

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

INGENIO

Vol. VI, N° 2, 2023 / ISSN:2588-0829

e-ISSN:2697-3243



INGENIERÍA, INNOVACIÓN E INVESTIGACIÓN

Revista Ingenio es una revista semestral de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Central del Ecuador fundada en el año 2017 | Vol. 6, núm. 2 | julio-diciembre 2023 | p-ISSN 2588-0829 e-ISSN 2697-3243 |

Autoridades

Dr. Fernando Sempértegui Ontaneda, Ph. D.
Rector de la Universidad Central del Ecuador

Ing. Diego Paredes Méndez, M. Sc.
Decano, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Ing. Flavio Arroyo Morocho, Ph. D.
Subdecano, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Consejo Editorial

Ing. Diego Paredes Méndez, M. Sc., Presidente, Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Ing. Flavio Arroyo Morocho, Ph. D., Editor, Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Ing. Abel Remache Coyago, MSc., Editor Académico, Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Lic. Tatiana Freire, Mgs., Editor de Sección, Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Dr. Jhohannes Pittz, MA., MIB., Ph. D. (c), Miembro, EU Business School Munich, ALEMANIA
Dra. Teresa Magal-Royo, Ph. D, Miembro, Universidad Politécnica de Valencia, ESPAÑA
Dr. Andrés Vivas Albán, Ph. D., Miembro, Universidad del Cauca, COLOMBIA
Dr. Boris Heredia Rojas, Ph. D., Miembro, Universidad del Norte, CHILE
Dr. Jaime Duque Domingo, Ph. D., Miembro, Universidad de Valladolid, ESPAÑA
Dr. Giovanni Herrera Enriquez, Ph. D., Miembro, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, ECUADOR
Dr. José Luis Paz, Ph. D., Miembro, Escuela Politécnica Nacional-EPN, ECUADOR
Dr. Jesús López Villada, Ph. D., Miembro, Universidad Internacional SEK, ECUADOR
Dr. Michel Vargas, Ph. D., Miembro, Escuela Politécnica Nacional-EPN, ECUADOR
Dr. Andrés Robalino-López, Ph. D., Miembro, Escuela Politécnica Nacional-EPN, ECUADOR
Dr. Kiyanoosh Golchin Rad, Miembro, Pukyong National University, SOUTH KOREA
Dr. Ali Bagheri Fard, Miembro, George Brown College, CANADÁ
Ing. Hamid Aadal, M. Sc., Miembro, Science & Technology Innovation-ADE, IRÁN
Dra. Esther Campos Serrulla, Ph. D., Miembro, Universidad Europea de Madrid, ESPAÑA
Dr. Alberto Sánchez, Ph. D., Miembro, Escuela de Ingenierías Industriales-UVA, ESPAÑA
Dra. Diana Ayala, Ph. D., Miembro, Universidad de Santo Tomás, COLOMBIA
Jaime Gómez García-Bermejo, PhD., Miembro, University of Valladolid, SPAIN

Consejo Asesor y Evaluador

Ing. Holger Santillán, MSc., Universidad Politécnica Salesiana, ECUADOR
Ing. Rogger Peña, M. Sc., Instituto Superior Tecnológico Simón Bolívar, ECUADOR
Ing. Christian Chimbo, M. Sc. Universidad de las Américas UDLA, ECUADOR
Ing. Isaac Bonilla, M. Sc. Universidad de las Américas UDLA, ECUADOR
Ing. Galo Flor Terán, MBA., Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ECUADOR
Ing. David Vivas, M. Sc., Universidad San Francisco de Quito USFQ, ECUADOR
Ing. Nicolay Yanchapaxi, MSc., Escuela Politécnica Nacional-EPN, ECUADOR
Ing. Angel Zambrano, M. Sc., Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ULEAM, ECUADOR
Ing. David Cárdenas, MSc., Universidad Politécnica Salesiana, ECUADOR
Ing. Christian Laverde, M. Sc., Universidad Tecnológica Equinoccial UTE, ECUADOR
Ing. Guillermo Albuja, Ph. D., Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ECUADOR
Mat. Rodrigo Bastidas, MSc., Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ECUADOR
Ing. Majid Khorami, M. Sc., Ph. D. (c), Universidad Tecnológica Equinoccial UTE, ECUADOR
Ing. Alvasazyazdi Mohammadfarid, Ph. D. (c), Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ULEAM, ECUADOR
Ing. Milton Moncayo, Ph. D., Universidad de Lieja, BÉLGICA
Ing. Diego Pinto, M. Sc., Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ECUADOR
Ing. María Alejandra Tapia, M. Sc., Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ECUADOR
Ing. Eduardo Cueva, M. Sc., Universidad Internacional del Ecuador UIDE, ECUADOR
Ing. Carlos Javier Vera, M. Sc., Pontificia Universidad Católica del Ecuador PUCE, ECUADOR
Ing. Masoud Khorami, M. Sc., investigador independiente, ECUADOR
Ing. Cristian Guamán, M. Sc., Universidad de Cuenca, ECUADOR
Ing. Carlos Quinatoa, M. Sc., Universidad técnica de Cotopaxi UTC, ECUADOR
Ing. Ana Gabriela Haro, Ph. D., Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, ECUADOR

Este número estuvo bajo la coordinación editorial del Ing. Flavio Arroyo, Ph. D., Ing. Abel Remache, M. Sc., y Lic. Tatiana Freire, M. Sc.

Revista Ingenio
fing.revista.ingenio@uce.edu.ec
vicedecanat.fing@uce.edu.ec
<http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/INGENIO/index>

Diseño y diagramación | Christian Echeverría
Corrección de textos | Marcelo Acuña
Portada | Jonathan Morales

Editorial Universitaria, 2023
Ciudadela Universitaria, av. América, s. n.
Quito, Ecuador
+593 (02) 2524 033
editorial@uce.edu.ec



Los contenidos pueden usarse libremente, sin fines comerciales y siempre y cuando se cite la fuente. Si se hacen cambios de cualquier tipo, debe guardarse el espíritu de libre acceso al contenido.

ÍNDICE

Ubicación óptima de reconectores en el alimentador primario “G” de la subestación Cristianía perteneciente a la Empresa Eléctrica Quito	4
<i>Jiménez D., Quinatoa C., Sisa V.</i>	
Hormigón preparado mediante materiales reciclados de la construcción	22
<i>Contreras L., Peñafiel L., Cabrera J., Abril B.</i>	
Gestión energética para optimizar los indicadores de desempeño IDEn del suministro eléctrico en el Hospital Básico Yerovi Mackuart del cantón Salcedo en la provincia Cotopaxi en el año 2022.	29
<i>Arias F., Quinatoa C.</i>	
Validación de un test de matemática evaluado a estudiantes que ingresan a la educación superior, empleando el modelo de Rasch.....	45
<i>Guamán E., Murillo M., Castro J.</i>	
Fortalecimiento lingüístico fonológico perceptivo a niños con TDAH mediante el uso de realidad aumentada (RA)	55
<i>Garcés L. López K., Mayorga S., Navas P.</i>	
Automatización de alimentadores en sectores urbanos de una empresa de distribución de energía eléctrica de Ecuador.....	62
<i>Quisimalín L., Laverde C.</i>	
Implementación de plástico polipropileno como material de contacto en aireadores de bandejas	71
<i>Enríquez C., Álvarez E.</i>	
Propuesta de aislamiento para mampostería de bloques de concreto en pórticos de hormigón armado	82
<i>Chalco E., Viera Luisa.</i>	
Normas para publicar en la revista Ingenio	94

La revista INGENIO es el órgano de divulgación especializada de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Central del Ecuador; su objetivo es la difusión de investigaciones técnicas y científicas en los campos de Ingeniería Civil, Ingeniería Informática/Sistemas de Información, Ingeniería en Diseño Industrial e Ingeniería en Computación Gráfica/Computación. Es de periodicidad bianual y está dirigida a personas que esten inmersas tanto en el ámbito académico como industrial y a quienes les pueda interesar conocer de temas e investigaciones que se realizan dentro del ámbito de la revista.

La revista INGENIO utiliza el Open Journal Systems (OJS) como sistema de gestión editorial, desarrollado por Public Knowledge Project (PKP). Todos los manuscritos a ser considerados para publicación deben ser enviados a través de este sistema.

Los artículos de la revista INGENIO usan el sistema DOI el cual proporciona una infraestructura técnica y social para el registro y uso de identificadores interoperables persistentes, para su uso en redes digitales.

La revista INGENIO se encuentra indexada en:





Ubicación Óptima de Reconectores en el Alimentador Primario «G» de la Subestación Cristianía Perteneciente a la Empresa Eléctrica Quito

Optimal Location of Reclosers in the Primary Feeder «G» of the Cristianía Substation Belonging to Empresa Eléctrica Quito

Victor Sisa | [iD](#) Universidad Técnica de Cotopaxi (Ecuador)

Diego Jiménez | [iD](#) Universidad Técnica de Cotopaxi (Ecuador)

Carlos Quinatoa | [iD](#) Universidad Técnica de Cotopaxi (Ecuador)

ARTICLE HISTORY

Received: 10/01/2023

Accepted: 02/05/2023

PALABRAS CLAVE

Distribución, confiabilidad, continuidad, reconector, calidad.

RESUMEN

Actualmente, el consumidor final es más exigente con la calidad del servicio eléctrico, esto conlleva que se deba recurrir a equipos eficientes o elementos que optimicen el servicio eléctrico; asimismo, se debe introducir mejores equipos de protección y maniobra en las redes eléctricas para reducir el número de usuarios afectados. Existen varias alternativas para mejorar la continuidad de los servicios eléctricos, una de ellas es la denominada reconexión del servicio eléctrico, ya que se ha observado en varios estudios que el 85% de los errores de las redes de distribución no son permanentes, después de un tiempo determinado se ha omitido el error, es decir, se despeja la falla. Con el objetivo de garantizar la continuidad y confiabilidad del suministro de energía eléctrica hacia los usuarios, en el presente trabajo se analiza la ubicación óptima de equipos reconectores en el sistema de distribución eléctrica.

KEY WORDS

Distribution, reliability, continuity, recloser, quality.

ABSTRACT

Currently, the final consumer is more demanding with the quality of the electrical service, this implies that efficient equipment or elements that improve the electrical service must be used, protection and maneuver equipment must be introduced each time in the electrical networks to reduce the number of affected users. There are several alternatives to improve the continuity of electrical services, one of them is the so-called reconnection of electrical service, since it has been observed in several studies that 85% of the errors in the distribution networks are not permanent, after a time determining the error has been omitted, that is, the fault is cleared. With the objective of guaranteeing the continuity and reliability of the electrical energy supply to the users, in the present work the optimal location of recloser equipment in the electrical distribution system is analyzed.

I. INTRODUCCIÓN

Según [1], existen varios eventos no planeados en las variables para la operación del sistema de distribución denominadas fallas, dichas fallas pueden alterar el equilibrio del sistema eléctrico [2], interrumpiendo la continuidad del servicio eléctrico, las mismas que pueden causar grandes pérdidas tanto a la distribuidora como a los clientes, ya sean estos de tipo residencial, comercial, industrial, entre otros [3].

Las desconexiones que se presentan en los alimentadores primarios a causa de las fallas temporales o permanentes, se ven reflejadas en los índices de confiabilidad, [4] dichas desconexiones generan incomodidad, perjuicios económicos, cortes de energía eléctrica, daños graves tanto a personas y equipos como la falta de eficiencia y calidad al suministrar el servicio de energía eléctrica, por ello es necesario un análisis de las desconexiones

en la cabecera del alimentador primario «G» de la subestación 18 «Cristianía» y la evaluación de la ubicación óptima de los reconectores, ya que están íntimamente relacionados con su actuación [4].

Lo que se pretende obtener es la reducción al mínimo de las interrupciones del servicio, mejorar los índices de confiabilidad y proporcionar un servicio óptimo de calidad y continuidad, generando así beneficios notables tanto para los usuarios como para la distribuidora [5], además puede ser replicado en otros alimentadores primarios con el fin de cumplir con la satisfacción del cliente, contribuir al desarrollo del sector eléctrico y la edificación del buen vivir [5].

Según [6], la confiabilidad del servicio eléctrico y el sistema de protecciones son dos aspectos que van estrechamente unidos para un óptimo funcionamiento del sistema de distribución, cuando se presentan fallas en los primarios, las fallas se reflejan en los reportes que la distribuidora presenta al ente regulador [7], la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), en los índices de calidad, además de registrar pérdidas energéticas y pérdidas económicas para la distribuidora [8], también presenta pérdidas para los usuarios en sus distintos niveles: residencial, comercial e industrial. Las interrupciones del servicio, así como el aumento de demanda eléctrica, son aspectos que han experimentado cambios en los niveles de confiabilidad [9], así también se debe considerar el impacto que esto produce en los usuarios y en la empresa distribuidora, esto evidencia la necesidad de evaluar tanto el sistema de reconectores como los índices de calidad en la subestación 18 Cristianía de la Empresa Eléctrica Quito [10].

El proyecto consiste en el análisis tanto del sistema de ubicación de reconectores actual como de los índices de calidad, con el fin de incorporar mejoras en el sistema de distribución, por ende, minimizar las pérdidas que se generan a causa de las desconexiones del alimentador primario «G» en la subestación 18 Cristianía, las cuales se ven reflejadas en los índices [11].

En el presente proyecto se realizará un estudio de flujo de carga eléctrica dentro del alimentador primario «G» de la subestación 18 Cristianía con la ayuda del software CYME en donde se calcularán índices de potencia y energía, así como los orientados al consumidor [12], siendo estos el SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASAI, ENS, entre otros, dando mayor énfasis al NIEPI (FMIK) y el TIEPI (TTIK) que permite la regulación 002/20 de la ARCERNNR [13], institución que rige al sector eléctrico en el Ecuador, que establece límites para estos indicadores a nivel de medio voltaje. Así también, se realizará una reconfiguración de la red de medio voltaje mediante la ubicación

óptima de los reconectores del mencionado alimentador primario [14].

1.1. SISTEMA ELÉCTRICO

«Un sistema eléctrico de potencia (SEP), es el conjunto de centrales generadoras, sistemas de transmisión y sistemas de distribución, que permiten realizar el proceso de transformación de la energía hasta llegar a la fase de consumo de energía eléctrica por el usuario final» [14].

1.2. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Los sistemas eléctricos de distribución (SED) forman parte fundamental del sistema de suministro energético debido a que su función es la de garantizar el abastecimiento de energía eléctrica de manera segura y confiable, conformado por «el conjunto de elementos encargados de conducir la energía desde una subestación de potencia hasta el usuario» [15].

Los SED parten desde las redes del sistema de subtransmisión, las subestaciones de distribución forman parte de él, minimizando voltajes de subtransmisión a voltajes maniobrados por el sistema de distribución primaria; centros de transformación, donde los transformadores reducen el medio voltaje a bajo voltaje y unidades de medición, representadas por medidores que calculan la energía consumida por el usuario [16]. En la figura 1 se indica la localización del sistema de distribución en un SEP (ver Figura 1).

1.3. CONFIABILIDAD APLICADA EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

La confiabilidad es la posibilidad o capacidad de un definido factor, elemento o sistema de llevar a cabo una determinada funcionalidad bajo las condiciones y fronteras para las cuales ha sido diseñado e instalado, todo lo mencionado en un período de tiempo dado. Un equipo es confiable una vez que funciona cada vez que es necesario y hace el trabajo para el cual se lo instaló [17].

Un término que es primordial tener presente es la totalidad de la disponibilidad de la red eléctrica, la cual tiene relación con la disposición que posee un sistema o factor para que se encuentre rápidamente listo para llevar a cabo su respectiva labor o funcionalidad [18].

Para efectuar el análisis de confiabilidad se debería tener conocimiento de diversos componentes, como la causa, el tiempo solicitado para hacer la compostura, la proporción de conjuntos fallados en un espacio de tiempo y el impacto que se produce en otros recursos debido a una falla [19].

Figura 1.

Sistema de distribución dentro del sistema eléctrico de potencia

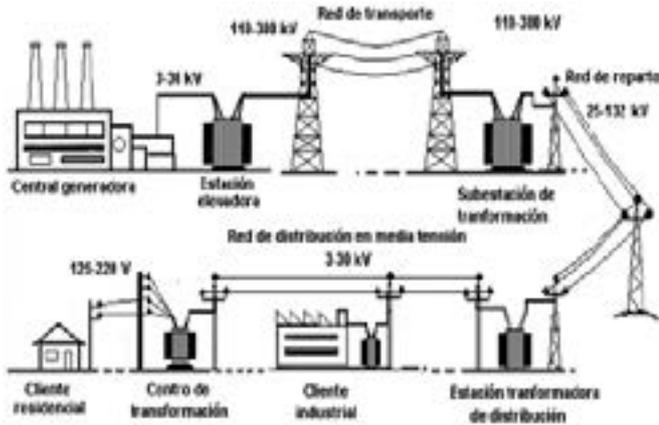
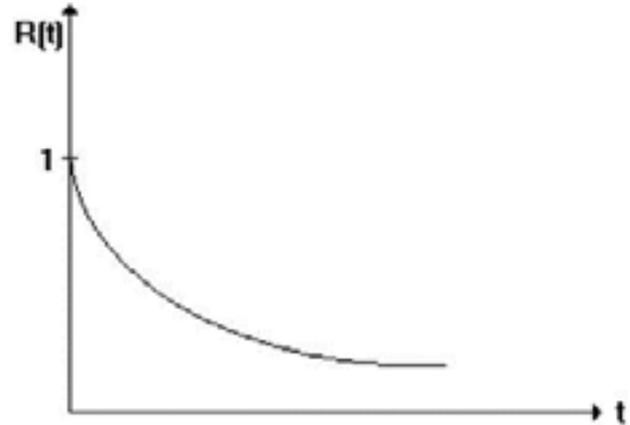


Figura 2.

Función de confiabilidad



El grado de confiabilidad que un sistema requiere debería ser predeterminado conforme con la criticidad de las cargas del mismo, y se tiene que establecer en estudios que contemplen las necesidades o propiedades del proceso en términos de disponibilidad, estabilidad, mantenimiento y confiabilidad [20].

A la confiabilidad es viable verla como una funcionalidad, la cual expresa una posibilidad de sobrevivencia en funcionalidad del tiempo que avanza, o sea que para la situación de un equipo o un sistema esta funcionalidad se la puede representar como una exponencial decreciente. Una vez que se tiene un elemento sin falla, se plantea que dicho equipo es cien por ciento confiable [20]. En la figura 2 se muestra la capacidad de confiabilidad, la misma que va decreciendo acorde pasa el tiempo (ver Figura 2).

En los sistemas eléctricos de configuración radial, un elemento fundamental es la confiabilidad que poseen estos sistemas, debido a que si se presenta una falla en un definido componente [21], esto puede significar que se deje sin abastecimiento de energía a uno o más clientes de una red. Por esta razón el valor y la necesidad de evaluar la confiabilidad de un sistema o factor con el cálculo de los índices, pues por medio de estos se tiene la posibilidad de ofrecer varias alternativas para el mejoramiento en la calidad del servicio para el consumidor [21].

1.4. ÍNDICES ORIENTADOS A LA POTENCIA Y ENERGÍA

Estos índices ayudan a visualizar parámetros como la potencia y la energía que se deja de servir a los usuarios cuando se muestra una interrupción [22].

C_m : Este índice muestra la carga media en cada punto de carga. Se lo calcula dividiendo la energía total kWh para un determinado tiempo. Su unidad es kW.

$$C_m = \frac{\text{Energía total}}{\text{Tiempo}} = f_c \times D_{max} \quad (1)$$

ENS: Por sus siglas en inglés *energy not supplied*. Con este índice se obtiene la cantidad de energía que no es servida a causa de una interrupción. La unidad es kWh/año.

$$ENS = \sum C_m \times U_i \quad (2)$$

Siendo:

U_i = Indisponibilidad de cada elemento

FMIK: Mediante el promedio de interrupciones que ha sufrido cada kVA nominal instalado durante un período mensual o anual y se calcula mediante la siguiente expresión matemática:

$$FMIK_{Aj} = \frac{kVA_{fsi Aj}}{kVA_{inst Aj}} \quad (3)$$

Donde:

- $FMIK_{Aj}$: expresado en fallas por kVA.
- $kVA_{fsi Aj}$: cantidad de kVA nominales que están fuera de servicio en cada interrupción «i» en el alimentador «Aj».
- $kVA_{inst Aj}$: cantidad de kVA nominales instalados en el alimentador «Aj».

TTIK: Representa la proporción de tiempo promedio en horas, en que cada kVA [22] nominal instalado no estuvo en operación a lo largo de un período de control así sea mensual o anual. Se calcula de la siguiente forma:

$$TTIK_{Aj} = \frac{(kVA_{fsi Aj}) \times (T_{fsi Aj})}{kVA_{inst Aj}} \quad (4)$$

Donde:

- $TTIK_{Aj}$: expresado en horas por kVA.
- $kVA_{fsi Aj}$: cantidad de kVA nominales que están fuera de servicio en cada interrupción «i» en el alimentador «Aj».

- $T_{fsi} Aj$: tiempo fuera de servicio de acuerdo a la interrupción «i» en el alimentador «Aj».
- $kVA_{inst} Aj$: cantidad de kVA nominales instalados en el alimentador «Aj».

2. MÉTODO

2.1. MÉTODOS PARA EVALUAR LA CONFIABILIDAD

Los diferentes procedimientos de confiabilidad mencionan cuantitativamente la porción o el grado aceptable de fallas que se generan, los mismos que tienen la posibilidad de clasificarse en procedimientos de simulación estocástica y los procedimientos de estudio [23]. Entre los procedimientos más conocidos de simulación estocástica está el procedimiento de Monte Carlo; entre los procedimientos de estudio se hallan los procesos consecutivos de Markov y los de redes con sus aproximaciones [24].

2.2. TASA DE FALLAS APLICADA A TRAMOS DEL ALIMENTADOR

La tasa de falla para tramos de un alimentador se la establece dependiendo de los datos disponibles [25], una vez que se cuenta con el historial de fallas en un tramo personal o con una estimación, en donde se debería tener en cuenta el sistema completo.

$$\lambda = b \times l \left(\frac{\text{falla}}{\text{año}} \right) \quad (5)$$

$$b = \left(\frac{\text{falla}}{\text{año}} \right) \quad (6)$$

En donde se tiene que:

b = número de fallas por kilómetro por año

l = longitud de la línea de interés

m = cantidad de fallas

L = longitud total de las líneas expuestas a falla en km

T = período de estudios en años

2.3 Tiempos de interrupción

Para un tramo de un alimentador primario, el tiempo de interrupción depende del factor de defensa que esté vinculado a la interrupción [26], además de las ocupaciones que se toman para reanudar el servicio eléctrico, como es la situación de maniobras de transferencia, reparaciones, traslado de personal y de grupos, entre otros.

Tiempo de conocimiento de la falla T_c : El tiempo de entendimiento de la falla es el lapso que va a partir de que se genera la falla y el servicio de fluido eléctrico es interrumpido, hasta el momento en el cual los operadores del sistema se informan de esa falla.

Tiempo de preparación T_p : Cuando se produce una falla en un sistema eléctrico, los operadores informan al personal que va a reparar dicha falla, pero para esto se necesita los materiales necesarios antes de iniciar las labores de localización de la falla. A este tiempo que transcurre se lo denomina tiempo de preparación.

Tiempo de localización T_L : Al producirse una falla es necesario el traslado del personal hasta el sitio donde se manifestó la falla y hacer las pruebas correctas con el objeto de ubicar el punto preciso donde se manifestó, al tiempo que conlleva hacer aquellas ocupaciones se le menciona como tiempo de localización [27].

Tiempo de maniobra para la transferencia T_t : Es el tiempo que se requiere para efectuar las maniobras necesarias para la transferencia, con la finalidad de restablecer el fluido de energía eléctrica tomando en cuenta únicamente los tramos en que esto es posible [28].

Una vez que se genera la falla, dependiendo del tamaño de esta, ciertos tramos o todo el alimentador queda sin servicio, pero es viable que con maniobras se pueda restaurar el fluido de energía a un conjunto o tramos del alimentador.

Tiempo de reparación T_r : A ese intervalo de tiempo en el que el personal de la organización de distribución se toma en hacer los trabajos de reparación y/o sustitución de los recursos que poseen la falla, se le llama tiempo de reparación.

2.4. ESTADOS Y SU CLASIFICACIÓN

La conducta de un definido tramo del alimentador, una vez que se muestra una falla en otro tramo, dependerá del tipo de custodia que se tiene vinculada a dicho tramo y de las diversas posibilidades o vías auxiliares de ingesta de suministro de energía eléctrica.

Normal: Una vez que un tramo de un alimentador i , se especifica como en estado usual, supone que dicho tramo no se ve perjudicado en su operación por cierta falla de un elemento o factor j [29].

Restablecible: Este estado sugiere que el servicio en un definido tramo puede retornar a su estado de normalidad, pero esto debería darse anterior a que sea reparado el tramo fallado, considerando que el mismo debería ser apartado [30].

No restablecible: En este estado se hallan los tramos que no tienen la posibilidad de ser restablecidos luego de la ocurrencia de la falla y que no tienen la posibilidad de ser transferidos llevando a cabo las maniobras primordiales [31]. Se debe tomar en consideración que para ciertos tramos del alimentador, una vez que la suspensión de servicio es voluntaria, esa desconexión no perjudicará a otro tramo [32].

Transferible: Un tramo de un alimentador entra en estado transferible una vez que sea viable hacer las maniobras elementales para reenergizar el mismo, anterior a componer el sector que tuvo la falla [33].

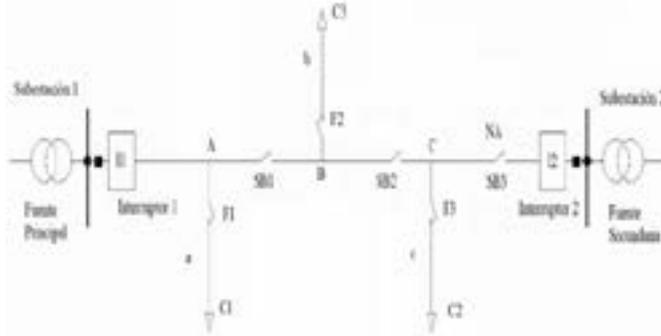
Tabla 1.

Nomenclatura para los estados de un tramo

Estado	Nomenclatura
Normal	N
Restablecible	R
No Restablecible	I
Transferible	T
No transferible con J	J

Figura 3.

Ejemplo de sistema eléctrico de distribución

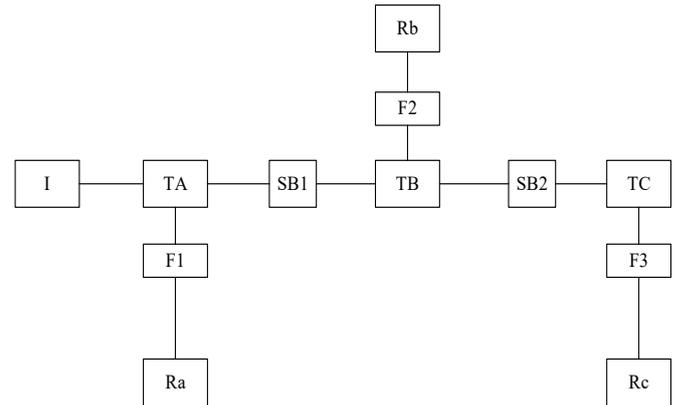
**Tabla 2.**

Tiempos de interrupción totales

Tipo de Tramo	Frecuencia	Tiempo
Normal	0	0
Restablecible	λ	$TC + TL + TP$
Transferible	2λ	$TC + TL + TP + Tt + Tv$
No Restablecible	λ	$TC + TL + TP + Tr$

Figura 4.

Representación en tramos del alimentador



En donde se tiene que: I = Fuente principal, TA = Tramo A, TB = Tramo B, TC = Tramo C, SB1 = Seccionador barra 1, SB2 = Seccionador barra 2, F1 = Fusible 1, F2 = Fusible 2, F3 = Fusible 3, Ra = Ramal a, Rb = Ramal b, Rc = Ramal c

No restablecible con espera: Para un tramo en el cual pasa la falla, dicho tramo está en este estado una vez que anterior a su compostura se debe llevar a cabo una cierta maniobra (ver Tabla 1).

2.5. INDISPONIBILIDAD DE UN ELEMENTO

Para un componente cualquiera, el tiempo total de interrupción se lo calcula sumando todos los tiempos de interrupción que se poseen a causa del número de fallas contribuidas por cada factor, los mismos que se indican en la columna de la matriz de estados de la misma forma que ya se lo detalló anteriormente (ver Tabla 2).

Valoración de una red

El sistema eléctrico que se observa en la figura 3, es un ejemplo de un alimentador primario de distribución para una mejor comprensión. Para este análisis, se supone que la fuente (es decir, la subestación) está continuamente disponible con una tasa de fallas de nula o cero (ver Figura 3).

Se realiza la representación topológica del sistema de distribución radial en tramos divididos para los

componentes de protección y/o maniobra, tal como se observa en la figura 4 (ver Figura 4).

Posteriormente se hace la caracterización de cada tramo o ramal presente en el alimentador con su respectiva información. En la tabla 3 se detalla la longitud de todos los tramos del alimentador, las tasas de falla de los mismos, así como los tiempos de interrupción, los cuales se los recibe de los registros o datos históricos de la compañía distribuidora de energía o por medio del respectivo cálculo con la ecuación de tasa de falla aplicada a tramos del alimentador (ver Tabla 3).

En la tabla 4 se representa la matriz de estado, la misma que representa los estados que toma cada uno de los tramos del alimentador cuando se presenta una determinada falla. El análisis que se debe realizar para la construcción de esta matriz de estados (ver Tabla 4).

Una vez realizada la matriz de estados, se prosigue a descubrir la matriz de las tasas de fallas, en donde de consenso al estado que tiene todos los tramos se asigna la respectiva tasa de falla.

La matriz de tasa de fallas se la muestra en la tabla 5, la misma que tiene el mismo orden de la matriz de estados. En esta tabla además se muestra la tasa de falla total para cada tramo que se tiene en el alimentador. Los datos se muestran en horas/año (ver Tabla 5).

Tabla 3.

Detalle del alimentador tomado como ejemplo

Tramo	Longitud	b (fallas/km-año)	Tasa de Fallas (fallas/año)	Tiempos de Interrupción (minutos)					Tiempos Reparación (horas)	
				Tc	Tl	Tp	Tt	Tr	I(2λ)	R(λ)
TA	2,5	0,2	0,5	25	50	15	25	180	4,50	1,50
TB	3	0,2	0,6	25	50	15	25	180	4,50	1,50
TC	1,8	0,2	0,36	25	50	15	25	180	4,50	1,50
Ra	2	0,3	0,6	25	50	15	25	90	3,00	1,50
Rb	2,8	0,3	0,84	25	50	15	25	90	3,00	1,50
Rc	0,8	0,3	0,24	25	50	15	25	90	3,00	1,50

Tabla 4.

Matriz de estados para el alimentador

Matriz de Estados						
Tramo	TA	TB	TC	Ra	Rb	Rc
TA	I	I	I	I	I	I
TB	R	I	I	R	I	I
TC	R	R	I	R	R	I
Ra	N	N	N	I	N	N
Rb	N	N	N	N	I	N
Rc	N	N	N	N	N	I

Tabla 5.

Matriz de tasa de fallas para el alimentador

Matriz de Tasa de Fallas						
Tramo	TA	TB	TC	Ra	Rb	Rc
TA	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
TB	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
TC	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Ra	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00
Rb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	0,00
Rc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24

Tabla 6.

Matriz de tiempos de reparación para el alimentador

Matriz de tiempos de reparación						
Tramo	TA	TB	TC	Ra	Rb	Rc
TA	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
TB	1,50	4,50	4,50	1,50	4,50	4,50
TC	1,50	1,50	4,50	1,50	1,50	4,50
Ra	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00
Rb	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00
Rc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00

Tabla 7.

Matriz de indisponibilidades para el alimentador

Matriz de indisponibilidades						
Tramo	TA	TB	TC	Ra	Rb	Rc
TA	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
TB	0,90	2,70	2,70	0,90	2,70	2,70
TC	0,54	0,54	1,62	0,54	0,54	1,62
Ra	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00
Rb	0,00	0,00	0,00	0,00	2,52	0,00
Rc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72

En la tabla 6 se muestra la matriz de tiempos de composición, la misma que se la prepara con base en la tabla de tiempos de reparación totales. Al igual que para la anterior matriz, además se muestra el tiempo de composición. La unidad de los datos presentados en la tabla es horas (ver Tabla 6).

Se obtiene la matriz de indisponibilidad anual del componente del alimentador primario de distribución, esta matriz se la presenta en la tabla 7, los datos se presentan en horas/año (ver Tabla 7).

Con los valores totales de todas las matrices ya detalladas antes, se hace los cálculos de los índices que permiten mirar la confiabilidad que tiene el alimentador tomado como ejemplo. En la tabla 8 se muestra el resumen de los valores totales de la tasa de falla, tiempo de composición y la indisponibilidad (ver Tabla 8).

En la tabla 9 se presentan los datos del alimentador con su respectiva energía consumida en un mes y la potencia instalada para cada uno de los tramos que tiene el mismo (ver Tabla 9).

Con los datos comerciales del alimentador, tomado como ejemplo, y las fronteras de confiabilidad se hace el cálculo de los índices de confiabilidad por medio de las interrelaciones para hallar el índice FMIK, el cual se muestra en la tabla 10 y con la ecuación para obtener el índice de energía no suministrada (ENS), el mismo que se puede mirar en la tabla 11 (ver Tablas 10 y 11).

Valoración de una red con reconector

En el sistema de distribución que se tienen en la figura 5 se realiza la aplicación de la metodología que se expli-

Tabla 8.

Resumen de los parámetros en valores totales

Tramo	T	rT	UiT
TA	1,46	2,53	3,69
TB	1,46	3,76	5,49
TC	1,46	4,50	6,57
Ra	2,06	2,67	5,49
Rb	2,3	3,48	8,01
Rc	1,7	4,29	7,29

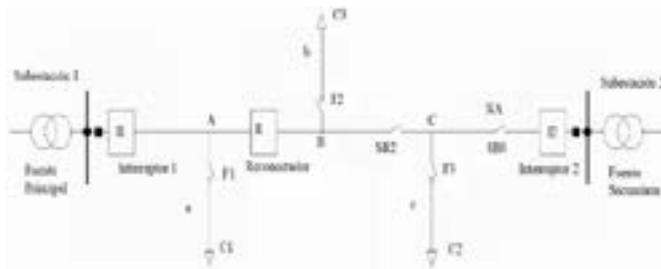
Tabla 10.

Frecuencia media de interrupción por KVA

Tramo	FMIK
TA	0
TB	0
TC	0
Ra	0,549
Rb	0,920
Rc	0,567
Total	2,036

Figura 5.

Alimentador con la implementación de un reconectador



có anteriormente, pero en este caso se realiza la implementación de un reconectador ubicado entre el tramo A y tramo B. Al igual que para el caso anterior, la fuente de alimentación de energía eléctrica (subestación) se la considera como continuamente disponible, es decir, que tiene una tasa de fallas cero o nula (ver Figura 5).

En el alimentador, con el reconectador (R1) ya incorporado, se procede a la representación topológica del sistema de distribución en tramos divididos por los componentes de protección y/o maniobra, tal como se observa en la figura 6 (ver Figura 6).

Los datos del alimentador son los mismos que se presentan en la tabla 12, por lo que se procede a realizar la elaboración de la matriz de estado (ver Tabla 12).

Tabla 9.

Datos comerciales del alimentador

Tramo	Potencia Instalada KVA	Energía Consumida KWh/mes
TA	0	0
TB	0	0
TC	0	0
Ra	200	12.600
Rb	300	27.000
Rc	250	16.200
Total	750	55.800

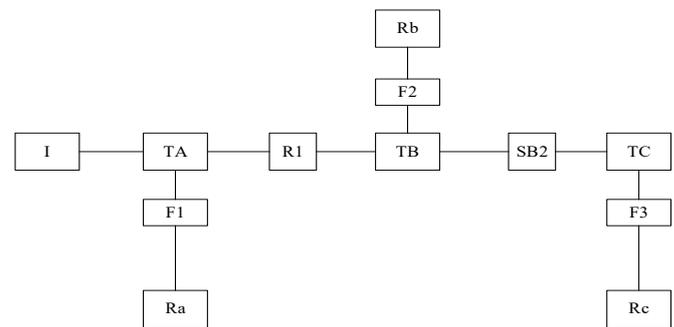
Tabla 11.

Energía no suministrada

Tramo	ENS kWh/año
TA	0
TB	0
TC	0
Ra	96,08
Rb	300,38
Rc	164,03
Total	560,48

Figura 6.

Representación en tramos del alimentador primario con reconectador



Con la matriz de estados, se continúa con la obtención de la matriz de tasas de fallas. La misma que se muestra en la tabla 13 (ver Tabla 13).

En la tabla 14 se muestra la matriz de tiempos de reparación de cada componente al producirse una falla, al igual que en la tabla 13 se detalla los tiempos totales de reparación (ver Tabla 14).

Con las relaciones de la indisponibilidad de un elemento, se realiza el cálculo para obtener la matriz de indisponibilidades anuales para cada elemento del alimentador primario de ejemplo, la misma que se puede observar en la tabla 15 (ver Tabla 15).

Como ya se lo realizó para el caso en el que no se disponía del reconectador, se toman los valores totales de

Tabla 12.

