de consumo de agua, por medio del personal contratado por la empresa se realiza la toma de los datos de manera manual en cada una de las casas por medio de la lectura de los medidores y registrando los datos mediante un dispositivo móvil diseñado para este propósito. Este proceso de toma del valor de consumo del agua potable se lo realiza una vez al mes por lo cual puede presentar diferentes problemas como error en la toma del valor de consumo por falla humana, fallo en la comunicación para el registro del valor de consumo y que éste no pueda ser ingresado.

Tablero Kanban

KanbanTool [11] es una herramienta en línea que sirve para realizar la gestión de tareas, pudiendo ser configuradas y modificadas con el fin de formar tableros Kanban. A cada tarea se le puede agregar la información necesaria para que el personal encargado pueda desarrollarla. En la Fig. 2 se muestra el Tablero Kanban correspondiente al diseño.



Fig. 2. Tablero Kanban del diseño.

El tablero de la Fig. 2 consta de tres columnas las cuales son: "Lista Tareas", "En Proceso" y "Completadas"; cada una de estas columnas representa el estado posible en el que se puede encontrar una tarea. En la columna "Lista Tareas" se encontrarán todas las tareas pendientes; en la columna "En Proceso" se encontrarán las tareas que se encuentren realizándose y por último en la columna "Completadas" se encontrarán las tareas que se encuentran terminadas.

El tablero Kanban de la Fig. 3 muestra las tareas para la fase de implementación que se deben realizar para el cumplimiento de los requerimientos funcionales de los tres módulos.



Fig. 3. Tablero Kanban implementación.

Funcionamiento global del prototipo

Se representa el funcionamiento del prototipo para el sistema de medición del consumo de agua de manera remota. El prototipo consta de tres módulos: Módulo Electrónico, Módulo Web y Módulo Móvil.

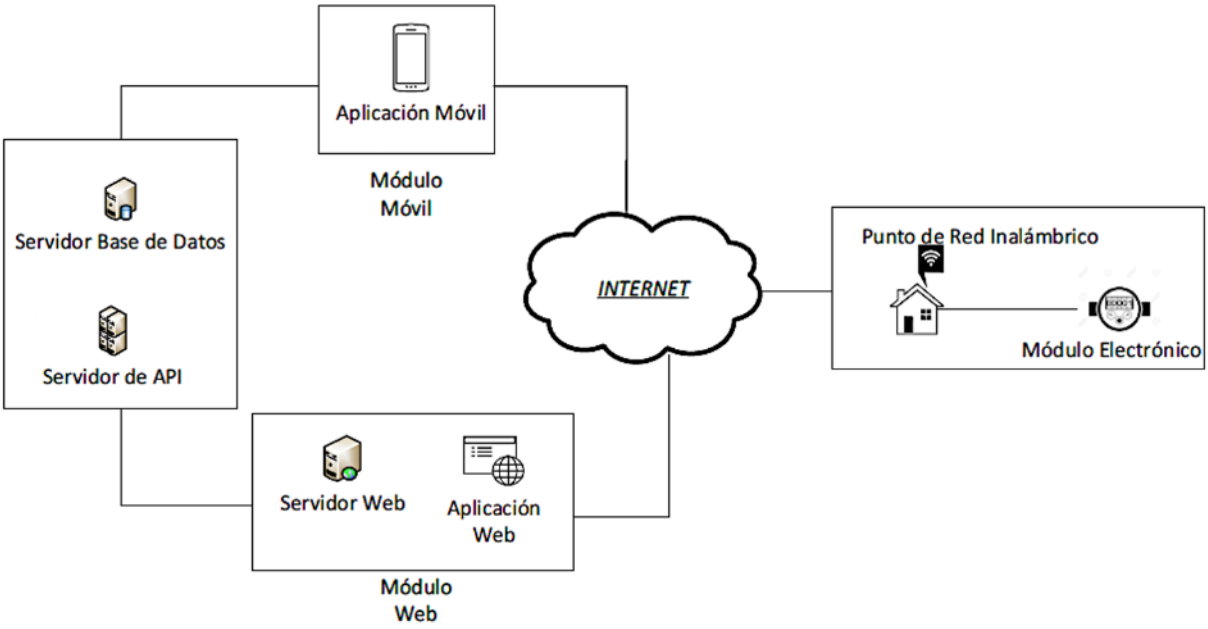


Fig. 4. Diagrama de funcionamiento global del prototipo.

Para la generación del sistema distribuido, el prototipo consta de tres tipos de servidores: Servidor Web, Servidor API y un Servidor de Bases de Datos; estos servidores forman parte de cada uno de los módulos.

El Módulo Electrónico, dentro del sistema será el encargado de realizar la medición del consumo de agua potable del usuario. Este módulo hará uso de los Servidores de API y Base de Datos para el almacenamiento de los valores de consumo.

Por otro lado, el Módulo Web dentro del sistema tiene el papel de gestionar a los usuarios, medidores y administradores; por lo cual este módulo tiene una aplicación web, la cual será alojada en un servidor web para que sea accesible desde cualquier lugar. Además, este módulo hará el uso de los Servidores API y Base de Datos para obtener, almacenar, eliminar o editar información.

Por último, se tiene el Módulo Móvil, el cual consta de una aplicación móvil que se deberá instalar en un Smartphone con el sistema operativo Android. Esta aplicación hará el uso de los Servidores de API y Base de Datos para realizar consultas de consumo de agua potable de un medidor en específico.

Diseño de los módulos del prototipo

Módulo electrónico

Para el módulo electrónico se determinarán los componentes necesarios para el funcionamiento de la parte de hardware y el diseño del software. El hardware de este módulo se encuentra compuesto de varios componentes los cuales se muestran en la Fig. 5.

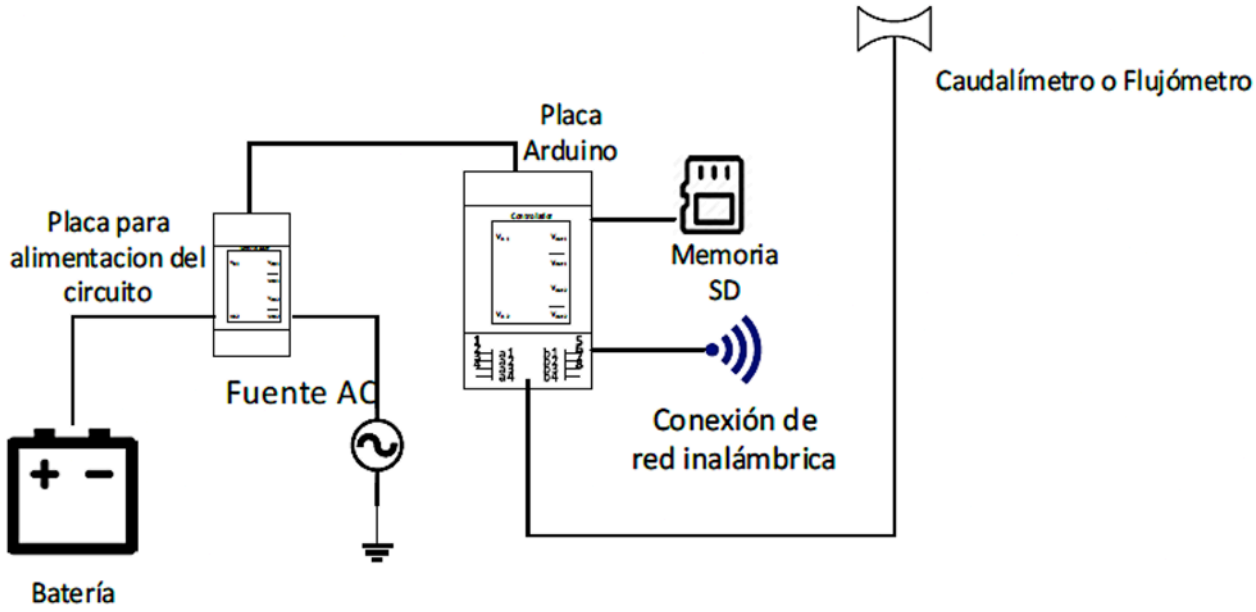


Fig. 5. Módulo Electrónico.

Cada uno de estos elementos cumplen un propósito específico dentro del módulo electrónico.

Tabla 1. Elementos del módulo electrónico.

Elemento	Función
Placa de Alimentación del Circuito	Encargada de realizar la alimentación al circuito y de realizar el intercambio entre la energía normal y la energía de la batería; además recarga la batería cuando exista la presencia de la energía normal.
Placa Arduino	Esta placa junto con el chip ESP8266, será la encargada de tener la lógica de funcionamiento de todo el medidor electrónico.
Flujómetro	Este elemento será el encargado de producir pulsos eléctricos para que sean leídos y procesados por la placa Arduino con el fin de obtener el consumo de agua utilizado.
Memoria SD	Encargado de almacenar el valor de consumo cuando no exista conexión hacia internet.
Batería	Encargada de dar respaldo de energía al medidor.