Matriz de estados para el alimentador primario con reconector

Matriz de estados						
Tramo	TA	TB	TC	Ra	Rb	Rc
TA	I	I	I	I	I	I
TB	N	I	I	N	I	I
TC	N	R	I	N	R	I
Ra	N	N	N	I	N	N
Rb	N	N	N	N	I	N
Rc	N	N	N	N	N	I

En la matriz de estados se tiene que:

N = Normal

I = No restablecible

R = Restablecible

Tabla 14.

Matriz de tiempos de reparación para el alimentador con reconector

Matriz de tiempos de reparación						
Tramo	TA	TB	TC	Ra	Rb	Rc
TA	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
TB	0,00	4,50	4,50	0,00	4,50	4,50
TC	0,00	1,50	4,50	0,00	1,50	4,50
Ra	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00
Rb	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00
Rc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00

Tabla 16.

Resumen de los parámetros en valores totales con un reconector

Tramo	T	rT	UIT
TA	0,50	4,50	2,25
TB	1,46	3,76	5,49
TC	1,46	4,50	6,57
Ra	1,10	3,68	4,05
Rb	2,30	3,48	8,01
Rc	1,70	4,29	7,29

cada una de las matrices ya realizadas del ejemplo del alimentador primario (ver Tabla 16).

Con los datos de la potencia instalada y la energía consumida que se encuentran en la tabla 17 se realiza el cálculo de la energía no suministrada, la frecuencia media de interrupción por kVA (ver Tablas 17 y 18).

Al hacer la comparación de valores de los índices que se calcularon en las tablas 10 y 11 con las tablas 17 y 18, se puede mirar evidentemente que una vez que se hace la utilización del reconector, la energía que no se suministra al producirse una falla y la frecuencia de interrupción por kVA (FMIK) se reduce.

Se debe tener presente que el precio de la energía que no se suministra es mucho más grande al precio de la energía que sí es suministrada, por esta razón la importancia

Tabla 13.

Matriz de tasa de fallas para el alimentador con reconector

Matriz de tasa de fallas						
Tramo	TA	TB	TC	Ra	Rb	Rc
TA	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
TB	0,00	0,60	0,60	0,00	0,60	0,60
TC	0,00	0,36	0,36	0,00	0,36	0,36
Ra	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00
Rb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	0,00
Rc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24

Tabla 15.

Matriz de indisponibilidades para el alimentador primario con reconector

Matriz de indisponibilidades						
Tramo	TA	TB	TC	Ra	Rb	Rc
TA	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
TB	0,00	2,70	2,70	0,00	2,70	2,70
TC	0,00	0,54	1,62	0,00	0,54	1,62
Ra	0,00	0,00	0,00	1,80	0,00	0,00
Rb	0,00	0,00	0,00	0,00	2,52	0,00
Rc	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72

Tabla 17.

Energía no suministrada (ENS) en el alimentador primario con la incorporación del reconector

Tramo	ENS kWh/año
TA	0
TB	0
TC	0
Ra	70,88
Rb	300,38
Rc	164,03
Total	535,28

de hallar alternativas para el mejoramiento de las redes de distribución a fin de reducir este índice de confiabilidad.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El alimentador de 22,8 kV en la red de medio voltaje, denominado primario «G» de la subestación Cristianía, correspondiente al área de concesión de la Empresa Eléctrica Quito, ubicado en la parte norte del Distrito Metropolitano de Quito, fue elegido para la aplicación del método de ubicación óptima de reconectores. La información sobre el alimentador primario seleccionado se obtiene mediante el sistema de información geográfica GIS, sistema ADMS y el programa de análisis de redes de

Tabla 18.

Frecuencia media de interrupción por KVA con la incorporación del reconectador

Tramo	FMIK
TA	0
TB	0
TC	0
Ra	0,293
Rb	0,920
Rc	0,567
Total	1,780

Figura 8.

Diagrama del alimentador primario «G» Cristianía en tramos



distribución CYMDIST, los datos fueron proporcionados por la Empresa Eléctrica Quito. A continuación se muestran los detalles del mencionado alimentador.

Características:

Empresa distribuidora: Empresa Eléctrica Quito

Ubicación subestación: norte de Quito

Tipo de usuario: residenciales e industriales

Nivel de voltaje: 22,8 kV

Denominación: Primario «G» Cristianía

Longitud: 8352,47 metros

Número de usuarios: 982

Tramos: 34

Seccionadores instalados: 6 dispositivos

Capacidad conectada en transformadores de distribución: 4122,50 kVA

Carga: 1100,55 kVA

Tasa de falla por km: $b = 0,23$

La figura 7 muestra la configuración del alimentador «G» Cristianía, el cual, según el método de investigación, tiene 34 tramos, y los mismos tramos corresponden a posibles posiciones para la instalación de reconectadores (ver Figura 7).

Figura 7.

Alimentador primario «G» de la subestación Cristianía



La figura 8 muestra la descripción topológica del alimentador y sus secciones, dividido por componentes o elementos de protección. Los elementos de protección y maniobra se consideran totalmente confiables, por lo que solo se dan los datos relativos a las partes correspondientes. Además, en caso de falla, los consumidores o usuarios conectados a la misma parte deben verse igualmente afectados (ver Figura 8).

3.1 DETERMINACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA

Después de las explicaciones de los capítulos anteriores, se busca las diversas matrices necesarias para determinar la confiabilidad de un sistema de distribución. Estas matrices son:

- Matriz de estado
- Matriz de tasa de tasa de fallas
- Matriz de tiempos de reparación
- Matriz de indisponibilidades anuales

Las tablas 19 y 20 muestran en detalle los datos técnicos, parámetros de confiabilidad, longitudes de cada tramo y datos comerciales del alimentador primario «G» de la subestación Cristianía. Estos datos se utilizaron para cal-

Tabla 19.*Datos comerciales y técnicos del primario «G» Cristianía*

TRAMO	P. ACTIVA P (kW)	P. REACTIVA Q(kVAR)	P. APARENTE S(Kva)	ENERGÍA (kWh)	CAPACIDAD (Kva)	CLIENTES
T1	0	0	0,00	0	0	0
T2	0	0	0,00	0	0	0
T3	125,65	6,15	125,80	15640	150	45
T4	5,21	2,95	5,99	965	25	2
T5	7,81	3,68	8,63	18524	75	55
T6	110,88	31,82	115,36	60509	500	25
T7	5,18	3,13	6,05	2362	25	20
T8	15,08	5,82	16,16	891	50	8
T9	0	0	0,00	0	0	0
T10	15,34	5,7	16,36	8970	37,5	35
T11	0	0	0,00	0	0	0
T12	0	0	0,00	0	0	0
T13	30,66	9,87	32,21	15634	100	50
T14	15,81	4,94	16,56	6234	775	25
T15	25,54	4,11	25,87	11132	100	30
T16	111,95	25,7	114,86	45135	600	40
T17	24,72	8,44	26,12	4514	125	33
T18	0	0	0,00	0	0	0
T19	51,55	26,69	58,05	25556	300	76
T20	22,02	3,25	22,26	0	75	2
T21	0	0	0,00	0	0	0
T22	10,8	1,66	10,93	5045	50	22
T23	29,08	5,5	29,60	10060	125	50
T24	85,95	15,16	87,28	82308	400	66
T25	9,91	3,34	10,46	26	15	2
T26	5,46	2,76	6,12	1520	37,5	8
T27	0	0	0,00	0	0	0
T28	35,12	9,88	36,48	5513	150	35
T29	67,81	25,66	72,50	23453	200	50
T30	35,24	8,9	36,35	13916	200	77
T31	86,09	20,89	88,59	2000	250	28
T32	59,3	15,65	61,33	15554	200	45
T33	55,5	14,78	57,43	15467	300	56
T34	20,05	7,98	21,58	15643	75	46
Total	1067,71	274,41	1108,93	406571	4940	931

cular la matriz y el índice de confiabilidad utilizando los procedimientos descritos anteriormente.

Los datos comerciales y técnicos del primario se obtuvieron mediante la ayuda del área comercial, control de calidad, control del producto y departamento técnico de las pérdidas. La tabla 19 proporciona una descripción

general de los parámetros de confiabilidad para cada sección del alimentador primario «G» Cristianía.

Los cálculos realizados para la evaluación de la seguridad del sistema eléctrico, modeló el enclavamiento como componente ideal, ya que el tiempo de falla del elemento debido a un mantenimiento adecuado es de aproximadamente diez años (ver Tabla 19).

Tabla 20.*Datos de confiabilidad del primario «G» Cristianía*

Tramo	Longitud	b (fallas/km-año)	Tasa de Fallas (fallas/año)	Tiempos de Interrupción (horas)				Tiempos Reparación (horas)	
				Tc	Tp	Tl	Tr	I(2λ)	R(λ)
T1	1817,500	0,240	0,436	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T2	204,400	0,240	0,049	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T3	440,760	0,240	0,106	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T4	373,780	0,240	0,090	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T5	246,960	0,240	0,059	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T6	509,860	0,240	0,122	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T7	70,330	0,240	0,017	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T8	525,350	0,240	0,126	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T9	10,790	0,240	0,003	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T10	101,300	0,240	0,024	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T11	44,380	0,240	0,011	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T12	55,870	0,240	0,013	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T13	500,420	0,240	0,120	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T14	201,350	0,240	0,048	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T15	200,160	0,240	0,048	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T16	165,970	0,240	0,040	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T17	167,020	0,240	0,040	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T18	30,810	0,240	0,007	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T19	50,300	0,240	0,012	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T20	21,530	0,240	0,005	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T21	50,320	0,240	0,012	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T22	56,060	0,240	0,013	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T23	300,440	0,240	0,072	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T24	150,380	0,240	0,036	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T25	55,500	0,240	0,013	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T26	93,800	0,240	0,023	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T27	100,470	0,240	0,024	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T28	100,810	0,240	0,024	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T29	150,680	0,240	0,036	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T30	202,870	0,240	0,049	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T31	352,840	0,240	0,085	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T32	327,370	0,240	0,079	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T33	305,710	0,240	0,073	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050
T34	171,380	0,240	0,041	0,550	0,500	1,000	1,500	3,550	2,050

Los tiempos y las tasas de falla para diferentes secciones del alimentador primario «G» se obtuvieron de una base de datos de informes de fallas procesadas recopilados durante un período de cinco años. Esta base de datos es mantenida por el centro de control de la Empresa Eléctrica Quito. Los datos técnicos y comerciales de los alimentadores se obtuvieron del departamento comercial,

control de calidad del producto y departamento técnico de pérdidas.

En todos los cálculos realizados para evaluar la seguridad del sistema eléctrico, se modeló el enclavamiento como un componente ideal, ya que el tiempo de falla del elemento debido a un mantenimiento adecuado es de aproximadamente diez años (ver Tabla 20).

Tabla 25.*Parámetros de confiabilidad obtenidos del primario «G» Cristianía*

Tramo	λ_1	Ut
T1	1,81	5,01
T2	1,81	5,01
T3	1,81	5,01
T4	1,81	5,01
T5	1,81	5,01
T6	1,81	5,01
T7	1,81	5,25
T8	1,81	5,25
T9	1,81	5,25
T10	1,81	5,37
T11	1,81	5,37
T12	1,81	6,00
T13	1,81	6,00
T14	1,81	6,21
T15	1,81	6,21
T16	1,85	5,15
T17	1,85	5,15
T18	1,81	5,01
T19	1,82	5,05
T20	1,81	5,16
T21	1,81	5,16
T22	1,81	5,16
T23	1,81	5,16
T24	1,81	5,06
T25	1,81	5,25
T26	1,83	5,33
T27	1,81	5,37
T28	1,81	5,37
T29	1,84	5,50
T30	1,81	6,00
T31	1,81	6,00
T32	1,81	6,00
T33	1,81	6,00
T34	1,81	6,21

Tabla 27.*Ubicación del primer reconector en el primario «G» Cristianía*

Tramo	ENS	Δ ENS	FMIK	Δ FMIK
Base	3015,496	-----	1,815	-----
Tramo 2	2640,930	374,566	1,618	0,197
Tramo 3	2622,660	392,836	1,579	0,236
Tramo 4	2456,810	558,686	1,370	0,445
Tramo 5	2434,650	580,846	1,362	0,453
Tramo 6	2147,540	867,956	1,305	0,510
Tramo 7	2091,830	923,666	1,258	0,557
Tramo 8	2102,270	913,226	1,267	0,548
Tramo 9	2227,430	788,066	1,342	0,473
Tramo 10	2230,140	785,356	1,344	0,471
Tramo 11	2248,100	767,396	1,337	0,478
Tramo 12	2258,770	756,726	1,344	0,471
Tramo 13	2545,920	469,576	1,552	0,263
Tramo 14	2629,350	386,146	1,616	0,199
Tramo 15	2793,600	221,896	1,731	0,084
Tramo 16	2874,190	141,306	1,784	0,031
Tramo 17	2874,190	141,306	1,784	0,031
Tramo 18	2836,210	179,286	1,763	0,052
Tramo 19	2874,190	141,306	1,784	0,031
Tramo 20	2844,190	171,306	1,765	0,050
Tramo 21	2708,370	307,126	1,673	0,142
Tramo 22	2822,120	193,376	1,750	0,065
Tramo 23	2750,170	265,326	1,702	0,113
Tramo 24	2806,020	209,476	1,736	0,079
Tramo 25	2822,090	193,406	1,754	0,061
Tramo 26	2874,190	141,306	1,784	0,031
Tramo 27	2768,600	246,896	1,727	0,088
Tramo 28	2692,890	322,606	1,742	0,073
Tramo 29	2874,190	141,306	1,784	0,031
Tramo 30	2768,190	247,306	1,723	0,092
Tramo 31	2440,300	575,196	1,553	0,262
Tramo 32	2710,800	304,696	1,693	0,122
Tramo 33	2728,290	287,206	1,701	0,114
Tramo 34	2758,360	257,136	1,707	0,108

Tabla 26.*Índices de confiabilidad del primario «G» Cristianía*

Índices de Confiabilidad		
Índice	FMIK	ENS
Unidades	Falla/kVA*año	kWh/año
Valor	1,815	3015,496

Tabla 28.*Ubicación del segundo reconnector en el primario «G» Cristianía*

Tramo	ENS	Δ ENS	FMIK	Δ FMIK
Base	2091,830	-----	1,258	-----
Tramo 2	1995,870	95,960	1,205	0,053
Tramo 3	1992,540	99,290	1,195	0,063
Tramo 4	1948,650	143,180	1,143	0,115
Tramo 5	1994,320	97,510	1,189	0,069
Tramo 6	2000,900	90,930	1,209	0,049
Tramo 7	1991,830	100,000	1,188	0,070
Tramo 8	1984,390	107,440	1,251	0,007
Tramo 9	2081,250	10,580	1,239	0,019
Tramo 10	2081,330	10,500	1,239	0,019
Tramo 11	2020,460	71,370	1,183	0,075
Tramo 12	2022,430	69,400	1,184	0,074
Tramo 13	1871,800	220,030	1,138	0,120
Tramo 14	2017,140	74,690	1,202	0,056
Tramo 15	2065,760	26,070	1,242	0,016
Tramo 16	1891,830	200,000	1,258	0,000
Tramo 17	1991,830	100,000	1,258	0,000
Tramo 18	1979,780	112,050	1,253	0,005
Tramo 19	1991,830	100,000	1,258	0,000
Tramo 20	1987,780	104,050	1,255	0,003
Tramo 21	1991,950	99,880	1,163	0,095
Tramo 22	1995,700	96,130	1,241	0,017
Tramo 23	1999,750	92,080	1,192	0,066
Tramo 24	2049,600	42,230	1,226	0,032
Tramo 25	2077,670	14,160	1,253	0,005
Tramo 26	1991,830	100,000	1,258	0,000
Tramo 27	1951,420	140,410	1,244	0,014
Tramo 28	2065,020	26,810	1,248	0,010
Tramo 29	2000,830	91,000	1,258	0,000
Tramo 30	2057,070	34,760	1,242	0,016
Tramo 31	1999,120	92,710	1,196	0,062
Tramo 32	2028,110	63,720	1,231	0,027
Tramo 33	2033,140	58,690	1,234	0,024
Tramo 34	2056,160	35,670	1,234	0,024

Tabla 29.*Ubicación de los reconectores en el primario «G» Cristianía*

Dispositivo	Tramo de ubicación	ENS	FMIK	Δ ENS
BASE	1	3015,50	1,815	-----
Reconector 1	7	2091,83	1,258	923,67
Reconector 2	13	1991,83	1,188	1023,67
Reconector 3	5	1871,8	1,138	1143,70

energías no suministradas se pueden apreciar en la tabla 28, donde la posición del segundo interruptor se da en el tramo 13. Aquí se logra una diferencia de energía de 220,03 kWh/año en comparación con otro valor de referencia, logrando reducir el índice de FMIK en 1,138 (ver Tabla 28).

La tabla 29 muestra una descripción general de la energía no suministrada cuando se implementan reconectadores en diferentes partes del alimentador primario «G» Cristianía. Como se puede observar en esta tabla 29 el valor de ΔENS disminuye a medida que aumenta el número de interruptores, es decir, el mayor efecto se produce cuando se instala el primer interruptor, y disminuye a medida que aumenta el número (ver Tabla 29).

3.3. ASPECTOS ECONÓMICOS

En la mayoría de los análisis relacionados con la mejora, desarrollo, introducción de nuevos equipos y operación más eficiente en el sector eléctrico, es de suma importancia conocer las estimaciones o aproximaciones de la energía no suministrada a los usuarios. Este valor varía dependiendo de la industria que se analice. Se pueden utilizar tres métodos para estimar estos valores:

- Basado directamente en los resultados reales
- Métodos de análisis indirectos
- Sondeo directo a través de encuestas

Para estimar los valores de ENS con base en los resultados reales, se obtiene la siguiente relación.

$$CENS = \frac{\text{Costos económicos directos(USD)+Costo sociales indirectos}}{\text{Energía no suministrada (MWh)}}$$

Donde:

Costes económicos directos: pérdida de producción, desperdicio de materias primas, daños en equipos o instalaciones, pérdida de ventas, entre otros.

Costos sociales indirectos: impacto en la salud y seguridad humana, daños a la propiedad y al medio ambiente, pérdida de alumbrado público, costos de emergencia, entre otros.

Según un estudio realizado por la ARCONEL, [27] con base en las condiciones anteriores, el valor de la energía no suministrada se estima en 3533 USD/MWh, este costo solo se utiliza como referencia para estudios de expansión o planificación, y para sancionar a las empresas eléctricas.

Para instalar un reconectador, debe incluir la inversión en el componente descrito más el costo de su instalación, que incluye el costo de ingenieros, electricistas, mano de obra y comunicación con el centro de control. Debido a la alta rigidez dieléctrica, los reconectadores casi no requieren mantenimiento, como es el caso cuando el reconectador cuenta con sistema de aislamiento en

SF6. Así, la inversión presupuestada total es de unos USD 17.000 (valor proporcionado por la EEQ).

Usando los valores anteriores, realice un análisis de los beneficios financieros de implementar un reconectador. Estas ventajas se muestran en la tabla 30 (ver Tabla 30).

A partir de la tabla 30 se muestra que el beneficio económico aumenta con el número de reconectadores instalados, pero este beneficio no aumenta linealmente. Por lo tanto, la introducción del primer reconectador tiene el mayor impacto en toda la red de distribución, es decir, ayuda a reducir la energía no entregada.

Dado que los beneficios económicos no aumentan linealmente, el flujo de caja se realiza utilizando sus respectivos índices para observar la cantidad de reconectadores que se deben instalar en el sistema para que sea rentable, dado que los interruptores tienen una vida útil de 20 años (valor proporcionado por el fabricante) (ver Tabla 31).

Basado en flujos de caja de la tabla 31, se puede calcular una evaluación económica que indica si la inversión requerida para mejorar la seguridad del sistema eléctrico mediante la instalación de reconectadores para reducir la energía desconectada es económicamente rentable (ver Tabla 32).

La instalación del reconectador es ventajosa si el índice TIR es superior al 10% y el tiempo de amortización es inferior a la vida útil del equipo, para el presente caso, 20 años.

La tabla 32 muestra la cantidad óptima de reconectadores a instalar en el alimentador seleccionado, es decir, instalar uno o dos interruptores brindará beneficios económicos, mientras que instalar un tercer interruptor requiere inversión.

Tabla 30.*Beneficio económico con la implementación de reconectores*

Número	Tramo	Δ ENS	Δ ENS Acumulada	Costo ENS	Beneficio
Reconector 1	7	923,67	782,36	3.533	2764,08
Reconector 2	13	1023,67	1002,39	3.533	3541,44
Reconector 3	5	1143,70	1121,6	3.533	3962,61

Tabla 31.*Flujo económico con la implementación de reconectores*

Años	Reconector 1			Reconector 2			Reconector 3		
	Ingresos	Gastos	Flujo Neto	Ingresos	Gastos	Flujo Neto	Ingresos	Gastos	Flujo Neto
0		16000	-16000		32000	-32000		48000	-48000
1	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
2	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
3	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
4	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
5	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
6	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
7	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
8	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
9	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
10	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
11	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
12	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
13	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
14	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
15	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
16	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
17	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
18	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
19	2764,08		2764,08	3541,44		3541,44	3962,61		3962,61
20	3564,08		3564,08	4341,44		4341,44	4762,61		4762,61

Tabla 32.*Índices económicos con la implementación de reconectores*

Reconector	TIR (%)	Pay Back	Rentable
Reconector 1	16,50%	8,01	SI
Reconector 2	10,20%	16,17	SI
Reconector 3	5,41%	29,47	NO

4. CONCLUSIONES

Con este estudio se demuestra que la instalación de dos reconectores en el alimentador primario «G» mejora la confiabilidad del sistema eléctrico en un 34,80% con el valor del FMIK.

Con la ubicación óptima de reconectores, se puede observar que el efecto en la reducción de la energía no

suministrada baja de 3015,50 kWh/año en el caso base a 2091,83 kWh/año cuando se implementa el primer reconector y 1991,83 kWh/año cuando se instala un segundo reconector. Por tanto, se puede concluir que entre más reconectores sean instalados este valor seguirá disminuyendo, sin embargo, en la práctica no se puede instalar una gran cantidad de reconectores debido a la coordinación de protecciones.

Se ha demostrado que, para aumentar la confiabilidad de un determinado sistema eléctrico, se debe aumentar la inversión en el mismo. Por cada reconector a instalar se debe ocupar un presupuesto de USD 17.000. Esto sugiere que se debe encontrar un nivel o equilibrio entre la inversión realizada y los beneficios de reducir la energía no entregada, que puede ser muy confiable, pero costosa. Al realizar la instalación de dos re conectadores en el alimentador primario «G» de la subestación Cristianía se ve una reducción del valor del FMIK de 1,81 a 1,18 que corresponde a una mejora del 34,80%.

Este estudio muestra el impacto de la reparación, la ubicación y el tiempo de entrega en las evaluaciones de confiabilidad del sistema de distribución, por lo que se deben desarrollar planes o estrategias para reducir el tiempo de restablecimiento de energía eléctrica, por lo cual se sugiere instalar equipos re conectadores que permitan una rápida resolución de problemas.

La instalación de re conectadores en el sistema de distribución incide directamente en la reducción de la energía no entregada, reduciendo en un 33,94% los kWh/año, pero el valor de dicha reducción depende de la ubicación del re conectador, por lo que es necesario buscar el lugar óptimo para la máxima reducción, así como también la coordinación con otras medidas de seguridad es importante ya que garantiza que se interrumpa un número mínimo de usuarios en caso de existir fallas en el sistema eléctrico de distribución.

REFERENCIAS

- [1] L. F. Restrepo B y L. J. González, «La historia de la probabilidad», *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, vol. 16, n.º 1, pp. 83-87, 2003.
- [2] W. Denson, «The history of reliability prediction», *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 47, n.º 3, pp. 321-328, 1998.
- [3] L. A. Escobar, E. R. Villa y S. Yáñez, «Confiabilidad: historia, estado del arte y desafíos futuros», *DYNA*, vol. 70, n.º 140, pp. 5-21, 2003.
- [4] G. A. Gómez Ramírez, «Evolution and trends of indexes of reliability in electrical systems of power», *Tecnología en Marcha*, vol. 29, n.º 2, pp. 3-13, 2016.
- [5] «Proposed definitions of terms for reporting and analyzing outages of electrical transmission and distribution facilities and interruptions», *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vols. 1 de 2 PAS-87, n.º 5, pp. 1318-1323, 1968.
- [6] P. W. Cash and E. C. Scott, «Security of supply in planning and operation of european power systems part II», *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vols. 1 de 2 PAS-88, n.º 1, pp. 12-31, 1969.
- [7] IEEE Power Systems Relaying Committee, «Distribution protection and restoration systems: design verification by reliability indices», *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS 93, n.º 2, pp. 564-570, 1974.
- [8] E. Sierra y S. Lajes, «Evolución de los métodos de evaluación de la confiabilidad para redes eléctricas de distribución», *Ingeniería Energética*, vol. XXXI, n.º 3, pp. 42-48, 2010.
- [9] T. A. M. Pérez, Estudio para la implementación de un sistema de manejo de información técnica para la operación y mantenimiento de subestaciones de TRANSELECTRIC S. A., Quito, 2004.
- [10] J. A. Y. Morón, *Sistemas de Distribución*, México: Reverte Ediciones S. A., 2009.
- [11] J. L. Mirez Tarrillo, «Matlab/Simulink and Renewable Energy», 11-05-2015. [En línea]. Available: <https://jmirez.wordpress.com/2015/05/11/j774-sistema-de-suministro-de-electricidad/>. [Último acceso: 27 05 2020].
- [12] L. D. Duchicela Garzón, Diseño y análisis técnico económico de la red de distribución eléctrica subterránea de la av. Manuel Córdova Galarza para la Empresa Eléctrica Quito, Quito: EPN, 2015.
- [13] B. V. Freire Villacís, Análisis técnico de la operación del alimentador n.º 2 de la S/E Otavalo, de la Empresa Eléctrica EMELNORTE S. A., Quito: EPN, 2012.
- [14] J. M. Gers, *Distribution system analysis and automation*, London: United Kingdom, 2014.
- [15] J. C. Orjuela, «Schneider Electric», 2008. [En línea]. Available: <http://www.schneider-electric.com.co/documents/eventos/memorias-jornadas-conecta/Confiabilidad/Confiabilidad-sistemas-electricos.pdf>.
- [16] M. Mago, V. L., J. Olaya y D. Subero, «Determinación de la confiabilidad o tiempo promedio entre fallas en transformadores de distribución», *Ingeniería UC*, pp. 3-4, 2014.
- [17] I. M. C. Garcés, «Evaluación de confiabilidad de re conectadores en sistemas eléctricos de distribución radial», Guayaquil, 2015.



Hormigón Preparado Mediante Materiales Reciclados de la Construcción

Prepared Concrete Made by Recycled Construction Materials

Luis Contreras | [iD](#) Universidad Técnica de Ambato (Ecuador)
Gabriela Peñafiel | [iD](#) Universidad Técnica de Ambato (Ecuador)
Bernarda Abril | [iD](#) Universidad Técnica de Ambato (Ecuador)
Wladimir Ramírez | [iD](#) Universidad Técnica de Ambato (Ecuador)

ARTICLE HISTORY

Received: 16/11/2023
Accepted: 07/02/2023

PALABRAS CLAVE

Hormigón, hormigón reciclado, agregado grueso, resistencia a la compresión.

KEY WORDS

Concrete, recycled concrete, coarse aggregate, resistance to compression.

RESUMEN

En esta investigación se llevó a cabo el análisis de la resistencia a la compresión del hormigón tradicional, comparado con la resistencia de hormigones preparados mediante materiales reciclados de la construcción, en su mayoría hormigones provenientes de derrocamientos, residuos de veredas y bordillos, para lo cual se utilizaron dosificaciones sustituyendo al agregado grueso en porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100%. Con la sustitución del 25% se obtuvo una resistencia a la compresión de 244,97 kg/cm², al aumentar el porcentaje de sustitución en 50%, 75% y 100%, se observó una disminución en la resistencia (220 kg/cm²) en comparación con la de 25%. Se concluyó que los ensayos realizados demostraron resultados satisfactorios, lo cual nos permite evidenciar que el material reciclado proveniente de derrocamientos estructurales sí puede ser considerado para la fabricación de nuevos hormigones. Sin embargo, las características de este material deben ser previamente evaluadas.

ABSTRACT

This study covers the resistance to compression analysis of traditional concrete compared to the resistance parameters of concrete prepared using recycled construction materials such as: concrete from building demolitions, sidewalk debris and curbs; substituting the coarse aggregate in percentages of 25%, 50%, 75% and 100%. With a substitution of 25%, a resistance to compression of 244.97 kg/cm² was achieved, increasing the substitution percentage by 50%, 75%, and 100%, it showed a decrease in resistance (220 kg/cm²) in comparison to the 25% of substitution. It was concluded that the tests performed, revealed relevant results, allowing us to determine that recycled material from construction waste might be considered for manufacturing new concrete. However, the features of this material must be previously evaluated.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha notado un incremento significativo en las tendencias hacia la sostenibilidad, no solamente por la innovación tecnológica que vivimos, sino también por la limitación de los recursos, lo cual genera problemas en el ámbito de la construcción [1]-[3], sector que juega un papel fundamental en el desarrollo de la sociedad y está directamente relacionado con el incremento en la calidad de vida de la sociedad moderna [4]-[6].

Tanto el consumo de recursos naturales como la producción de los residuos de la industria de la construcción han aumentado significativamente en los últimos años [7]-[9]. El actual proceso de «construcción-demolición» impone una importante presión sobre los recursos naturales con especial énfasis en los agregados naturales y da como resultado innumerables cantidades de residuos provenientes de este proceso en específico, con un im-

pacto muy negativo para el medio ambiente [10]-[12].

Debido a la actual situación económica y crisis ambiental que vivimos, las exigencias de un desarrollo más sostenible en la industria de la construcción requieren un enfoque diferente a la tecnología del hormigón [13]-[14]. El uso de agregados reciclados para producir hormigón parece ser una solución de alto potencial, ya que no solo permite resolver problemas relacionados con el almacenamiento; transporte y vertido de materiales de construcción y residuos de demolición, sino que contribuye a un entorno potencialmente más sostenible dándole un valor agregado a estos residuos reduciendo el consumo de agregados naturales [15]-[16].

En países de un alto desarrollo técnico-tecnológico la gestión de materiales de desecho representa un desafío constante, por lo que se han implementado procesos de reciclaje utilizando cadenas de valor, aportando con esto no solamente a la conservación ambiental, sino también a la gestión económica de los recursos [17]-[19].

En el Ecuador, el manejo de los residuos provenientes de la construcción o derrocamientos generalmente no cuenta con una correcta gestión, la falta de control por parte de las entidades, así como la carencia de espacios físicos estratégicos donde se pueda depositar el material residual, sumado a la falta de cultura de reciclaje, conlleva a que la mayoría de estos materiales sean depositados en quebradas o lugares inapropiados que generan contaminación y riesgos ecológicos [20]-[22].

Acorde con la literatura, en el Ecuador los escombros están conformados en un promedio de 45% por residuos de hormigón, bloque, ladrillo, asfalto, gravas, arenas, un ~25% está compuesto por residuos de maderas y tablas, dejando el restante correspondiente a materiales como vidrios, asbestos, tuberías, etc. [23]-[24]. Por tal motivo, se observa que existe un nicho de mercado para un reciclaje y establecimiento de una cadena de valor potencial, utilizando materiales que son desechos de las construcciones [25].

Este estudio se enfoca en el análisis de la resistencia a compresión que se obtiene del hormigón preparado con materiales reciclados de la construcción, con la finalidad de comprobar si cumple con los requisitos técnicos para su uso e implementación.

2. MÉTODO

Esta investigación es de tipo exploratorio descriptivo, donde se analiza y recolecta datos experimentales, los cuales permitirán evaluar la viabilidad del uso e implementación de hormigones preparados a partir de materiales reciclados de la construcción. Se fabricaron cilindros de hormigón simple (HS) a base de cemento, arena,

ripió y agua, con una dosificación específica para que las muestras alcancen una resistencia de 210 kg/cm², de acuerdo a la norma ASTM C31.

Para la elaboración del hormigón, se procedió a la recolección de los agregados grueso, fino y cemento, además del material reciclado proveniente de cilindros ensayados, bordillos, veredas entre otros. Posteriormente, se desarrollaron ensayos de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas de cada componente con la finalidad de comprobar su calidad y establecer si cumplen con las normas establecidas para la elaboración del hormigón.

Para el cálculo de la dosificación del hormigón se empleó el método de la densidad óptima desarrollado por la Universidad Central del Ecuador, en el cual son necesarios los resultados obtenidos de los siguientes ensayos de laboratorio (ver Tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6).

Para las probetas de hormigón con material reciclado (HR), en lugar de agregado grueso se colocó hormigón triturado considerando una dosificación al peso, al momento de diseñar las probetas se fue trabajando con proporciones de 25, 50, 75 y 100%, aplicando una regla de tres simple a la dosificación del hormigón simple (HS) de 210 kg/cm², considerando que ambos materiales (HS y HR) tienen densidades similares.

Se tomaron como materiales de estudio a los residuos provenientes de cilindros de hormigón ensayado, los cuales fueron analizados en laboratorio para determinar sus propiedades físicas. Las tablas 1 y 2 muestran la dosificación tanto para el hormigón simple como para el hormigón reciclado en diferentes proporciones.

Se determinó un 2% de cantidad de pasta en la mezcla, la cantidad de pasta permite llenar los vacíos que dejan los áridos, añadiéndose una cantidad extra para cubrir todas las partículas de agregado presente, además proporciona trabajabilidad y plasticidad al hormigón y el asentamiento requerido (ver Tabla 7).

$$\begin{aligned}
 CP \% &= POV + 2\% + 8\% \text{ (POV)} \\
 CP \% &= 29,47\% + 2\% + 8\% \text{ (29,47\%)} \\
 CP \% &= 33,82\% \\
 CP &= \frac{CP\%}{100} \times 1000 \text{ dm}^3 \\
 CP &= \frac{33,82\%}{100} \times 1000 \text{ dm}^3 \\
 CP &= 338,22 \text{ dm}^3 \qquad (1)
 \end{aligned}$$

Según el cálculo anterior, se identifica que la cantidad de pasta calculada es de 338,22 dm³ (ver Tablas 8 y 9).

Tabla 1.

Ensayos de laboratorio de los componentes del concreto

ENSAYOS	AGREGADO	AGREGADO	CEMENTO
	GRUESO	FINO	
Análisis granulométrico	x	x	-
Densidad aparente suelta	x	x	-
Densidad aparente compactada	x	x	-
Densidad real	-	-	x
Capacidad de absorción	x	x	-

Tabla 3.

Ensayos de densidad aparente suelta de los agregados

DENSIDAD APARENTE SUELTA DE LOS AGREGADOS			
Norma: NTE INEN 858-2010			
Agregado fino		Agregado grueso	
Peso unitario promedio (kg/dm ³):	1,47	Peso unitario promedio (kg/dm ³):	1,33

Tabla 5.

Ensayos de densidad real y capacidad de absorción de los agregados

DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS			
Norma: NTE INEN 856 y NTE INEN 857			
Agregado fino		Agregado grueso	
Densidad real (gr/cm ³):	2,61	Densidad real (gr/cm ³):	2,63
Capacidad de absorción promedio (%):	1,96	Capacidad de absorción promedio (%):	2,61

Tabla 7.

Cantidad de pasta según asentamiento

Asentamiento en cm	Cantidad de pasta en %
0-3	POV + 2% + 3% (POV)
3-6	POV + 2% + 6% (POV)
6-9	POV + 2% + 8% (POV)
9-12	POV + 2% + 11% (POV)
12-15	POV + 2% + 13% (POV)

Tabla 2.

Ensayos de análisis granulométrico de los agregados

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS			
Norma: NTE INEN 696			
Agregado fino		Agregado grueso	
Módulo de finura:	Límites establecidos en la norma:	Tamaño nominal máximo:	Tamaño nominal máximo de la norma:
2,93%	2,30% - 3,10%	1 ½" (38 mm)	50 mm
Criterio de aceptación:	ACEPTABLE	Criterio de aceptación:	ACEPTABLE

Tabla 4.

Ensayos de densidad aparente compactada de los agregados

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LOS AGREGADOS			
Norma: NTE INEN 858-2010			
Agregado fino		Agregado grueso	
Peso unitario promedio (kg/dm ³):	1,60	Peso unitario promedio (kg/dm ³):	1,43

Tabla 6.

Ensayos de densidad real del cemento

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	
Norma: NTE INEN 156	
Densidad real promedio (gr/cm ³):	2,81

Tabla 8.

Dosificación al peso para HS (f'c=210 kg/cm²)

DOSIFICACIÓN AL PESO PARA HORMIGÓN SIMPLE			
f'c= 210 kg/cm ²			
MATERIAL	SIMBOLOGÍA	DOSIF. PESO	PESO (kg)
Agua	W	0,58	8,31
Cemento	C	1	14,4
Arena	A	1,72	20,64
Ripio	R	3,08	36,96

Tabla 9.

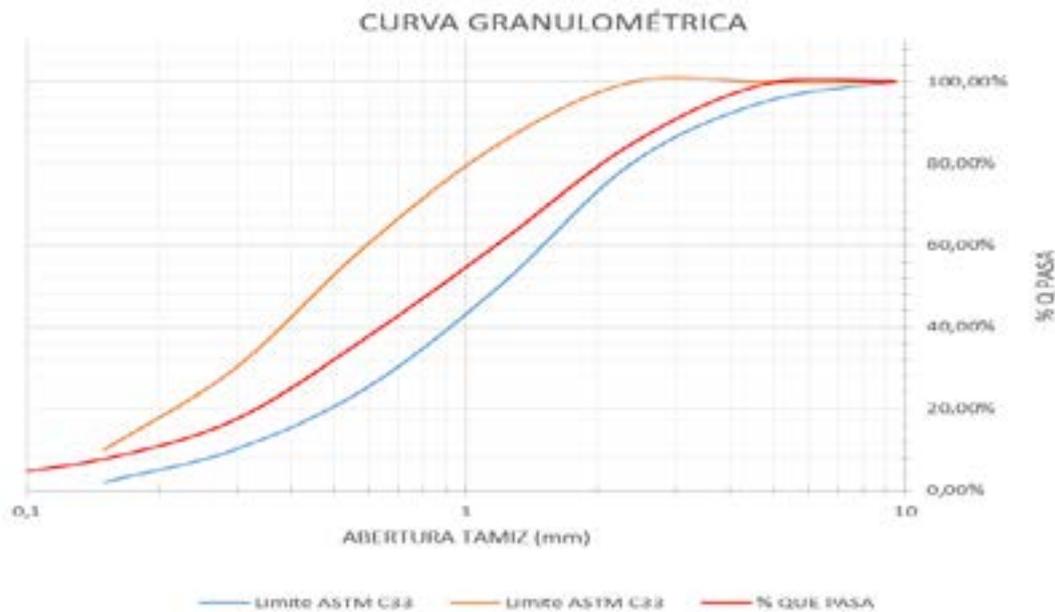
Dosificación al peso para HR (f'c=210 kg/cm²), en diferentes proporciones

DOSIFICACIÓN AL PESO PARA HORMIGÓN RECICLADO					
f'c= 210 kg/cm ²					
PROPORCIÓN (%)	PESO (kg)				
	Agua (W)	Cemento (C)	Arena (A)	Hormigón triturado (HT)	
25	8,31	14,4	20,64		9,24
50	8,31	14,4	20,64		18,48
75	8,31	14,4	20,64		27,72
100	8,31	14,4	20,64		36,96

Tabla 10.

Análisis granulométrico del agregado fino

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AGREGADO FINO							
PESO MUESTRA (gr):		884			PÉRDIDA DE MUESTRA (%):		0,03
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Límites ASTM % que pasa	
3/8	9,5	0	0	0,00%	100,00%	100	
#4	4,76	7,0	7	0,79%	99,21%	95-100	
#8	2,38	128,5	135,5	15,33%	84,67%	80-100	
#16	1,19	213,4	348,9	39,48%	60,52%	50-85	
#30	0,59	205,9	554,8	62,78%	37,22%	25-60	
#50	0,297	176,4	731,2	82,74%	17,26%	10-30	
#100	0,149	84,2	815,4	92,27%	7,73%	2-10	
#200	0,075	40,7	856,1	96,88%	3,12%	-	
bandeja		27,6	883,7	100,00%	0,00%	-	
MÓDULO DE FINURA				2,93%			



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, tabla 10 y curva, se detallan los resultados de los ensayos de granulometría a los agregados fino y grueso (ver Tabla 10 y Curva).

INTERPRETACIÓN DE LA CURVA

Después de realizado el respectivo ensayo granulométrico se obtuvo un módulo de finura de 2,9, el cual se encuentra dentro de los límites de 2,3-3,1 tabla 11 y curva, establecidos en nuestro medio, considerándose recomendable para la elaboración del hormigón (ver Tabla 11 y Curva).

INTERPRETACIÓN DE LA CURVA

Los resultados obtenidos en el ensayo granulométrico del

agregado grueso son óptimos para la elaboración del hormigón, cuyo tamaño nominal máximo es de 3/4" (19,05 mm) encontrándose dentro del rango establecido en la norma.

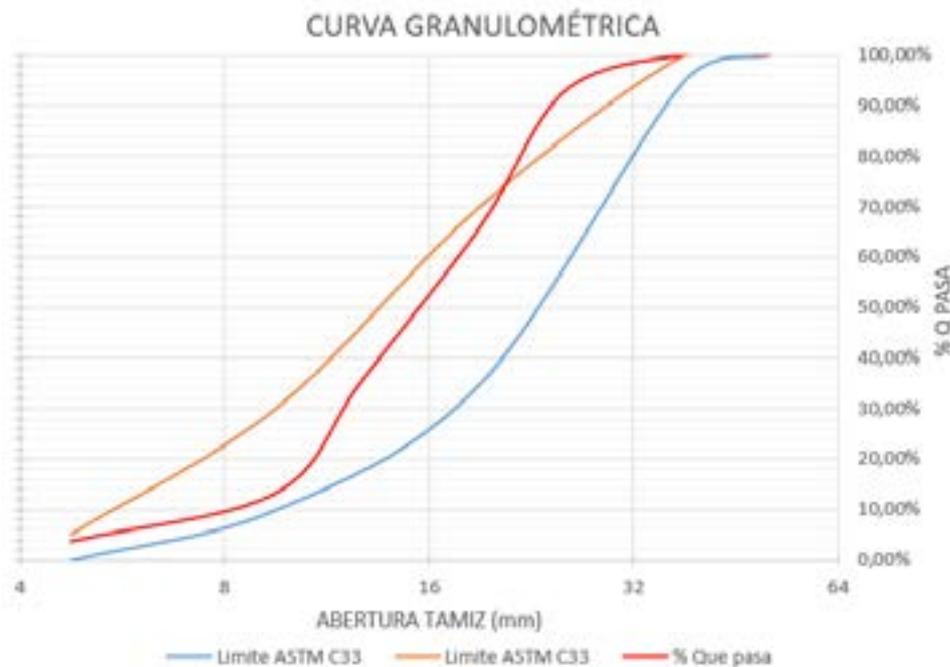
Los resultados presentados se dividen en dos grupos. El primer grupo (G1) corresponde a las propiedades del hormigón endurecido a los 14 días de edad, y el segundo (G2) corresponde a las mismas propiedades que el grupo anterior, pero a los 28 días de edad, una vez que el hormigón alcanza su máxima resistencia. En las tablas 12 y 13 se indican estos valores (ver Tablas 12 y 13).

Para una dosificación de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, la muestra de hormigón elaborada con 25% de residuos de concreto como agregado grueso, alcanzó una resistencia a compresión de $244,97 \text{ kg/cm}^2$, superando la resistencia a la compresión planificada inicialmente, y clasificándose como un hormigón estructural. Para los porcentajes de 50, 75 y 100%, la resistencia a compresión fue de 220,27, 218,07 y

Tabla 11.

Análisis granulométrico del agregado grueso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – AGREGADO GRUESO							
NORMA NTE - INEN 696 (ASTM C 136)							
PESO MUESTRA (gr):		5000		PÉRDIDA DE MUESTRA (%):		0,39	
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Límites ASTM % que pasa	
2"	50,8	0	0	0,00%	100,00%	100	
1 ½"	38,1	0	0	0,00%	100,00%	95-100	
1"	25,4	709	709	7,10%	92,90%	-	
¾"	19,05	2685	3394	34,01%	65,99%	35-70	
½"	12,7	3074	6468	64,81%	35,19%	-	
⅜"	9,53	2188	8656	86,73%	13,27%	10-30	
#4	4,75	961	9617	96,36%	3,64%	0-5	
BANDEJA		363	9980	100,00%	0,00%	-	
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:					¾"		



217,07 kg/cm², respectivamente.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) indica en el capítulo NEC-SE-HM, que la resistencia mínima a la compresión debe ser de 21 MPa o 214,14 kg/cm². En tal virtud, todos los hormigones que fueron elaborados, se pueden considerar como material estructural, según los datos obtenidos.

En las figuras 1 y 2 se indican las curvas de resistencia versus el porcentaje de HR del G1 y G2. Es evidente que la resistencia a la compresión del hormigón es inversamente proporcional al porcentaje de HR en reemplazo del agregado grueso tradicional. En G2, hay un decremento significativo de la resistencia entre el 25% y 50% de HR, mientras que para los demás porcentajes no se presenta mayor variación (ver Figuras 1 y 2).

TIPO DE FALLA

Las fallas promedio que se presentaron en las probetas son fracturas combinadas de esfuerzo de corte y compresión, es decir, se producen concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga. Este tipo de falla corresponde a cilindros con poca o casi nula porosidad.

4. CONCLUSIONES

Se estableció la idoneidad de los parámetros para la elaboración del hormigón mediante la granulometría de agregados finos y gruesos bajo normas. Una vez que se determinó la resistencia a la compresión del hormigón

Tabla 12.

Ensayo a compresión del hormigón reciclado a los 14 días de edad

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN RECICLADO ENDURECIDO (G1)					
f'c:	210 kg/cm ²	Edad:	14 días		
PROPORCIÓN (%)	PROPIEDADES				
	Diámetro promedio (cm)	Resistencia media (kg/cm ²)	Densidad media en estado fresco (kg/m ³)	Densidad media en estado endurecido (kg/m ³)	
25	15,2	177,87	2326,83	2265,59	
50	15,2	174,31	2296,21	2198,24	
75	15,1	170,83	2246,06	2227,45	
100	15,2	169,86	2314,58	2228,86	

Tabla 13.

Ensayo a compresión del hormigón reciclado a los 28 días de edad

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN RECICLADO ENDURECIDO (G2)					
f'c:	210 kg/cm ²	Edad:	28 días		
PROPORCIÓN (%)	PROPIEDADES				
	Diámetro promedio (cm)	Resistencia media (kg/cm ²)	Densidad media en estado fresco (kg/m ³)	Densidad media en estado endurecido (kg/m ³)	
25	15,23	244,97	2243,5	2213,01	
50	15,07	220,27	2337,03	2262,25	
75	15,1	218,07	2320,52	2227,45	
100	15,1	217,07	2301,91	2184,02	

210 kg/cm² utilizando hormigón reciclado como agregado grueso en los porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100% se comprobó que con la sustitución de 25% se logró una resistencia en promedio de 244,97 kg/cm², al aumentar el porcentaje de sustitución en 50%, 75%, y 100% se observó una disminución en la resistencia, sin embargo, se puede establecer que este hormigón es capaz de ser utilizado como un concreto estructural, debido a que cumple con los requisitos mínimos especificados en la norma NEC-2015.

Para determinar la dosificación al peso para fabricar el HR, se asumió que los residuos de concreto poseen las mismas propiedades físicas que un ripio tradicional. La fórmula obtenida permitió que se cumplan los objetivos de resistencia, lo que significa que el material proveniente de derrocamientos estructurales sí puede ser utilizado para la fabricación de nuevos hormigones. Sin embargo, las características de este material deben ser evaluadas previamente.

A criterio de este estudio, el porcentaje apropiado para trabajar con HR debe encontrarse hasta el 50%. Más allá de ese valor las resistencias obtenidas por el concreto podrían no cumplir objetivos establecidos.

5. REFERENCIAS

- [1] J. G. Mendoza Cantos y M. G. Vanga Arvelo, «Realidad y expectativa sobre la construcción sostenible en Ecuador», *Rev. San Gregor.*, n.º 43, pp. 197-209, 2020.
- [2] L. Rodríguez-Potes et al., «Arquitectura y urbanismo sostenible en Colombia. Una mirada al marco reglamentario», *Bitácora Urbano Territ.*, vol. 28, n.º 3, pp. 19-26, 2018.
- [3] M. Clapers Vivares, *Un nuevo paradigma para la construcción sostenible: la economía azul*, tesis, UPC, Barcelona, 2018, Accessed: nov. 15, 2022. [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/124118>.
- [4] S. Rodríguez Escanciano, «Sostenibilidad laboral en el sector de la construcción: la estabilidad en el empleo como premisa», *Temas laborales, Rev. andaluza Trab. y Bienestar Soc.* ISSN 0213-0750, n.º 152, pp. 13-52, 2020, Accessed: nov. 15, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7464722&info=resumen&idioma=SPA>.
- [5] A. M. Yagual-Velástegui et al., «La contribución del sector de la construcción sobre el producto interno bruto (PIB) en Ecuador», *Rev. Lasallista Investig.*, vol. 15, n.º 2, pp. 286-299, dec. 2018.
- [6] I. Pacheco, «Romance and assonance in the German

- Calderón», *Anu. Calderoniano*, vol. 15, pp. 449-470, 2022.
- [7] J. Rocha-Pardo, Elementos de construcción a partir de residuos de construcción y demolición en Bogotá, trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá., 2022.
- [8] L. M. Chica-Osorio, J. M. Beltrán-Montoya, «Caracterización de residuos de demolición y construcción para la identificación de su potencial de reúso», *DYNA*, vol. 85, n.º 206, pp. 338-347, jul. 2018.
- [9] J. Alejandro Delgado-Larrea, A. Wladimir Valle-Benítez y S. Eugenio Delgado-Menoscal, «Plan de mejora del estudio de gestión integral residuos sólidos de construcción Banco del Pacífico», *Polo del Conoc. Rev. científico - Prof.* ISSN-e 2550-682X, vol. 6, n.º 5, 2021, pp. 717-739.
- [10] M. F. Hernández-Zamora, S. Jiménez-Martínez, J. I. Sánchez-Monge, «Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción», *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 34, n.º 2, pp. 3-10, mar. 2021.
- [11] E. Álvarez Calixto y K. Rincón Carreño, «El impacto ambiental de la gestión de las constructoras», *Formación Estratégica*. <https://formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/14/10> (accessed Nov. 15, 2022).
- [12] M. Vargas, *Investigación sobre el manejo de residuos en construcción entre Europa, América y Colombia*, tesis, Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/21255> (accessed Nov. 15, 2022).
- [13] R. Jin, B. Li, A. Elamin, S. Wang, O. Tsioulou, and D. Wanatowski, «Experimental investigation of properties of concrete containing recycled construction wastes», *Int. J. Civ. Eng.*, vol. 16, n.º 11, pp. 1621-1633, apr. 2018.
- [14] P. Sormunen and T. Kärki, «Recycled construction and demolition waste as a possible source of materials for composite manufacturing», *J. Build. Eng.*, vol. 24, p. 100742, jul. 2019.
- [15] W. Ahmad, A. Ahmad, K. A. Ostrowski, F. Aslam, and P. Joyklad, «A scientometric review of waste material utilization in concrete for sustainable construction», *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 15, p. e00683, dec. 2021.
- [16] K. A. González Molina, «Revisión sistemática de la economía circular en la industria del hormigón: efecto económico ambiental», jun. 2021, Accessed: jan. 31, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2915>.
- [17] J. de Brito and R. Kurda, «The past and future of sustainable concrete: a critical review and new strategies on cement-based materials», *J. Clean. Prod.*, vol. 281, p. 123558, Jan. 2021.
- [18] S. K. Kirthika, S. K. Singh, and A. Chourasia, «Alternative fine aggregates in production of sustainable concrete: a review», *J. Clean. Prod.*, vol. 268, p. 122089, Sep. 2020.
- [19] L. Assi, K. Carter, E. (Eddie) Deaver, R. Anay, and P. Ziehl, «Sustainable concrete: Building a greener future», *J. Clean. Prod.*, vol. 198, pp. 1641-1651, oct. 2018.
- [20] K. Vázquez-Calle, V. Guillén-Mena, and F. Quesada-Molina, «Analysis of the embodied energy and CO₂ emissions of ready-mixed concrete: a case study in Cuenca, Ecuador», *Mater.* 2022, vol. 15, n.º 14, p. 4896, jul. 2022.
- [21] C. D. Chicaiza Ortiz, V. P. Navarrete Villa, C. O. Camacho López, and Á. F. Chicaiza Ortiz, «Evaluation of municipal solid waste management system of Quito-Ecuador through life cycle assessment approach», *LALCA Rev. Latino-Americana em Avaliação do Ciclo Vida*, vol. 4, p. e45206, jul. 2020.
- [22] M. C. Meza Rivas, «Análisis económico y financiero en el manejo integral de residuos sólidos en los municipios de la Zona 4 del Ecuador», *M+A, Rev. electrónica Medioambiente*, ISSN-e 1886-3329, vol. 22, n.º 2, pp. 40-59, 2021, Accessed: nov. 15, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8488496&info=resumen&idioma=ENG>.
- [23] K. F. Haro González, «Evaluación mecánica de bordillos prefabricados elaborados con hormigón que contiene áridos reciclados provenientes de elementos estructurales usados como sustituto parcial del árido natural», 2022, Accessed: jan. 31, 2023. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23241>.
- [24] B. Baque Campozano y L. Torres Cueva, «Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón utilizando como agregados concreto reciclado», tesis, UNESUM, Jipijapa, 2022, Accessed: jan. 31, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4300>.
- [25] M. D. Cabezas, «Hydrogen energy vector: demonstration pilot plant with minimal», *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 39, pp. 18165-18172, 2014.



Gestión Energética para Optimizar los Indicadores de Desempeño IDEn del Suministro Eléctrico en el Hospital Básico Yerovi Mackuart del Cantón Salcedo, en la Provincia de Cotopaxi, en el año 2022

Energy Management to Optimize IDEn Performance Indicators of Electricity Supply at the Yerovi Mackuart Basic Hospital in Salcedo Canton, Cotopaxi Province, in 2022

Fernando Rafael Arias Atiaja | Universidad Técnica de Cotopaxi (Ecuador)
Carlos Iván Quinatoa Caiza | Universidad Técnica de de Cotopaxi (Ecuador)

ARTICLE HISTORY

Received: 20/12/2022
Accepted: 02/05/2023

PALABRAS CLAVE

Portadores energéticos, parámetros eléctricos, factor de potencia, IDEn, DPEA.

KEY WORDS

Energy carriers, electrical parameters, power factor, IDEn, DPEA.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en el hospital Yerovi Mackuart, donde se identificaron portadores energéticos, se recopilaron niveles de consumo eléctrico de abril 2021 a septiembre 2022, se realizó la medición de parámetros eléctricos en los principales servicios y en la red del hospital, mediante la utilización de un analizador de redes, pinza amperimétrica y luxómetro, lo que confirmó la ineficiencia tanto en el uso de la energía eléctrica como lumínica, la compensación reactiva permitió incrementar un factor de potencia de 0,87 a 0,95, disminuyendo la cargabilidad del transformador, simular en DIALUX el sistema lumínico ayudó a evaluar y con base en tecnología LED cumplir criterios de calidad lumínica, disminuir la demanda eléctrica kWh, mientras los IDEn fueron mejorados al obtener una disminución de 13.748,2 kWh/año, y evitar 2635,63 kg/CO₂/año, las DPEA alcanzaron valores menores a 14 W/m²; por último, el estudio económico mostró una rentabilidad de valor actual neto de USD 2361,03 y una tasa interna de retorno de 21,25%.

ABSTRACT

The present research was carried out in the Yerovi Mackuart hospital, where energy providers were identified, electricity consumption levels were compiled from April 2021-September 2022, electrical parameters were measured in the main services and in the hospital network, using a network analyzer, amperimetric clamp and luxmeter, the reactive compensation allowed to increase the power frequency from 0.87 to 0.95, reducing the chargeability of the transformer, simulating the lighting system in DIALUX it also helped to evaluate and based on LED technology, to meet lighting quality criteria, to reduce the electrical demand kWh, while the IDEn were significantly improved by obtaining a decrease of 13748.2 kWh/year, and avoided 2635.63 kg/CO₂/year, the DPEA reached values of less than 14 W/m² and finally the economic study revealed a net present value cost-effectiveness of USD 2361.03 and an internal return rate of 21.25%.

I. INTRODUCCIÓN

La gestión energética es una herramienta fundamental, un proceso sin el uso adecuado de la energía, es un proceso no eficiente enmarcado en el desarrollo de la sociedad humana, en el sistema energético actual donde la utilización de combustibles fósiles es insostenible, la producción y el consumo de energía causan incrementos constantes en los precios, como también el deterioro del medio ambiente, entonces surge la importancia

de contar con una gestión energética adecuada en todos los ámbitos [1].

El uso de la energía es esencial dentro de una unidad hospitalaria, estas áreas demandan de climatización originada por combustión de petróleo o gas, iluminación producida por electricidad, vapor causado por la transformación del agua a través de la combustión de derivados del petróleo, agua del sistema de agua potable [2].

Una evaluación racional de la energía en edificios sanitarios requiere de una minuciosa identificación de perfiles de consumo con regularidad, la variabilidad de resultados manifiesta que, para obtener una adecuada gestión energética, el consumo energético debe estudiarse por separado en cada área [3].

Impulsar la eficiencia energética es primordial en el estudio de gestión energética, para mejorar el uso racional de la energía y el aprovechamiento de la misma, destacando como una gran oportunidad [4].

El estudio de indicadores de desempeño energético (IDEn) es un mecanismo clave que permite que los resultados sean eficaces y medibles en el tiempo, dentro de la norma ISO 50001 [5].

La evaluación energética permite mejorar los indicadores de desempeño energético a través de enfoques multidisciplinarios, estos se dividen en cuatro subgrupos como evaluación, encuesta y recopilación de datos, retroadaptación y recopilación de datos para el control, se compara la auditoría antes y después de la rehabilitación, el objetivo es valorar para ver si se redujo la emisión de gases de efecto invernadero y el consumo de energía [6].

En salud pública el estudio energético es de gran interés, ya que ha sido muy irrisorio el estudio y poco a poco se han ido desarrollado desde centros de enfermería primitivos a organizaciones altamente complejas. Los hospitales además de la atención y el servicio que ofrecen, son establecimientos de enseñanza y de formación que van creciendo como incubadoras para la investigación y el adelanto en medicina y ciencias farmacéuticas, por lo tanto, los hospitales deben ser funcionales y de apoyo a las diversas funciones que se llevan a cabo [7].

Se propone un plan de acción conforme la creación de políticas energéticas, comenzando por la responsabilidad del personal y del usuario, cumplimiento de medidas internas que sirvan para detectar pérdidas de energía e impulsar la eficiencia energética, actividades que sean llevadas a la práctica dentro del referido uso eficiente de la energía, como promoción del cambio tecnológico y promoción del cambio del comportamiento del usuario del servicio [3].

Por lo tanto, se propone un enfoque basado en obtener varias oportunidades de recuperación de energía, siendo para ello necesario el estudio del potencial energético que presenta una viabilidad técnica y una rentabilidad económica frente a fuentes de energía convencionales [8].

La intención de este estudio pone de manifiesto el desarrollo de un análisis de calidad de energía y lumínica en el Hospital Básico Yerovi Mackuart. El objetivo es analizar el comportamiento del sistema eléctrico a través de un diagnóstico energético.

El objetivo fundamental es crear una metodología

de recopilación y cuantificación del consumo en el sistema energético hospitalario, identificar factores relevantes que afecten los procesos y proponer soluciones medibles en el tiempo; esperando obtener como resultado un bien común para la sociedad a través de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, además la educación de la comunidad en gestión energética y contribuir para una sustentabilidad y optimización en el uso racional de la energía y el aprovechamiento de la misma.

2. FUNDAMENTACIÓN

A. SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA (SGEn)

La ISO (Internacional Organization for Standardization) es la Organización Internacional de Normalización que elaboró la norma en junio del 2011, sobre sistemas de gestión de la energía ISO 50001 [4]. El sistema de gestión energética (SGEn) es un conjunto de reglas que proporciona una estructura y métodos necesarios para alcanzar los objetivos a través de procesos que establezcan la mejora continua del desempeño energético.

Cuando se aplica el SGEn en una organización se busca mejorar su gestión mediante estrategias que permitan aumentar y optimizar su eficiencia, el objetivo es aprobar la integración con otros sistemas de gestión organizacional como el de seguridad, medioambiente, calidad y salud. El desempeño energético lleva una correlación con la eficiencia energética el uso de la energía y el consumo de la misma [9] - [11].

En la figura 1 se observa el modelo de gestión de la energía basado en el ciclo de mejora continua PHVA (ver Figura 1).

B. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA SGEn

Están compuestos por la base sobre la que se fundamenta la operación de SGEn, en figura 2 los ejes como planeación, elaboración, verificación, requerimientos (ver Figura 2) [11],[12].

C. PROCESO DE UNA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA

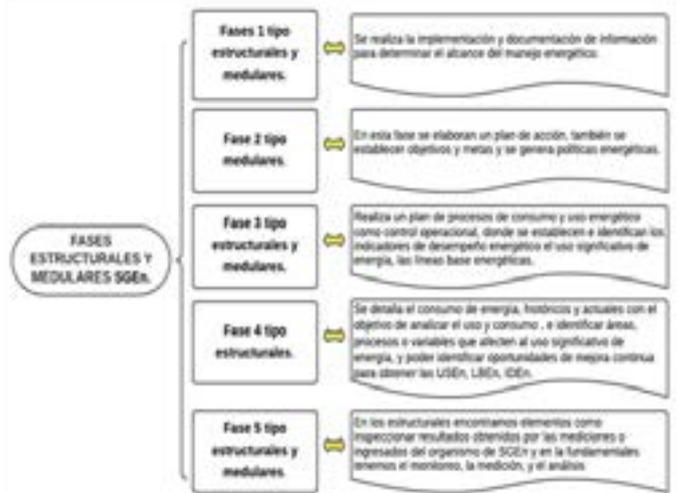
La planificación debe tener en cuenta incertidumbres, riesgos y oportunidades asociados al sistema y desempeño energético, donde interviene el gestor energético apoyado por su equipo, que debe planificar la recopilación de datos que certifiquen las particularidades claves de la operación que afecta al desempeño energético donde midan, identifiquen y analicen. Las metodologías utiliza-

Figura 1.

Ejes de estructuración del SGE_n, del ciclo de mejora continua [11]

Figura 2.

Fases estructurales y modulares [4], [12], [13]



das para la planificación son diagnóstico de desempeño energético, la línea base energética, indicadores de desempeño energético, además de objetivos metas y planes de acción (ver Figura 3) [14] - [16].

D. USOS SIGNIFICATIVOS DE LA ENERGÍA (USE_n)

Los USE_n establecen dos definiciones como potenciales e importantes para el desempeño energético y consumo substancial de energía; en el primero se utiliza resultados de estudios previos con buenas prácticas, con niveles de consumo y eficiencia en el uso de la energía, mientras que en el segundo se identifica un balance y muestra la representación de un mayor porcentaje de la energía [15].

E. PRINCIPIO DE PARETO

Es una representación gráfica que muestra la categoría relativa de diferentes causas para priorizar y lograr mayor efectividad; esta herramienta permite tomar decisiones sobre las causas que hay que resolver.

Podemos suponer dentro de una organización que un 20% de los procesos representan un 80% del consumo energético, por lo que estos son denominados como significativos [17], [4]. La figura 4 pertenece a la representación gráfica del diagrama de Pareto (ver Figura 4).

F. LÍNEA BASE ENERGÉTICA (LBE_n) E INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO (IDE_n)

A la línea base o referencia cuantitativa que provee la base de comparación del desempeño energético, estas LBE_n son fundamentales ya que permiten medir el desempeño energético y demostrar su mejora en el tiempo, las LBE_n se determinan al comparar el desempeño en un

período dado con la línea base energética e indica el estado del desempeño energético antes de realizar acciones de mejora, y se determinan en función de los límites y alcances, definidos por el SGE_n [14], [16].

Los indicadores de desempeño energético (IDE_n) son unidades de desempeño energético definidas por la organización que permiten el control y monitoreo de procesos en los que se evalúa el desempeño y determinan si se ha logrado un ahorro real objetivo [14], [16].

G. ADQUISICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS

Para obtener los parámetros eléctricos y selección del equipo analizador de redes se siguió la metodología de la figura 5 (ver Figura 5):

Como señala [18] se procedió a la selección del equipo analizador de redes de clase A, que cuenta con certificado de calibración, se adquirió el analizador de redes Fluke 1748, para obtener datos exactos y precisos.

Realizada la configuración del equipo e instalación se halló mediciones promedio de voltaje, corriente, potencia, factor de potencia, armónicos y flicker, dentro de un período comprendido entre el 27/03/2022 y el 04/08/2022 acorde a la normativa [19].

Nivel de voltaje

La regulación N.º ARCERNR-002/20, define al nivel de voltaje, con la tabla 1 de [19]:

$$\Delta V_k = \left(\frac{V_k - V_N}{V_N} \right) \quad (1)$$

Donde:

ΔV_k : Variación del voltaje de suministro con respecto al nominal en k (%).

Figura 3.

Esquema de la planificación del SGE [14]

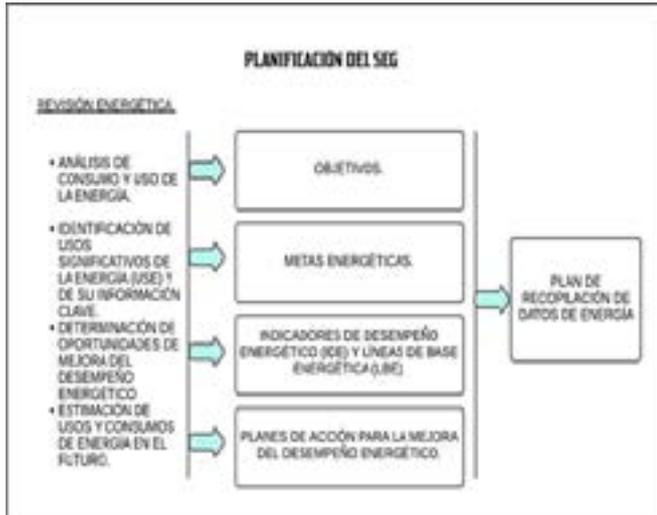


Figura 4.

Representación gráfica de Pareto [17]

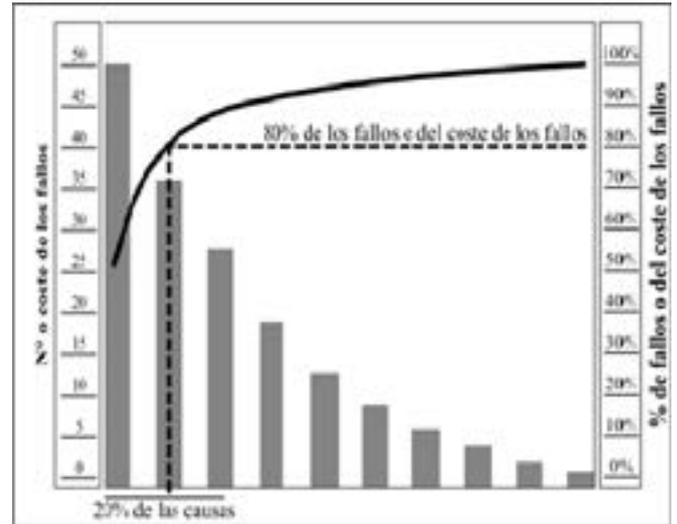
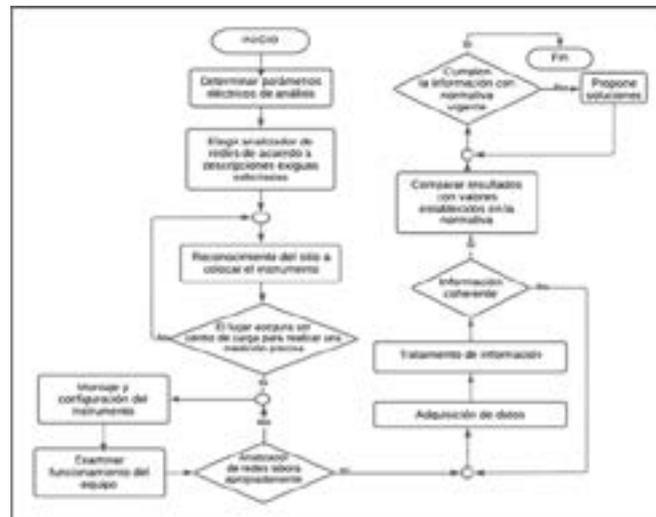


Figura 5.

Metodología para obtener parámetros eléctricos a través del analizador de redes



V_k : voltaje de suministro en el sitio k , definitivo como el promedio de las mediciones consignadas (por lo menos cada 3 segundos) dentro del período de 10 minutos (V).
 V_{Nk} : Voltaje nominal en el punto k (V).

Desequilibrio de voltaje y corriente

Dependencia del componente de secuencia positiva y negativa expresado como porcentaje, el desequilibrio de voltaje de un servicio trifásico es inferior al 5%, el desequilibrio de corriente puede ser mayor cuando existen cargas monofásicas [19]-[20], y está representado por la siguiente ecuación:

$$\% \text{Desequilibrio} = \frac{|V_{neg}|}{|V_{pos}|} \quad (2)$$

$$D_i = \left(\frac{I_{max} - I_{med}}{I_{med}} \right) \times (100\%) \quad (3)$$

Donde:

I_{max} : Corriente máxima entre las fases (A).

I_{med} : Corriente promedio de las fases existentes (A).

Distorsión armónica de voltaje

Es aquella medida de la cantidad que distorsiona o cambia la representación de onda del voltaje, los límites máximos de voltaje y factor de distorsión armónica individual se muestran en la tabla 2 [19], [21].

Distorsión armónica de corriente

Se aplica para usuarios conectados a rangos de sistemas donde el PPC es de 120 V a 69 KV. Podemos observar mediante la tabla 2 de [21].

Para determinar la corriente de cortocircuito utilizamos la ecuación 4:

$$I_{SC} = \frac{I_n}{X_{Tpu}} \quad (4)$$

Donde:

I_{SC} : Corriente máxima de cortocircuito en el PCC

I_L : Máxima demanda de corriente de carga

I_n : Corriente nominal monofásica (A)

X_{Tpu} : Reactancia del transformador por unidad (P.U.)

H. PROCEDIMIENTO PARA EL DIAGNÓSTICO DE ILUMINACIÓN

Para determinar el nivel de iluminación de las áreas en estudio y para cumplir este objetivo se procedió a seguir la metodología con los pasos de la figura 6 (ver Figura 6).

Para seleccionar el equipo de medición de luxes adecuado se consideró el criterio de [22] Apéndice A, A.3. Instrumentación, para ello se consideró un rango de medición de 0,5 a 500 luxes, mediante este criterio se eligió un luxómetro Digi-Sense 20250-00 que cumplió con las características requeridas.

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

A. LOCALIZACIÓN TERRITORIAL

El Hospital Básico Yerovi Mackuart se encuentra ubicado en la provincia de Cotopaxi en el cantón Salcedo en la parroquia San Miguel, sirve a una población aproximada de 57.528 habitantes con un área de 12.070m² sus coordenadas geográficas son 1°0'20"S 78°35'23"W, se encuentra a 2652 metros sobre el nivel del mar, en la figura 7 se puede observar su ubicación geográfica (ver Figura 7).

B. BALANCE ENERGÉTICO DEL HOSPITAL CASO DE ESTUDIO

Se identificaron los portadores energéticos más representativos, mediante información de período de un año, comprendido entre octubre 2021-septiembre 2022, cuantificado en dólares, en la figura 8 se observa la barra más representativa que pertenece a energía eléctrica con un valor anual de USD 16.929,08, que comprende únicamente el rubro por consumo, sin considerar valores de terceros que se incluyen en la factura.

El porcentaje de consumos energéticos se distribuye de la siguiente manera: energía eléctrica en un 47,2%, el oxígeno en un 37,4%, seguido por el GLP en un 13%, el diésel en un 0,6% y la gasolina en un 1,7% (ver Figura 8).

Mediante la aplicación del diagrama de Pareto en la organización se observa que el 83,70% de energéticos que consume el hospital corresponde a energía eléctrica y oxígeno y el 17,30% corresponde al resto de energéticos.

C. DESCRIPCIÓN DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO DEL HOSPITAL YEROVI MACKUART

El suministro eléctrico es atendido a medio voltaje de 13,2 kV, a través de la distribuidora y mediante el transformador se reduce a bajo voltaje, 220 y 127 voltios para su consumo, el transformador es de marca INATRA de 75 kVA el que abastece la carga total al hospital, de los terminales del transformador parte en bajo voltaje al tablero general y de ahí se deriva al tablero de transferencia automático, igual ingresa la acometida del generador 152 kVA que alimenta para casos de emergencia, del tablero de transferencia sale una acometida al tablero general, de este tablero se distribuyen la alimentación a cargas generales de todo el hospital.

Del tablero de distribución principal parte a subtableros que alimentan el sistema de fuerza normal, regulada, iluminación y aire acondicionado, las acometidas a los subtableros son trifásicos, 4 hilos tensión nominal 220/127.

Se comprende el sistema a baja tensión desde los terminales del transformador hasta el uso final de la energía, y opera a un voltaje 220/127, consideraciones técnicas que fueron destinadas para servicios de salud.

Debido a los años que presentan las instalaciones del servicio hospitalario, ni el personal técnico ni administrativo muestran planos de construcción ni planos eléctricos unifilares, por lo que se procedió a hacer un levantamiento unifilar eléctrico mediante visita *in situ* (ver Figura 9).

Una apropiada distribución de planta en establecimientos donde laboran personal médico, de enfermería, auxiliar y servicios técnicos, y son destinado a la atención y asistencia a enfermos tiene como resultado el mejoramiento continuo de la calidad de producto y el estado anímico del talento humano que labora. A continuación, en la figura 10 se presenta la representación gráfica de las instalaciones (ver Figura 10).

D. ANÁLISIS DE LA DEMANDA, CONSUMO Y COSTOS RELACIONADOS A LA ENERGÍA ELÉCTRICA

En este apartado se evaluó el consumo eléctrico mediante información de 18 meses con respecto al servicio brindado, se visualiza la demanda de consumo eléctrico y los valores facturados mensuales desde abril 2021 hasta septiembre 2022 (ver Figura 11).