El sensor de flujo o caudalímetro YF-S201 tiene una válvula plástica, un rotor y un sensor de efecto hall; y es usado para líquidos de baja viscosidad como: bebidas gasificadas, bebidas alcohólicas, combustible, etc. El caudalímetro es compatible con la mayoría de los sistemas digitales como Arduino, Circuito Integrado Programable o PIC, Raspberry Pi, Controlador Lógico Programable, etc. [12].

El funcionamiento del caudalímetro empieza con el flujo del agua a través del rotor haciéndolo girar a diferentes velocidades, el rotor se encuentra unido a un imán el cual activa al sensor de efecto hall, generando un pulso eléctrico el cual puede ser leído por una entrada digital.

Para calcular el volumen del líquido que pasa a través del flujómetro se debe conocer el factor de conversión K de frecuencia a caudal el cual será diferente dependiendo del diámetro de la tubería. El fabricante especifica tres ecuaciones para el cálculo del volumen del líquido que pasa por el flujómetro. Estas ecuaciones se las detallan a continuación [40].

La Ecuación uno, es usada para calcular el caudal a partir de la frecuencia en un flujómetro YF-S201

$$f(Hz) = K * Q\frac{L}{min} \quad \textbf{(1)}$$

Una vez calculado el caudal que pasa a través del flujómetro se podrá calcular el volumen con la ecuación dos:

$$V = Vo + Q\Delta t \quad \textbf{(2)}$$

El valor de K dará la exactitud en la medida del flujómetro, por lo cual si se requiere una mayor exactitud en la medición se deberá realizar el cálculo del factor de conversión con la Ecuación 3.

$$K = \frac{N° \, Pulsos}{Volumen*60} \quad \textbf{(3)}$$

Para la programación de los módulos se presentan los siguientes diagramas de flujo, en los que se representa de manera gráfica el algoritmo del proceso de la programación estructurada, en la Fig. 6 se representa el proceso principal del funcionamiento del sistema, en el cual existen las etiquetas [A, B, C] las cuales representan a funciones cuyo algoritmo de funcionamiento se lo detallará en distintos diagramas de flujo.

La etiqueta "A" dentro de la Fig. 6 representa al algoritmo para el ingreso del valor de consumo de agua potable en la base de datos; este algoritmo se encuentra detallado en la Fig. 7. La etiqueta "B" dentro de la Fig. 6 representa el algoritmo para almacenar en la memoria SD el valor de consumo que no se haya podido ingresar en la base de datos debido a que no existe conexión a internet, no se ha conectado a una red inalámbrica o si el servicio web para el almacenamiento de valor de consumo no se encuentra disponible durante lapso de una hora (que se encontrará configurado en el módulo electrónico para que realice el ingreso del valor de consumo). Este proceso se lo muestra en la Fig. 8. La etiqueta "C" dentro de la Fig. 6 representa el algoritmo para el ingreso de valores de consumo que hayan sido almacenados en la memoria SD del medidor debido a la falta de conexión hacia internet; este proceso se lo muestra en la Fig. 9.

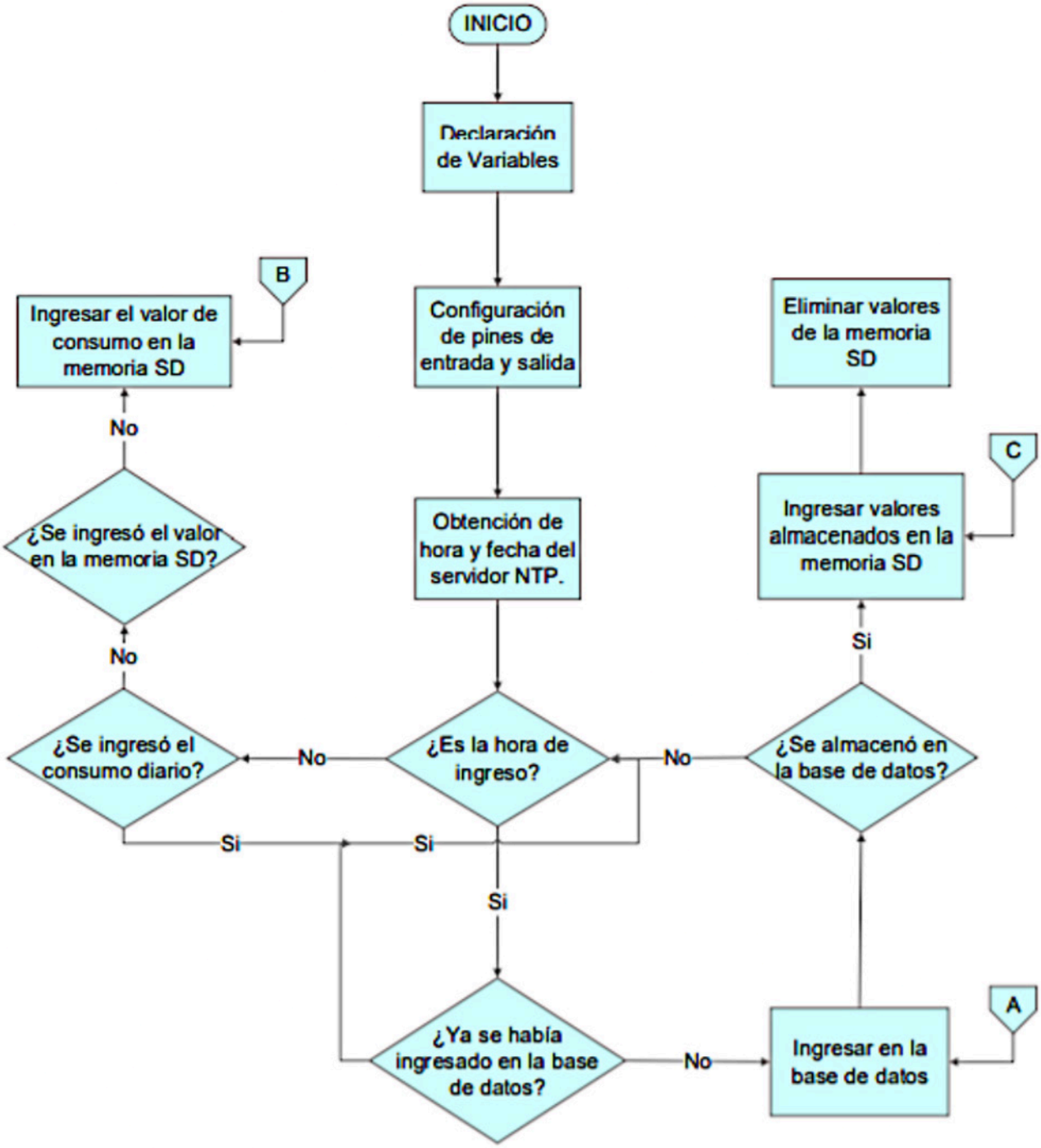


Fig. 6. Algoritmo principal del medidor electrónico.