En la figura 11 se observa que la demanda eléctrica varía según los meses del año, para el año 2022 en el mes de febrero se tiene el consumo más bajo con 8486 kWh, y septiembre muestra el consumo más alto con un valor de 12.158 kWh, mientras que para el año 2021 el mayor consumo se da en el mes de julio con 10.934 kWh, y el más bajo se da en el mes de noviembre con un consumo de 8894 kWh, esta variación de consumo se refleja debido al incremento de pacientes atendidos en estos períodos, además del uso de equipos de calefacción y ventilación,

E. CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL HOSPITAL BÁSICO YEROVI MACKUART

El equipo de medición utilizado para la obtención de parámetros eléctricos fue mediante el analizador de redes Fluke 1748, con número de serie del instrumento 45464802, conectado en el transformador en baja tensión por un lapso de 8 días continuos y con toma de muestra de 10 minutos [19], [20], [21], para ello se utilizó la metodología de la figura 5.

Niveles de voltaje

Con el propósito de analizar los niveles de voltaje consideramos el voltaje de fase (127 V). El HBYM al ser suministrado en baja tensión 220-127 V, según la normativa, no debe sobrepasar $\pm 8,00\%$

Desequilibrio de voltaje

Mediante el reporte del analizador de redes se obtuvo información precisa, además para hallar el desequilibrio de tensión se calcula con la siguiente expresión:

$$D_V = \left(\frac{V_{max} - V_{med}}{V_{med}} \right) * (100\%) = \left(\frac{126.036 - 125.89}{125.89} \right) * (100\%) = 0,115974 < 2\%$$

Los resultados muestran que el porcentaje de desequilibrio de voltaje está por debajo de los límites permitidos concluyendo que no existe desbalance de tensión.

Desequilibrio de corriente

Para encontrar el desequilibrio de corriente requerimos de valores de corriente que dependen de la carga durante un período de tiempo.

El desequilibrio de corriente se calcula con la siguiente expresión:

$$D_V = \left(\frac{V_{max} - V_{med}}{V_{med}} \right) * (100\%) = \left(\frac{48,54 - 45,03}{45,03} \right) * (100\%) = 0,115974 < 2\%$$

Factor de potencia

El Hospital Básico Yerovi Mackuart mediante el equipo analizador de redes arroja un resultado con un factor de potencia promedio de 0,87 durante las horas de trabajo.

Demanda eléctrica HBYM

Muestra una demanda máxima de 80,87 kVA lo que se concluye que el transformador se encuentra al 108% de cargabilidad

Distorsión armónica individual

Debido a que el hospital alimenta del suministro eléctrico a bajo voltaje a 127/220 voltios, el rango debe mantenerse por debajo del 5,00% para armónicos individuales de tensión.

Distorsión armónica total (THD)

Teniendo datos, se analiza valores porcentuales del THD que según la regulación no deben superar al 8%.

El promedio del THD máximo entre fases alcanza un valor de 2,60% lo que es inferior al límite permisible.

Distorsión armónica de corriente

Distorsión armónica individual

Para establecer la distorsión armónica individual de corriente, se establece la relación I_{sc}/I_L mediante el cálculo de la corriente nominal.

$$I_n = \frac{S_T}{V_N} = \frac{75KVA}{220V} = 340A$$

Una vez que se obtiene el valor de la corriente nominal se procede a hallar la corriente de cortocircuito, además es necesario conocer la impedancia por unidad del transformador, para esto utilizamos el valor de placa del transformador tensión de corto circuito igual a 3,2.

$$X_{Tpu} = \frac{3,2}{100} = 0,032 pu$$

Para establecer la distorsión armónica individual de corriente, se establece la relación I_{sc}/I_L mediante el cálculo de la corriente nominal.

$$I_n = \frac{S_T}{V_N} = \frac{75KVA}{220V} = 340A$$

$$X_{Tpu} = \frac{3,2}{100} = 0,032 pu$$

$$I_{sc} = \frac{I_n}{X_{Tpu}} = \frac{340A}{0,032pu} = 10625 A$$

Se puede observar que la relación I_{sc}/I_L esta dentro de la condición $20 < 50$, donde muestra para evaluación de armónicos (h) entre $3 \leq h > 11$ de un 7,00% y entre $11 \leq h < 17$ de un valor de 3,50%.

El promedio máximo del TDD es igual a 6,23 y se encuentra en la fase C y está por debajo de los valores permisibles de la regulación ARCERNR 002/20.

Flicker

Conforme a la regulación 002/20 se procede a analizar la perturbación rápida de voltaje de corta duración (Pst) cuyo valor no debe exceder la unidad.

Evaluación de calidad de energía

El diagnóstico de calidad de energía realizado al Hospital Básico Yerovi Mackuart se realiza mediante el cumplimiento de indicadores propuestos en la regulación ecuatoriana ARCERNR 002/20 en el punto de común acoplamiento lado de bajo voltaje del transformador del hospital, donde se observa mediante la evaluación de las mediciones de parámetros eléctricos de una semana que el nivel de voltaje de fase evaluado a 127 voltios cumple el $\pm 8\%$ de variación para el nivel de bajo voltaje, así como la no presencia de desequilibrio por encima del 2% en voltaje, además mediante el estudio de potencias se pudo observar que la cargabilidad del transformador se encuentra en un 73,33% que corresponde a 55 kVA utilizados para la máxima demanda del hospital, se tiene una libre capacidad de 20 kVA para un futuro incremento de carga, la distorsión de armónicos individuales y totales de voltaje cumplen los límites de la regulación mencionada y finalmente el estudio de perturbación de voltaje de corta duración (Pst) no supera el percentil del 95%, concluyendo que estos indicadores mencionados son cumplidos de acuerdo a la normativa. El que no cumplió la normativa acogida en este estudio fue el bajo factor de potencia promedio del 0,87 que debe ser compensado por el banco de capacitores para mejorar a un valor superior del 0,92 exigido por la regulación ARCERNR 002/20.

F. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Para realizar este diagnóstico se siguió la metodología implementada en la figura 6, además se presenta los valores mínimos requeridos de iluminación para hospitales y centros sanatorios según normativas NOM-025-STPS-2008 (Decreto Ejecutivo 2393), (NTE INEN 2248), prEN 12464-1:2011, [22], [25], [26], [27]

Para la medición de campo se utilizó el luxómetro modelo 20250-00, por ser un equipo que permite las mediciones precisas, y para su utilización se siguió los pasos de la normativa 025-STPS-2008, en la figura 12 se puede apreciar los resultados obtenidos a través de la medición del nivel de iluminación *in situ* (ver Figura 12).

Evaluación del sistema de iluminación

La evaluación lumínica se realizó en las áreas de atención directa al usuario y área administrativa en el resto de áreas como bodega, mantenimiento no se hizo la evaluación lumínica, en la figura 12 se observa que el nivel de iluminación en el área administrativa tiene un

buen desempeño lumínico, mientras que en la mayoría de áreas indicaron en un 77,87% el incumplimiento de los niveles de luxes establecidos según normativa prEN 12464-1:2011, y solo en un 22,13% en un nivel de cumplimiento, adicional el área hospitalaria por ser un área de asistencia especializada requiere de instalaciones eficientes y niveles de iluminación adecuados para llevar a cabo su trabajo.

Se observa que la mayoría de luminarias instaladas en el hospital corresponde a focos fluorescentes, los que por el tiempo de trabajo han ido perdiendo luminosidad y algunos de ellos se encuentran en mal estado y necesitan una pronta reparación o cambio, además las luminarias tipo LED alcanzan mejores resultados de luminosidad en las áreas instaladas por lo cual entran en el rango según pide la normativa.

Para corroborar las mediciones se realiza la modelación del sistema de iluminación con el uso del software DIALux evo 9.0, como muestra la figura 13, la simulación presenta valores similares a los de la medición con el equipo de campo (ver Figura 13).

La simulación del HBVM, está basada en áreas de trabajo como: consulta externa, quirófano y sala de partos, hospitalización y emergencia y áreas administrativas, el hospital cuenta con lámparas de vapor de mercurio, las que para su operación dependen de un balastro. La marca a utilizar para la simulación y las que se encuentran en el hospital es SYLVANIA, modelo Sylproof Superia Policarbonato Difusor T8 2x36W.

G. ANALISIS TARIFARIO

Para el análisis de la tarifa eléctrica se considera el tipo de tarifa como asistencia social con demanda medida, en [24], numeral 4.1.2 Categoría general. «Corresponde al SPEE que es destinado por el consumidor a actividades diferentes al uso doméstico (categoría residencial), básicamente comprende el comercio, la industria y la prestación de servicios públicos y privados», literal d) Entidades de asistencia social: hospitales y centros de salud, asilos y similares del estado.

En la figura 14 se expone la tarifa de suministro de energía eléctrica del mes de septiembre 2022, HBVM (ver Figura 14).

Para el análisis facturable por la empresa distribuidora, para hallar el consumo se hace la diferencia entre la lectura anterior con la lectura actual, para este caso suman un total de 149 kW, por ser suministrado la energía a medio voltaje con demanda, el sistema utiliza el factor de multiplicación de 80 que se multiplica por el valor de 149 kW de consumo, dando un resultado total consumido para este mes de 11.920 kWh, para determinar las pérdidas del transformador (PTT), este valor se multiplica por 0,02 como lo determina la normativa dando un valor de 238 kWh, los que se suman al consumo total más pérdidas

Para la demanda se multiplica USD 3 * 42 kW dando un valor de USD 127,29.

Análisis

El nivel de voltaje evaluado para el estudio corresponde al voltaje de línea a 220 V, la variación de voltaje se encuentra dentro del rango permitido +- 8% según la norma 002/20, en la cual indica que en el punto de acoplamiento común o PCC entrega los niveles adecuados de voltaje y no es necesario realizar el cambio de TAP del transformador para obtener mayor o menor voltaje.

El estudio de cargabilidad del transformador muestra que para las mediciones del transformador se encuentra al 108% de cargabilidad con una potencia aparente máxima de 81 kVA, a través de este resultado indica que se debe realizar un estudio de incremento de carga para el cambio de la capacidad instalada. Además, se obtiene por mediciones un factor de potencia de 0,87 inductivo, para lo cual se debería implementar una compensación reactiva para solventar el bajo factor de potencia.

Mediante la normativa UNE 12464-1:2011 para iluminación se pudo comprobar que la mayoría de luminarias instaladas permanecen trabajando hasta el día de hoy con lámpara fluorescentes con un bajo nivel de luminosidad debido al tiempo de trabajo de las lámparas y al tipo de lámpara utilizada como también a la falta de mantenimiento.

El consumidor para el estudio del hospital, según el pliego tarifario vigente, se denomina: ASDM-asistencia social con demanda medida, para lo cual se detalla para este tipo de consumidor una demanda constante de 42 kW con factor de potencia de 0,94 y un factor de multiplicación de 80 para la respectiva facturación mensual del hospital, donde se pudo evidenciar que el consumo mensual bordea los 9905,22 kWh, valor que sirve de referencia para la propuesta de ahorro de energía mediante la implementación de alternativas para mejorar los indicadores de desempeño energético IDEn.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Mediante el estudio de análisis de calidad de energía efectuado en las instalaciones del Hospital Básico Yerovi Mackuart se pudo determinar un bajo factor de potencia, lo que causa un uso energético ineficiente, para lo que se considera al comportamiento de la demanda media mensual e igual factor de potencia en horas de actividad, deseando alcanzar un factor de potencia de 0,95. El factor de potencia deseado queda especificado por el requerimiento de la legislación eléctrica en el país > 0,92. Para determinar el tipo de acciones de mejora de un bajo factor de potencia durante la mayor parte del tiempo la-

boral, ocasionando que se aproveche de manera eficiente toda la energía consumida.

Con base en los datos recogidos de 7 días continuos por el analizador de redes, se empleó la ecuación 5 para determinar el valor de compensación reactiva de 0,87 a un valor de 0,95 para una potencia máxima obtenida de 36,79 kW.

$$Q_c = P * (\tan(\varphi_1) - \tan(\varphi_2)) \quad (5)$$

$$Q_c = 36,79 * (\tan(\cos^{-1}(0,87)) - \tan(\cos^{-1}(0,95)))$$

$$Q_c = 8,44 \text{ kVAr}$$

Para el cálculo del capacitor por fase se utilizó la ecuación 6:

$$C = \frac{Q_c / 3}{2 * \pi * f * (V)^2} \quad (6)$$

$$C = \frac{8,44 / 3}{2 * \pi * 60 * (127)^2}$$

$$C = 463 \mu F$$

La reactancia del condensador dado por la ecuación 7:

$$X_c = \frac{kV^2}{Q_c} \quad (7)$$

$$X_c = \frac{(0,127)^2}{8,44}$$

$$X_c = 5,72$$

La reactancia del reactor dado por la ecuación 8:

$$X_L = \frac{X_c}{hs^2} \quad (8)$$

$$X_L = \frac{5,72}{(4,9)^2}$$

$$X_L = 0,24$$

La resistencia del reactor dado por la ecuación 9:

$$X_R = \sqrt{X_c * X_L} \quad (9)$$

$$X_R = \sqrt{5,72 * 0,24}$$

$$X_R = 1,17$$

Aplicando un factor de calidad de 100 se obtiene un valor de resistencia mediante la ecuación 10:

$$R = \frac{X_R}{Q} \quad (10)$$

$$R = \frac{1,17}{100}$$

$$R = 0,012$$

Tabla 1.

Valores de filtro pasivo sintonizado a la quinta armónica

	Qc (kVAr)	Q	X _C	h _s	X _L	X _R	R (mΩ)
Filtro pasivo	8,44	100	5,72	4,9	0,24	1,17	12

En la tabla 1 se observa el resultado del filtro pasivo sintonizado al quinto orden armónico, estos valores sirven para el diseño y simulación en el software ETAP (ver Tabla 1).

En la tabla 2 se observa el costo mediante la implementación de capacitores, como resultado se tiene un valor de 107,00 kVA por costo instalado (ver Tabla 2).

SIMULACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO CON LOS NUEVOS VALORES MEDIANTE EL PROGRAMA ETAP 2.0.

El software ETAP 2.0 es un programa que permite la simulación predictiva del sistema eléctrico, que proporciona un entorno eficaz y especialmente la calidad de energía, para determinar su correcto cálculo para el banco de capacitores que compensan la energía reactiva y aumentan el factor de potencia, se verificó en la simulación como se muestra en la figura 15 (ver Figura 15):

La figura 16 se muestra la potencia activa, reactiva, y aparente nueva con la implementación del banco de capacitores y en la figura 17 se muestra el incremento del factor de potencia a 0,95 (ver Figuras 16 y 17).

Con el mejoramiento del factor de potencia de 0,87 a 0,95 es muy beneficioso para un uso racional de la energía eléctrica no solo de tipo económico al evitar penalizaciones, también muestra progresos considerables en el mejoramiento del perfil de tensión, disminución en el calentamiento del conductor, reducción de pérdidas, además de presentar en la cargabilidad de máquinas eléctricas aspectos considerables.

B. SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Mediante la normativa, [25], [26], [27] se desarrolló el estudio del sistema lumínico en el hospital Yerovi Mackuart, con el objetivo de mejorar la calidad luminosa, se realizó la simulación del sistema de iluminación mediante el software DIALux evo y, con la finalidad de obtener resultados digitales a corto plazo, se determinó el nivel de incumplimiento con un número de 88 lámparas, con estos resultados se propone una alternativa, la cual consiste en el cambio de lámparas fluorescentes que para su funcionamiento requieren de un balastro de mayor consumo y bajo nivel de luminosidad, ocasionando deficiencia energética, por lámparas de mejor calidad y rendimiento prolongado como son las lámparas

Tabla 2.

Cotización del banco de capacitores automático

Descripción	8,44 KVAR
Subtotal (\$)	710,61
Instalación (\$)	95,00
IVA 12% (\$)	96,67
Total (\$)	902,28
Costo por kVAr instalado (\$)	107,00

LED que son lámparas de estado sólido de tipo SUPERIA SYLPROOF LED 1265MM. Las lámparas LED de potencia de 24 W, se sugieren colocar en las áreas determinadas donde las mediciones de Lx no cumplen con los niveles requeridos, y para las áreas determinadas donde cumple con la normativa se propone realizar un mantenimiento preventivo, en las figuras 18 y 19 se aprecia la simulación con las nuevas lámparas y con los valores aceptables (ver Figuras 18 y 19).

C. MEJORAMIENTO DEL DESEMPEÑO ENERGÉTICO

Evaluación mediante las densidades de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA)

Dentro de la normativa, entre sus campos de aplicación están los hospitales y su iluminación interior a partir de mediciones realizadas para establecer si se cumplen con los lineamientos referentes a la norma y evaluación de los requisitos máximos de este indicador energético.

Mediante el tipo de edificio la DPEA no debe sobrepasar de 14 (W/m²) para hospitales, sanatorios y clínicas, en [29] las DPEA se calcula aplicando la ecuación 11, como se muestra a continuación:

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Area total iluminada}} \quad (11)$$

En la tabla 3 se visualiza la comparación por áreas de los niveles de eficiencia energética en términos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado en el Hospital Básico Yerovi Mackuart (ver Tabla 3).

Mediante la utilización de las nuevas lámparas la evaluación de eficiencia energética a través de la aplicación de la DPEA, se tuvo una disminución del 43%, mejorando este indicador.

D. INDICADOR DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO APLICANDO EL FACTOR DE EMISIÓN CO₂

Según [30] uno de los indicadores de desempeño energético son las emisiones de dióxido de carbono, este indicador se determinó mediante factor de emisión de CO₂ del margen combinado *ex post* EFgrid, CM, 2020 = 0,1917

Tabla 3.

Comparación de DPEA por área

ÁREAS	SUP (m2)	Potencia anterior en (W)	DPEA (W/m2) anterior	Potencia actual en (W)	DPEA (W/m2) actual
QUIRÓFANO	95,07	996	10,10	396	4,165
HOSPITALIZACIÓN	353,52	1725	4,34	765	2,164
SALA DE PARTO	76,18	457	5,88	177	2,323
EMERGENCIA	129,09	731	5,45	291	2,254
FARMACIA	45,54	402	8,43	162	3,557
LABORATORIO	54,79	611	9,34	291	5,311
RAYOS X	87,17	227	1,47	147	1,686
ESTADÍSTICA	39,52	515	12,96	192	4,858
BANCO DE VACUNAS	27,36	265	9,36	105	3,838
CONSULTORIOS	328,85	2211	6,42	891	2,709
PASILLOS C.E.	155,56	1033	6,58	393	2,526
ÁREA ADMINISTRATIVA	172,74	1334	7,41	534	3,091
TOTAL	1565,39	10495	7,31	4344	3,207

Figura 15.

Simulación del sistema eléctrico en ETAP 2.0 con compensación reactiva

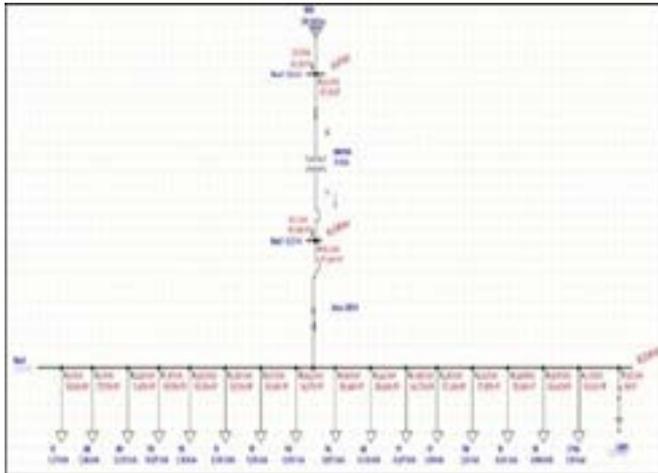


Figura 17.

Diferencia entre factor de potencia anterior y actual con el banco de capacitores

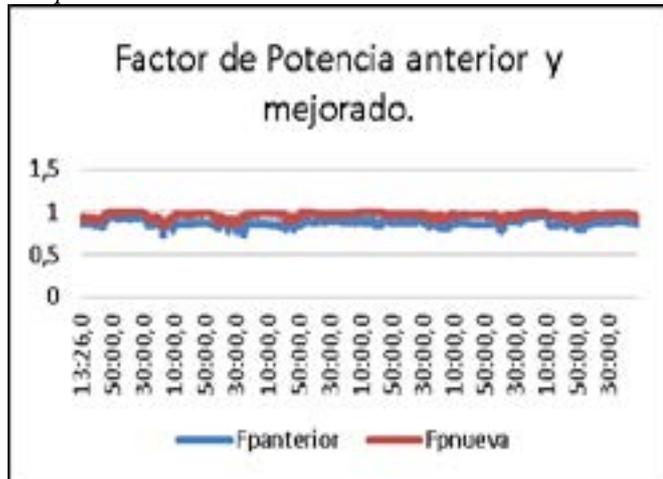


Figura 16.

Potencias nuevas en KVAR y KVA

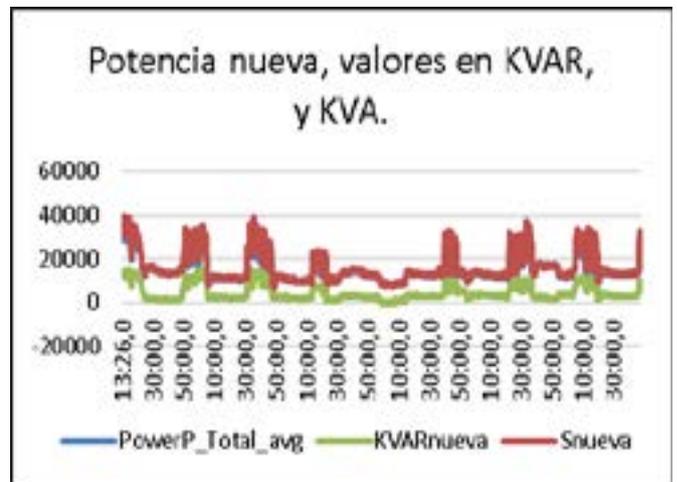


Figura 18.

Simulación en DIALux con las nuevas lámparas durante el día



Figura 19.

Simulación en DIALux con las lámparas sugeridas durante la noche en la entrada principal



ton CO₂/MWh o (0,1917 kg CO₂/kW·h) por ser utilizado en proyectos de eficiencia energética, igualmente facilita evaluar los kg de CO₂ del 2022 al no disponerse de un dato actual, en la tabla 4 se realiza el estudio con el número de pacientes atendidos a través del reporte de estadística facilitado por el HBYM, dentro del período de estudio de 18 meses (ver Tabla 4).

La tabla 4 nos ilustra con los valores aplicados al factor de emisión CO₂ relacionados a la atención al paciente, período enero diciembre 2021 y enero agosto 2022, con un valor total de 1,053 que aprecia un resultado satisfactorio.

EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO

A través de valor de factor de emisión CO₂ (0,1917 kg CO₂/kWh) se logró calcular las emisiones de dióxido de carbono de la propuesta.

Se pudo observar que con la implementación del banco de capacitores se logró un ahorro energético de 3611,17 kWh/año y emisiones evitadas de 692,0237 kg/CO₂/año y en iluminación mediante la evaluación en el campo y la contabilización de 88 lámparas con problemas lumínicos, esto ayudó a determinar la sustitución de lámparas fluorescentes a lámparas LED de potencia de 24 W de consumo que alcanzó una reducción de 10.137,6 kWh/año y emisiones evitadas de 1943,37 kg/CO₂/año, sumando estos valores se determinó un total de ahorro energético 13.748,2 kWh/año y un total de emisiones evitadas de 2635,63 kg/CO₂/año (ver tabla 5).

E. REDUCCIÓN MENSUAL POR CONCEPTO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON PROPUESTAS DE MEJORA

Para el estudio tarifario con propuestas de mejora se tomó en cuenta la factura utilizada en el análisis tarifario del mes de septiembre del año 2022, datos de estudio

para la reducción de gastos por concepto de pago por consumo de energía eléctrica, en la tabla 6 indica la diferencia entre el consumo leído y el consumo nuevo con propuestas de mejora, con un gasto inferior de 56,01 dólares mensuales a favor (ver Tabla 6).

F. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PROPUESTA

El presente análisis económico se realizó en base al consumo en kWh y su incidencia expresada en USD.

Se determinó una inversión total de USD 2516,20, desglosados los gastos se muestran de la siguiente manera (ver Tabla 7):

Cada lámpara tiene un costo en el mercado de USD 13,34 por 88 lámparas es igual a USD 1173,92.

El costo por instalación del total de las lámparas es igual a USD 440.

El costo por la instalación del banco de capacitores según la tabla 2 tiene un valor de USD 902,28

PERÍODO DE RECUPERACIÓN

Los resultados obtenidos con base en la aplicación del valor actual neto dieron como resultado un valor positivo de USD 2361,03 demostrando que es viable la propuesta de la implementación del banco de capacitores y cambio a luminarias LED.

Otro parámetro financiero tomado en cuenta en este análisis fue la tasa interna de retorno, que dio como resultado un 21,25% siendo superior a la tasa pasiva referencial de 8,39% emitida por el Banco Central del Ecuador en el mes de diciembre del 2022 (ver Tabla 8).

Además, el resultado de la relación beneficio costo es de 1,34 lo que indica que esta propuesta es rentable.

El tiempo que toma el proyecto para generar suficiente flujo de efectivo es 2 años, 11 meses.

Tabla 4.

Indicador de desempeño energético actual aplicando factor de emisión de CO₂

Aplicación de factor de emisión CO₂ ex post EFgrid, CM, 2020.

Año	Mes	Consumo eléctrico (KW/h)	Emisión CO ₂ (kg)	Pacientes atendidos (PA)	Consumo energético por paciente atendido (Kwh/PA)
2021	Ene-Dic	99.960	19.162,33	108.904	0,91787262
2022	Ene-Ago	89.350	17.128,4	70.739	1,26309391
Total	18 meses	189.310	36.290,73	179.643	1,053

Tabla 5.

Emisiones CO₂ evitadas mediante propuestas de mejora

Propuesta	Ahorro energético (KWh/año)	Emisiones CO ₂ evitados (kg/CO ₂ /año)
Implementación del banco de capacitores.	3611,17	6.920,262
Sistema de iluminación LED	10.137,6	1943,37
Total	13.748,2	2635,63

Tabla 6.

Reducción de costo mensual por consumo de energía eléctrica con propuesta de mejora

Fecha	Energía KWh facturada	Energía KWh con propuesta de mejora	Diferencia KWh/mes	Reducción de pérdidas PIT en KWh/mes.	Reducción de costo de energía mensual USD
Septiembre/2022	11.920	10.774,3	1145,73	22,91	88,45

Tabla 7.

Evaluación financiera del cambio a efectuar

Períodos	Egreso Inversión	Gastos	Ingreso	Flujo de caja neto
0	2516,28		0	-2516,28
1			29	864,63
2			29	864,63
3			29	864,63
4			29	864,63
5			29	864,63
	Valor actual neto	\$ 2361,03	Tasa interna de retorno	21,25%
Relación beneficio costo		1,34		

Tabla 8.

Tiempo de recuperación de la inversión

Períodos	Flujo de caja neto	Flujo acumulado
0	-2516,2	
1	864,63	864,63
2	864,63	1729,26
3	864,63	2593,89
4	864,63	3458,53
5	864,63	4323,17

4. CONCLUSIONES

La compensación reactiva ayudó a mejorar el factor de potencia de un 0,87 a 0,95 valor superior al estándar permitido por la normativa 002/20 mejorando así la carga-bilidad del transformador y evitando ser multado.

Al emplear lámparas LED con una eficiencia lumínica acorde a la normativa UNE-EN 12464-1 y de potencia de 24 W, disminuyó el consumo eléctrico en un valor de 10.137,6 kWh/año, mejorando los niveles de luminosidad además de cumplir criterios aceptables, al mismo tiempo, hay que tomar en cuenta la importancia que tiene la utilización de una iluminación eficiente para una correcta iluminación de hospitales a fin de mejorar la eficiencia del personal y pacientes.

Los indicadores de desempeño mejoraron la capacidad energética productiva, mediante el ahorro de 13.748,2 kWh/año permitiendo reducir el CO₂ lanzado a la atmósfera en 2635,3 kg/CO₂/año, permitiendo mejorar las medidas y cuantificar los objetivos.

Los indicadores financieros evaluados dan resultados positivos que ayudan a mejorar la gestión económica de la institución, aunque sin ser excelentes, los indicadores aportan para un normal desempeño, ya que en el sector público todos los recursos deben ser manejados de una manera eficiente para el cumplimiento de metas concretas.

REFERENCIAS

- [1] Cañizares G., Rivero M., Pérez R. y González E. «La gestión energética y su impacto en el sector industrial de la provincia de Villa Clara, Cuba», *Tecnología Química*, pp. 11-23, 2013.
- [2] Aunión J. and Gómez M., «Study of the energy intensity by built areas in a medium-sized Spanish hospital», *Energy Efficiency*, 2021.
- [3] Lohr W., Gauer K., Serrano N. y Zamorano A., *Eficiencia energética en hospitales públicos*, Santiago de Chile, 2009.
- [4] Laire M., Fiallos Y. y Aguilera A, *Guía de implementación de sistemas de gestión de la energía basado en la ISO 50001*, Agencia de Sostenibilidad Energética, 2018.
- [5] Yilmazoglu M. Z., «Decreasing energy consumption and carbon footprint in a school building: a comparative study on energy audits», *International Journal of global warming*, vol. 13, n.º 2, 2017.
- [6] Papadopoulos A. M. «Energy efficiency in hospitals: historical development, trends and perspectives», *Energy performance of buildings*, pp. 217-233, 2016, DOI: 10.1007/978-3-319-20831-2.
- [7] Hernández J. C., Pinto Á. y González J. et al., «Nuevas estrategias para un plan de uso eficiente de la energía eléctrica», *Ciencia, Docencia y Tecnología*, vol. 28, n.º 54, pp. 75-99, 2017.
- [8] Nouridine B. and Saad A. «Energy efficiency and importance of energy monitoring system in moroccan hospitals», *Rev. Invest.*, vol. 4, n.º 2, pp. 39-45, 2020. Guadalajara. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9078270>
- [9] Escobar G. y García J. M., *Gestión de la eficiencia energética a través de proveedores de servicios energéticos*, AENOR, 2020.
- [10] Aguilera M., Laire Y. y Fiallos Y. *Beneficios de los sistemas de gestión de energía basados en la ISO 50001 y casos de éxito*, 4.ª ed., 2017.
- [11] Ministerio de Energía y Minas, *Guía de orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético en hospitales*, vol. 2, n.º 143. 2014. [Online]. Available: http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/11_guia_agroindustria DGEE.pdf
- [12] Albuja L. y Soria P., *Elaboración de un sistema de gestión energética para el hospital Baca Ortiz de Quito, según normativa INEN NTE ISO 50001*, 2017.
- [13] Cosenza E., Devetta M., Toma M. y Stiff G. *Sistema de gestión de la energía (SGEn) para las autoridades locales*, Unión Europea, 2020.
- [14] Prias Caicedo O. F, Campos Avella J. C., Rojas Rodríguez D. B y Palencia S. A. *Implementación de un sistema de gestión de la energía guía con base en la norma ISO 50001*, 2019. [Online]. Available: <https://www.nqa.com/medialibraries/NQA/NQA-Media-Library/PDFs/Spanish QRFs and PDFs/NQA-ISO-50001-Guia-de-implantacion.pdf>
- [15] Ramón R., *Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía en el contexto centroamericano*, México, 2018.
- [16] Nadeje R., Ortigosa J., Caballero S., Córdova A. y Feibogen E., *Guía técnica para la implementación de sistemas de gestión de la energía en el marco de una red de aprendizaje*, México, GIZ GmbH, 2017.
- [17] Cuatrecasas L., *Gestión integral de la calidad: implantación control y certificación*, 5.ª ed., 2017. [Online]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=k449DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- [18] IEEE Power and E. Society, «IEEE Recommended practice for monitoring electric power quality», 2019. [Online]. Available: <http://www.ieee.org/web/aboutus/whatis/policies/p9-26.html>.
- [19] ARCERNR, «Calidad del servicio de distribución y comercialización de la energía eléctrica»-002/20, noviembre, 2020.
- [20] AENOR, UNE- EN 61000-4-30 C Compatibilidad electromagnética (CEM) Parte 4-30: técnicas de ensayo y de medida. Métodos de medida de la calidad de suministro, Génova, España, 2004.

- [21] IEEE Power and Energy Society, IEEE 519 Recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems, 2014.
- [22] Secretaría de Trabajo, «Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008», Caribemexicano.Qroo.Gob.Mx, pp. 1-9, 2008, [Online]. Available: http://caribemexicano.qroo.gob.mx/descargas/Marco_Juridico/federal/NOM-011-TUR-2001_Seguridad,Operacion_e_Informacion_en_Turismo_de_Aventura.pdf
- [23] INAMHI, «Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología». [Online]. Available: <https://www.inamhi.gob.ec/>
- [24] ARCERNNR, *Pliego tarifario servicio público de energía eléctrica*, pdf, p. 39, 2022.
- [25] Ministerio de trabajo, *Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente del trabajo*, Decreto Ejecutivo 2393, pp. 2-94, 2003, [Online]. Available: <https://prosigma.com.ec/pdf/nlegal/Decreto-Ejecutivo2393.pdf>
- [26] Ministerio de Energía y Minas, *Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público*, 2010.
- [27] CEN, *Iluminación en los lugares de trabajo. Lugares de trabajo en interiores*, UNE EN 12464-1, 2019.
- [28] Trashorras J., *Configuración de instalaciones eléctricas*, 1.ª ed. Madrid, España: Paraninfo, 2013.
- [29] CCNNPURRE, «Norma oficial mexicana NOM-007-ENE-2014», Secretaría de Energía, México, 2014.
- [30] CTFE, «Factor de emisión de CO₂ del sistema nacional interconectado de Ecuador», Gob. Ecuador, p. 40, 2019, [Online]. Available: <https://www.ambiente.gob.ec/wp>



Validación de un Test de Matemática Aplicado a Estudiantes que Ingresan a la Educación Superior, Empleando el modelo de Rasch

Validation of a Mathematics Test Applied to Students Starting Higher Education, Using the Rasch Model

Edgar Valdemar Guamán Tenezaca | [iD](#) Instituto Superior Universitario Central Técnico (Ecuador)
Miguel Alonso Murillo Noblecilla | [iD](#) Instituto Superior Universitario Central Técnico (Ecuador)
Javier Alexander Castro Haro | [iD](#) Instituto Superior Universitario Central Técnico (Ecuador)

ARTICLE HISTORY

Received: 20/01/2023
Accepted: 02/05/2023

PALABRAS CLAVE

Modelo matemático de Rasch, teoría de respuesta al ítem, habilidad, dificultad, distribución estadística.

KEY WORDS

Rasch mathematical model, item response theory, ability, difficulty, statistical distributions.

RESUMEN

El modelo de Rasch aplicado en la calibración de un instrumento de evaluación válido y confiable, el cual consiste en un test de diagnóstico de 20 ítems de matemática, tomado previo a un curso de nivel cero en el Instituto Superior Universitario Central Técnico, entre los períodos 2020-I a 2022-I. Con este test se evaluó a 695 estudiantes en los períodos 2020-I, 2020-II, 2021-I y 2021-II. Posteriormente, se identificaron los ítems del instrumento de evaluación que no son descritos por el modelo de Rasch con una confiabilidad del 65%, mismos que se procedieron a corregir; luego, con el nuevo test corregido, se evaluó a otros 100 estudiantes en el período 2022-I, obteniendo una confiabilidad del test de 90%. A partir de estos resultados se generan las curvas características de dichos ítems y a través de las distribuciones de Pearson y ji-cuadrada se identifica a aquellos que no se ajustan al modelo. Utilizando los parámetros arrojados por el modelo de Rasch se procede a la simulación de las notas y se compara con las reales obtenidas por los estudiantes. Así también, el modelo ha permitido identificar a 133 estudiantes con bajo nivel de habilidad de los cuales 119 corresponden al test original y 14 al test corregido. Para los análisis estadísticos se utilizó el software R.

ABSTRACT

In this test, the Rasch model was applied for the calibration of a valid and reliable assessment instrument. Between the periods 2020-I to 2022-I the diagnostic test consisted of a 20-item mathematics questionnaire taken prior to a level zero course at «Instituto Superior Universitario Central Técnico». With this test, 695 students had been evaluated in the periods 2020-I, 2020-II, 2021-I and 2021-II; subsequently, the items of the evaluation instrument that were not described by the Rasch model were identified with a reliability of 65%, which were corrected. Finally, with the new corrected test, another 100 students had been evaluated in the period 2022-I, obtaining a test reliability of 90%. From these results, the characteristic curves of these items were generated, applying Pearson and chi-square distributions, those that did not fit the model were identified. Using the parameters obtained by the Rasch model, the grades were simulated and compared with the actual grades obtained by the students. Thus, the model has made it possible to identify 133 students with a low level of ability, of which 119 correspond to the original test and 14 to the corrected test. R software was used for the statistical analysis.

I. INTRODUCCIÓN

A partir del año 2019, se implementó en el Instituto Superior Universitario Central Técnico (ISUCT) un curso de nivel cero, que dura aproximadamente dos semanas; esto debido a las deficiencias en matemática que presentan los estudiantes que ingresan a este centro de educación superior [1].

Al inicio de este curso de nivel cero, se ha examinado a los estudiantes (que en adelante se denominarán

sustentantes) a través de un test de diagnóstico (original) de matemática, que constan de 20 ítems de opción múltiple. Durante los períodos 2020-I, 2020-II, 2021-I, 2021-II y 2022-I, se han recolectado los resultados de 795 sustentantes que rindieron el test.

Para el análisis cuantitativo de los resultados de este test hay dos enfoques que se puede considerar, uno de ellos es la teoría clásica de los test (TCT), que se origina

debido a la necesidad de medir las diferencias entre sustentantes, considerando sus atributos o características particulares [2]; es así que la TCT se caracteriza mediante la ecuación:

$$X_0 = X_v + e \tag{1}$$

donde X_0 representa la puntuación observada de un sustentante al aplicarle un test, mientras que X_v indica la puntuación verdadera que consiste en el límite hacia el cual convergería la puntuación observada si se aplicara al sustentante infinitas mediciones. Finalmente, e indica el error de medida, que es la diferencia entre la puntuación observada y la verdadera.

Además, la TCT se fundamenta en tres supuestos básicos establecidos por Spearman en 1904, tal como se menciona en [3], [4]; primero, que la esperanza del error es cero; segundo, la correlación entre el valor observado y verdadero es cero, y tercero, que los errores no se relacionan entre sí.

Sin embargo, el valor observado no es confiable debido a la intervención de factores que perturban la medición, por ejemplo: el instrumento, el sustentante o la situación. Es decir, que algunas propiedades psicométricas de los tests como la dificultad de los ítems o la fiabilidad del test están en función de la muestra de sustentantes utilizada para su validación, como se discute en Mateo y Martínez [5].

Por lo que para solventar las dificultades de la TCT, se ha desarrollado una teoría complementaria, que se conoce como teoría de respuesta al ítem (TRI), fundamentada en los trabajos de Thurstone en 1925, Lawley en 1943, Tucker en 1946 y la síntesis importante que compila los cimientos definitivos de la TRI lo realiza Lord en 1952 y Georg Rasch en 1960; en estos trabajos se formulan modelos mucho más complejos y robustos que el modelo lineal (Eq. 1) de la TCT, tal como se recoge en [6].

El principal objetivo de la TRI, es obtener medidas que sean invariantes respecto a los sustentantes y a los instrumentos de medida o test. Por lo que, para concretar este objetivo, la familia de modelos de la TRI reconoce que la probabilidad de un sustentante en acertar o no un ítem, queda determinada en función de la posición de dicho sustentante en el rasgo latente o habilidad del mismo (notado por θ), y por uno o más atributos del ítem, como puede ser: la dificultad β , la discriminación, el azar, entre otros.

Uno de los modelos de la TRI de mayor aplicación, es el denominado modelo de Rasch, que posee dos supuestos básicos, la unidimensionalidad del espacio latente y la independencia local [3], [5], [7]-[9].

Es así que se considera la variable aleatoria X_{ik} que toma el valor 1 en caso de acertar el sustentante el ítem i , caso contrario toma el valor 0. Luego, la heterogeneidad de la información se expresa como la probabilidad de que esta variable aleatoria tome los valores 0 o 1. Si se representa por π la probabilidad de que la persona k responda afirmativamente el ítem i , esto es $P(X_{ik}=1)=\pi$; caso contrario $P(X_{ik}=0)=1-\pi$. Por consiguiente, se dice que la variable aleatoria X_{ik} sigue una distribución de Bernoulli de parámetro π , que se nota $X_{ik} \sim B(\pi)$.

Por otro lado, se define Ω_{ik} como el cociente entre la probabilidad que el sustentante k acierte el ítem i , respecto a la probabilidad de que lo responda de forma incorrecta, es decir,

$$\Omega_{ik} = \frac{P(X_{ik} = 1)}{P(X_{ik} = 0)} \Leftrightarrow \Omega_{ik} = \frac{\pi_{ik}}{1-\pi_{ik}} \tag{2}$$

En 1960 Georg Rasch, en su afán de separar la peculiaridad del sustentante y la peculiaridad del ítem, propone que

$$\Omega_{ik} = \frac{\delta_k}{\tau_i} \tag{3}$$

donde δ_k es la característica del sustentante k , mientras que τ_i es la característica del ítem i .

En (Eq. 3), al fijar τ_i implica que $\Omega_{ik} > 1$ o $\Omega_{ik} < 1$ para δ_k grandes o pequeños, respectivamente, por lo que se considera a δ_k como la habilidad del sustentante k respecto al valor fijo τ_i . Así, también al fijar δ_k los valores de Ω_{ik} pueden ser mayores o menores a 1 dependiendo de si τ_i toma valores pequeños o grandes, respectivamente, por lo que se considera a τ_i como la dificultad del ítem i respecto al valor fijo δ_k .

Sin embargo, al considerar un valor fijo de Ω_{ik} , se observa que no existen valores únicos tanto de δ_k como de τ_i correspondientes para dicho valor, esto indica que la habilidad y dificultad no están bien definidos. Por lo que en [10], se define un ítem estándar 1 con la siguiente restricción,

$$\tau_i = 1 \tag{4}$$

de donde (Eq. 3) se reduce a:

$$\frac{P(X_{ik} = 1)}{P(X_{ik} = 0)} = \Omega_{ik} = \delta_k, \quad \forall k=1, \dots, m \tag{5}$$

Esto significa que la habilidad del sustentante k se define como el cociente de la probabilidad que este sustentante acierte el ítem estándar respecto a la probabilidad de que lo falle. Así, la dificultad del ítem i corresponde al odd

ratio entre el ítem 1 y el ítem i , para cada sustentante k , es decir,

$$\frac{P(X_{1k}=1)}{P(X_{1k}=0)} = \frac{\Omega_{1k}}{\Omega_{ik}} = \frac{\delta_k}{\tau_i} = \tau_i \quad (6)$$

De (Eqs. 5 y 6) y se sigue que,

$$\delta_i > \tau_i \Leftrightarrow \frac{P(X_{1k}=1)}{P(X_{ik}=1)} > \frac{P(X_{1k}=0)}{P(X_{ik}=0)} \Leftrightarrow P(X_{ik}=1) > P(X_{ik}=0) \quad (7)$$

De (Eq. 7) se concluye que el sustentante k tiene una habilidad superior a la dificultad del ítem i si y solo si su probabilidad de acertar en la respuesta correcta es mayor a la probabilidad de no acertar.

Luego, de (Eqs. 2 y 3) se tiene que,

$$\Omega_{ik} = \frac{\pi_{ik}}{1-\pi_{ik}} \Leftrightarrow \Omega_{ik} - \Omega_{ik} \pi_{ik} = \pi_{ik} \Leftrightarrow \pi_{ik} = \frac{\frac{\delta_k}{\tau_i}}{1 + \frac{\delta_k}{\tau_i}} \quad (8)$$

por consiguiente, al reparametrizar (Eq. 8) a través de $\delta_k = e^{\theta_k}$ y, se tiene el modelo siguiente,

$$P(X_{ik} = 1) = \frac{\frac{e^{\theta_k}}{e^{\beta_i}}}{1 + \frac{e^{\theta_k}}{e^{\beta_i}}} \Leftrightarrow P(X_{ik} = 1) = \frac{e^{\theta_k - \beta_i}}{1 + e^{\theta_k - \beta_i}} \quad (9)$$

donde $i=1, \dots, n$ y $k=1, \dots, m$, se considera m el número de sustentantes y n el número de ítems que componen el test. Así, (Eq. 9) representa el modelo de Rasch, que es un modelo de un parámetro [2], [10], cuyo grafo se denomina Curva Característica del Ítem (CCI) que se representa en la figura 1 (ver Figura 1).

Este estudio, tiene como principal objetivo dar solución a dos problemas: el primero, crear un instrumento de evaluación válido y confiable; en segundo lugar, medir la habilidad de los sustentantes e identificar a los sustentantes con altas deficiencias en matemática para facilitar esta información a la coordinación de Bienestar Estudiantil, y que esta instancia a su vez realice un seguimiento adecuado y se eviten posibles deserciones estudiantiles.

Para abordar estos dos problemas, se considera el enfoque establecido en investigaciones anteriores, [8], [11], [12] en donde se aplica el modelo de Rasch para la calibración del test, obteniendo de esta forma la dificultad de los ítems (θ_k) y la habilidad de los sustentantes (β_i). Sin embargo, en este trabajo se realiza un análisis adicional (para la construcción de un adecuado instrumento de evaluación) el cual consiste en determinar el nivel

de mejora del test original utilizando un test corregido, para esto se procede a la corrección de los ítems anómalos identificados en el primer test, posteriormente con el nuevo test corregido se evalúa a un grupo de 100 sustentantes del período 2022-I del ISUCT, finalmente se compara los resultados de ambos test, tanto del original como del corregido.

2. MÉTODO

El método considerado en este trabajo es cuantitativo con enfoque descriptivo, esta selección se basa en las respuestas emitidas por los 795 sustentantes a cada uno de los ítems que componen el instrumento de evaluación. Se hace notar que para la evaluación del test original se utilizó la información de 695 sustentantes que rindieron esta evaluación en los períodos 2020-I, 2020-II, 2021-I y 2021-II; mientras que para la evaluación del test corregido se utiliza la información de 100 sustentantes que rindieron en el período 2022-I. El instrumento de evaluación consta de 20 ítems con 4 opciones de respuesta cada uno, los cuales han sido codificados con 1 en caso de acertar a la respuesta y 0 en caso contrario; por lo que se considera, un test con resultados dicotómicos [8], [13]. Por lo tanto, los objetos de estudio son el instrumento de evaluación (test) y el grupo de sustentantes mencionados previamente.

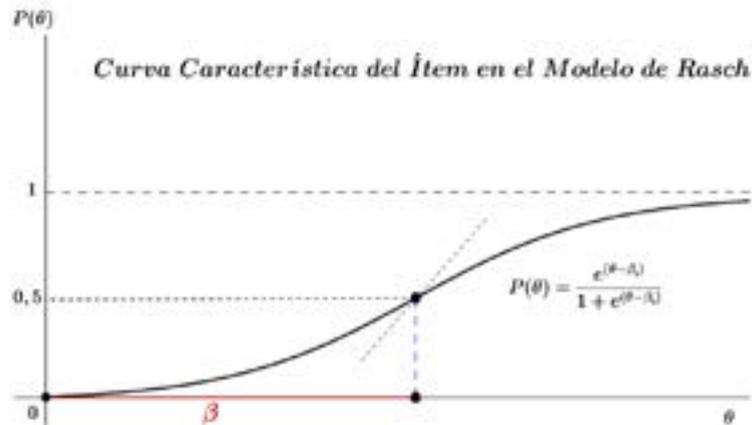
El test de matemática se enfocó en las temáticas: aritmética, álgebra básica, sistemas de ecuaciones, funciones y trigonometría. La técnica utilizada para la recopilación de datos fueron estos tests que se compilaron en un formulario de Google forms, el cual fue distribuido a cada uno de los sustentantes por medios electrónicos. El tiempo destinado para esta evaluación fue de 2 horas para cada uno de los sustentantes, en un mismo horario por período.

Para el análisis cuantitativo del instrumento de evaluación se utiliza el enfoque de la TRI, en particular se aplica el modelo matemático de Rasch; se elige este modelo ya que cumple los principios de un modelo de medición como: proporcionar medidas lineales en intervalos iguales, emitir estimaciones más precisas, detectar la imprecisión del modelo y facilitar instrumentos de medición independientes de los parámetros estudiados [8], [9], [11], [14].

Por lo tanto, con la primera base de datos del test de diagnóstico, se procedió a la ejecución del modelo de Rasch, utilizando la librería *eRm* en el software R versión 4.1.1 y obteniendo de esta forma la dificultad de cada ítem y la habilidad de cada sustentante. Posteriormente, se procede a obtener los indicadores de validez y confiabilidad del instrumento de medición, como son el alfa de Cronbach y los parámetros de Pearson, para lo cual se utilizó las librerías *psych*, *psychometric* y *psycho*. Con base en los parámetros de Pearson se identifica los ítems que nos son descritos por el modelo, considerando el criterio del

Figura 1.

Curva característica del ítem en el modelo de Rasch



Nota. Se presenta la CCI, donde β es la dificultad del ítem y θ la habilidad del sustentante. Fuente: Adaptado [9].

p valor menor a 0,05 y los siguientes criterios adicionales [8], [11], [15]:

1. X^2 toma valores grandes
2. La discriminación debe ser menor a 0,19
3. El Infit MSQ y el Outfit MSQ deben corresponder a valores fuera del intervalo (0,8; 1,2)

Adicionalmente, se categoriza a los sustentantes en función de la escala de habilidad propuesta en [11], de donde se identifica aquellos con escasa habilidad en matemática.

El análisis del test corregido se realiza siguiendo la misma metodología descrita previamente para el test original. Luego, se procede a realizar las comparaciones sobre los resultados emitidos por ambos tests y se obtiene la simulación de las notas de cada sustentante, procediendo finalmente a hacer un ANOVA entre las notas reales y las simuladas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS DE LOS ÍTEMS DE AMBOS TESTS

En las tablas 1 y 2, se presenta la columna «Media dificultad» que corresponde al promedio de la dificultad de cada ítem en función de las respuestas de los sustentantes. Además, la columna «Dificultad SN» corresponde a los valores obtenidos por el modelo de Rasch de la dificultad sin normalizar, de cada ítem en función de las respuestas de los sustentantes; mientras que la columna «Dificultad N» representa los resultados normalizados ($N(0,1)$) de la dificultad de cada ítem, emitido por el modelo (ver Tabla 1).

Es necesario comentar que la tabla 1 corresponde a los resultados del test original, mientras que la tabla 2 recoge los resultados del test corregido (ver Tabla 2).

En la tabla 3, se presenta los parámetros de Pearson entre ellos la suma de los mínimos cuadrados residuales

MSQ para la distribución χ^2 , además del índice de discriminación y el p-valor. Se observa que los ítems 2, 3, 8, 11, 15, 19, y 20 verifican los criterios establecidos en la metodología para su reajuste (ver Tabla 3).

Además, la confiabilidad del test original es de 0,65, puesto que 7 de los 20 ítems no son bien descritos por el modelo; mientras que, el valor del alfa de Cronbach es de 0,645117. Es de notar que el alfa de Cronbach se consideró debido a que se tiene ítems dicotómicos [16].

En función de los resultados de la tabla 3 se procede a corregir los ítems 2, 3, 8, 11, 15, 19, y 20. Por lo que en la tabla 4 se presenta los parámetros de Pearson para el test corregido (ver Tabla 4).

La confiabilidad del test corregido en base al modelo de Rasch es de 0,90 puesto que 2 de los 20 ítems no son bien descritos; mientras que el valor del alfa de Cronbach es de 0,7213858.

Por otro lado, en la figura 2 se puede visualizar las curvas características de los ítems del test original, que son el resultado de la interpolación de los puntos calculados por la probabilidad de la habilidad del sustentante, con cada valor fijo de la dificultad del ítem. Note que, si $P(\theta_k) = 1/2$, entonces la habilidad (θ_k) coincide con el valor de la dificultad del ítem (β_i) (ver Figura 2).

Así también, en la figura 3 se observa las curvas características de los ítems del test corregido, note que la CCI del ítem 14 se encuentra a la derecha en la figura 3, con una dificultad de 1,778862 (ver Figura 3).

En la figura 4 se presenta un diagrama de caja que corresponde a las notas del test original y las notas simuladas respectivas; mientras que la figura 5 representa a las notas del test corregido y las simuladas del mismo (ver Figura 4). Para estas simulaciones se utiliza la ecuación:

$$\text{Notas} = \omega(\text{base original parametrizada con } 0 \text{ y } 1 \times \beta^t) \quad (10)$$

Tabla 1.*Valores de las dificultades (β) del modelo Rasch, del test original*

Ítems	Media dificultad	Dificultad SN	Dificultad N
Ítem 1	0,6576	0,121	0,5481
Ítem 2	0,7439	0,5772	0,7181
Ítem 3	0,918	2,0205	0,9783
Ítem 4	0,5165	-0,5291	0,2984
Ítem 5	0,4763	-0,7074	0,2397
Ítem 6	0,3439	-1,3105	0,095
Ítem 7	0,5842	-0,2256	0,4108
Ítem 8	0,8561	1,3535	0,9121
Ítem 9	0,5237	-0,4972	0,3095
Ítem 10	0,5799	-0,2453	0,4031
Ítem 11	0,6058	-0,1262	0,4498
Ítem 12	0,2662	-1,706	0,044
Ítem 13	0,6504	0,0857	0,5342
Ítem 14	0,8417	1,2333	0,8913
Ítem 15	0,5612	-0,33	0,3707
Ítem 16	0,4647	-0,7584	0,2241
Ítem 17	0,4489	-0,8287	0,2036
Ítem 18	0,5022	-0,5928	0,2766
Ítem 19	0,8245	1,0998	0,8643
Ítem 20	0,8576	1,3661	0,914

Tabla 2.*Valores de las dificultades (β) del modelo Rasch, del test corregido*

Ítems	Media dificultad	Dificultad SN	Dificultad N
Ítem 1	0,6	0,098856	0,539374
Ítem 2	0,61	0,146676	0,558306
Ítem 3	0,72	0,712994	0,762075
Ítem 4	0,33	-1,16114	0,122793
Ítem 5	0,38	-0,91762	0,179408
Ítem 6	0,36	-1,01351	0,155407
Ítem 7	0,45	-0,5922	0,276858
Ítem 8	0,74	0,827894	0,796135
Ítem 9	0,48	-0,45531	0,324444
Ítem 10	0,56	-0,08899	0,464547
Ítem 11	0,73	0,769812	0,779294
Ítem 12	0,63	0,243688	0,596264
Ítem 13	0,63	0,243688	0,596264
Ítem 14	0,87	1,778862	0,962369
Ítem 15	0,5	-0,36422	0,357846
Ítem 16	0,45	-0,5922	0,276858
Ítem 17	0,52	-0,27298	0,392434
Ítem 18	0,49	-0,40977	0,340988
Ítem 19	0,69	0,549103	0,708533
Ítem 20	0,68	0,496367	0,690182

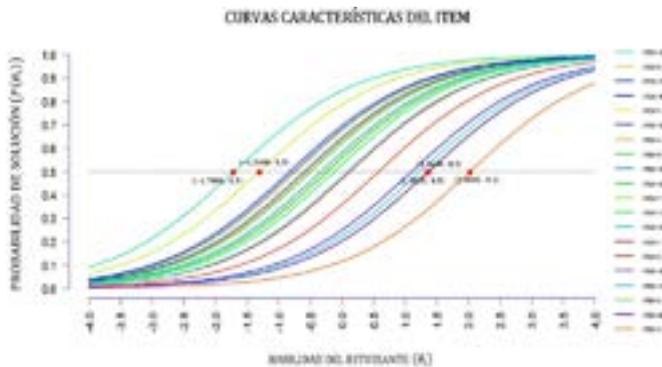
Tabla 3.*Valores de los parámetros de Pearson del modelo Rasch del test de diagnóstico*

Ítems	Outfit MSQ	Infit MSQ	Outfit t	Infit t	Discriminación	p valor	
Ítem 1	691,0291	0,9943	0,9794	-0,097	-0,5731	0,3237	0,525
Ítem 2	893,7067	1,2859	1,1132	3,8608	2,4349	0,0901	0
Ítem 3	812,284	1,1688	0,9623	1,0386	-0,3358	0,1251	0,001
Ítem 4	755,3017	1,0868	1,0538	2,2657	1,8743	0,2068	0,053
Ítem 5	560,5039	0,8065	0,8191	-5,4936	-6,878	0,5657	1
Ítem 6	543,7068	0,7823	0,8506	-4,6623	-4,7679	0,4746	1
Ítem 7	655,2027	0,9427	0,9558	-1,4085	-1,4597	0,3728	0,852
Ítem 8	899,1171	1,2937	1,0238	2,4522	0,3594	0,0811	0
Ítem 9	635,1644	0,9139	0,9136	-2,3469	-3,1192	0,4285	0,946
Ítem 10	692,5392	0,9965	1,0068	-0,0736	0,2331	0,2959	0,509
Ítem 11	814,8758	1,1725	1,145	3,795	4,3775	0,0948	0,001
Ítem 12	607,8396	0,8746	0,8931	-1,9722	-2,7057	0,3456	0,992
Ítem 13	559,5062	0,805	0,8091	-4,2385	-5,8615	0,5847	1
Ítem 14	524,5884	0,7548	0,8654	-2,5566	-2,1257	0,413	1
Ítem 15	778,1422	1,1196	1,0955	2,9451	3,1438	0,1685	0,014
Ítem 16	699,9882	1,0072	1,0122	0,2007	0,4404	0,2749	0,429
Ítem 17	644,932	0,928	0,955	-1,8863	-1,6053	0,3647	0,908
Ítem 18	711,6753	1,024	1,0242	0,6502	0,8623	0,2615	0,313
Ítem 19	896,2762	1,2896	1,0893	2,81	1,4465	0,0634	0
Ítem 20	775,6238	1,116	1,0104	1,0341	0,17	0,1557	0,017

Tabla 4.
Valores de los parámetros de Pearson del modelo Rasch del test corregido

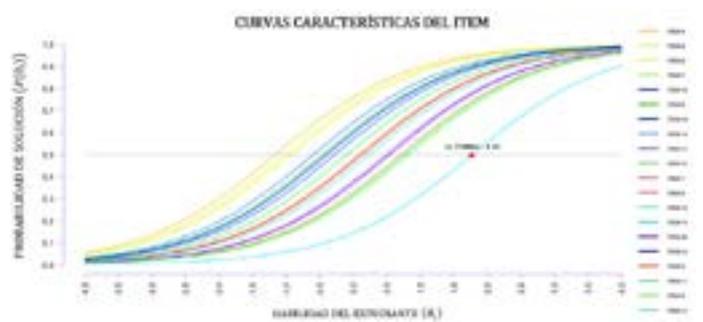
Ítems		Outfit MSQ	Infit MSQ	Outfit t	Infit t	Discriminación	p valor
Ítem 1	103,8782	1,0388	1,0708	0,3448	0,8255	0,2759	0,349
Ítem 2	146,6174	1,4662	1,2798	3,1976	2,9415	0,0335	0,001
Ítem 3	100,4332	1,0043	1,0563	0,0840	0,5241	0,2630	0,441
Ítem 4	63,6830	0,6368	0,7385	-2,5789	-3,0897	0,6335	0,998
Ítem 5	71,5454	0,7155	0,8034	-2,2494	-2,4736	0,5790	0,983
Ítem 6	71,6056	0,7161	0,7931	-2,1206	-2,5308	0,6039	0,983
Ítem 7	107,5877	1,0759	1,0988	0,6602	1,2361	0,2303	0,261
Ítem 8	122,7719	1,2277	1,0811	1,1621	0,6938	0,1828	0,053
Ítem 9	89,2422	0,8924	0,9454	-0,9291	-0,6810	0,4194	0,749
Ítem 10	104,6747	1,0467	1,0231	0,4293	0,3064	0,3221	0,329
Ítem 11	101,3890	1,0139	1,0332	0,1363	0,3191	0,2714	0,415
Ítem 12	107,3591	1,0736	1,0560	0,5740	0,6313	0,2925	0,266
Ítem 13	68,3148	0,6831	0,7435	-2,5874	-3,0527	0,6721	0,992
Ítem 14	119,9203	1,1992	1,0659	0,6613	0,3853	0,1471	0,075
Ítem 15	79,6080	0,7961	0,7988	-1,8835	-2,7143	0,6012	0,924
Ítem 16	95,6323	0,9563	0,9930	-0,3317	-0,0619	0,3628	0,577
Ítem 17	82,0540	0,8205	0,8546	-1,6360	-1,8950	0,5340	0,891
Ítem 18	113,6111	1,1361	1,1453	1,1747	1,7880	0,2104	0,15
Ítem 19	148,7692	1,4877	1,0868	2,6680	0,8410	0,2007	0,001
Ítem 20	113,1220	1,1312	1,1486	0,8525	1,4226	0,1525	0,157

Figura 2.
Curvas características de los ítems del test original, usando el modelo de Rasch.



Nota. Representa las curvas características de los 20 ítems del test original, el valor 0,5 corresponde a la dificultad media y 0,0 es la habilidad media. Fuente: Elaboración Propia

Figura 3.
Curvas características de los ítems del test corregido, en el modelo de Rasch



Nota. Representa las curvas características de los 20 ítems del test corregido, el ítem 13 presenta la mayor dificultad. Fuente: Elaboración propia

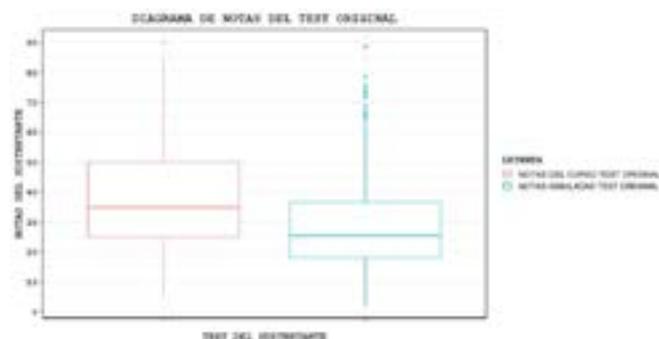
donde β es el vector de las dificultades de los ítems y ω se obtiene mediante la siguiente fórmula,

$$\omega = \frac{100}{\left(\sum_{i=1}^n \beta_i\right)} \tag{11}$$

Se aclara que en la figura 4 se recoge los resultados de los 695 sustentantes de los períodos 2020-I hasta 2021-II, mientras que en la figura 5 se presenta los resultados de los 100 sustentantes que rindieron el test corregido en el período 2022-I (ver Figura 5).

Figura 4.

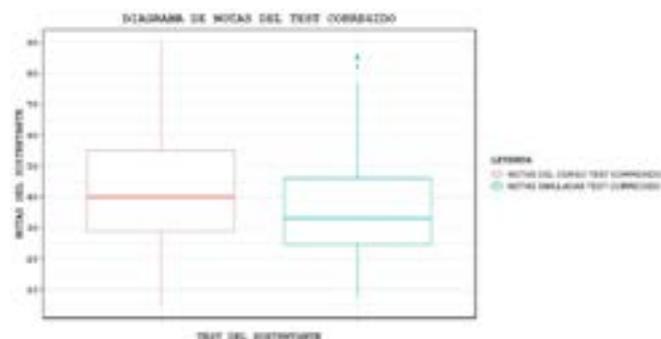
Diagrama de caja de las notas reales del test original y las notas simuladas



Nota. Corresponde a las notas reales (en rosa) y simuladas (en azul) del test original, las medias son diferentes. Fuente: Elaboración propia

Figura 5.

Diagrama de caja de las notas reales del test corregido y las notas simuladas



Nota. Corresponde a las notas reales (en rosa) y simuladas (en azul) del test corregido, las medias son diferentes. Fuente: Elaboración propia

3.2. RESULTADOS DE LOS SUSTENTANTES DE AMBOS TESTS

En efecto, como resultados adicionales del modelo de Rasch se obtiene que la confiabilidad de la habilidad de los sustentantes, que fueron evaluados con el test original, es de 0,80; debido a que 140 de los 695 no son descritos por el modelo, según el indicador de 0,19 de los parámetros de Pearson, mencionado en la metodología.

Asimismo, el modelo arroja una confiabilidad de 0,74 correspondiente a la habilidad de los sustentantes, que fueron evaluados con el test corregido, esto se debe a que 36 de los 100 no son descritos por el modelo de Rasch.

En [11] se propone el rango de habilidad siguiente: si la habilidad es menor a -1, entonces se considera que el sustentante tiene baja habilidad; si la habilidad se encuentra entre los valores de -1 a 1, entonces se considera una habilidad media o moderada; mientras que se considera una alta habilidad si es mayor a 1.

En consecuencia, se observa que la figura 6 recoge en rangos las habilidades de los 695 sustentantes presentados en la figura 4. Por lo que se nota que 76 de los 695 sustentantes caen en un rango de baja habilidad; 523 sustentantes se consideran con habilidad moderada, mientras que 96 sustentantes tienen una alta habilidad en matemática (ver Figura 6).

En la figura 7 se categoriza los resultados visualizados previamente en la figura 5, considerando las habilidades de los sustentantes en los rangos de habilidad baja, media y alta. Por lo tanto 14 de los 100 sustentantes se clasifican con baja habilidad; 68 se clasifican con habilidad media; mientras que 18 presentan una alta habilidad en matemática. Se ha considerado el mismo rango propuesto en [11] (ver Figura 7).

Adicionalmente, en la tabla 5 se presenta los resultados del ANOVA, entre las notas reales y simuladas tanto del test original como del test corregido (ver Tabla 5).

Finalmente, en la figura 8 se observa el diagrama de cajas de las diferencias entre las notas reales y simuladas, tanto del test original, como del test corregido; se procede a realizar una prueba de hipótesis de una cola, en la cual, la hipótesis nula sostiene que la media de la diferencia del test corregido es menor o igual a la media de la diferencial del test original, obteniéndose un p-valor de $3,07e-09$ (ver Figura 8).

DISCUSIÓN

En función de los resultados de la tabla 1 se sigue que los ítems 3, 8 y 20 corresponden a los de mayor dificultad del test original con índices de dificultad 0,9783; 0,9121 y 0,9140, respectivamente, que en comparación con los resultados del test corregido, este último presenta solamente un ítem de elevada dificultad (ítem 14), como se observa en la tabla 2. Asimismo, los ítems 6 y 12 de la tabla 1 poseen un sesgo mínimo por lo que corresponden a los ítems de menor dificultad en el test original, con índices de dificultad correspondientes 0,0950 y 0,0440; lo cual en comparación con la tabla 2, no existen ítems con dificultad menores a 0,1. Además, 0,9912618 es la correlación entre las variables *Media Dificultad* y *Dificultad N* del test original; por otro lado la correlación de las mismas variables en el test corregido es de 0,997475, de donde se observa un incremento en la correlación del test corregido respecto al test original con un nivel de confianza del 95%.

Por lo tanto, el modelo de Rasch a partir de los resultados presentes en la tabla 3, sugiere realizar un ajuste a los ítems 2, 3, 8, 11, 15, 19 y 20; esto puede deberse a factores como problemas de redacción, mala estructura de la pregunta del ítem, entre otras dificultades en la elaboración de los mismos [17]-[19]. Por lo tanto, luego de

Tabla 5.

ANOVA de las notas reales y simuladas de ambos tests

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Notas del test original	1	55814	55814	218	<2e-16
Notas del test corregido	1	4632	4632	12,83	0,00043

Tabla 6.

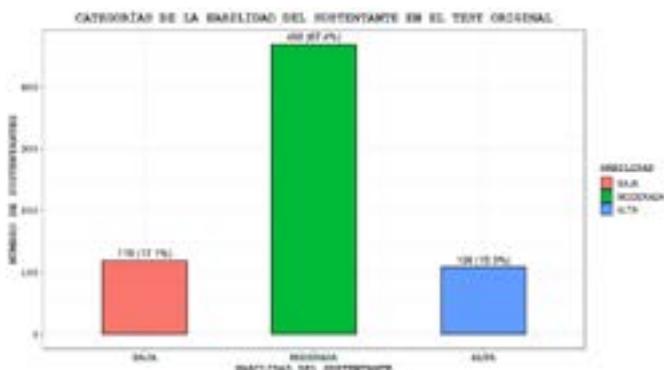
Rango de habilidad para el alfa de Cronbach

Rango	Interpretación
	Excelente
	Bueno
	Aceptable
	Pobre
	Inaceptable

Nota. Adaptado [20].

Figura 6.

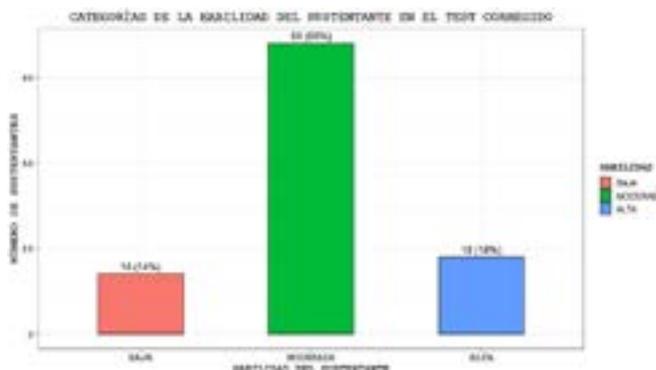
Rangos de habilidad de los sustentantes que rindieron el test original



Nota. Se observa las frecuencias de la habilidad en matemática de los sustentantes, categorizadas en baja, moderada y alta del test original. Fuente: Elaboración propia

Figura 7.

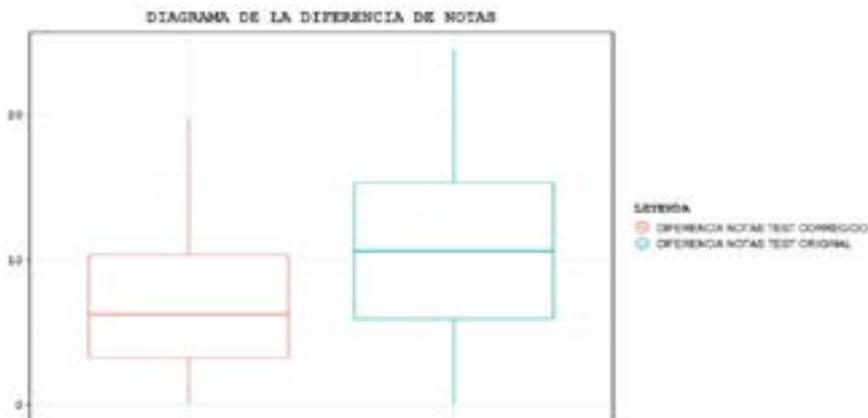
Rangos de habilidad de los sustentantes que rindieron el test corregido



Nota. Se observa las frecuencias de la habilidad en matemática de los sustentantes, categorizadas en baja, moderada y alta del test corregido. Fuente: Elaboración propia

Figura 8.

Diagrama de caja de la diferencia de notas de ambos tests



Nota. Se observa que la media de la diferencia de notas del test original es ligeramente superior a la media de la diferencia de las notas del test corregido. Fuente: Elaboración propia

realizadas las correcciones de los ítems indicados previamente, se visualiza en la tabla 4, un notable ajuste de los ítems al modelo de Rasch; esto corroborado por un incremento de la confiabilidad del instrumento de evaluación de 0,65 presente en el test inicial al 0,9 presente en el test corregido; además el alfa de Cronbach con un valor de 0,645117 que representa un indicador aceptable pasa a un

valor 0,7213858, que entra en un rango bueno, tal como se muestra en la tabla 6 obtenida de [20] (ver tabla 6). Por otro lado, del ANOVA resumido en la tabla 6 se observa un primer p-valor correspondiente a 2e-16, lo cual implica el rechazo de la hipótesis nula correspondiente a la igualdad de medias, es decir, hay evidencia estadística que confirma que las medias de las notas reales del test

original y la media de las notas simuladas son diferentes. Así mismo, para el test corregido se observa un p-valor de 0,00043 por lo que existe suficiente evidencia para asegurar que las medias de las notas reales y simuladas son diferentes.

Sin embargo, a pesar de que no se verifica las igualdades de las medias, las diferencias de las notas reales con respecto a las notas simuladas de ambos test, disminuye como se muestra en la figura 8, donde al realizar una prueba de hipótesis de una cola, se obtiene el p-valor de $3,074e-09$, por lo que se rechaza la hipótesis nula, es decir que existe evidencia estadística suficiente para afirmar que la media de la diferencia entre las notas verdaderas y simuladas del test original es mayor que la media de la diferencia entre las notas reales y simuladas del test corregido. Se observa además en la figuras 8, que la media de la diferencia de las notas del test original resulta 10,44355; mientras que la media de la diferencia de las notas del test corregido corresponde a 6,63685, lo cual representa una mejora del 36,45% en el ajuste de la simulación, posterior a la corrección del test original.

Asimismo, la correlación entre las notas simuladas y las reales del test original es de 0,9156131; mientras que la correlación en el test corregido corresponde a 0,9567291; evidenciando también un incremento. En consecuencia, hay evidencia para afirmar que las notas simuladas del test corregido, se ajusta de mejor forma a las notas reales de los sustentantes, en comparación con las notas simuladas con el test original.

En las figuras 2 y 3 se presenta las curvas características de los ítems, tanto del test original como del corregido, respectivamente, donde se observa que las CCI del test corregido se agrupan más uniformemente que las del test original, obteniendo de esta forma un instrumento de evaluación que describe con mayor precisión el modelo. Así, entonces, el test corregido representa el instrumento de evaluación válido y confiable buscado.

Como resultados de las figuras 4 y 6 se observa que el 17,1% de los sustentantes que rindieron el test original tienen una habilidad baja, este porcentaje corresponde a 119 sustentantes. Así también, en las figuras 5 y 7 se obtiene el 14% de sustentantes con un bajo nivel de habilidad en matemática que rindieron el test corregido, este valor corresponde a 14 sustentantes. En consecuencia, se ha encontrado en ambos test, en total 133 sustentantes con habilidad baja. Adicionalmente, se observa que la confiabilidad de la habilidad de los sustentantes que rindieron el test original es de 80%, mientras que la confiabilidad de los que rindieron el test corregido es de 74%, esta disminución en la confiabilidad se debe a la gran disminución de los sustentantes que rindieron este último test respecto al original.

En este trabajo se ha encontrado evidencia suficiente de la fiabilidad en la aplicación del modelo de Rasch, en comparación con las investigaciones de [8], [11].