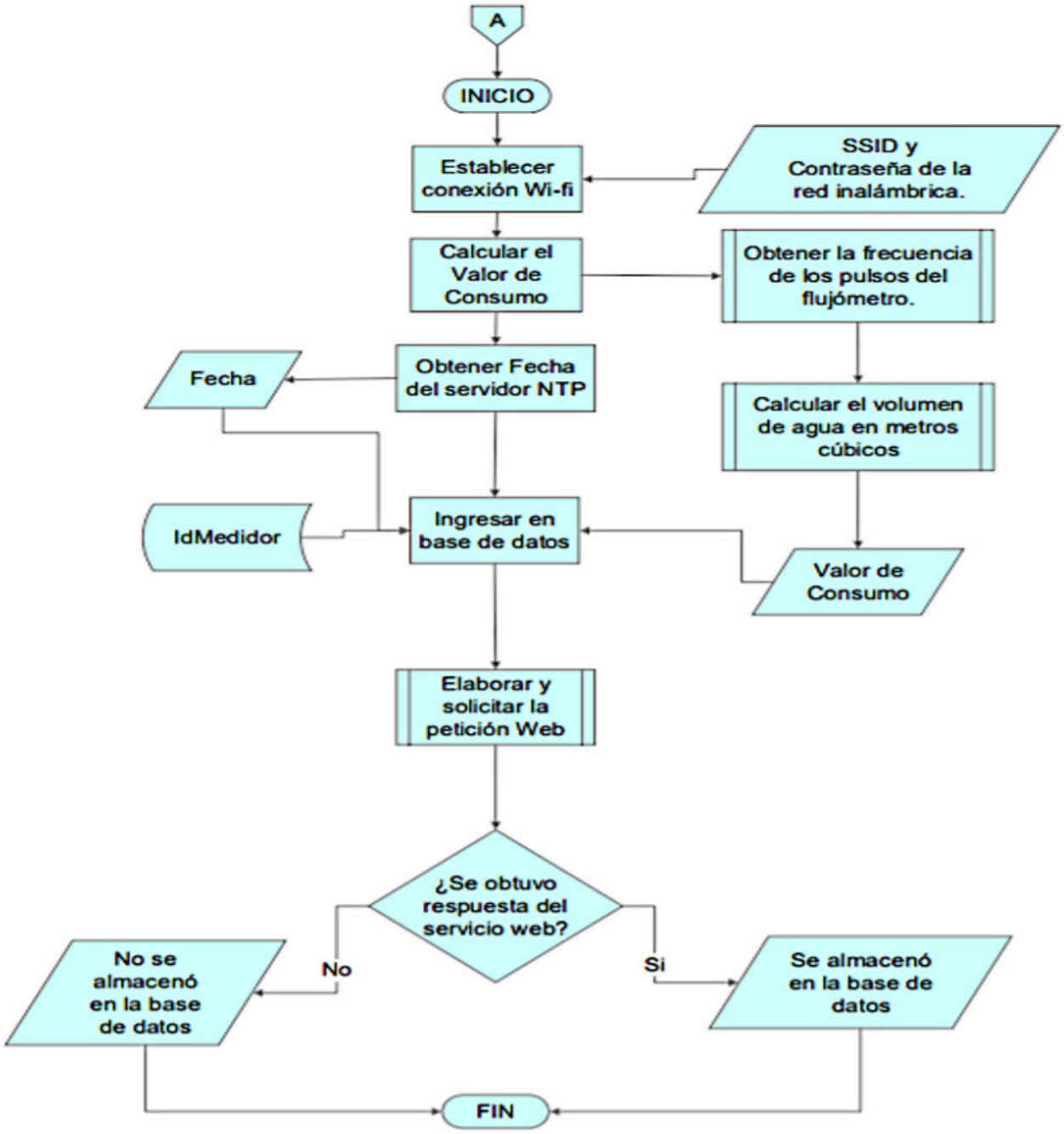


Fig. 7. Algoritmo de ingreso a la base de datos del valor de consumo.

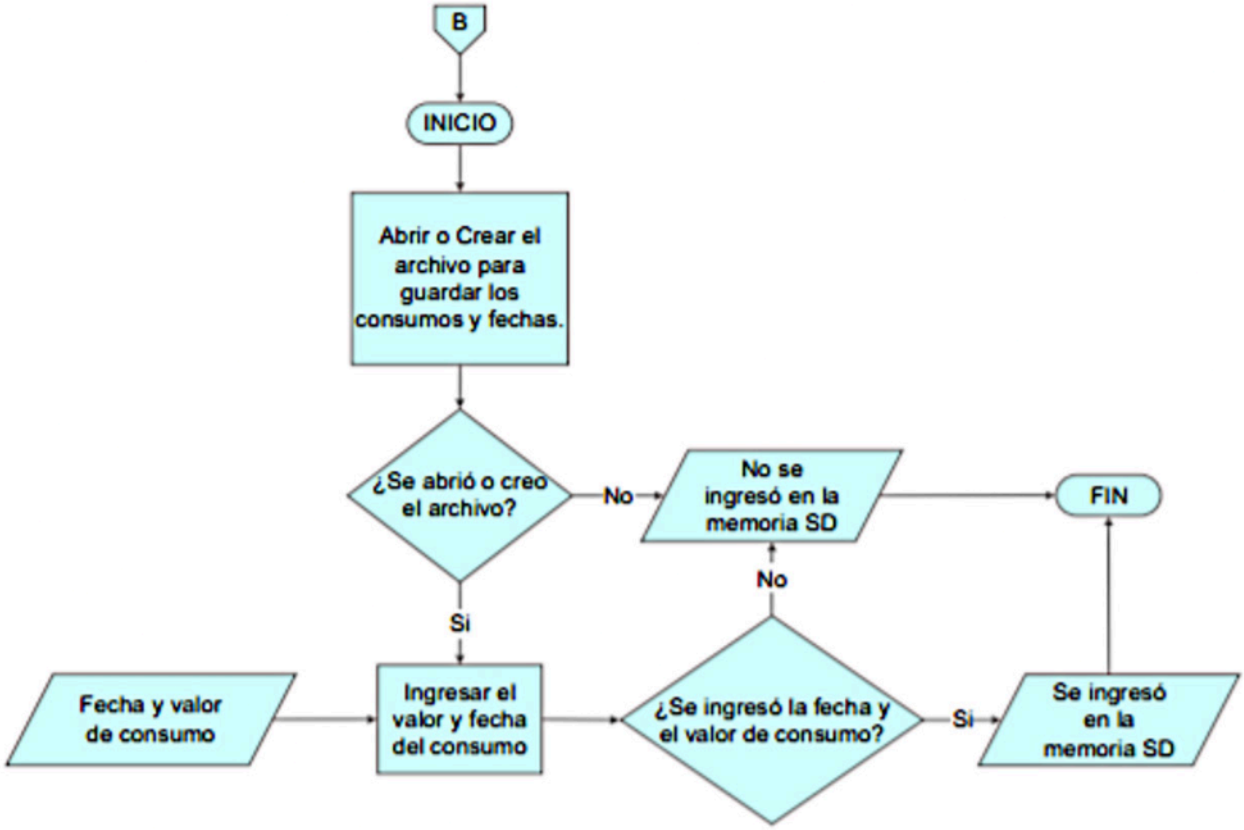


Fig. 8. Algoritmo de ingreso de valores a la memoria SD.

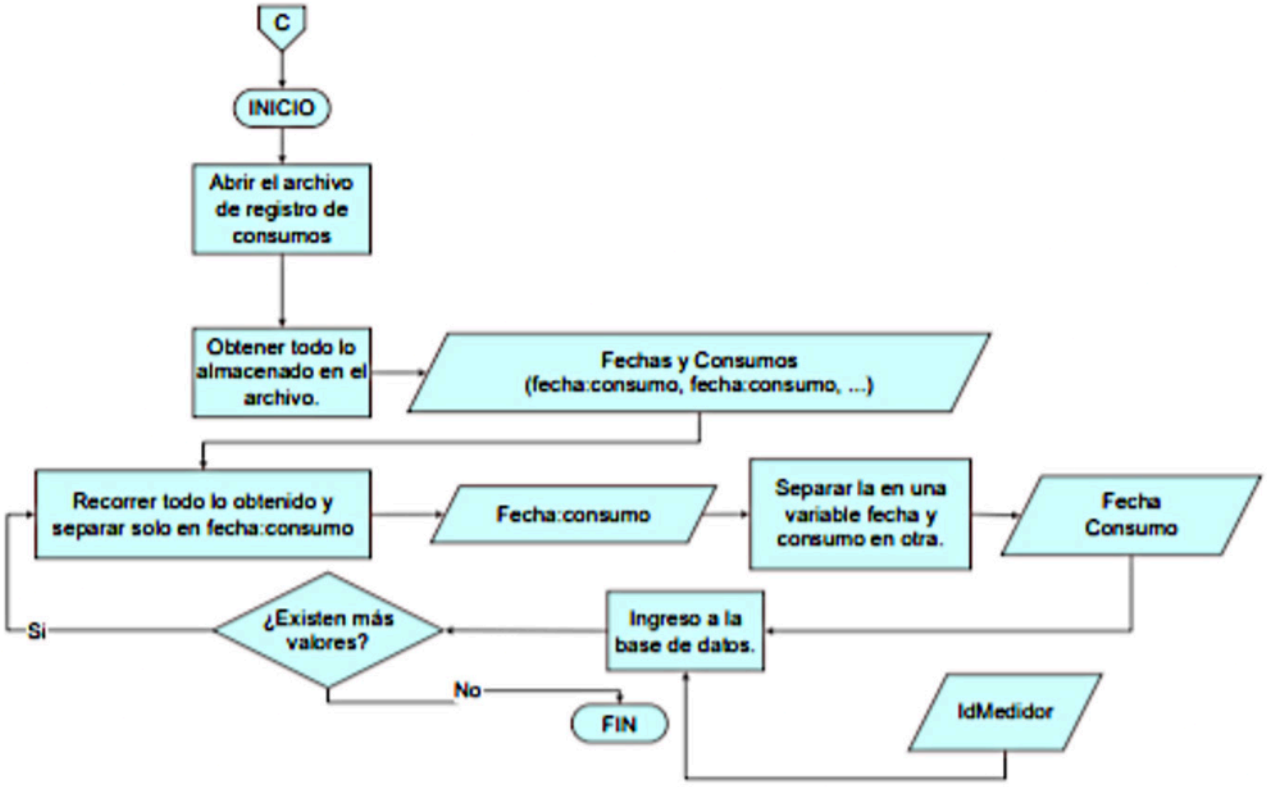


Fig. 9. Algoritmo de ingreso a la base de datos de valores de consumo atrasados.

Diseño de la capa de datos

La capa de datos es representada a través del diseño de un diagrama relacional entre entidades. El diseño de la base de datos MySQL se muestra en la Fig. 10. Se tiene cuatro entidades que intervendrán en el almacenamiento de datos. Cada una de estas entidades poseen campos, entre los cuales están las claves primarias y claves foráneas; las claves primarias son atributos con valores únicos en cada entidad y las claves foráneas son usadas para la relación entre las entidades.