4. CONCLUSIÓN

Este estudio ha permitido avanzar en el desarrollo de la compleja relación entre la creación de un instrumento de evaluación, independiente de la habilidad de los individuos que son evaluados con dicho instrumento. [21], [22]

La utilización del modelo de Rasch ha permitido determinar a los individuos con deficientes habilidades en matemática, cuya información se ha facilitado a las coordinaciones pertinentes, para que a su vez realicen el seguimiento necesario y se logre disminuir en lo posible el nivel de deserción estudiantil, lo cual consiste en un problema muy recurrente en las instituciones de educación superior.

Por otro lado, en este trabajo se ha codificado los resultados de los test de forma dicotómica, como 1 en caso de acertar y 0 en caso de no acertar al ítem; sin embargo, cada ítem tiene cuatro opciones de respuesta, por lo que en otro estudio se podría considerar un caso no bidimensional y determinar si estas opciones de solución afectan significativamente a la habilidad del sustentante o a la dificultad del test. Asimismo, se puede realizar un análisis utilizando un modelo de Rasch más preciso, es decir, de dos o tres parámetros; sin embargo, para estos modelos se requiere considerar una mayor cantidad de datos, lo cual beneficiaría en un mejor ajuste de la simulación de las notas.

REFERENCIAS

- [1] ISUCT, *Informe de gestión administrativa y académica-Rendición de cuentas 2020*, 2020, p. 105. [Online]. Available: <https://istct.edu.ec/portal/nuevo/wp-content/uploads/sites/2/2021/06/Rendición-de-cuentas-2020-V002.pdf>
- [2] T. M. Bechger, G. Maris, H. H. F. M. Verstralen, and A. A. Béguin, «Using classical test theory in combination with item response theory», *Appl Psychol Meas*, vol. 27, n.º 5, pp. 319-334, sep. 2003, DOI: 10.1177/0146621603257518.
- [3] J. Muñiz, «Las teoría de los tests: TCT y TRI», *Papeles del Psicólogo*, vol. 31, n.º 1, pp. 57-66, 2010, [Online]. Available: <http://www.papelesdelpsicologo.es/pdf/1796.pdf>
- [4] R. L. Brennan, «Generalizability theory and classical test theory», *Applied Measurement in Education*, vol. 24, n.º 1, pp. 1-21, jan. 2011, DOI: 10.1080/08957347.2011.532417.
- [5] J. M. Francese Martínez, *Medición y evaluación educativa*, 1st ed., Arco Libros - La Muralla, S. L., 2008.
- [6] G. H. Fischer and I. W. Molenaar, *Rasch Models: Foundations, Recent Developments, and Applications*. New York: Springer-Verlag, 1995. DOI: 10.1007/978-1-4612-4230-7.
- [7] N. Cortada de Kohan, «Teoría de respuesta al ítem: supuestos básicos», *Revista Evaluar*, vol. 4, n.º 1, pp. 95-110, 2004, DOI: 10.35670/1667-4545.v4.n1.600.
- [8] K. Jiménez Alfaro y E. Montero Rojas, «Aplicación del

- modelo de Rasch, en el análisis psicométrico de una prueba de diagnóstico en matemática», *Revista Digital: Matemática, Educación e Internet*, vol. 13, n.º 1, pp. 1-24, 2013, DOI: 10.18845/rdmei.v13i1.1628.
- [9] I. Leenen, «Virtudes y limitaciones de la teoría de respuesta al ítem para la evaluación educativa en las ciencias médicas», *Investigación en Educación Médica*, vol. 3, n.º 9, pp. 40-55, 2014, DOI: 10.1016/s2007-5057(14)72724-3.
- [10] E. San Martín, «Modelos Rasch: ¿cuán (in-)coherentemente son presentados y utilizados?», *Actualidades en Psicología*, vol. 29, n.º 119, pp. 91-102, 2015, DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/ap.v29i119.18911>.
- [11] A. Atikah, S. Sudiyatno, A. Rahim, and M. Marlina, «Assessing the item of final assessment mathematics test of junior high school using Rasch model», *Jurnal Elemen*, vol. 8, n.º 1, pp. 117-130, 2022, DOI: 10.29408/jel.v8i1.4482
- [12] A. Rahim and H. Haryanto, «Implementation of item response theory (IRT) Rasch model in quality analysis of final exam tests in mathematics», *Journal of Educational Research and Evaluation*, vol. 10, n.º 2, pp. 57-65, 2021, DOI: 10.15294/jere.v10i2.51802.
- [13] S. Rakkapao, S. Prasitpong, and K. Arayathanitkul, «Analysis test of understanding of vectors with the three-parameter logistic model of item response theory and item response curves technique», *Phys Rev Phys Educ Res*, vol. 12, n.º 2, pp. 1-10, 2016, DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020135.
- [14] T. Verguts, P. De Boeck, and G. Storms, «Analyzing experimental data using the Rasch model», *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, vol. 30, n.º 3, pp. 501-505, 1998, DOI: 10.3758/BF03200683.
- [15] K. S. Sidhu, *New approaches to measurement and evaluation*. Sterling Publishers Pvt. Ltd., 2005.
- [16] A. Freiberg Hoffmann, J. B. Stover, G. De la Iglesia and M. Fernández Liporace, «Correlaciones policóricas y tetracóricas en estudios factoriales exploratorios y confirmatorios», *Ciencias Psicológicas*, vol. 7, n.º 2, pp. 151-164, 2013, DOI: 10.22235/cp.v7i1.1057.
- [17] T. Nielsen, «The specific academic learning self-efficacy and the specific academic exam self-efficacy scales: construct and criterion validity revisited using Rasch models», *Cogent Education*, vol. 7, n.º 1, 2020, DOI: 10.1080/2331186X.2020.1840009.
- [18] F. Flores, M. Sánchez y A. Martínez, «Modelo de predicción del rendimiento académico de los estudiantes del ciclo básico de la carrera de Medicina a partir de la evaluación del desempeño docente», *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, vol. 21, n.º 70, pp. 975-991, 2016, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/140/14046162015.pdf>
- [19] S. Celis, L. Moreno, P. Poblete, J. Villanueva y R. Weber, «Un modelo analítico para la predicción del rendimiento académico de estudiantes de ingeniería», *Revista Ingeniería de Sistemas*, n.º septiembre 2015, pp. 5-24, 2015, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/292982515_Un_modelo_analitico_para_la_prediccion_del_rendimiento_academico_de_estudiantes_de_ingenieria
- [20] M. Muntazhimah and R. Wahyuni, «The development and validation of mathematical reflective thinking test for prospective mathematics teachers using the Rasch model», *Jurnal Elemen*, vol. 8, n.º 1, pp. 175-186, 2022, DOI: 10.29408/jel.v8i1.3981.
- [21] T. G. Bond, Z. Yan and M. Heene, *Applying the rasch model-fundamental measurement in the human sciences*, 4th ed., New York and London: Routledge, 2013. DOI: 10.4324/9781410614575.
- [22] E. Backhoff, M. J. González Montesinos, Y. Pérez Garibay, and M. F. Ferreyra, «Uso del modelo de crédito parcial de Rasch y Masters en la evaluación de competencias matemáticas», *REICE, Revista iberoamericana sobre calidad, eficacia y cambio en educación*, vol. 20, n.º 1, pp. 41-55, 2022, DOI: 10.15366/reice2022.20.1.003.



Fortalecimiento Lingüístico Fonológico Perceptivo a Niños con TDAH Mediante el Uso de Realidad Aumentada (RA)

Strengthening Phonological and Perceptual Linguistic Skills in Children with ADHD Through the Use of Augmented Reality (AR)

Kevin Alexander López Díaz | [iD](#) Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga (Ecuador)

Tomás Sebastian Mayorga Carrera | [iD](#) Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga (Ecuador)

Milton Patricio Navas Moya | [iD](#) Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga (Ecuador)

Lucas Rogerio Garcés Guayta | [iD](#) Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga (Ecuador)

ARTICLE HISTORY

Received: 17/02/2023

Accepted: 02/05/2023

PALABRAS CLAVE

Realidad aumentada, lingüístico, TDAH, fortalecimiento, fonológico, perceptivo.

RESUMEN

En este artículo se presenta un estudio sobre el fortalecimiento lingüístico fonológico perceptivo en niños con trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) mediante el uso de realidad aumentada (RA), por lo que se busca evaluar la efectividad de la RA en el desarrollo de habilidades lingüísticas y de atención en estos niños. Los resultados indican que la RA puede ser una herramienta efectiva para mejorar la capacidad de los niños con TDAH para procesar información lingüística y mejorar su capacidad de atención. Además, se encontró que la RA es una forma motivadora y atractiva para los niños, lo que contribuye a un aprendizaje más efectivo y duradero. En general, este estudio sugiere que la RA es una herramienta valiosa para el fortalecimiento académico en niños con TDAH.

KEY WORDS

Augmented reality, linguistic, ADHD, strengthening, phonological, perceptual.

ABSTRACT

This article presents a study on the linguistic-phonological-perceptual strengthening in children with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) through the use of augmented reality (AR), in order to evaluate the effectiveness of AR in the development of linguistic and attention skills in these children. The results indicate that AR can be an effective tool to improve the ability of children with ADHD to process linguistic information and improve their attention span. In addition, AR was found to be a motivating and engaging way for children, which contributes to more effective and long-lasting learning. Overall, this study suggests that AR is a valuable tool for academic reinforcement in children with ADHD.

I. INTRODUCCIÓN

La realidad aumentada (RA) es una tecnología que ha revolucionado diversos sectores, desde la educación hasta el entretenimiento, al permitir la superposición de elementos virtuales sobre el mundo real. Según Bimber y Raskar, «la realidad aumentada combina lo mejor de los mundos real y virtual, permitiendo a los usuarios interactuar con el entorno físico de una manera más rica y satisfactoria» [1]. En este sentido, la realidad aumenta-

da se ha convertido en un recurso cada vez más popular para empresas y desarrolladores que buscan innovar en la creación de experiencias inmersivas y atractivas para los usuarios.

Una de las aplicaciones más extendidas de la realidad aumentada se encuentra en el campo del entretenimiento, especialmente en los videojuegos. Según un informe de *MarketsandMarkets*, se espera que el mercado de los

videojuegos de realidad aumentada alcance los 151.000 millones de dólares en 2024 [2], [3]. Esto se debe en gran medida a la capacidad de la realidad aumentada para crear experiencias de juego más realistas y cercanas, en las que los usuarios pueden interactuar con personajes y objetos virtuales de una manera más natural y fluida.

Por su parte, la RA también ha mostrado ser una herramienta efectiva en el ámbito de la educación. Según un estudio publicado en el *Journal of Educational Technology & Society*, el uso de la realidad aumentada en el aula puede mejorar el aprendizaje y la motivación de los estudiantes [4]. Esto se debe a que la realidad aumentada permite a los alumnos interactuar con los contenidos educativos de una manera más atractiva y dinámica, lo que puede ayudar a retener mejor la información y aumentar la motivación para el aprendizaje.

En [5], se evaluó el impacto de la RA en la enseñanza de la física en la educación secundaria. Los resultados del estudio indicaron que la RA fue una herramienta efectiva para mejorar la comprensión de conceptos abstractos y aumentar la motivación y el interés de los estudiantes por la materia, señalando que «la RA es una tecnología prometedora para el aprendizaje de la física, ya que permite una experiencia de aprendizaje más interactiva y visualmente atractiva».

Mientras tanto, según [6] evalúa el uso de la RA en la educación superior, específicamente en el aprendizaje de la anatomía, los estudiantes que utilizaron la tecnología de RA tuvieron un mejor desempeño en los exámenes y un mayor nivel de satisfacción con el curso, en comparación con los estudiantes que utilizaron métodos tradicionales de enseñanza. Demostrando así que «la RA es una herramienta educativa prometedora en el aprendizaje de la anatomía, ya que permite una visualización tridimensional del cuerpo humano y una mayor interacción con los materiales educativos». De igual forma, Wang buscó determinar la efectividad de la RA en la educación de la anatomía humana en estudiantes de enfermería, demostrando que la RA mejoró la comprensión de los estudiantes de la anatomía humana y aumentó su motivación y compromiso en el aprendizaje [7].

Además de mejorar la comprensión de los conceptos, la tecnología de RA también puede mejorar la experiencia de aprendizaje en general [8]. realizaron un estudio sobre el impacto de la RA en la motivación y el interés de los estudiantes en la historia. Los estudiantes que utilizaron la tecnología de RA tuvieron un mayor nivel de motivación y compromiso con la materia, mientras que los estudiantes que utilizaron métodos tradicionales de enseñanza no obtuvieron los mismos resultados. Cabe mencionar que «la RA puede mejorar la experiencia de aprendizaje de

los estudiantes al proporcionar una experiencia interactiva y atractiva».

La tecnología de RA también puede ser utilizada en el aprendizaje de habilidades prácticas. Según [9], la RA ha sido efectiva para mejorar la comprensión de los conceptos de diseño y las habilidades prácticas de los estudiantes de educación superior. La RA ha llegado a ser un cimiento esencial dedicada al área de la educación, sobre todo para los investigadores, educadores y desarrolladores de tecnología de esta área, quienes han demostrado gran interés en su continua implementación. Los distintos trabajos han demostrado que la RA puede mejorar el aprendizaje de los estudiantes, especialmente en términos de retención de información, motivación y compromiso.

La RA puede ser utilizada en varias ramas, desde el entretenimiento hasta la educativa y laboral, es así que puede llegar a ser un pilar fundamental en la educación de los niños con trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH). Por esta razón [10], examinó los efectos de la RA en la atención y el rendimiento académico de los estudiantes con TDAH.

El TDAH es un trastorno neurobiológico que se caracteriza por una falta de atención e hiperactividad, y que afecta aproximadamente al 5-10% de los niños en todo el mundo [11]. La literatura ha demostrado que los niños con TDAH tienen dificultades en el rendimiento escolar y en las relaciones sociales debido a sus dificultades para mantener la atención y controlar su comportamiento [12]. Por lo tanto, es crucial desarrollar estrategias efectivas para mejorar las habilidades lingüísticas y de atención en estos niños [13].

A lo largo de los años, se ha investigado intensamente el TDAH y se ha desarrollado una comprensión más profunda de sus causas y síntomas, pues es un trastorno neurobiológico que se produce por una combinación de factores genéticos y ambientales. Debido a esto, nuevas áreas se han dado cuenta de la importancia de utilizar tecnologías innovadoras para mejorar la educación y el aprendizaje de los niños con TDAH. La RA es una de estas tecnologías que brinda la oportunidad de interactuar con el entorno a través de un dispositivo electrónico para crear una experiencia enriquecedora y pedagógica.

El uso de la RA ha sido objeto de numerosos estudios en los últimos años. En [14] se encontró que el uso de la RA mejoró significativamente las habilidades de atención y de comprensión lingüística en niños con TDAH [15]. De manera similar, un estudio de 2018 publicado en la revista *Educación XXI* descubrió que el uso de la RA mejoró la atención y el rendimiento escolar en niños con TDAH. El TDAH es un trastorno complejo que requiere un enfoque multidisciplinario, ya que el uso de la RA debe ser

solo una parte de un programa más amplio que incluya intervenciones psicológicas, farmacológicas y educativas. En consecuencia, es importante considerar las necesidades individuales de cada niño y adaptar la intervención.

Dado que la implementación de la RA en el fortalecimiento lingüístico fonológico perceptivo en niños con TDAH no solo es un desafío técnico, sino también pedagógico. Es necesario considerar cómo integrar la RA en el programa de fortalecimiento de manera efectiva, y adaptar los materiales de RA para satisfacer las necesidades individuales de los niños para tener un impacto positivo en otras áreas, como la motivación y la autoestima de los niños con TDAH.

En general, los estudios sugieren que la RA puede ser una herramienta valiosa para mejorar las habilidades lingüísticas y de atención en los niños con TDAH. Asimismo, ayudará a mejorar su rendimiento escolar, su motivación y, en general, su calidad de vida. Por lo tanto, es importante explorar más a fondo el potencial de la RA como una estrategia para el fortalecimiento lingüístico fonológico y perceptivo en estos niños.

Es por ello, por lo que el enfoque fundamental de este artículo busca demostrar mediante un aplicativo móvil, denominado «FonoPlus», la efectividad de la RA en el desarrollo de habilidades lingüísticas y de atención en niños con TDAH. Dicho aplicativo móvil será desarrollado en *Unity*, *Blender* y *Vuforia*, por portabilidad y facilidad de manejo. Este sistema podrá ser desplegado en cualquier entorno, ya que contará con diversas escenas que brindarán un espacio donde la interacción con la RA y el enfoque práctico, obtención de datos, se unificarán. Posteriormente, se podrá realizar un análisis de memoria y concentración, los mismos que se evaluarán en base a los requerimientos pedagógicos del especialista. A través de la recopilación de datos se podrá establecer el nivel de fortalecimiento con los niños con TDAH.

2. MÉTODO

La metodología que se aplicó para el desarrollo del sistema se basa en la metodología de ingeniería de software educativos (MeISE), la cual consta de un ciclo de vida que se divide en dos etapas. La primera etapa está relacionada con la definición de requisitos o toma de requisitos, donde se genera un prediseño del mismo, el cual cumplirá con las características establecidas en los requisitos, tanto pedagógicos como del sistema, creando así la base, elemento fundamental para continuar con el desarrollo de la misma [16].

La siguiente etapa se fundamenta en el diseño computacional, que consiste en la fase de desarrollo, implementando la arquitectura en forma incremental, para posteriormente pasar al despliegue del sistema, en la que se realiza varias iteraciones sobre la misma etapa para poder

desplegar una versión ejecutable, donde finaliza el proceso cuando entra a la fase de evaluación con los involucrados. En este caso se procedió con base en las indicaciones del especialista que brindó el acompañamiento [16].

2.1. IMPLEMENTACIÓN

Para el desarrollo del sistema «FonoPlus», se utilizó *Unity*, para el desarrollo de un aplicativo móvil, y la herramienta *Vuforia* para la implementación de RA. A la par, para el desarrollo de los modelos en 3D, se empleó *Blender* una herramienta orientada al desarrollo de la misma, plasmando cada una de estas tecnologías en el modelo MeISE.

2.1.1. Registro

La primera pantalla del sistema «FonoPlus» se mantiene en el límite de llamativo y sencillo, para no distraer al usuario, mantener su atención y generar una interacción más amena. Se debe registrar el nombre y la edad del usuario, pues serán los datos preliminares que se utilizarán al realizar el análisis de resultados (ver Figura 1).

2.1.2. Inicio

Una vez finalizado el proceso de registro en el sistema, se desplegará la pantalla referente a la figura 2, la cual nos permitirá visualizar dos ventanas pequeñas que nos darán la opción de poder seleccionar la familia de fonemas que se desea fortalecer (ver figura 3), o seleccionar la segunda ventana para poder ver los resultados de los test (ver Figura 2).

2.1.3. Familia de fonemas

En esta pantalla se contemplarán varias familias de fonemas dentro de ventanas pequeñas, las cuales se pueden seleccionar para poder fortalecer de manera fonológica, la misma que al seleccionarse presentará todas las conjugaciones con cada una de las vocales para poder visualizar mediante la cámara en RA (ver Figura 3).

2.1.4. Realidad aumentada

Para el apartado de RA se diseñaron cada una de las vocales y consonantes en la herramienta *Blender*, para posteriormente con *Vuforia*, implementar dentro de *Unity* y que se maneje en un entorno unificado (ver Figura 4).

Una vez seleccionada una familia de fonemas, el sistema «FonoPlus», hará uso de la cámara para poder desplegar dentro de la pantalla la interacción de RA, la misma que une el mundo real con un entorno virtual, proporcionando a los niños una interacción más dinámica. De esta forma, se captará su atención a la hora de aprender. A la

Figura 1.

Pantalla de registro del sistema «FonoPlus»



Figura 2.

Pantalla de inicio del sistema «FonoPlus»

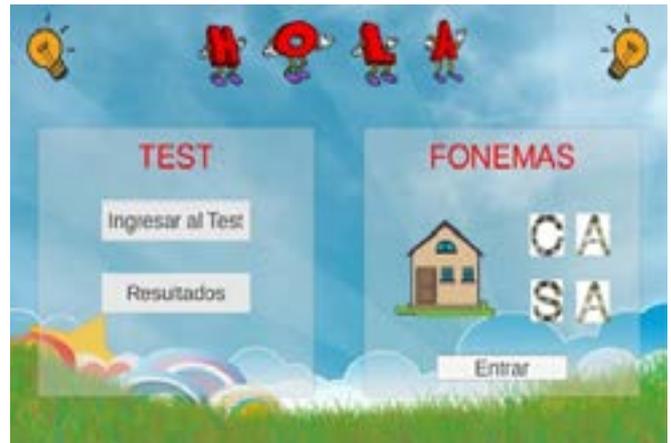


Figura 3.

Pantalla que permite seleccionar la familia de fonemas del sistema «FonoPlus»



Figura 4.

Pantalla para visualizar la RA, de los fonemas seleccionados del sistema «FonoPlus»



par, se podrá visualizar dos botones, el primero permitirá repetir la interacción con los fonemas, y el segundo botón dará paso a la interacción con los test, en el caso de estar listo para poder ver su resultado en base a lo aprendido, con la interacción mediante RA.

2.1.5. Test de memoria y concentración

La ejecución del test de memoria y concentración será llevada a cabo en base a los modelos generados en RA, donde se cargarán preguntas en torno a la interacción, brindando preguntas con base en el color, forma y, sobre todo, el reconocimiento del fonema que se presentó.

Cada test tendrá un puntaje para así realizar la evaluación respectiva (ver Figura 5).

2.1.6. Puntajes

Para finalizar la interacción, en esta pantalla se mostrará el resultado después de cada test, la cual, considerando determinados rangos, será representada a través de una calificación. De esta forma, cada niño podrá ver su avance y su nivel de retención unificado a cada familia de fonemas, los mismos que se podrán ver de manera detallada en la pantalla de puntajes (ver Figura 6).

Figura 5.

Pantalla para realizar el test de memoria del sistema «FonoPlus»



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo, tal y como se describió en la introducción, se ha demostrado de manera argumentativa que el uso de la RA como apoyo en el área de la educación, tiene muy buena aceptación y apoyo por parte de la comunidad académica. Por lo cual, enfocándonos en un análisis de recopilación de datos por parte del sistema «FonoPlus», se estableció un modelo cuantitativo, del cual se separa en una captación de datos de aprendizaje, con metodologías tradicionales impartidas en el aula de clases, y la aceptación de la información del niño con el sistema «FonoPlus». De esta forma se puede realizar un cuadro comparativo que evidenciará, a través de datos, la efectividad de «FonoPlus» sobre el fortalecimiento lingüístico fonológico perceptivo de los implicados.

Para la recopilación de datos se tomó una muestra de 8 niños con TDAH, con un rango de edad de 5-7 años, ya que para la evaluación de los resultados con una metodología tradicional se contemplaron intervalos, en base al modelo de calificación actual por puntos (0-2 = No domina, 3-5 = Regular, 6-8 = Bueno, 9-10 = Domina), mientras que para la evaluación mediante el sistema «FonoPlus», se determinará en base al número de respuestas correctas delimitando en un intervalo (0= No domina, 1-2 = Regular, 3-4 = Bueno, 5 = Domina), teniendo como resultado un antecedente de resultados, lo cual nos ayuda a tener una evidencia contundente del fortalecimiento brindado a través del sistema.

En la tabla 1, se muestra el desglose de los resultados obtenidos, mediante el uso de una metodología tradicional; basándonos en los resultados se puede contemplar que el valor máximo porcentual de cada niño no supera al 60%, demostrando que el nivel de interés y aprendizaje, con la metodología tradicional es deficiente dado que no se contempla una concentración neta del niño, a la par se puede entender que existe cierta dificultad dependiendo

Figura 6.

Pantalla para visualizar los resultados obtenidos en el sistema «FonoPlus»



la familia de fonemas, ya que los resultados porcentuales varían (ver Tabla 1).

En la tabla 2 se reflejan los resultados obtenidos después de aplicar el fortalecimiento fonológico a través del sistema «FonoPlus», demostrando que, en comparación a los datos de la tabla 1, existe un incremento porcentual en los resultados, dado que, desde el primer test realizado a los niños, se ve un crecimiento del 17%. De igual manera, se puede contemplar que, al realizar un mayor número de interacciones con el sistema, los resultados van en aumento pasando de un 68,75% a un 75%, en los mismos 5 test realizados con la metodología tradicional (ver Tabla 2).

La figura 7 demuestra el cambio a nivel académico porcentual de cada niño, donde se refleja un promedio del 21% de fortalecimiento sobre las metodologías tradicionales con el sistema «FonoPlus», teniendo en cuenta que la primera interacción dentro del sistema no refleja un crecimiento significativo, a medida que se utiliza con más frecuencia, se proyecta que el fortalecimiento vaya en aumento, lo cual permite a nuevos proyectos incursionar en la RA como una herramienta de apoyo académico (ver Figura 7).

Cabe recalcar que la RA, como se mencionó anteriormente, tiene múltiples enfoques en donde se demuestra que, aplicado al área académica, se convierte en un pilar fundamental y bien estructurado, dado que se puede redireccionar a distintas áreas. Proporcional a ello, en estos casos en donde se está tratando con niños con TDAH, es importante tener un control directo con el psicopedagogo, ya que la orientación y la atención que se brinde dentro del sistema, se basa en cada caso en particular, ya que cada caso de TDAH, tiene sus propios diagnósticos.

Tabla 1.*Resultados por medio de metodologías tradicionales*

Niño	Familia de fonemas (puntos)					Total/50	Total %
	M	F	N	L	P		
1	5	3	4	5	7	24	48%
2	6	5	4	6	6	27	54%
3	7	5	5	3	5	25	50%
4	5	6	5	4	6	26	52%
5	4	3	6	4	7	24	48%
6	6	2	7	6	7	28	56%
7	3	7	8	5	6	29	58%
8	5	2	4	4	5	20	40%
Total/80	41	33	43	37	49		
Total %	51,25%	41,25%	53,75%	46,25%	61,25%		

Tabla 2.*Resultados por medio del sistema «FonoPlus»*

Niño	Familia de fonemas (puntos)					Total/50	Total %
	M	F	N	L	P		
1	7	6	6	6	8	33	66%
2	8	7	7	8	6	36	72%
3	7	8	7	6	9	37	74%
4	6	8	5	9	7	35	70%
5	7	7	7	7	8	36	72%
6	7	6	8	8	6	35	70%
7	5	8	9	8	8	38	76%
8	8	6	8	7	8	37	74%
Total/80	55	56	57	59	60	287	574%
Total %	68,75%	70%	71,25%	73,75%	75%		

Figura 7.*Gráfica comparativa de resultados porcentuales*

4. CONCLUSIONES

La RA tiene el potencial de motivar a los niños con TDAH y aumentar su autoestima al hacer que el aprendizaje sea más interactivo y atractivo. Además, la RA es una tecnología accesible y de fácil uso, lo que la hace atractiva para los profesionales de la salud y los educadores.

Los resultados obtenidos en estudios previos sugieren que el uso de la RA en el fortalecimiento lingüístico fonológico perceptivo en niños con TDAH puede tener un impacto positivo en su desarrollo lingüístico y cognitivo. Estos resultados respaldan la hipótesis de que el uso de la RA puede ser una herramienta efectiva para apoyar a los niños con TDAH en su aprendizaje y en el desarrollo de habilidades lingüísticas.

A pesar de los resultados positivos, es importante tener en cuenta que se necesitan más investigaciones para determinar la efectividad a largo plazo de la RA en casos con TDAH, además de garantizar que los profesionales de la salud y los educadores tengan las habilidades necesarias para implementar esta estrategia de manera efectiva, ya que en estudios relacionados a la RA en la educación se enfocan en áreas numéricas, mas no se ha incursionado de manera directa en el área de lengua y literatura.

5. REFERENCIAS

- [1] Bimber, O. and Raskar, R., *Spatial augmented reality: merging real and virtual worlds*, CRC Press, 2013.
- [2] MarketsandMarkets. *Augmented reality and virtual reality market by offering device type, application, and geography - Global forecast to 2024*, 2019. Recuperado de <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/augmented-reality-virtual-reality-market-1185.html>
- [3] AR Insider, AR Advertising spend projected to hit \$2.6 billion by 2022, 2019. Recuperado de <https://arinsider.co/2019/05/07/ar>
- [4] Dunleavy, M., Dede, C., and Mitchell, R., «Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning», *Journal of Educational Technology & Society*, vol. 1, n.º 2, pp. 63-73, 2009.
- [5] Pajares, G., López, J. A., and Ruiz, I., «The impact of augmented reality technology on the teaching of physics in secondary education», *International Journal of Engineering Education*, vol. 34, n.º 4, pp. 1205-1211, 2018.
- [6] García-Valcárcel Muñoz-Repiso, A., «The use of augmented reality in higher education: a study of the anatomy learning experience», *Telematics and Informatics*, n.º 36, pp. 63-71, 2019.
- [7] Wang, X., Yu, C., Wu, J., Chen, W., and Zhao, W., «The effectiveness of augmented reality in anatomy education: a systematic review and meta-analysis», *Advances in Anatomy, Embryology, and Cell Biology*, n.º 238, pp. 85-96, 2018.
- [8] Barba-López, C., Torrecilla-Sánchez, E. M., and Peral-Peral, B., «Augmented reality in history: an innovative approach to teaching and learning», *Education and Information Technologies*, vol. 24, n.º 5, pp. 2795-2809, 2019.
- [9] Vizcarro, C., Rosales, J., Ayuga, F., and Andueza, J., «Augmented reality in design education: a case study of industrial design courses», *Journal of Engineering Education*, vol. 109, n.º 1, pp. 108-120, 2020.
- [10] Fuentes-Ferrer, M. E., Gómez-López, M., and Sánchez-Ortiz, A., «Effectiveness of an augmented reality system in attention and academic performance of children with ADHD», *PloS One*, vol. 12, n.º 5, p. e0176970, 2017.
- [11] Fuentes-Ferrer, M. E., Gómez-López, M., and Sánchez-Ortiz, A., «An augmented reality system to improve academic performance and motivation of children with intellectual disability», *Journal of Educational Technology & Society*, vol. 21, n.º 4, pp. 116-128, 2018.
- [12] DuPaul, G. J. and Stoner, G., *ADHD in the schools: assessment and intervention strategies*, 2nd ed., New York: Guilford Press, 2003.
- [13] Anderson, V., Northam, E., and Howells-Smith, H. *Interventions for attention deficit hyperactivity disorder (ADHD)*. Cochrane Database of Systematic Reviews, 4, 2007.
- [14] «The effect of augmented reality on attention and linguistic comprehension in children with ADHD: a pilot study», *Journal of Attention Disorders*.
- [15] González-González, C. S., Guerrero, J. M., Contreras, D. y Pino, M. J., «Impacto de la realidad aumentada en la atención y el rendimiento escolar de estudiantes con TDAH», *Educación XXI*, vol. 21, n.º 1, pp. 329-349, 2018.
- [16] Peñafiel, L. O., *Tutor inteligente en android para la enseñanza de la interpretación musical en zampona para niños de 8 a 12 años* (pp. 18-23), tesis de licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, 2018.



Automatización de Alimentadores en Sectores Urbanos de una Empresa de Distribución de Energía Eléctrica en Ecuador

Automation of Feeders in Urban Sectors of an Electric Power Distribution Company in Ecuador

Leonardo David Quisimalín Villacís | [iD](#) Universidad Técnica de Cotopaxi (Ecuador)

Cristian Laverde Albarracín | [iD](#) Universidad Técnica Estatal de Quevedo (Ecuador)

ARTICLE HISTORY

Received: 30/03/2023

Accepted: 02/05/2023

PALABRAS CLAVE

Automatización, reconectores, reconfiguración, confiabilidad.

KEY WORDS

Automation, reclosers, reconfiguration, reliability.

RESUMEN

El restablecimiento del suministro eléctrico en una red de distribución ha sido un reto para las empresas distribuidoras ya que la identificación y reparación de la incidencia conlleva tiempo y recursos, sin dejar de lado la energía no suministrada, convirtiéndose en una gran pérdida para las empresas. El documento describe el proceso de desarrollo para la automatización de los alimentadores urbanos de la Empresa Eléctrica Riobamba S. A. (EERSA), donde se determina el estado de las variables necesarias para iniciar una opción de transferencia mediante una reconfiguración del sistema de distribución dejando aislada la zona de falla. Además, se propone dos tipos de programación, como es el diagrama de bloques de función y texto estructurado, se analiza el impacto que ocasiona la reconfiguración del sistema sobre la coordinación de protecciones, así como la importancia de las comunicaciones dentro de la funcionalidad del arranque del programa. Finalmente, en base a la puesta en marcha se presentan métricas que permiten validar los resultados esperados dentro de la confiabilidad del sistema por medio de los índices de calidad, su fácil identificación de la zona de falla ha permitido la pronta actuación y toma de decisiones para el mantenimiento correctivo, disminuyendo así los índices de la calidad del servicio técnico, proporcionales a la continuidad con la que se prestará el servicio de energía eléctrica, y que se identifica por la frecuencia (F_{MIK}) y la duración (T_{TIK}) de las interrupciones del suministro pasando de durar horas a segundos solamente, dependiendo de la interrupción o falla, de esta manera las empresas distribuidoras minimizan la energía no suministrada.

ABSTRACT

The restoration of the electricity supply in a distribution network has been a challenge for the distribution companies since the identification and repair of the incident takes time and resources without leaving aside the energy not supplied, becoming a great loss for the companies. The document describes the development process for the automation of the urban feeders of Empresa Eléctrica Riobamba S. A. (EERSA), where the status of the variables necessary to initiate a transfer option is determined through a reconfiguration of the distribution system, leaving the fault zone isolated. In addition, two types of programming are proposed, such as the function block diagram and structured text, the impact caused by the reconfiguration of the system on the coordination of protections is analyzed, as well as the importance of communications within the starting functionality of the system. program. Finally, based on the start-up, metrics are presented that allow validating the expected results within the reliability of the system through quality indices, its easy identification of the failure zone has allowed prompt action and decision making to corrective maintenance, thus reducing the Technical Service Quality indices proportional to the continuity with which the electric power service will be provided, and which is identified by the frequency (F_{MIK}) and duration (T_{TIK}) of supply interruptions going from long hours to seconds only depending on the interruption or failure, in this way the distribution companies minimize the energy not supplied.

I. INTRODUCCIÓN

La expansión, operación y mantenimiento de los sistemas eléctricos ha permitido el desarrollo de muchas tecnologías, y al considerar este servicio como un eje fundamental para el desarrollo económico, se hace necesario tener un servicio de calidad que sea confiable y continuo.

Con el fin de mejorar la percepción de la satisfacción por el servicio de energía eléctrica por parte del usuario final, y en búsqueda de disminuir los indicadores de baja calidad del servicio técnico relacionado con la continuidad del servicio de energía eléctrica, así como la disminución de la energía no suministrada, los investigadores

han incursionado en el impleo de diferentes aplicaciones para conseguir estos objetivos, siendo principalmente la incorporación de equipos de protección, dispositivos de seccionamiento, reguladores de voltaje y reconfiguración de la red [1].

La reconfiguración de redes de distribución es una de esas aplicaciones que involucra una alta complejidad computacional y requiere una técnica de optimización inteligente para su solución. En el Instituto Nacional de Tecnología Maulana Azad de la India, se desarrolló una aplicación del método de optimización de enjambre de partículas para resolver el problema de reconfiguración de la red en el sistema de distribución (2016) cuyo objetivo es usar el algoritmo de optimización inteligente, optimización de enjambres de partículas (OSP) con diferentes variantes que se desarrollan de acuerdo con la aplicación de destino [1].

La restauración del suministro de energía eléctrica a los clientes afectados puede ser un problema combinatorio a gran escala con los operadores de control, siendo el de mayor impacto el tiempo para encontrar una solución de restauración e implementarla lo antes posible [2]. Al permitir que las fallas sean aisladas y restauradas, también se mejoran los índices de calidad del servicio técnico.

Reconfigurar la red de distribución de energía eléctrica significa alterar la topología de la misma, cambiando el estado de un conjunto de interruptores, reconectores o equipos telecomandados normalmente cerrados (NC) y normalmente abiertos (NA). En IEEE sistema eléctrico de transmisión, se desarrolló un enfoque de optimización de sistemas inmunológicos artificiales para la reconfiguración del sistema de distribución multiobjetivo, cuyo propósito es la utilización del algoritmo multiobjetivo para reducir las pérdidas de energía y mejorar el índice de confiabilidad [2].

En este sentido, una alternativa eficaz para mejorar el suministro eléctrico es la automatización de los sistemas eléctricos y reconfiguración de la red, lo que implica una modificación de la topología al cambiar los estados de un conjunto de equipos de corte y seccionamiento normalmente cerrados y normalmente abiertos. De hecho, la restauración de la red de distribución de energía eléctrica es una actividad de emergencia en el control del sistema. La condición de emergencia se crea cuando falla la función básica de las empresas eléctricas debido a fallas en la red. La restauración del suministro de energía eléctrica a los clientes afectados puede ser un problema combinatorio a gran escala con los operadores de control, siendo el de mayor impacto el tiempo para encontrar una solución de restauración e implementarla lo antes posible [3], [4]. Al permitir que las fallas sean aisladas y restauradas, también se mejoran los índices de confiabilidad del sistema

de distribución de energía eléctrica, así como las diferentes variables, entre estos se tiene: el nivel de voltaje, armónicos, pérdidas de potencia, cargabilidad, entre otros. En muchos casos, reducir las pérdidas de potencia no garantiza una mayor fiabilidad.

A continuación, se presenta la metodología y la programación implementada, que se basa en texto estructurado para mejorar el rendimiento computacional y las reglas de dominancia de la unidad terminal remota, permitiendo así que la aplicación del algoritmo sea viable. La programación implica la detección rápida de la zona en falla por medio de los dispositivos de protección telecomandados. Al confirmarse una falla permanente se aísla rápidamente la zona en falla y se verifica las opciones disponibles para una reconfiguración de la red con el fin de restaurar el suministro a tantas cargas como sea posible, se toma como parte primordial la energización de las zonas no falladas consideradas como críticas (hospitales, clínicas, entes gubernamentales y financieros, entre otros), de igual forma al proceder con una reconfiguración se considera una repartición de la carga a fin de evitar que el alimentador al que se transfiera la zona desenergizada se llegue a sobrecargar.

2. MÉTODO

El método propuesto se centra en una codificación en texto estructurado, basado por niveles de arquitectura, a fin de conseguir una reconfiguración de la red. Para ello es necesario, en primer lugar, realizar mejoras tecnológicas de innovación en las redes de distribución, tales como: inserción de nuevos equipos de protección y seccionamiento, retiro de equipos obsoletos, repotenciación de las redes, construcción de redes, equipos de prueba, etc., con el afán de conseguir diferentes opciones de restablecimiento del servicio de energía eléctrica.

Se consideran cuatro etapas para la puesta en marcha de la automatización de los alimentadores urbanos de la EERSA, que se describen a continuación:

OPTIMIZACIÓN DE LA TOPOLOGÍA

Se enfoca en la reconfiguración de la topología de la red de distribución que permita unir alimentadores de la misma o diferentes subestaciones, incrementar las fuentes de alimentación a cargas especiales (hospitales, clínicas, antenas de comunicaciones, entidades públicas, etc.), en la figura 1 se retira un equipo de corte o seccionamiento innecesario o en desuso [5] (ver Figura 1).

Figura 1.*Optimización de la topología***Figura 2.***Instalación de reconectores*

INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN Y SECCIONAMIENTO

Con la readecuación de la topología de los alimentadores urbanos se deben instalar equipos telecomandados (reconectores) (ver Figura 2), los cuales en conjunto con los relés de cabecera tomarán identificativos de FEEDER (reconector normalmente cerrado [NC] más cercano a la subestación), MIDPOINT (reconectores normalmente cerrados [NC] se ubican en el alimentador entre los equipos FEEDER y MIDPOINT, son abiertos para aislar una sección de falla o deslastrar carga) y TIE (reconector normalmente abierto [NA] donde se encuentran dos alimentadores de igual o diferente subestación, es decir, son responsables por hacer la interconexión entre circuitos. Son cerrados para restablecer secciones sin falla), para que según la zona de ocurrencia de la falla actúen de distintas maneras en base a la opción de reconfiguración que se encuentre disponible. Asimismo, una vez que se tenga una reconfiguración exitosa y esta llegase a sobrecargarse automáticamente se realizará un deslastre de carga, la cual puede ser tomada por otro alimentador, o por el mismo, una vez que no exista sobrecarga.

PRUEBAS DE ACEPTACIÓN DE FÁBRICA (FAT)

Consiste en las pruebas de funcionamiento de la lógica de programación de todos los escenarios de los alimen-

tadores automatizados. Para realizar las pruebas FAT es necesario la readecuación de un minilaboratorio (ver Figura 3) con reconectores, relés, unidad terminal remota (RTU) y una red de datos ethernet para la comunicación, los cuales permitan verificar el funcionamiento de cada uno de los escenarios implementados en cada topología, deslastre de carga, corriente de *pick up*, baja frecuencia, entre otros.

PRUEBAS DE ACEPTACIÓN EN SITIO (SAT)

Consiste en las pruebas de aceptación en el campo. Las mismas que implican probar los escenarios verificados en las pruebas FAT en este caso con todos los equipos FEEDER, MIDPOINT y TIE instalados y comunicados de los alimentadores. Dentro de estas pruebas es necesario contemplar las maniobras de seccionamiento (apertura y cierre) de equipos lo que ocasiona una molestia para los usuarios del sistema eléctrico de distribución, es por ello por lo que las pruebas se deben realizar en horario nocturno/madrugada y con la instalación de *jampers* o *bypass* en equipos normalmente cerrados. De la misma manera, la utilización de la maleta de pruebas (ver Figura 4) para la inyección de corriente de falla y, de ser necesario, realizar pruebas sincronizadas con el SCADA (ver Figura 5).

Figura 3.
Pruebas de aceptación de fábrica



Figura 4.
Pruebas de aceptación en campo

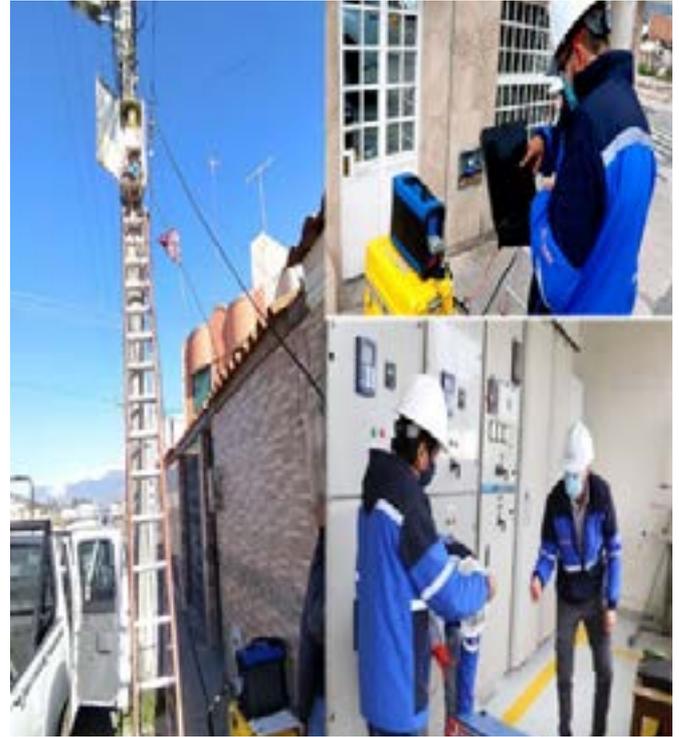


Figura 5.
Validación en SCADA local [6]



IDENTIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN INICIAL

Se da mediante una combinatoria de N elementos donde sus posiciones están asociadas con un interruptor específico, quedando identificado a cada dispositivo como en (1):

$$X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n] \quad (1)$$

Donde x_i , es el estado del interruptor, en el que toma el valor de 0 si el interruptor está abierto, de lo contrario, es 1 [7], [8]. Al partir de esta codificación se crea un conjunto de individuos sobre la viabilidad del sistema.

Para este caso el universo de configuraciones fue igual a 106 que corresponde al número total de reconectadores como protección y transferencia, 20 relés de cabeza, que conducen a identificar los *loops* por alimentador

automatizado con cada uno de sus posibles escenarios. En la figura 6 se identifica el área comprendida de los 20 alimentadores automatizados (ver Figura 6).

CODIFICACIÓN

Para la codificación y niveles de arquitectura para una reconfiguración de la red de distribución ante fallas se presenta en las figuras 7 y 8 el diagrama de flujo para la aplicación con el objetivo de preservar la estructura radial y las consideraciones para que se realice una reconfiguración exitosa, respectivamente (ver Figuras 7 y 8).

La programación de la automatización de los alimentadores se realiza utilizando las herramientas computacionales de la unidad terminal remota (RTU), la que recepta todas y cada una de las señales de los equipos telecomandados [9], [10].

Para la recomposición de la energía eléctrica debido a una falla se maneja de acuerdo con:

- Camino listo
- Alimentadores que no se encuentren sobrecargados
- Equipos listos
- Transferencias listas
- Opciones listas

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 9 se muestra el tiempo estimado por acción realizada analizando la disminución de tiempos con relación a una red sin automatización, con una red automatizada (ver Figura 9).

Para identificar el procedimiento de una transferencia exitosa se consideran los resultados del alimentador (ver Figura 10) denominado La Georgina (A0302), describiendo su comportamiento a continuación:

DETECCIÓN INMEDIATA DE LA ZONA EN FALLA

Ante la ocurrencia de una falla (ver Figura 11) en cualquiera de las secciones del alimentador, inmediatamente el equipo de protección la detecta, identificando el origen de la falla, esta la discrimina entre temporal o permanente.

De ser una falla temporal, la reconexión automática, la cual se encuentra configurada, despejará inmediatamente la falla, en el caso de ser una falla permanente (ver Figura 12) el equipo se bloqueará.

SECCIÓN EN FALLA AISLADA Y RESTABLECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ZONAS AFECTADAS

Al identificarse como una falla permanente el arranque de automatismo procede a aislar la sección en falla, y empieza a verificar la sobrecarga en los alimentadores don-

de se transferirá la carga afectada, así como las condiciones para la habilitación de automatismo en cada equipo. En la figura 13 se presenta una transferencia exitosa de las zonas afectadas por una falla cerca de la cabecera del alimentador (ver Figura 13).

A fin de evaluar el desempeño de la automatización de los alimentadores urbanos de la EERSA, desde su puesta en marcha, se realiza una comparativa de los índices de calidad disponibles para valorar la calidad del servicio de distribución que están determinados de acuerdo a la Regulación N.º ARCERNNR –002/20 denominada «Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica» sustitutiva de la Regulación N.º ARCONEL –005/18, que tiene que ver con calidad del servicio técnico relacionado con la continuidad con la que se prestará el servicio de energía eléctrica, y que se identifica por la frecuencia (FMIK) y la duración (TTIK) de las interrupciones del suministro [11]-[18].

En las figuras 14, 15 y 16 se muestra el impacto de la automatización en el indicador de calidad de servicio TTIK, en 3 alimentadores (ver Figuras 14, 15 y 16).

En la figura 17 se muestra el impacto de la automatización en el indicador FMIK del alimentador La Georgina (ver Figura 17).

Figura 6.
Alimentadores de la zona urbana automatizada

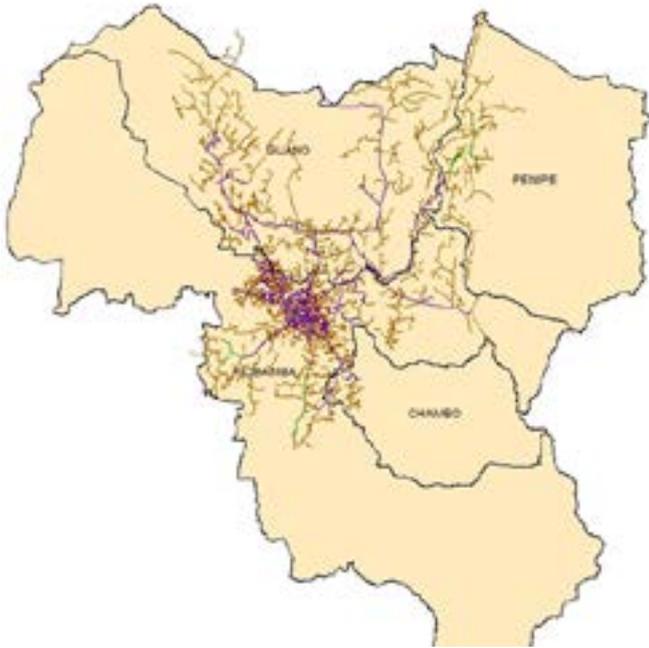


Figura 7.
Arquitectura - niveles

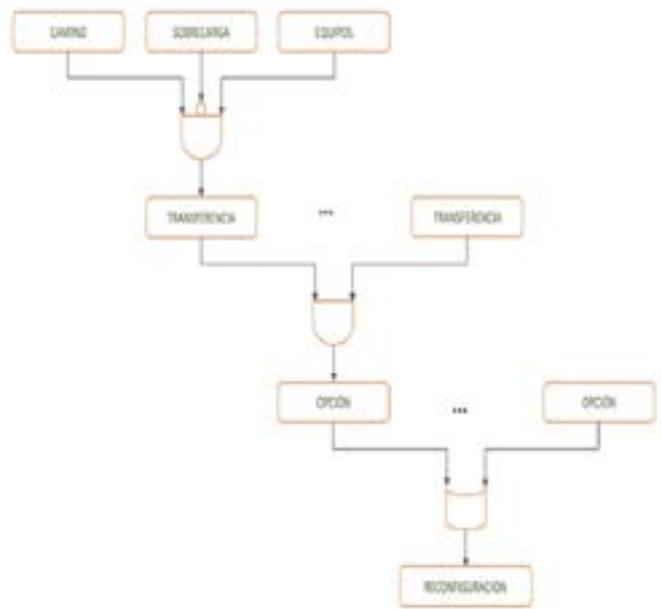


Figura 8.
Arquitectura del programa (lazo externo-reconfiguraciones)

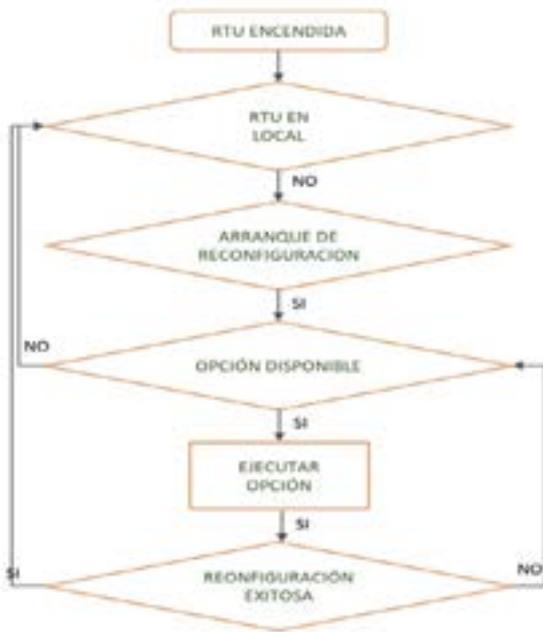


Figura 9.
Resumen esquema de automatización



Figura 10.
Topología alimentador La Georgina (A0302)



Figura 11.
Ocurrencia de falla cerca de la cabecera del alimentador

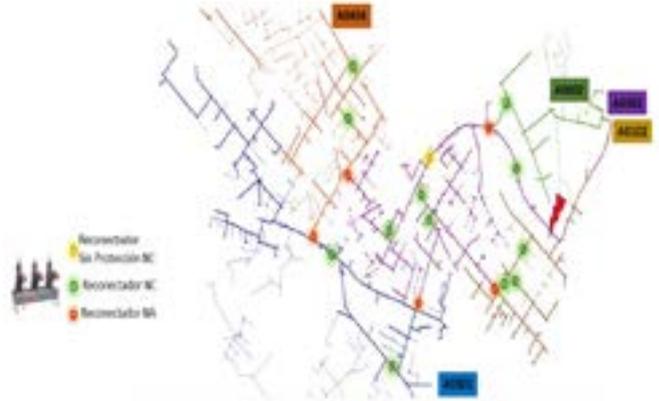


Figura 12.
Apertura del relé de cabecera del alimentador en falla

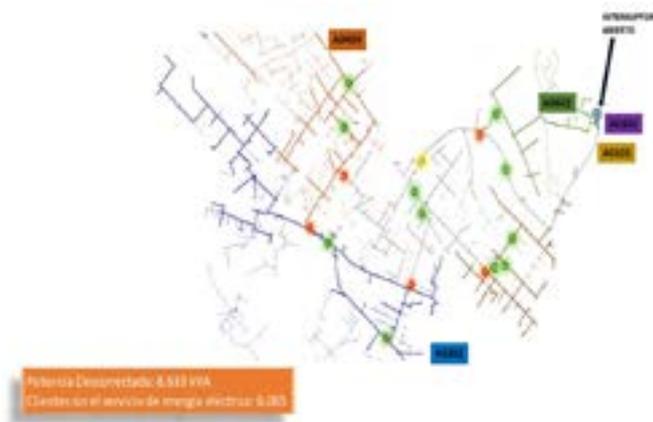


Figura 13.
Ocurrencia de falla cerca de la cabecera del alimentador

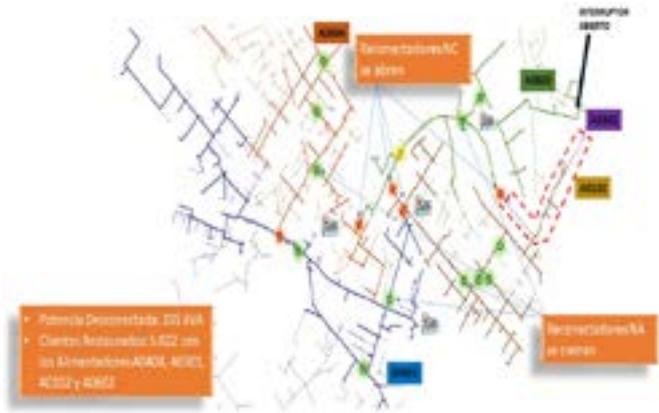


Figura 14.
Indicador TTIK alimentador La Georgina

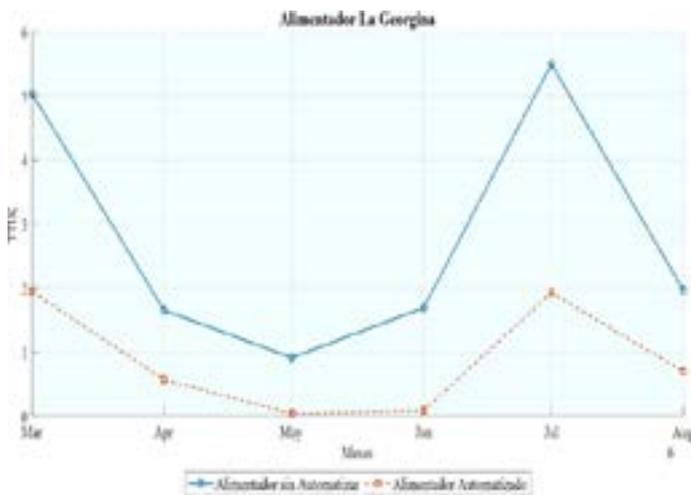


Figura 15.
Indicador TTIK alimentador Multiplaza

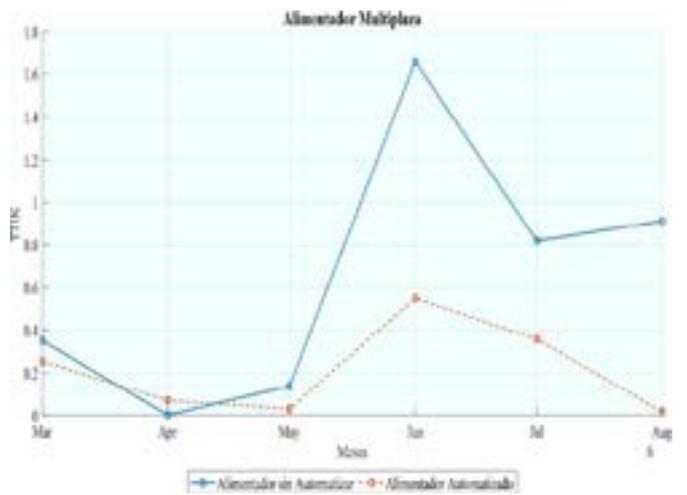
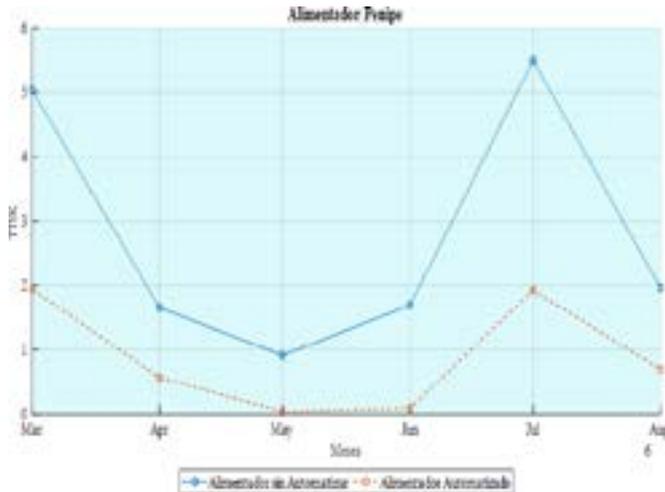
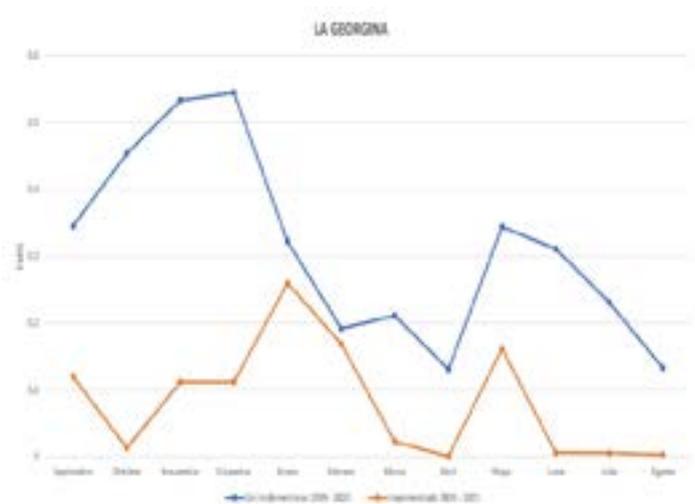


Figura 16.

Indicador TTIK alimentador Penipe

**Figura 17.**

Indicador FMIK alimentador La Georgina



4. CONCLUSIONES

- El impacto de la reconfiguración de una red de distribución de energía eléctrica de empresas distribuidoras para los diferentes eventos de fallas es considerable, dado que su solución genera un mayor gasto en recursos, donde los grupos de trabajo realizaban inspecciones visuales a fin de poder localizar la causa de la falla para un posterior restablecimiento, hacerlo de forma automática mejora la percepción de la satisfacción por el servicio de energía eléctrica por parte del usuario final, la calidad del servicio técnico y la disminución de la energía no suministrada.
- La metodología para el restablecimiento de la red de distribución se basa en identificar la falla, aislar la zona de falla y restablecer el servicio de energía eléctrica en zonas no afectadas a los diferentes alimentadores de una misma u otra subestación de manera automática, reconfigurando la topología de la red con equipos FEEDER, MIDPOINT y TIE telecomandados e instalados a la largo de la red, tomando como parte primordial la energización de las zonas no falladas consideradas como críticas (hospitales, clínicas, entes gubernamentales y financieros, entre otros), de igual forma al proceder con una reconfiguración se considera una repartición de la carga a fin de evitar que el alimentador al que se transfiera la zona desenergizada se llegue a sobrecargar. La programación es escalable, además que puede incluir muchas otras funciones objetivas, como balanceo de carga, costos de conmutación y duración promedio de interrupción del sistema. Estas funciones objetivas podrían incluirse en un estudio futuro. Se debe considerar todas las restricciones requeridas para las condiciones iniciales de la programación, a fin de

evitar afectaciones en la operación luego de su puesta en marcha.

- Con este desarrollo se ha conseguido disminuir los recursos de las empresas distribuidoras en lo que se refiere a personal, material y transporte, así mismo los tiempos de restablecimiento del servicio de energía eléctrica que son proporcionales a la calidad de servicio técnico relacionado con la continuidad con la que se prestará el servicio de energía eléctrica, y que se identifica por la frecuencia (FMIK) y la duración (TTIK) de las interrupciones del suministro ha pasado de durar horas a segundos solamente, dependiendo de la interrupción o falla, finalmente, con este desarrollo se disminuirá la energía no suministrada a causa de fallas de diferente índole dentro de la red de distribución. Puede ser aplicado en los sistemas de distribución dependiendo de la política de operación de la empresa eléctrica distribuidora, esta puede priorizar la reducción de pérdidas o la mejora en el indicador de continuidad del servicio que tiene que ver con el tiempo y la frecuencia de interrupción. Su fácil identificación de la zona de falla ha permitido la pronta actuación y toma de decisiones para el mantenimiento correctivo, disminuyendo así los índices de la calidad del servicio técnico y, en general, de la calidad del servicio.

REFERENCIAS

- [1] A. A. Ishan Srivastava, «An application of particle swarm optimization method for solving network reconfiguration problem in distribution system», *Int. J. Swarm Intelligence*, vol. 2, n.º 2/3/4, 2016, India, 2016.

- [2] A. Zambroni de Souza and D. Oliveira, «Artificial immune systems optimization approach for multiobjective distribution system reconfiguration», *Power Systems. IEEE Transactions*, 0885-8950, 2014.
- [3] Y. Liu, J. Li and L. Wu «Coordinated optimal network reconfiguration and voltage regulator/DER control for unbalanced distribution systems», 1949-3053 IEEE, 2018.
- [4] R. Greer et al., *Distribution automation systems with advanced features*, IEEE Rural Electric Power Conference, Chattanooga, Tennessee, 2011.
- [5] A. Tyagi, A. Verma and P. R. Bijwe, *Reconfiguration of balanced and unbalanced distribution systems for cost minimization*, Proc. of the 2017 IEEE Region 10 Conference (TENCON), Malaysia, November 5-8, 2017, India, 2017.
- [6] S. Electric, «Schneider Electric», 11 2020. [En línea]. Available: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=U-Series+Manual+%28N00-809-03%29.pdf&p_Doc_Ref=N00-809-03. [Último acceso: 10 10 2020].
- [7] V. J. Shetty and S.G. Ankaliki, «Electrical distribution system power loss reduction and voltage profile enhancement by network reconfiguration using PSO», 978-1-5386-9249-3\$31.00©2019 IEEE, Dharwad, Karnataka, 2019.
- [8] L. M. Ortiz, *Gateway para la integración de RTU con protocolos propietarios, a una red de adquisición de datos sobre iFix*, tesis de pregrado, Universidad Central de Venezuela, Venezuela, 2003.
- [9] P. R. Sánchez, *Automatización del sistema de la red de distribución primaria de la ciudad de Cienfuegos*, Universidad Central «Marta Abreu» De las Villas, Cuba, 2015.
- [10] M. A. Toscano Palacios, *Automatización de una subestación eléctrica utilizando el protocolo IEC 61850 y el IEC para el envío de datos*, tesis de ingeniería, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, 2010.
- [11] A. Renovables, «Regulación N.º ARCERNR --002/20 Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica», Quito, 2020.
- [12] F. Ding, «Hierarchical decentralized network reconfiguration for smart distribution systems-part II: applications to test systems», *IEEE Transactions on Power Systems*, 0885-8950 © 2014 IEEE, 2014.
- [13] A. K. Ferdavani, *A review on reconfiguration of radial electrical distribution network through heuristic methods*, Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru 81310 Johor, Malaysia, 2011.
- [14] S. Nikita S. Galat, *Distribution system feeder reconfiguration by robust optimization method, objectives and solution methods*, International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, 978-1-5386-2745-7/17/\$31.00 ©2017 IEEE, Nashik, 2017.
- [15] M. Kabirifar, *Distribution system reconfiguration using heuristic method and enhanced genetic algorithm with fuzzy sets objectives*, Isfahan University of Technology, Isfahan, 2015.
- [16] Y. Wang, «On the radiality constraints for distribution system restoration and reconfiguration problems», *IEEE Power Engineering Letters*, vol. XX, N.º X, XXX, 2020.
- [17] Y. He, *Studies on technical proposal and management model based on automatization system in rural district*, School of Business Administration in North China Electric Power University, Baoding 011003, China, 2008.
- [18] W. Zheng, «An adaptive distributionally robust model for three-phase distribution network reconfiguration», IEEE, 2020.



Implementación de Plástico Polipropileno como Material de Contacto en Aireadores de Bandejas

Polypropylene Plastic Implementation as a Contact Material in Tray Aerators

Carlos Enríquez | Universidad Central del Ecuador
Elio Álvarez | Universidad Central del Ecuador

ARTICLE HISTORY

Received: 20/03/2023
Accepted: 04/05/2023

PALABRAS CLAVE

Transferencia de gases, torres de aireación, aireación por gravedad, tratamiento de aguas.

KEY WORDS

Gas transfer, aeration towers, gravity aeration, water treatment.

RESUMEN

La presente investigación es una alternativa de uso de polipropileno (PP) como medio de contacto en torres de aireación, con el fin de remoción de hierro, ácido sulfhídrico y dióxido de carbono en reemplazo de la grava tradicional. Se construyeron dos prototipos, utilizando grava y plástico polipropileno, considerando que la torre patrón es la que contiene grava. Este proceso determinó que el polipropileno es eficiente para oxidar metales y remover gases, siendo el 50,4% de hierro, 33% de dióxido de carbono (CO₂) y 23% ácido sulfhídrico (H₂S) a diferencia de la grava que presentó valores de 30% para CO₂ y 69% de H₂S, respectivamente, además se obtuvo que la torre con grava es un 21,7% más económica que la del PP. Se genera gestión de economía circular mediante el reúso de residuos no biodegradables y se evita el uso de recursos pétreos no renovables como la grava

ABSTRACT

This research is an alternative to using polypropylene (PP) as a contact medium in aeration towers; to remove iron, hydrogen sulfide, and carbon dioxide instead of traditional gravel. Two prototypes were built, using gravel and polypropylene plastic, considering that the standard tower is the one that contains gravel. This process determined that polypropylene is efficient in oxidizing metals and removing gases, 50.4% Iron, 33% Carbon Dioxide (CO₂), and 23% Hydrogen Sulfide (H₂S). Unlike gravel, which presented values of 30% for CO₂ and 69% H₂S, respectively. It was also obtained that the tower with gravel is 21.7% cheaper than that of PP. Circular economy management is generated by reusing non-biodegradable waste and avoiding using non-renewable stone resources such as gravel

I. INTRODUCCIÓN

El agua es la principal materia prima de los seres humanos y su más importante recurso de supervivencia, por lo cual, garantizar su calidad de consumo está dentro de las leyes y derechos de cada país [1]. Previo a la distribución de agua potable, esta debe ser sometida al tratamiento más acorde, dependiendo de su origen, sea este residual o cruda; así como de sus características físicas, químicas y microbiológicas; con lo que podemos asignarle dife-

rentes procedimientos de depuración. La caracterización del agua como base de análisis, establece las condiciones en que ingresa a la planta, cuyos resultados podrían dar la presencia de hierro, dióxido de carbono, manganeso, entre otros [2]. Si se contase con dichos parámetros, una alternativa de remoción es la transferencia de gases, a través de la aireación [3].

La aireación es un proceso que consiste en incluir aire en el agua por medio de la transferencia de gases; todo esto con el propósito de remover ciertos contaminantes [3]. La variedad de aireadores que se tienen es por gravedad, que a su vez se clasifican en aireadores de bandeja, manual y de cascada [4]. En aireadores de bandeja, de manera común se diseñan con un medio de contacto, de grava, coque o ladrillo, la razón fundamental es el aumentar el área de contacto con el aire y garantizar la remoción de sustancias volátiles y transferencia de gases [4].

Actualmente, con el avance tecnológico e investigativo, se busca mejorar los sistemas tradicionales de aireación, a través de la implementación de nuevas alternativas que reduzcan costos e impactos ambientales. Entre la serie de alternativas existentes, se analizó la inclusión del polipropileno (PP) como medio de contacto; su aplicación ya se la ha realizado en otras etapas del proceso de tratamiento de aguas, tal es el caso de pozos de absorción o percolación.

El PP es considerado uno de los contaminantes más comunes en botaderos y cuerpos de agua, por lo tanto, al reutilizarlo o darle una funcionalidad extra antes de su disposición final, ayudaría a mitigar este tipo de impacto ambiental [5].

En cuanto al plástico reciclado como material de contacto en aireadores de bandejas, no se ha incursionado en esta opción para el tratamiento de aguas, siendo necesario un estudio para conocer la funcionalidad, eficiencia y presupuesto de este material adaptado a las condiciones de nuestro medio, para su posible aplicación en el futuro como una nueva opción al momento de construir torres de aireación, aportando con un diseño de economía circular mediante la reutilización de plástico, evitando así la contaminación ambiental.

El uso del polipropileno en el tratamiento de aguas está involucrado en varios estudios, como el realizado por [6] en su trabajo denominado «Propuesta de mejoramiento para el tratamiento de agua potable y residual en la empresa Palmas del Cesar S. A.» en la ciudad de Bucaramanga, Colombia, donde se evidencia el uso de pall rings como medio de contacto en las torres de aireación. El pall rings es un anillo cilíndrico hueco, modelado por inyección, construido a base de polipropileno natural de alta densidad, que al incluirlo en el sistema de aireación obtuvo resultados efectivos en la absorción de hierro.

A su vez, existen trabajos afines como el realizado por [7] denominado «Influencia del plástico reciclado en las características del agua residual doméstica mediante el proceso de filtro percolador» en Perú con el uso de polietilentereftalato (PET), donde se lograron efectos positivos

en reducción de DQO y DBO₅ superiores al 90 por ciento, en aguas residuales de origen doméstico.

El objetivo principal de esta investigación fue incorporar a los aireadores de bandeja el PP, como medio de contacto, en reemplazo de la grava tradicional. Su integración permitió analizar la factibilidad de este material, ofreciendo una opción que permita disminuir la utilización de recursos no renovables, como es la grava, y, por otra parte, reducir la contaminación generada por la acumulación de plásticos en los sitios de disposición final.

Para determinar la eficiencia del polipropileno como medio de contacto, se diseñó y construyó torres de aireación, acogiendo las recomendaciones otorgadas por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). En las mencionadas torres de aireación se colocó grava, para posteriormente pasar la muestra de agua mediante un sistema de bombeo que permita controlar el caudal que ingresa al modelo; luego se realizó este mismo procedimiento colocando plástico polipropileno en lugar de grava, para posteriormente analizar eficiencias y comparaciones entre los diferentes materiales de contacto utilizados.

En el laboratorio de la Universidad Central del Ecuador se prepararon diferentes tipos de agua sintética con concentraciones de dióxido de carbono, para lo que se tomó la muestra de agua y se expuso a dicho gas durante varios minutos. De igual forma, se agregó agua proveniente del camal metropolitano de Quito para garantizar la presencia de hierro. Y, finalmente, se utilizó como base el agua del río Machángara (ácido sulfhídrico), para determinar las concentraciones presentes de este gas.

Con la finalidad de garantizar la calidad de agua producida experimentalmente se realizó una caracterización para medir parámetros físicos y químicos como temperatura, turbidez y pH.

Una vez obtenidos todos los parámetros, datos e información, para su procesamiento se utilizó la herramienta Minitab para ofrecer un análisis completo de la investigación experimental; con el propósito de comprobar la eficiencia de la aireación y plástico polipropileno como material de contacto en el tratamiento de aguas y posteriormente relacionarla con las fuentes de información tanto primarias como secundarias, y de esta manera proceder al diseño óptimo del sistema.

Para finalizar y complementar este proyecto de investigación, se realizó un análisis técnico y económico de todas las alternativas, a fin de elegir la más viable, lo que permitirá tener enfoques presupuestarios y técnicos del proyecto a desarrollar.

2. MÉTODO

2.1. DISEÑO DE TORRES DE AIREACIÓN

El diseño de las torres de aireación parte de un caudal de diseño (Q_{dis}) que depende directamente del caudal medio diario por un factor de capacidad, de acuerdo con el nivel de servicio; es así como se estimó un caudal de diseño de 1 L/s (ver Tabla 1).

Para el diseño de las torres de aireación, nos basamos en los valores recomendados por [8]; con el fin de enmarcarnos en una metodología validada y que permita generar una comparativa adecuada frente a otras torres de aireación.

Es así como, según la tabla 1, la carga hidráulica no puede ser mayor a $900 \text{ m}^3/\text{dm}^2$, eso quiere decir la cantidad de agua que podrá ingresar al sistema por unidad de área; de la misma forma mantenerse en un número óptimo de bandejas (3- 6), a fin de generar la transferencia de gases deseada y cumplir con la altura de torre estipulada.

Como parámetros complementarios, según [9] se tiene:

- Diámetro de orificios de 0,5 cm
- Separación entre orificios de 2,5 cm
- Carga hidráulica (Ch) 2 l/s-m^2

Para el área específica (Ae) adoptado es de $0,15 \text{ m}^2/\text{l/s}$, mismo que cumple con las especificaciones tanto de [10] y [11] (ver Tabla 2).

Como material elegido para las torres de aireación se tienen perfiles de acero ASTM A36, por medio de un análisis estático se pudo evidenciar que las torres de aireación cumplen con los rangos de diseño, es decir, se tiene un esfuerzo máximo de tensión Von Misses de 23 MPa, muy inferior al límite de fluencia del A36 (límite de fluencia $S_y=236 \text{ MPa}$), con una deformación promedio de 0,93 mm. Mediante una bomba de 1 HP con un rango de caudal de 1 a 3 l/s, garantizamos el flujo de agua para el proceso de corridas de aireación respectivos (ver Figura 1).

2.2. MEDIOS DE CONTACTO

2.2.1. Grava. El material granular (grava) fue tomado de la cantera Chaupi Chupa, que se ubica en el cantón Quito, parroquia Nayón, provincia de Pichincha, sector San Pedro del Valle.

En este lugar los materiales pétreos son de un ambiente aluvial que está desarrollado por terrazas jóvenes y material coluvial propio del sitio; es una cantera de uso frecuente como materia prima, debido a sus propiedades resistentes a la abrasión con valores de densidad de 1700 kg/m^3 .

Aquí podemos encontrar agregados gruesos de diferentes granulometrías; las mismas van desde $3/8$ de pulgada hasta los $3/4$ de pulgada; en esta investigación se utilizaron diámetros de $3/4$ de pulgada.