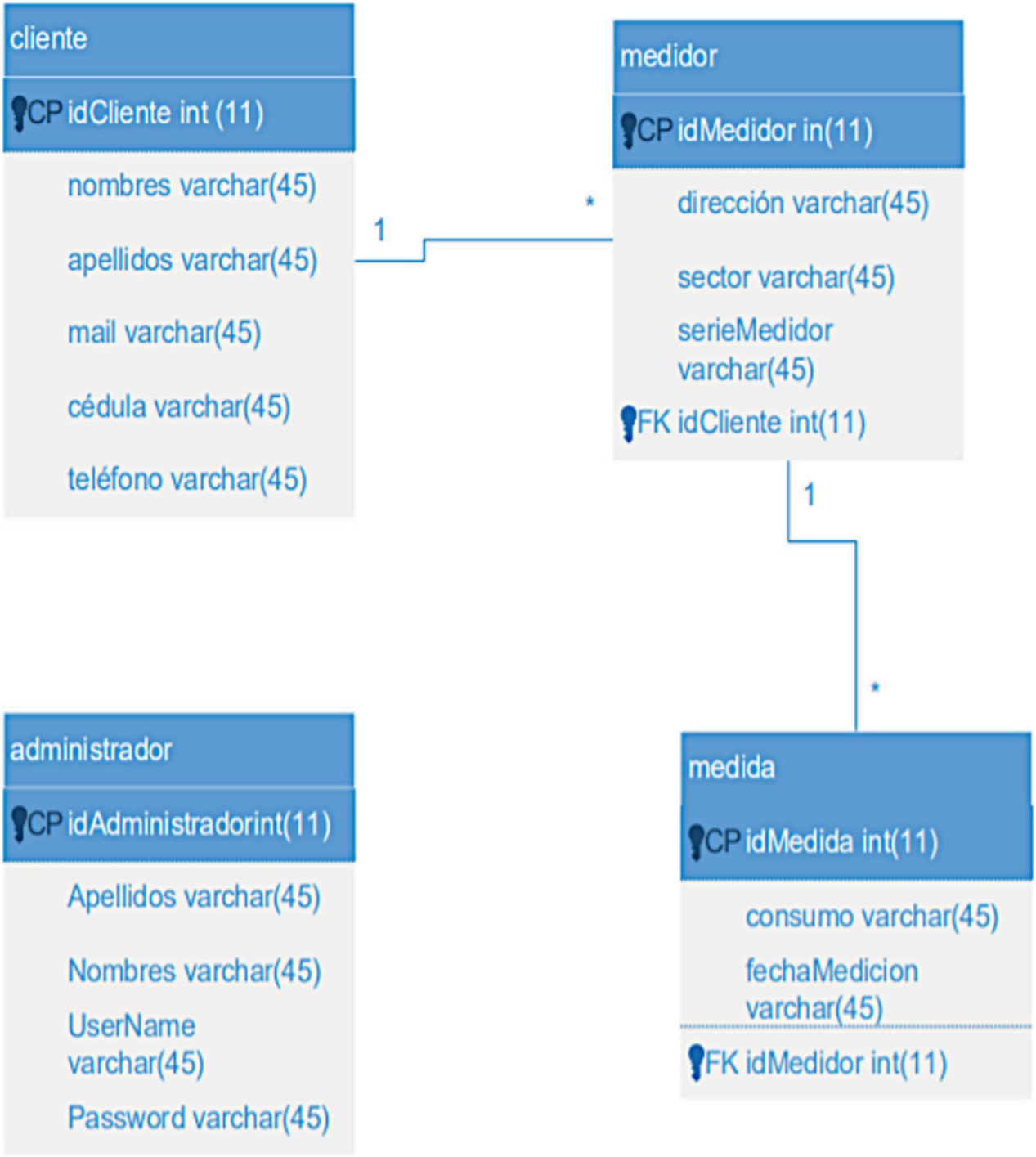


Fig. 10. Diagrama relacional entre entidades.

Por ejemplo, la entidad de medidor posee campos: ubicación (dirección, sector), identificación (idMedidor, serieMedidor) y la clave foránea (idCliente). Esta clave foránea se la tiene debido a que un cliente puede tener varios medidores, por lo cual, existe una cardinalidad de "uno a muchos" entre la entidad Cliente y Medidor.

Tabla 2. Descripción de la entidad medidor.

CAMPO	TIPO	DESCRIPCIÓN
idMedidor	Número Entero	Campo usado como identificador único dentro del sistema para cada medidor.
Dirección	Cadena de caracteres	Campo usado para determinar la dirección donde se encuentra ubicado el medidor.
Sector	Cadena de caracteres	Campo usado para determinar el sector específico donde se encuentra el medidor, este campo se requiere ya que la dirección puede repetirse.
serieMedidor	Cadena de caracteres	Campo usado como identificador único del medidor para el cliente.
idCliente	Número Entero	Campo usado para determinar el cliente propietario del medidor.

Diseño de la capa de negocio

En la capa de negocio se estable los diferentes diagramas del proceso para la programación de los diferentes servidores del sistema remoto para la medición y visualización del consumo de agua. Para definir cada uno de los procesos se hará el uso de diagramas de casos de uso, diagramas de clases y diagrama del servicio web.

4.3.1 Diagramas de casos de uso

En el diagrama de casos de uso, se establece la descripción de las acciones o funciones que provee el sistema desde el punto de vista del usuario. A través de este tipo de diagramas se detalla el papel que desempeñan los usuarios dentro del sistema remoto para la medición y visualización del consumo de agua.

- El sistema divide a los usuarios en cuatro tipos de actores los cuales son: Administrador, Cliente, Usuario Sistema y Usuario Medidor.
- El Administrador, es el encargado de realizar la gestión (creación, lectura, actualización o eliminación) de usuarios, medidores. También de poder realizar consultas de consumo de cada uno de los medidores del sistema. Este usuario hace uso del módulo web.
- El Cliente, es aquel que hace uso del módulo electrónico y del módulo móvil para medir o verificar el consumo de agua respectivamente.
- El Usuario Sistema, es aquel que se encargará de realizar consultas de consumo, calcular el consumo de los meses de cada medidor o medidores de cada uno de los usuarios para el envío de las notificaciones al cliente, a través de un correo electrónico el cual es enviado al final de cada mes.

- El Usuario Medidor, es aquel que interviene en el sistema realizando la medición y el ingreso del consumo de agua en la base de datos o también lo almacena en una memoria SD si existen fallas en la conexión hacia internet, disponibilidad de los servicios web, etc.

Los Diagramas de Casos de Uso del sistema, involucran a todos los tipos de usuarios y todas las acciones que se pueden realizar dentro del sistema. A cada usuario se lo relaciona únicamente con las actividades que estos pueden realizar.

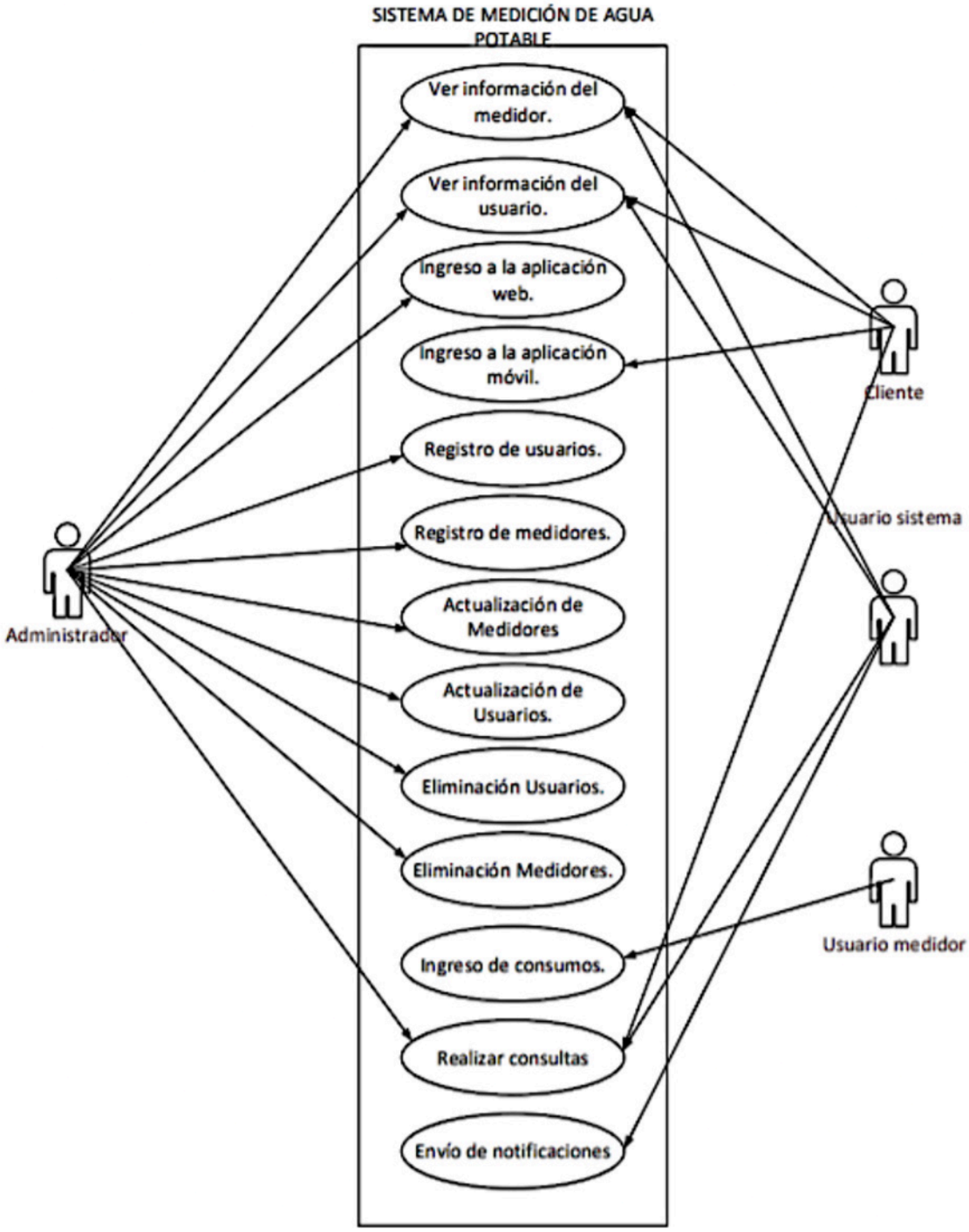


Fig. 11. Diagrama de casos de uso del sistema.

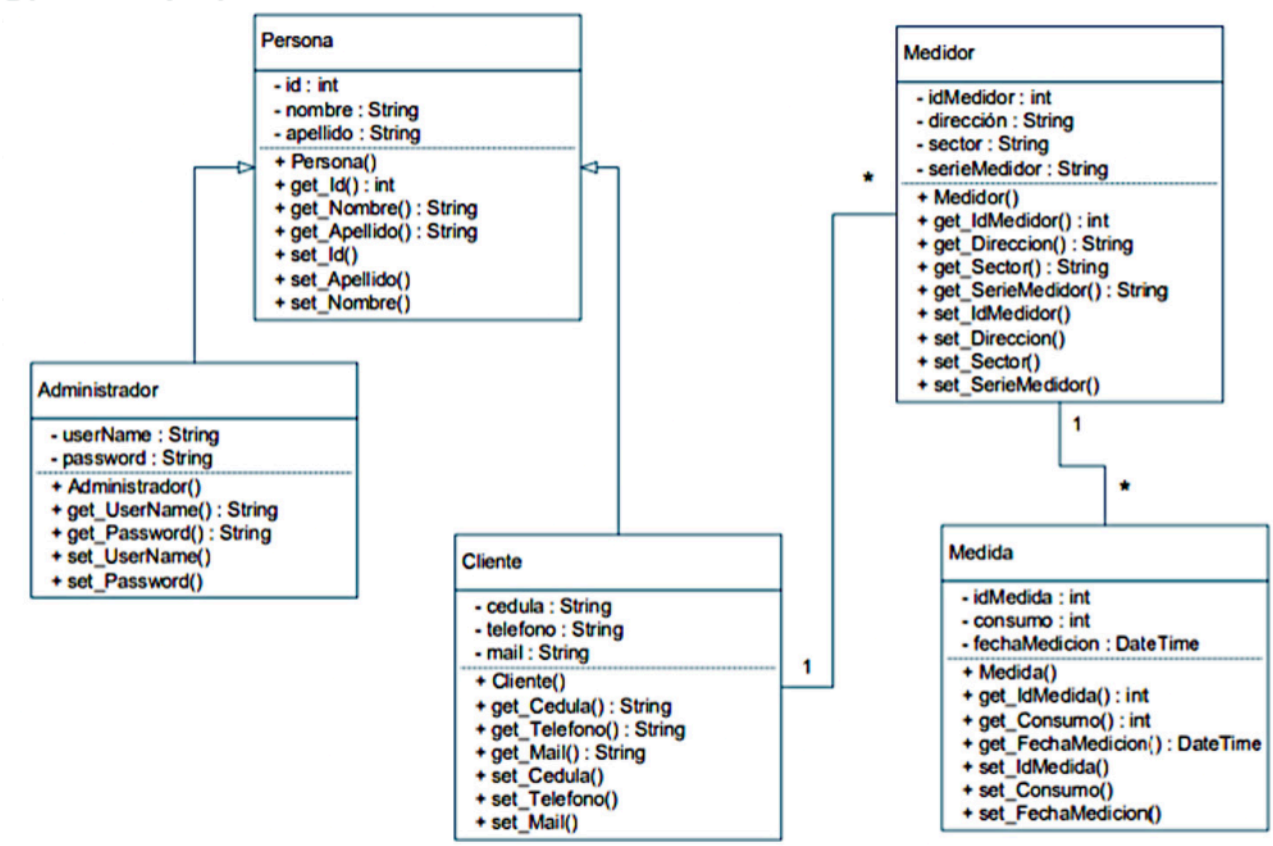


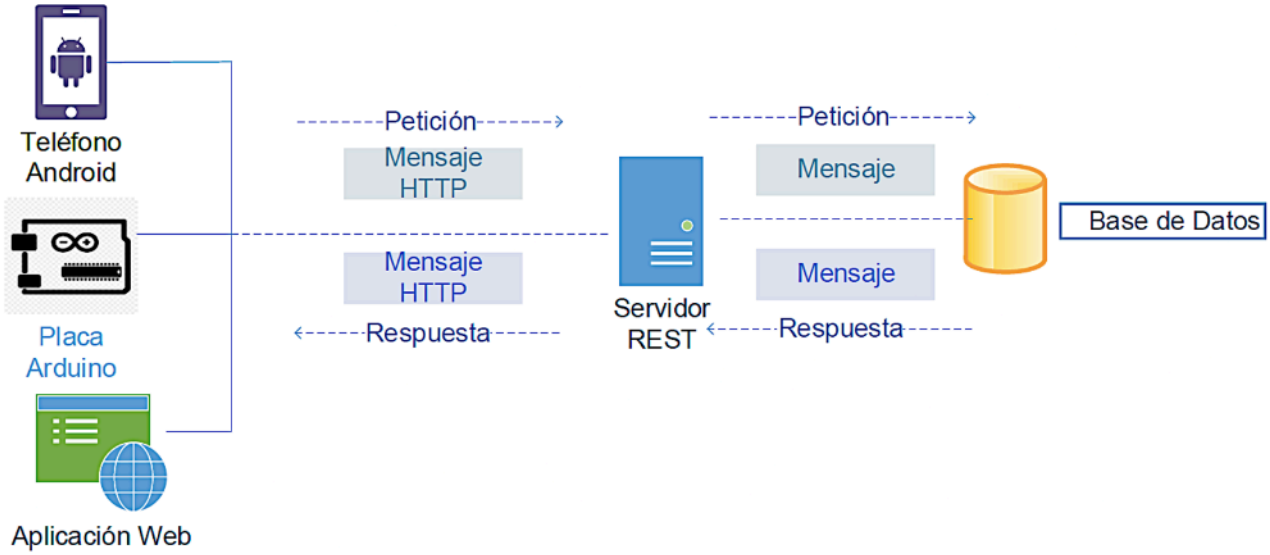
Fig. 12. Diagramas de clases del sistema.

Cada una de estas clases tienen sus propios atributos y métodos que son diferentes a las otras clases, por ejemplo, la clase Medidor posee atributos de diferentes tipos de datos y de acceso los cuales se detalla en la tabla 3. Además, se tiene los métodos "get" y "set" para cada uno de los atributos, los cuales servirán para conseguir y establecer su valor correspondiente.

Tabla 3. Descripción de la clase medidor.

ATRIBUTO	TIPO DE DATO	TIPO DE ACCESO	DESCRIPCIÓN
idMedidor	Numero entero	Privado (-)	Identificador único del medidor dentro del sistema.
Dirección	Cadena de caracteres	Privado (-)	Atributo usado para identificar la dirección de la ubicación del medidor.
Sector	Cadena de caracteres	Privado (-)	Atributo usado para identificar el sector de la ubicación del medidor.
serieMedidor	Cadena de caracteres	Privado (-)	Identificador único del medidor para él usuario.

Diagrama del servicio web



Los servicios web usados para el sistema de medición de consumo de agua son del tipo REST. Para el funcionamiento de este tipo de servidor el usuario deberá conocer la dirección IP del servidor o el nombre de dominio; además de conocer la estructura de las URIs para la solicitud de los diferentes servicios.

El funcionamiento del servicio tipo REST se presenta en la Fig.13.

Fig. 13. Funcionamiento de un servicio web.

Cada uno de los servicios web son diseñados siguiendo el funcionamiento de la Fig. 13. y estos contendrán las acciones necesarias para el cumplimiento de los requerimientos funcionales del sistema, por lo cual, cada servicio web realizará una acción (leer, escribir, editar o borrar) en la base de datos.

Diseño de la capa de presentación

En este apartado se detalla, el diseño de las interfaces de las aplicaciones web y móvil, por medio de las cuales el usuario podrá ingresar para saber el consumo del agua. Para lo cual se hará uso de la aplicación Balsamiq Wireframes, la cual es una herramienta que permite el diseño rápido de interfaces de usuario [13].

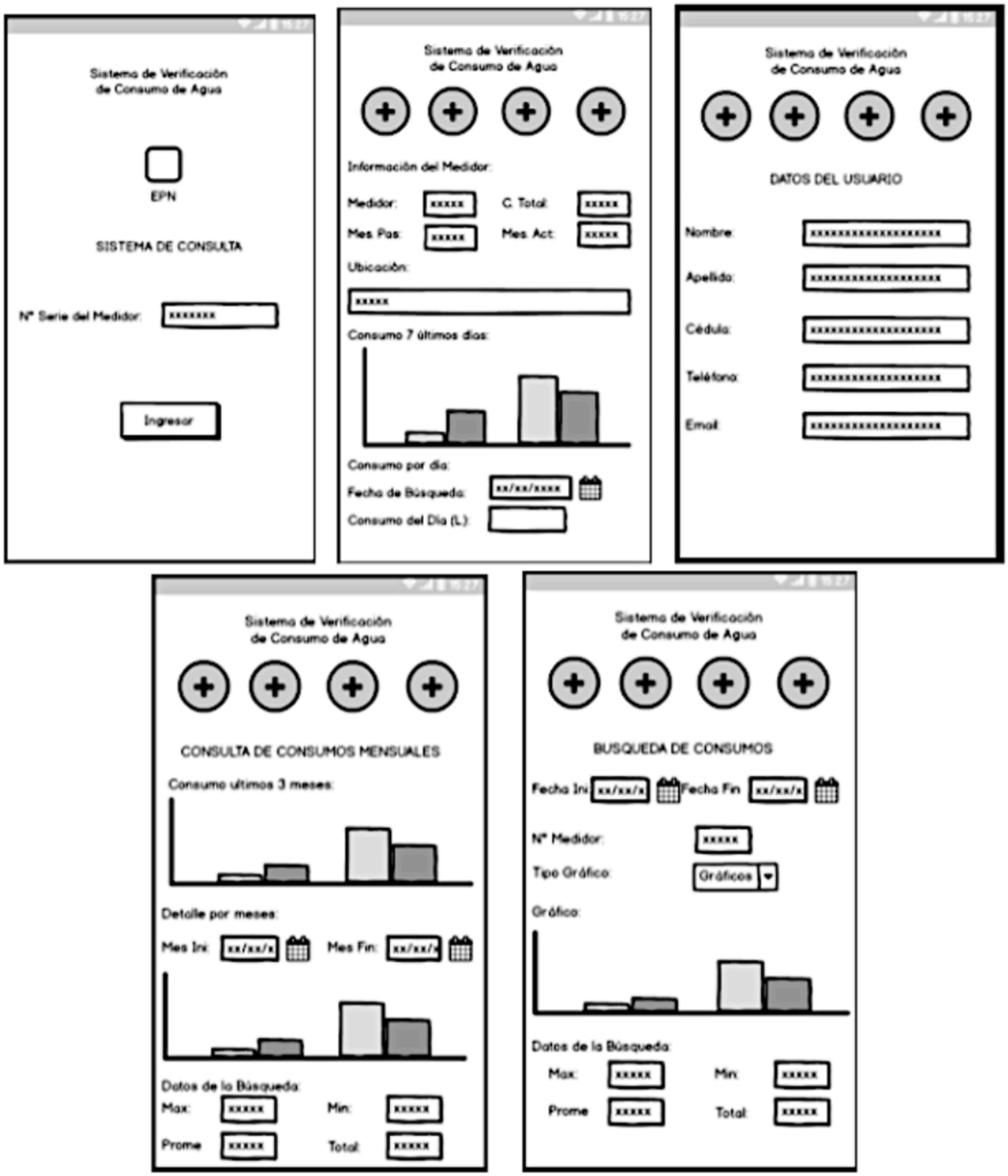
Interfaz del módulo móvil

El Módulo Móvil tiene cinco pantallas con el fin de cumplir las acciones establecidas para los requerimientos funcionales del sistema de medición del consumo de agua potable. Los bosquejos de la aplicación móvil se muestran en la Fig. 14.

Al inicio de la pantalla del aplicativo móvil muestra el ingreso del usuario y del número de

serie del medidor el cual será único; con el objetivo de poder realizar la consulta de varios medidores de los cuales se tenga el número de serie.

La segunda pantalla, presenta la información básica del medidor y los últimos consumos que se han registrado en el sistema. Además, se podrá realizar consultas del consumo de



agua potable por día.

La tercera pantalla, presenta la información del cliente propietario del medidor.

En la cuarta pantalla, se puede realizar las consultas mensuales del consumo de agua del medidor y saber los valores de consumo máximo, mínimo, promedio y la suma total de los

consumos realizados en los meses en los que se realice la consulta.

En la quinta pantalla, el usuario puede realizar las consultas del consumo de una fecha especifica y escoger el tipo de diagrama de presentación (Barchar, LineChart, PointChart, RadialGaugeChart, DonutChart, RadarChart) y además de observar valores de consumo máximo, mínimo, promedio y la suma total de los consumos de los días que se haya realizado la consulta.

Fig. 14. Interfaces módulo móvil.

Interfaz del módulo web

El módulo web no requiere de instalación, el usuario administrador puede hacer uso de esta aplicación a través de un navegador web, para lo cual el usuario debe conocer el nombre de dominio en donde se encuentre la aplicación. Una vez que el administrador ingrese el nombre del dominio o URL, ejemplo, "www.apliacionweb.com", se le presentará una página web en donde el administrador deberá realizar el ingreso de los parámetros requeridos para realizar la autenticación e ingreso al sistema. El bosquejo de la pantalla para realizar la autenticación del usuario se muestra en la Fig. 15.

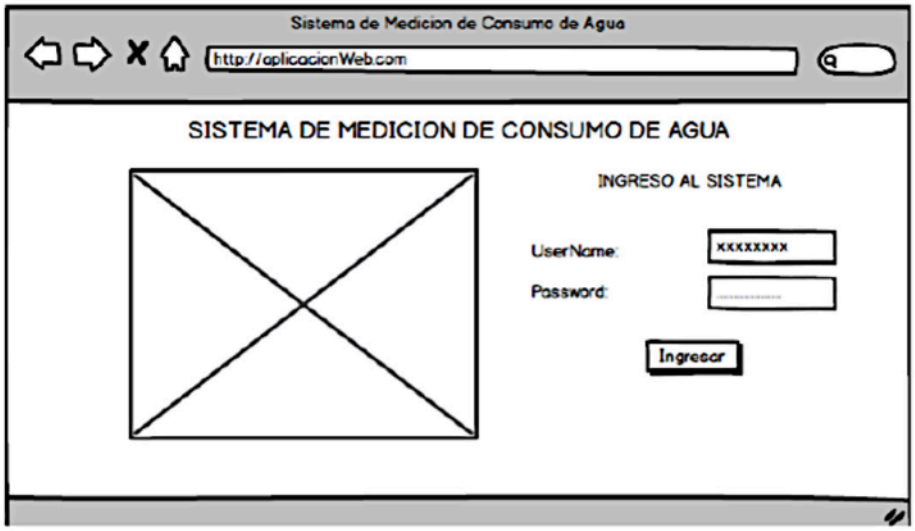
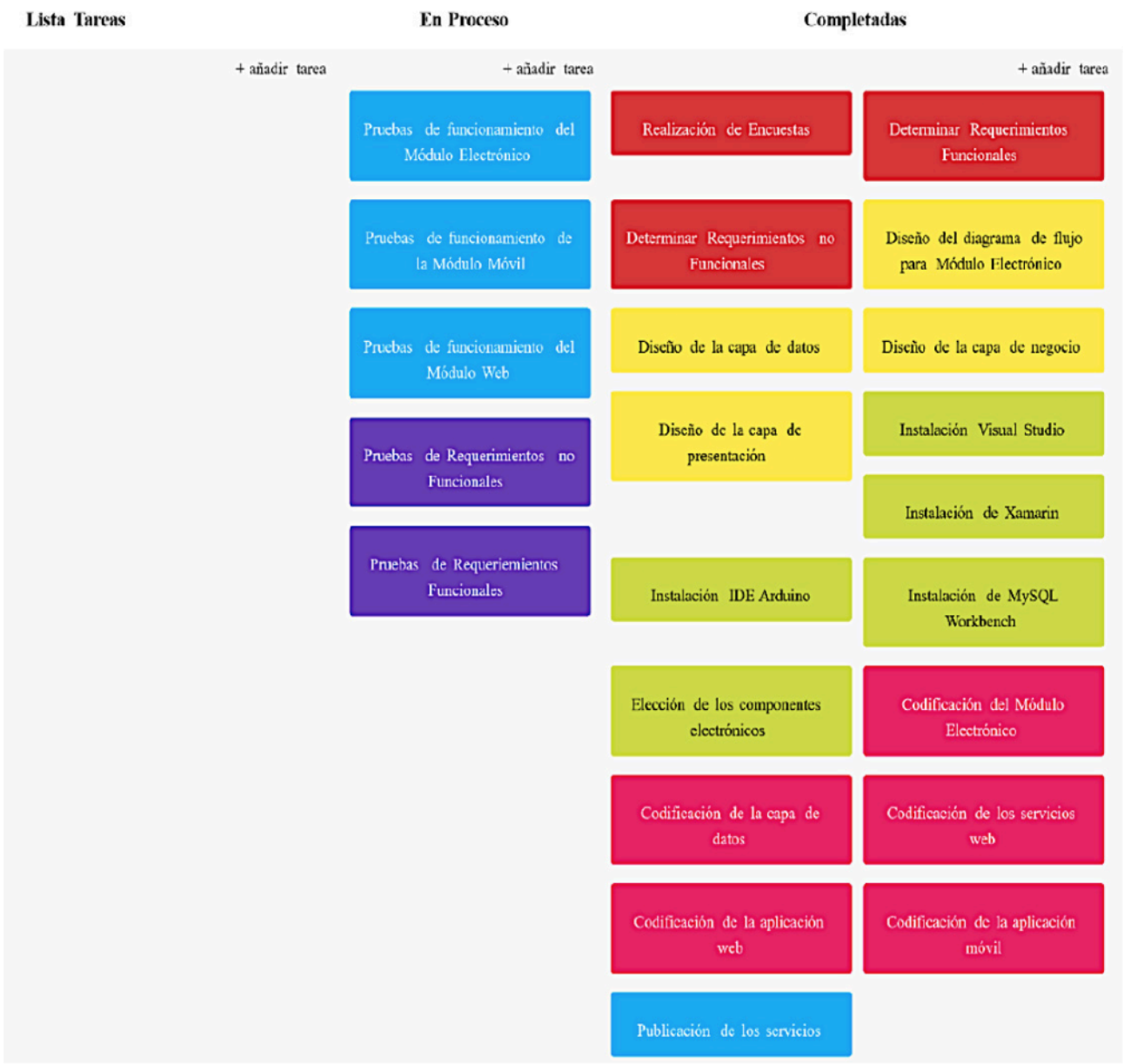


Fig. 15. Interfaz de ingreso a la aplicación web.

Desde esta interfaz el administrador podrá realizar la navegación a través del sistema mediante un panel situado en el lado izquierdo en donde se encuentra las diferentes opciones. Una de las opciones es "MEDIDORES" en donde se encuentra un menú de "Consultar" en la cual se podrá realizar la consulta del consumo de los distintos medidores registrados. Una vez se ingrese a esta opción se mostrará la interfaz de la Fig. 16.


Lista Tareas
En Proceso
Completadas
+ añadir tarea
+ añadir tarea
+ añadir tarea
Pruebas de funcionamiento del Módulo Electrónico
Pruebas de funcionamiento de la Módulo Móvil
Pruebas de funcionamiento del Módulo Web
Pruebas de Requerimientos no Funcionales
Pruebas de Requeriemientos Funcionales
Realización de Encuestas
Determinar Requerimientos no Funcionales
Diseño de la capa de datos
Diseño de la capa de presentación
Instalación IDE Arduino
Elección de los componentes electrónicos
Codificación de la capa de datos
Codificación de la aplicación web
Publicación de los servicios
Determinar Requerimientos Funcionales
Diseño del diagrama de flujo para Módulo Electrónico
Diseño de la capa de negocio
Instalación Visual Studio
Instalación de Xamarin
Instalación de MySQL Workbench
Codificación del Módulo Electrónico
Codificación de los servicios web
Codificación de la aplicación móvil

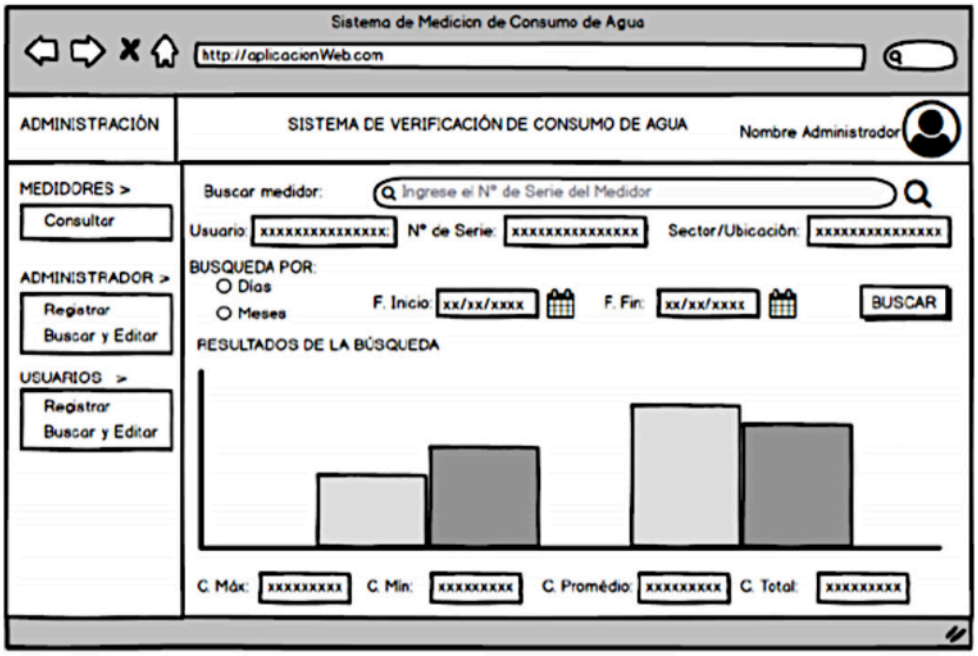


Fig. 16. Interfaz para realizar la consulta de consumos.

Resultados y discusión

Se realizaron diferentes pruebas a los distintos módulos que conforman el sistema, con el fin de determinar su correcto funcionamiento. Se llevó a cabo la actualización del tablero Kanban para la realización de las pruebas, como se muestra en la Fig. 17

Fig. 17. Tablero Kanban de pruebas.

Para la realización de las pruebas del módulo electrónico, se realizó la instalación del módulo en una casa y la verificación de su funcionamiento de cada una de las partes y sus requerimientos funcionales. En la Fig. 18 se muestra la instalación del módulo electrónico.

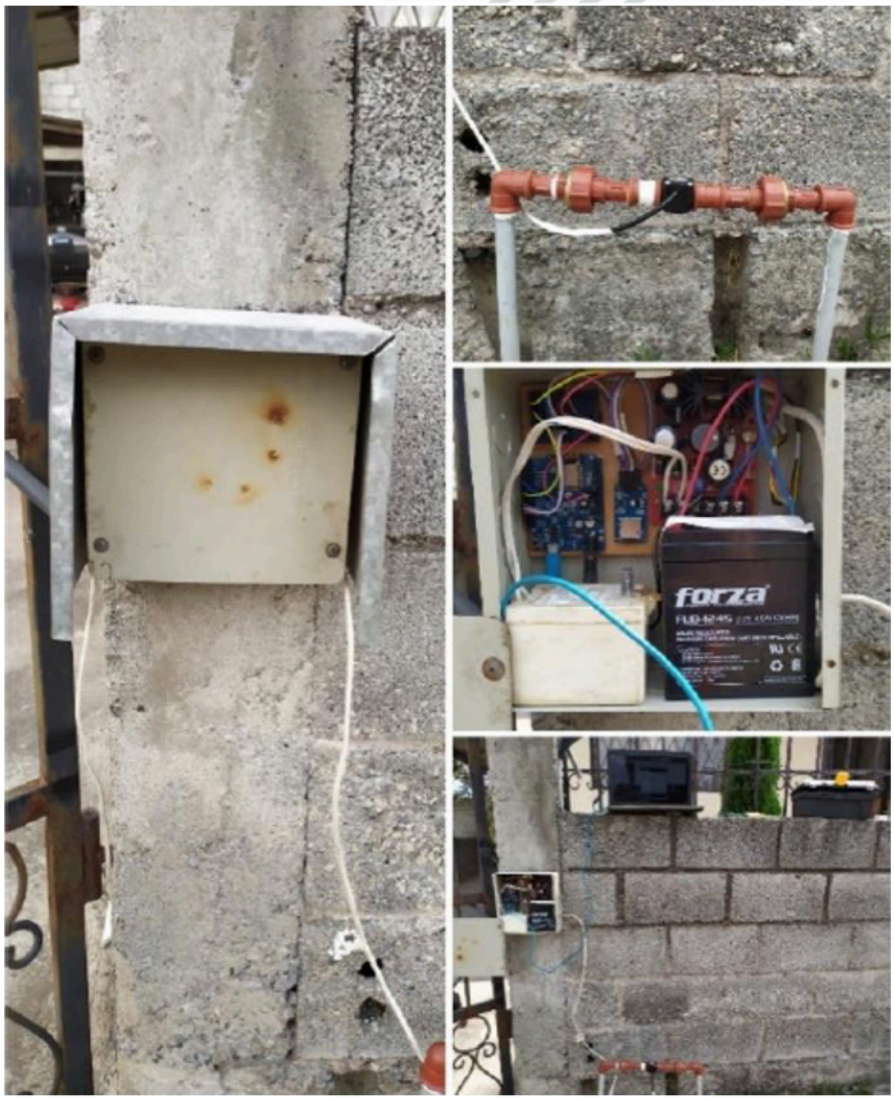


Fig. 18. Instalación del módulo electrónico

Los requerimientos funcionales del módulo electrónico se detallan en la tabla 4

Tabla 4. Requerimientos funcionales del módulo electrónico.

Requerimiento funcional	Descripción
RF-01	La placa Arduino debe ser capaz de conectarse a la red inalámbrica del usuario.
RF-02	Debe realizar el ingreso del valor de consumo a la base de datos.
RF-01	El valor de consumo debe ser almacenado en una memoria SD si no existe conexión a internet para el ingreso en la base de datos.
RF-04	El medidor debe funcionar de manera ininterrumpida.

El módulo electrónico tiene un funcionamiento correcto al momento de almacenar en la memoria microSD o en la base de datos, sin embargo, existen diferencias entre los valores obtenidos por el prototipo y el medidor de agua actual. Esto puede ser debido a la apreciación que se tuvo al momento de observar el valor en el medidor de agua actual, pero concluidas las mediciones, el margen de error se acerca al 0,98%, por lo cual, las mediciones entre el prototipo y el medidor actual son semejantes.

Para establecer el correcto funcionamiento del módulo web, se realizaron las pruebas necesarias para el cumplimiento de los requerimientos funcionales que se encuentran en la tabla 5.

Tabla 5. Requerimientos funcionales del módulo web.

Requerimiento funcional	Descripción
RF-05	Debe realizar una autenticación mediante un nombre de usuario y contraseña.
RF-06	Debe permitir la administración de los usuarios.
RF-07	Debe permitir la administración de los medidores.
RF-08	Debe permitir realizar consultas de consumos de cada medidor.
RF-09	Debe permitir el envío de notificaciones mediante correos electrónicos.

Para establecer el correcto funcionamiento del módulo móvil, se realizaron las pruebas necesarias para el cumplimiento de los requerimientos funcionales que se encuentran en la tabla 6.

Tabla 6. Requerimientos funcionales del módulo móvil.

Requerimiento funcional	Descripción
RF-10	Debe mostrar la información del usuario del medidor.
RF-11	Se debe realizar el ingreso a la aplicación móvil mediante el número de serie del medidor.
RF-12	Se debe mostrar el consumo total y consumo de meses anteriores.
RF-13	Debe realizar consultas de los consumos por día, días y meses.

Por otro lado, los Módulos Móvil y Web que se presentaron a los usuarios disponen de una interfaz amigable y de fácil manejo.

Conclusiones

El desarrollo del prototipo de un sistema remoto para la medición y visualización del consumo de agua es una manera innovadora y actual para la lectura del valor de consumo de agua. El prototipo consta de un módulo electrónico, módulo web y módulo móvil, los cuales, permiten realizar la lectura remota, la medición del valor de consumo de agua, la gestión del sistema y la ejecución de consultas de los valores de consumo de agua a un cliente de una manera sencilla.

Las tecnologías, herramientas y lenguajes de programación que se utilizaron para el desarrollo del prototipo se las eligió en base a los conocimientos referentes al desarrollo de software como: Bases de Datos Relacionales, Programación Orientada a Objetos y Aplicaciones Distribuidas. Las herramientas seleccionadas fueron: C#, C, SQL como lenguajes de programación y MySQL Workbench, Visual Studio, Arduino IDE, Microsoft Azure.

El uso de la metodología ágil Kanban para el desarrollo del prototipo fue de gran utilidad, debido a que se logró organizar el trabajo en distintas tareas y conocer el estado en el que se encontraban en el desarrollo del prototipo en cualquier momento.

El diseño de cada uno de los módulos se lo realizó en base a los requerimientos funcionales y no funcionales que fueron adquiridos mediante encuestas realizadas a usuarios del sistema de medición de agua potable. Con estos requerimientos se procedió a realizar diagramas de flujo, diagramas de clases, diagramas de casos de uso, un diagrama Entidad-Relación para la base de datos, con el fin de satisfacer los requerimientos obtenidos de las encuestas.

La implementación del prototipo se lo realizó siguiendo el diseño y el desarrollo por capas de software (datos, lógica y presentación); el mismo que, permite el funcionamiento del prototipo y se divida en tres distintas partes independientes, además, que puedan existir distintos grupos de desarrolladores y que cada uno de estos equipos trabajen en una sola capa sin afectar a los otros.

Los resultados adquiridos en la fase de pruebas de los requerimientos funcionales y no funcionales del prototipo determinaron que, el prototipo presenta un correcto funcionamiento. El módulo electrónico presenta un error en la medida de consumo, esto se debería a que el medidor mecánico actual presenta agujas analógicas para revisar el consumo realizado y por tal motivo se pudo haber cometido un error de apreciación del valor medido. Además, se estableció que las aplicaciones que se desarrollaron son amigables para el usuario, puesto que, presentan formularios claros para el ingreso de información, así como también, gráficos que facilitan al usuario el entendimiento de los datos que se muestran.

Referencias

A. System, "La nueva revolución del mundo conectado", 2018. [En línea]. Disponible en: https://accent- systems.com/es/nb-iot/. [Consultado: 17-dic-2018].

C. Rehbein, "Nueva tecnología para medidores de agua dará mayor información a los clientes.", 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.publimetro.cl/cl/noticias/2017/02/15/nueva- tecnologia-medidores-agua-dara-mayor-informacion-clientes.html. [Consultado: 15-nov-2018].

M. Quishpe, "Telemetria O Telectura Para Medidores De Agua Potable En El Centro Del Dmq", INSTITUTO DE ALTOS ESTUDIOS NACIONALES, 2008.

BMETERS, "Dispositivi per reti LoRaWAN", 2018.

Iagua, "Lectura remota de contadores con la solución innovadora SensusRF", 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.iagua.es/noticias/espana/sensus/17/10/19/lectura-remota-contadores-solucion-innovadora-sensusrf. [Consultado: 06-sep-2019].

IBM, "Servicios Web". [En línea]. Disponible en: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SS7K4U_9.0.0/com.ibm.websphere.zseries.doc/ae/cwbs_wbs2.html. [Consultado: 22-abr-2019].

A. R. García Núñez, "Restful: un caso de uso de gestión de bibliotecas", 2017. [En línea]. Disponible en: http://oa.upm.es/45203/12/TFG_ADOLFO_RODRIGO_GARCIA_NUNEZ.pdf. [Consultado: 02-nov-2019].

RedHat, "Cloud Computing". [En línea]. Disponible en: https://www.redhat.com/es/topics/cloud-computing/what-is-private-cloud. [Consultado: 25-sep-2019].

"Cloud Computing - Aplicaciones en un solo tacto". [En línea]. Disponible en: https://www.salesforce.com/mx/cloud-computing/. [Consultado: 26-sep-2019].

D. G. IONOS, "IaaS", 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/que-es-iaas/. [Consultado: 17-oct-2019].

S. Labs, "KanbanTool". [En línea]. Disponible en: https://kanbantool.com/es/. [Consultado: 13-nov-2019].

M. Naylamp, "Sensor de flujo de agua 1/2" YF-S201". [En línea]. Disponible en: https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/108-sensor-de-flujo-de-agua-12-yf-s201.html. [Consultado: 18-sep-2019].

B. Studios, "Balsamip". [En línea]. Disponible en: https://balsamiq.com/wireframes/. [Consultado: 11-may-2020].

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

SCIENTIA ET THECNICUS IN SERVITIUM POPULI

UTN

AUTÓNOMA DESDE 1986

IBARRA - ECUADOR ®

INNOVATION DEVELOPMENT ENGINEERRING APPLIED SCIENCE

INNOVATION DEVELOPMENT ENGINEERRING APPLIED SCIENCE

INNOVATION DEVELOPMENT ENGINEERRING APPLIED SCIENCE

INNOVATION DEVELOPMENT ENGINEERRING APPLIED SCIENCE

INNOVATION DEVELOPMENT ENGINEERRING APPLIED SCIENCE

INNOVATION DEVELOPMENT ENGINEERRING APPLIED SCIENCE

INNOVATION DEVELOPMENT ENGINEERRING APPLIED SCIENCE

INNOVATION DEVELOPMENT ENGINEERRING APPLIED SCIENCE



35 años

Ciencia y técnica AL SERVICIO DEL PUEBLO

EDITORIAL UTN

IBARRA - ECUADOR