2.2.2. Polipropileno. Descubierta en Italia, en 1954, por G. Natta y K. Ziegler, fue comercializado en América del norte y Europa rápidamente en 1957; es considerado un polímero con características termoplásticas obtenido de forma industrial a partir del hidrocarburo insaturado de la molécula del propileno (C_3H_6) $_n$, presenta características únicas lo que lo hacen muy demandado en la industria, pues una de sus propiedades principales es que resiste temperaturas superiores a los 100°C en la atmosfera terrestre además de que soporta los 140°C para su esterilización con agua presurizada sin deformarse [5]. Entre las más importantes características se puede mencionar que tiene un peso ligero, resiste a la compresión, tensión, álcalis y ácidos y presenta una baja absorción a la humedad.

El material para esta investigación fue obtenido en la ciudad de Guayaquil, de una empresa dedicada al reciclaje del polipropileno que se encuentran en textiles, envases, dispositivos médicos, empaques de alimentos, materiales de laboratorio, entre otros. Para utilizar el material descrito, este ha pasado por procesos de recolección, triturado, lavado, centrifugado, secado, granceado y extrusión (ver Tabla 3).

2.3. AGUA SINTÉTICA

Para poder garantizar la estabilidad y sobre todo la existencia de los parámetros a ser analizados, producimos una muestra de agua sintética en el laboratorio, esto nos dio la posibilidad de analizar eficiencias de los aireadores, variando las concentraciones de dióxido de carbono, hierro y ácido sulfhídrico.

Para este fin, tomamos un agua cruda como base, siendo la escogida la del río Machángara en el sector de Monjas, dicho lugar fue definido por la facilidad de acceso y toma de la muestra; la misma que tuvo que ser verificada en cuanto a la presencia o no de los parámetros en análisis (CO_2 , Fe y H_2S).

Al verificar la existencia de los parámetros en análisis, pero considerando la variabilidad que se maneja en cuerpos de agua naturales, se complementa el proceso realizando el siguiente procedimiento: por cada 20 litros de agua del río Machángara se añadieron 2 litros de agua proveniente de la PTAR Camal de Quito, con esto garantizamos la cantidad de hierro; con la finalidad de aumentar la materia orgánica en el agua se dejó tapados los envases llenos durante 24 horas; para el dióxido de carbono, se conectó una manguera al tubo de escape de un vehículo, hasta el interior del envase de la muestra de agua sintética en un lapso de 5 minutos (ver Tabla 4).

Tabla 1.

Valores recomendados para los parámetros de las torres de aireación

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Carga hidráulica	300-900	m ³ /dm ²
Número de bandejas	3-6	u
Altura total del aireador	1,2-3	m
Lecho de contacto	15-30	cm
• Espesor	4-15	cm
• Coque o piedra, diámetro	5-15	cm
• Esferas de cerámica, diámetro	5-15	cm
Orificios de distribución, diámetro	5-12	mm
Profundidad de agua en las bandejas	15	cm
Separación entre bandejas	30-75	cm

Nota. Parámetros de diseño de aireadores de bandeja. Tomado de Romero, J, 2002 [8]. Purificación del agua. Segunda edición. Bogotá-Colombia.

Tabla 2.

Cuadro resumen del diseño de las torres de aireación

Nº	Parámetros	Valor
1	Número de bandejas	4
2	Largo (m)	0.40
3	Ancho (m)	0.40
4	Diámetro de orificios (m)	0.005
5	Separación de orificios	0.025
6	# orificios por fila y col.	13
7	Diámetro lecho coque (m)	0.02
8	Altura lecho coque (m)	0.15
9	Altura de bandejas (m)	0.2
10	Separación entre bandejas	0.15
11	Altura total (m)	1.4

Nota. Resultados del diseño de las torres de aireación

Tabla 3.

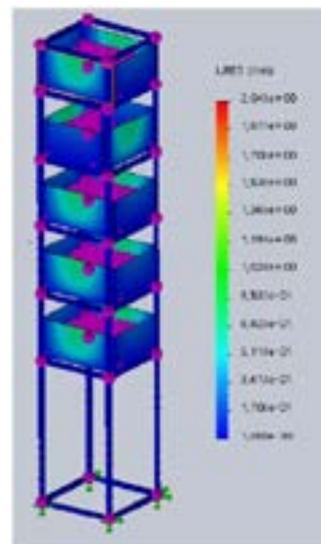
Especificaciones del polipropileno como material de contacto

Peso/	29g
Peso/ unidad	81,2 kg
Color	Obscuro
Textura	Rugoso
Área de contacto	
Deformación	ASTM D648 – 245 °F @ 66 psi
Esfuerzo a la tracción	ASTM D648 – 245 °F @ 66 psi
Densidad	ASTM D792 – (0,91 a 0,93) g/
Inflamabilidad	ASMT D635 – 600 °C (bajo)

Nota. Ficha técnica - Relleno plástico tipo esfera. Tomado de Plásticos B&R [12]

Figura 1.

Simulación torre de aireación con grava como medio de contacto



Nota. Esquema de la modelación estructural de la torre propuesta, identificando su estabilidad y funcionalidad ante agentes de carga viva y carga muerta

Tabla 4.*Parámetros de control de la muestra de agua sintética*

Número	Ensayo	Técnica
1	Alcalinidad total	Volumetría
2	Anhídrido carbónico	Cálculo
3	Carbonatos	Cálculo
4	Carga contaminante	Cálculo
5	DBO5	Volumetría
6	DQO	Método oxidativo y colorimétrico
7	Fosfatos	Colorimétrico
8	Hierro total	Espectrofotometría de absorción atómica
9	Sulfuro	Volumetría
10	Turbidez	Método rápido MERCK

Nota. Parámetros que fueron analizados en la muestra de agua sintética y su procedimiento de obtención en el laboratorio. [9]

2.4. METODOLOGÍA DE EXPERIMENTACIÓN DE LAS TORRES DE AIREACIÓN EN SUS DIFERENTES MEDIOS DE CONTACTO

Obtenidos los parámetros de diseño, tanto de las torres de aireación y el procedimiento para la elaboración del agua sintética se derivó con la experimentación:

2.4.1. Elaboración de agua sintética

Para iniciar con la preparación de la muestra de agua sintética en las instalaciones de la Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, se procedió a:

- Toma de base de muestra río Machángara, se tomaron 55 litros de agua en el barrio Orquídeas de la ciudad de Quito, en las coordenadas 0°13'19.8"S 78°29'13.5"W; mediante una muestra simple, a una temperatura de 19°C en un día soleado, sin lluvia.
- Tomadas las muestras del río Machángara se dejaron almacenadas durante 24 horas con la finalidad de proliferar los sulfuros.
- Por cada 20 litros de agua se colocaron 2 litros de agua proveniente del camal metropolitano del sur de Quito.
- Se conectó una manguera desde el tubo de escape del vehículo hacia el envase de la muestra de agua, para adicionar concentraciones de CO_2 .
- Culminado el proceso de elaboración de agua sintética se tomó una muestra para determinar los parámetros iniciales que contiene la misma antes de pasar por las torres de aireación.

2.4.2. Prueba de medios de contacto en torres de aireación

Las torres se instalaron y llenaron con los diferentes medios de contacto (polipropileno y grava) a una altura de 15 cm con cada material, previo dato establecido en el diseño de las torres.

Se acopló la bomba de agua previamente calibrada para impulsar la muestra al caudal establecido en el diseño de la torre, 1 L/s. Para obtener la calibración de la bomba se realizaron aforos *in situ*, asegurando así que el volumen de agua por segundo trasladado sea el correcto y no se modifique el diseño inicial.

Posteriormente, se procedió a pasar 20 litros de agua sintética preparada en el laboratorio por cada torre de aireación, durante 20 segundos como se determinó en el diseño inicial; para ambos medios de contacto, grava y plástico polipropileno.

Finalmente, se tomaron las muestras una vez realizadas la experimentaciones por las torres de aireación, respectivamente etiquetadas, para determinar su estado y concentraciones finales.

Posterior al paso de agua por las torres de aireación y su análisis de laboratorio, es necesario comparar las eficiencias de remoción del hierro, dióxido de carbono y el ácido sulfhídrico, a fin de concluir si el material PP como medio de contacto presenta características positivas y ventajosas por sobre la grava.

El análisis debió complementarse con la determinación de parámetros de pH, color, temperatura y conductividad, esto se lo hizo con la finalidad de tener un control de la muestra durante los ensayos en la torre de aireación con los diferentes medios de contacto, a su vez se

realizaron ensayos adicionales de alcalinidad, DBO, DQO, turbidez, carga contaminante y fosfatos.

Es importante aclarar que la aireación en muchos de los parámetros analizados no es una operación unitaria cuyo fin sea su remoción, pero la finalidad fue obtener información agregada de la interacción con los diferentes medios de contacto.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DISEÑO DE TORRES DE AIREACIÓN

El diseño propuesto cumple con lo planteado tanto por RAS [10], la normativa colombiana para la purificación del agua elaborada por [8]; es importante anotar que además gran parte del diseño se fundamenta en las recomendaciones dadas por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) [11].

El diseño arrojó los siguientes resultados:

- 4 bandejas de 40 x 40 x 20 cm con altura del medio de contacto de 15 cm y separación entre bandejas de 15 cm.
- 169 orificios de 5 mm de diámetro, separados entre sí 2,5 cm.
- Acero ASTM A36 con espesor de 1,2 mm, columnas con un perfil cuadrado de 30x30 mm con 2 mm de espesor.
- Bomba de 1 HP con alcance de 21 m de altura y un caudal hasta de 80 L/s.

3.2. AGUA ELABORADA EN LABORATORIO

Una vez diseñadas las torres de aireación, se procedió a realizar las pruebas de remoción de elementos en la torre de grava y polipropileno; a continuación, se describen los resultados obtenidos de la caracterización de la muestra de agua sintética elaborada en laboratorio, los resultados obtenidos al realizar los ensayos se muestran en la tabla 5 (ver Tabla 5).

3.3. EFICIENCIA DE LAS TORRES DE AIREACIÓN

Dióxido de carbono. En este parámetro, en condiciones iniciales tuvo un valor de 191 mg/L; en la torre con grava, tuvimos una eficiencia de 30,9 % y en el caso de la torre con PP una eficiencia del 33%, siendo la torre con polipropileno más eficiente en 6,36% (ver Figura 4).

Hierro. Para este parámetro en condiciones iniciales se tuvo un valor de 3,47 mg/L, en la torre con grava no existió remoción de hierro, en el caso de la torre con polipropileno se tuvo una eficiencia del 50,4%, de acuerdo con [13] el rango aceptable de remoción de hierro en torres de aireación debe estar entre 30 y 50% sin el uso de agentes químicos que ayuden a una mejor adsorción de hie-

rrero, estos valores son utilizados para aguas sedimentadas pretratadas (ver Figura 5).

Ácido sulfhídrico. Para este parámetro en condiciones iniciales se tuvo un valor de 2,26 mg/L, en el caso de la torre con grava se tuvo una eficiencia del 69%, mientras que, en la torre con polipropileno se obtuvo una eficiencia de remoción del 23%.

Para [14], los rangos de remoción de ácido sulfhídrico deben ser de 40 a 70 % en el mejor de los casos (ver Figura 6).

Estos son los tres parámetros principales de análisis en esta investigación, ya que su remoción puede darse a través del uso de la aireación; pero nos hemos planteado definir qué sucede con otros parámetros complementarios importantes en la definición de la calidad del agua.

Parámetros complementarios. Se realizó una caracterización de las muestras de agua analizando pH, color, temperatura y conductividad con la finalidad de tener un control de la muestra durante los ensayos en la torre de aireación con los diferentes medios de contacto, asimismo se realizaron ensayos de alcalinidad, DBO, DQO, turbidez, carga contaminante y fosfatos (ver Figuras 7, 8, 9, 10 y 11).

3.4. DISCUSIÓN

El PP al ser un polímero formado por cadenas de ramificaciones y al tener un ancho físico inferior a 0,7 nm, le da la capacidad de que las moléculas de dióxido de carbono queden atrapadas para obtener una separación con respecto al líquido; así como indica [15] dicha capacidad que tiene el polímero, es en parte por las moléculas apolares, las que aumentan la selectividad del CO_2 sobre otras moléculas; al comparar esto con otros gases facilita las separaciones por adsorción, ya que generalmente conduce a interacciones de adsorbato-adsorbente más fuertes.

Las altas eficiencias de remoción de hierro en las torres de PP, se debe a que como se indicó en el ítem anterior, este material contiene una estructura molecular que forma cadenas ramificadas espaciales; razón principal para que las moléculas de hierro cuando pasan por el material queden atrapadas y se obtenga así la separación de este componente, para [16], el principio de adsorción de este polímero es alto, además es capaz de eliminar una amplia gama de microcontaminantes con una tasa de eliminación rápida y grandes cantidades de captación, puede capturar contaminantes cargados de manera positiva, negativa y neutra.

A diferencia del CO_2 , el H_2S es un gas menos denso, eso quiere decir que en cada molécula de este gas se tiene mayor cantidad de partículas, por lo que la grava al tener una estructura molecular más compacta, a diferencia del polipropileno, permite retener este gas en las ramificaciones internas que forman este elemento, de tal manera que se produce la separación del gas sobre el agua por medio de la adsorción.

Tabla 5.*Parámetros de control de la muestra de agua sintética*

Parámetros	Unidades	Condiciones iniciales	Ensayos	
			Torre con grava	Torre con polipropileno
Alcalinidad total	mgCaCO ₃ /L	259	145	255
Dióxido de carbono (CO ₂)	mg/L	191	132	128
Carbonatos	mg/L	No detectable	No detectable	No detectable
Carga contaminante	kg/día	18	25	17
DBO ₅	mgO ₂ /L	72	25	56
DQO	mgO ₂ /L	126	73	146
Fosfatos (P-PO ₄)	mg/L	5	2	3
Hierro	mg/L	3,47	4,08	1.72
Ácido sulfhídrico	mg/L	2,26	0,70	1.74
pH	-	7,66	7,74	8
Oxígeno disuelto	mg/L	0,42	5,88	4,04
Temperatura	°C	20,5	20.1	21,7
Color	UPC	100	60	80
Turbidez	NTU	117	58	114

Nota: Se muestra los resultados del agua sintética y de la corrida por las torres con diferentes medios de contacto propuestos en la investigación.

Figura 2.*Polipropileno reciclado*

Nota. Imagen del material PP utilizado como medio de contacto en esta investigación.

Figura 3.*Torres de aireación con PP y grava*

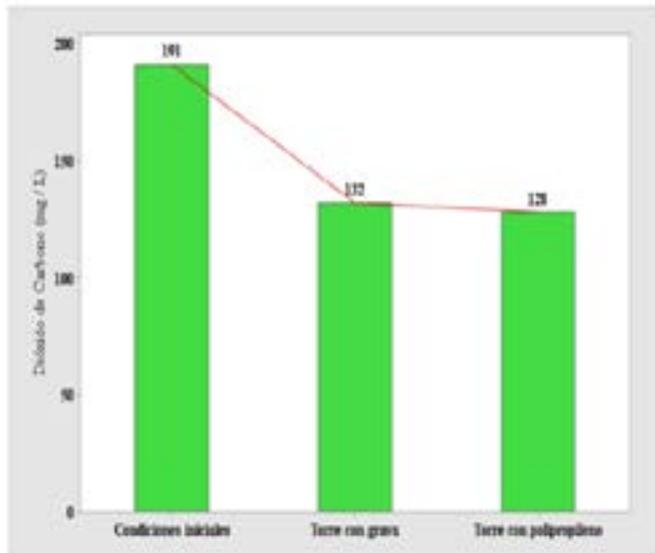
Nota. Proceso del paso de agua sintética por las torres con los medios de contacto producto de la investigación.

Para los parámetros complementarios, sus resultados reflejan que el rango de eficiencia de remoción de DQO, depende del metabolismo de los macro y microorganismos heterótrofos aerobios y anaerobios que, a través de

compuestos orgánicos del agua producen biomasa, así como reacciones químicas de óxido reducción.

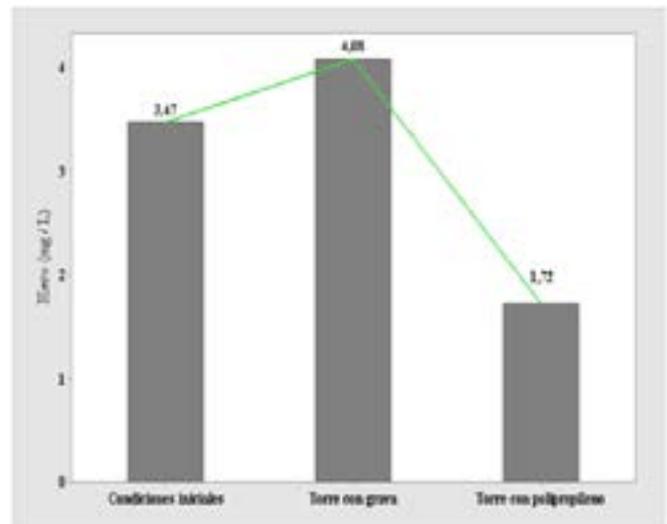
La grava es un material con estructura molecular más compacta y de mayor densidad, lo que brinda la posibilidad de atrapar los sedimentos de mayor tamaño.

Figura 4.
Torres de aireación con PP y grava



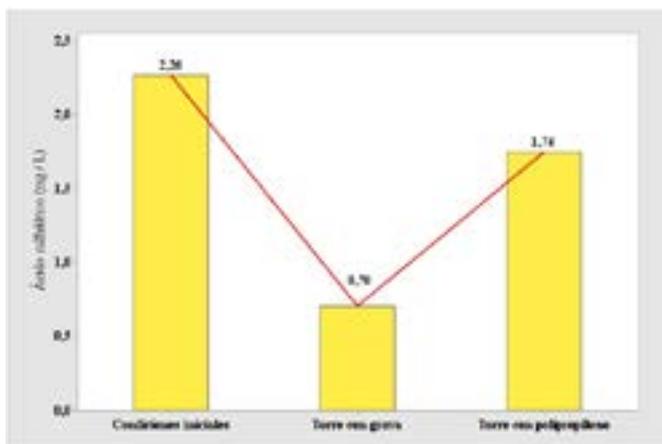
Nota. Gráfica comparativa de remoción de CO₂ en las torres con los medios de contacto propuestos en la investigación, tomando como partida las condiciones iniciales del agua sintética.

Figura 5.
Eficiencia de remoción de hierro del agua tratada con las diferentes torres de aireación



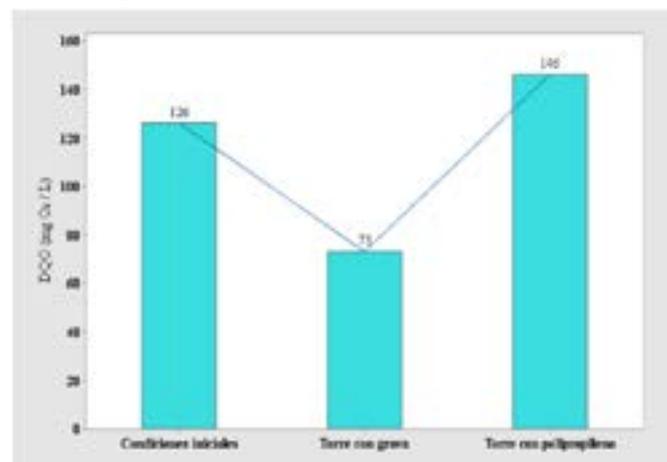
Nota. Gráfica comparativa de remoción de CO₂ en las torres con los medios de contacto propuestos en la investigación, tomando como partida las condiciones iniciales del agua sintética.

Figura 6.
Eficiencia de remoción de ácido sulfhídrico del agua tratada con las diferentes torres de aireación



Nota. Gráfica comparativa de remoción de H₂S en las torres con los medios de contacto propuestos en la investigación, tomando como partida las condiciones iniciales del agua sintética.

Figura 7.
DQO del agua tratada



Nota. Gráficas comparativas de remoción de DQO y DBO en las torres con los medios de contacto propuestos en la investigación, tomando como partida las condiciones iniciales del agua sintética.

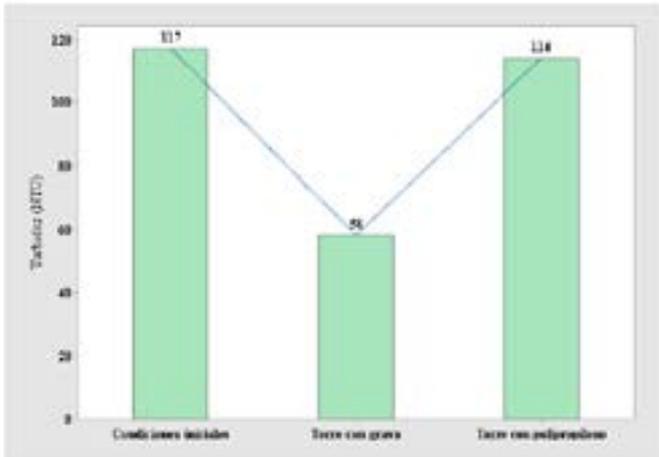
En el caso de la grava al ser un material más irregular y con porosidad alta se produce mayor turbulencia y una mejor oxigenación del agua, en el caso del polipropileno presenta una menor oxigenación debido el aumento de temperatura y su superficie lisa.

El aumento del pH está asociado al aumento de temperatura que se produce en el material de contacto en este caso el polipropileno posee un coeficiente de absorción de radiación solar mayor por lo cual se evidencia un aumento en la temperatura del agua y a su vez un pH más elevado; mientras que con la grava se evidencia una

disminución de temperatura debido a la baja conductividad térmica que esta posee, se produce un enfriamiento por convección natural.

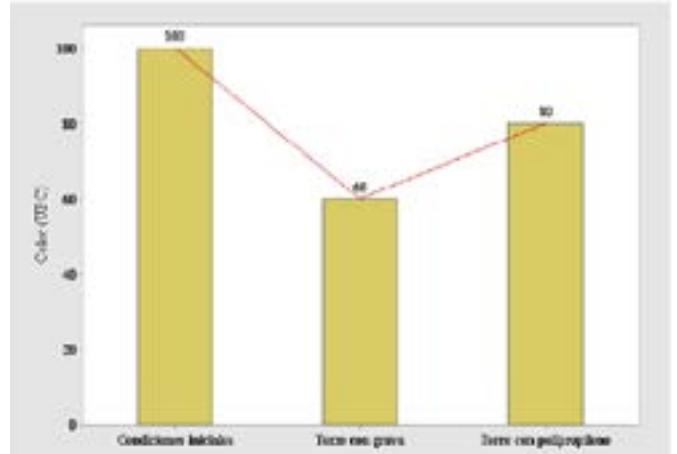
La eficiencia total de la torre con polipropileno es mayor en un 62,7%; en consecuencia, la alternativa de utilizar la torre con polipropileno es más viable en cuanto a la inversión y beneficio que se pretende obtener.

Figura 8.
Gráfico comparativo de remoción de DQO y DBO



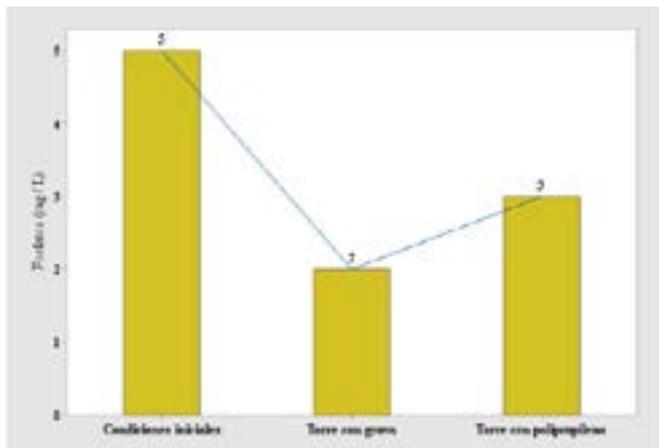
Nota. Comparativo de remoción de DQO y DBO en las torres con los medios de contacto propuestos en la investigación, tomando como partida las condiciones iniciales del agua sintética.

Figura 9.
Color del agua tratada



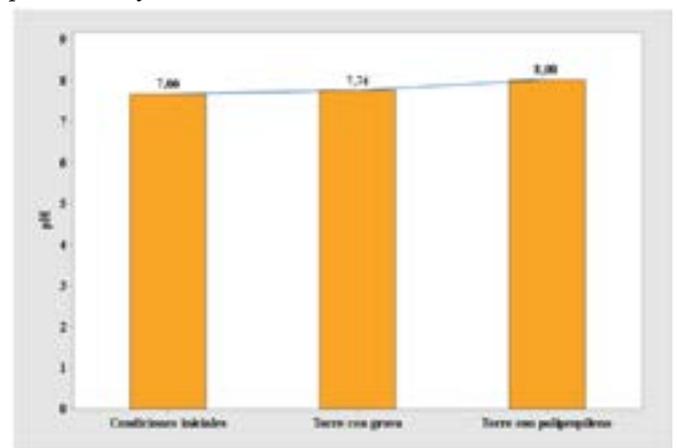
Nota. Comparativo de remoción de color y fosfatos en las torres con los medios de contacto propuestos en la investigación, tomando como partida las condiciones iniciales del agua sintética.

Figura 10.
Turbidez del agua tratada



Nota. Comparativo de remoción de color y fosfatos en las torres con los medios de contacto propuestos en la investigación, tomando como partida las condiciones iniciales del agua sintética.

Figura 11.
pH con las diferentes torres de aireación.



Nota. Comparativo de remoción de pH en las torres con los medios de contacto propuestos en la investigación, tomando como partida las condiciones iniciales del agua sintética.

4. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, hemos respondido nuestra pregunta de investigación sobre el hecho de que el PP remueve los contaminantes considerados como prioritarios en el estudio, estos son el CO_2 , H_2S y Fe; de la misma forma validamos nuestra hipótesis que planteaba el hecho de afirmar la funcionalidad que tendrá el PP como medio de contacto en aireadores de bandeja.

Se diseñaron torres de aireación cumpliendo con las recomendaciones y criterios hidráulicos respectivos, a fin de poder brindar un escenario real al proceso de transferencia de gases; a partir de esto nacen nuevas interrogantes sobre si el aumento de caudal o el cambio del material

de fabricación de las torres tendría alguna influencia en los procesos de remoción de los contaminantes susceptibles a eliminación con este proceso, así como de condiciones climáticas adversas o distintas a las que se tuvieron durante las pruebas de esta investigación.

El medio de contacto con el cual se obtuvo una mayor eficiencia de remoción de CO_2 y Fe fue el polipropileno con valores de 33% y 50,4%, respectivamente, respecto a la remoción de H_2S se obtuvo una eficiencia de remoción del 69% con grava, esto se debe a que las moléculas de dióxido de carbono y hierro son de mayor tamaño y el polipropileno, como se indicó anteriormente, es capaz de retener estas partículas por el tamaño de las ramificaciones

en su estructura interna; a diferencia del ácido sulfhídrico que sus moléculas son más pequeñas y la grava al tener una estructura interna más compacta permite retener estas partículas.

Evidentemente existe una disminución menor en la remoción de H_2S del PP frente a la grava, por las características físicas del material tradicional, para esta investigación se cumple con la premisa de que sí existe remoción, pero consideramos importante analizar posibilidades de aumentar esta remoción usando como base el PP y ciertas técnicas que ayudarían con este parámetro; por lo que, en futuras investigaciones, ya se está trabajando sobre este particular.

La aireación por gravedad mediante torres ha demostrado su eficiencia a lo largo del tiempo en la remoción de gases y oxidación de metales en el tratamiento de aguas. En la actual investigación, se obtuvo un alto rango de eficiencia de remoción de metales del 50,4% al utilizar un medio de contacto alternativo como el polipropileno, plástico que está presente en envases, botellas, juguetes, recipientes de alimentos, entre otros, y cuya posible utilización dejaría un cierre adecuado al producto y que no se convierta en un pasivo ambiental.

El material granular es de tipo coluvial, con un tamaño de aproximadamente 2 cm, este material presentó un porcentaje de grava del 70% y de arena del 30%, lo que genera una mayor cantidad de espacios vacíos, a diferencia del polipropileno que tiene espacios de su estructura interna, separados 2 mm, lo que influye directamente en la remoción del hierro, ya que este al oxidarse exhibe partículas de tamaño muy pequeño que no se mantienen en un medio granular.

El polipropileno tiene una relación área volumen (A/V) mayor; con un valor de 157 para la grava y 501 para el PP. Lo que influye en los resultados obtenidos, debido a que, si el PP es más ligero y pequeño, permite que las gotas de agua se rompan en secciones más pequeñas y realicen un mayor tiempo de recorrido entre sus espacios a diferencia del sistema convencional con grava, lo que permitió que la oxidación de metales como el hierro sea más eficiente.

La utilización del material de contacto polipropileno en las torres de aireación genera mayores beneficios desde el punto de vista ambiental al compararlo con el recurso grava; ya que el polipropileno es un material que puede ser encontrado en vasos de plástico, juguetes para niños, recipientes para alimentos, medicinas o productos químicos, entre otros objetos que se pueden reutilizar, disminuyendo así la generación de residuos plásticos y contribuyendo al reciclaje.

Es importante dejar definido la importancia de ampliar esta investigación a, por ejemplo, el cambio de geometría de las torres de aireación o el uso de plástico reciclado en los lugares de disposición final de residuos sólidos; con el fin de verificar su aplicabilidad, sobre todo

buscando el hecho de generar una alternativa de reúso al material con el aporte ambiental respectivo.

Como limitaciones principales a sortear en nuevas investigaciones del tema, podemos anotar que al trabajar con gases se generan problemas sobre la estabilidad de la muestra; si se quiere mantener un patrón de análisis y tener el insumo al cual se lo removerá, es primordial garantizar que no se produzca su volatilización, se podría partir sobre una base de conservación de la muestra en el tiempo, tal que en las corridas en nuevas torres, estas cuenten con el contaminante en estudio.

En resumen, debido al amplio rango de adsorción, el excelente rendimiento del polipropileno, consideramos que maneja grandes potenciales de aplicación para remoción de dióxido de carbono (CO_2) y hierro (Fe).

REFERENCIAS

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos*. Obtenido de No dejar a nadie atrás, 2019. Available: <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>
- [2] Acciona, *Potabilizamos el agua para asegurar la vida*, 2020. Obtenido de Potabilización. Available: https://www.acciona.com/es/soluciones/agua/areas-actividad/potabilizacion/?_adin=02021864894
- [3] M. Orellana, *Diseño de una planta de tratamiento, comunidad Colta*, (tesis de ingeniería), ESPOCH, Riobamba, 2016.
- [4] F. Sal, y O. Merino, *Sistemas de recirculación y tratamiento de agua*, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos CENADAC (Santa Ana- Corrientes), 2007.
- [5] P. Corso, A. López, C. Caleffi, N. Domínguez, y G. Díaz, «Polipropileno», Universidad José Antonio Páez, 2016.
- [6] C. Hammerschmidt, «Propuesta de mejoramiento para el tratamiento de agua potable y residual en la empresa Palmas del Cesar S. A.», (tesis de ingeniería), UPB, Bucaramanga, 2018.
- [7] R. Yucra, «Influencia del pet reciclado en las características del agua residual doméstica mediante el proceso de filtro percolador para el distrito de Taraco, provincia de Huancane, Región Puno», (tesis de ingeniería civil), Universidad Andina, 2016.
- [8] J. Romero, *Potabilización del agua*, 3.^a ed., México, AlfaOmega, 1999.
- [9] E. Álvarez, «Diseño y análisis de la implementación de plástico polipropileno como material de contacto en aireadores de bandejas cuadradas mediante el uso de agua sintética creada a nivel de laboratorio que contenga concentraciones de hierro, ácido sulfhídrico y dióxido de carbono», (tesis ingeniería civil), Universidad Central del Ecuador, Quito, 2022.
- [10] RAS-2000, *Sistema de potabilización*, Min. Desarrollo,

2000. Available: https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483
- [11] CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2006.
- [12] R. Budynas, y K. Nisbett, "Diseño con ingeniería mecánica de Shigley", 8.ª ed., McGraw Hill, 2008.
- [13] V. Fierro y L. Ramírez, "Evaluación del proceso de remoción de hierro por medio de la zeolita clinoptilolita en el tratamiento de aguas residuales industriales", (tesis de ingeniería), U. América, Bogotá, 2016.
- [14] E. Israel y C. Vaca, "Evaluación de la capacidad de captura de dióxido de carbono mediante el uso de *Scenedesmus* sp. utilizando agua residual industrial como medio de cultivo", (tesis de ingeniería), Zamorano, 2020.
- [15] D. Bahamon, M. Abu-Zahra, L. Vega, «Fluid phase equilibria molecular simulations of carbon-based materials for selected CO₂ separation and water treatment processes», 2019.
- [16] P. Yang, X. Hu, Y. Tu, G. Xu, L. Sun, and X. Xie, «The synthesis of a DMPillar [5] arene-based porous polymer with ultrafast adsorption rate and high adsorption capacity for organic micropollutants from water», 2022.



Propuesta de Aislamiento para Mampostería de Bloques de Concreto en Pórticos de Hormigón Armado

Proposal for Concrete Block Masonry Insulation in Reinforced Concrete Frames

Chalco Erick | Universidad Central del Ecuador, Ecuador/Miracielo S.A. (Ecuador)

Viera Paulina | Universidad Central del Ecuador (Ecuador)/Universidad Politécnica de Valencia (España)

ARTICLE HISTORY

Received: 21/12/2022

Accepted: 08/05/2023

PALABRAS CLAVE

Aislación, daño, mampostería, pórticos, sismos, vulnerabilidad, estructuras, edificaciones, Ecuador, no lineal.

KEY WORDS

Isolation, damage, masonry, frame, earthquakes, vulnerability, structures, buildings, Ecuador, nonlinear.

RESUMEN

Ecuador se ubica en el Cinturón de Fuego del Pacífico, donde ocurre el 90% de la actividad sísmica del planeta. Por esta razón las edificaciones aporricadas que se construyen localmente son muy vulnerables a sufrir daños en sus elementos. A esto se suma el hecho de que constructivamente se suele integrar la mampostería a los pórticos, lo que determina un cambio en el comportamiento estructural previsto en el diseño. Este trabajo de investigación tiene como objetivo proponer una forma de aislar la mampostería, en base de la determinación del desplazamiento relativo «deriva» y los desplazamientos máximos que va a soportar la edificación a partir de la obtención de su «punto de desempeño» y el análisis estructural «no lineal». Con esto se espera, aportar criterios que sirvan para que diseñadores y constructores los integren a su trabajo y se minimicen las afectaciones en las edificaciones por sismos.

ABSTRACT

Ecuador is located in the Pacific Ring of Fire where 90% of the seismic activity of the planet occurs. For this reason, framed buildings that are built locally are very vulnerable to damage to their elements. Added to this is the fact that the masonry is usually integrated into the frames constructively, which determines a change in the structural behavior foreseen in the design. This research work aims to propose a way to isolate the masonry, based on the determination of the relative displacement «Drift» and the maximum displacements that the building will support from obtaining its «Performance Point» and the «Nonlinear» structural analysis. With this, it is expected to provide criteria that help designers and builders integrate them into their work and minimize effects on buildings due to earthquakes.

I. INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país con alta peligrosidad sísmica [1]. Su legislación de construcción incorpora criterios de diseño sismorresistente. Sin embargo, según el Colegio de Arquitectos del Ecuador (CAE), el 60% de las construcciones del país son informales [2]. Es decir, no cuentan con estudios arquitectónicos ni estructurales. Las edificaciones que han obtenido una aprobación de estudios técnicos para su construcción no cuentan con fiscalización

adecuada en obra, que garantice la calidad de la construcción [3].

En el sismo del 16 de abril de 2016 (Ecuador), la gran mayoría de estructuras de la ciudad de Portoviejo fueron afectadas [4]. Algunas de estas edificaciones poseían estudios estructurales como es el caso de la Mutualista Pichincha, edificio IESS de Manta, hotel el Gato, entre otras [4].

Tras el mencionado evento sísmico, una de las principales causas de colapso fue la formación de «columna corta», producida por la mampostería que se construye integrada a los pórticos [4].

Al respecto de este tema, hay varias investigaciones que exponen la necesidad de evitar este comportamiento estructural [4], [5].

Se ha demostrado que, ante una carga sísmica, la ductilidad de un pórtico sin mampostería es el 31% mayor a la del mismo pórtico con mampostería. Es decir, tiene una mayor capacidad de desplazamiento en el «rango inelástico» [6].

El análisis de los daños que soporta una edificación se enfoca en los desplazamientos de esta en el «rango inelástico», y se lo realiza mediante la «curva de capacidad» y los «niveles de desempeño» de la estructura [7], [8].

El sistema estructural más utilizado en Ecuador, es un entramado espacial formado por pórticos [9]. La mampostería al ser integrada a los pórticos restringe el normal movimiento de estos y limita su capacidad de deformación [10].

Este trabajo propone un aislamiento de la mampostería a los pórticos [11]. Basándose en el desplazamiento que puede tener la estructura ante una amenaza sísmica.

Para ello se analizan dos edificaciones de 3 y 6 pisos. Estas alturas son las más comunes en edificaciones del país [12].

2. MÉTODO

Las edificaciones analizadas fueron diseñadas para que su «nivel de desempeño» llegue a «seguridad de vida» como indica la normativa NEC-SE-DS [1].

Luego, se procedió a realizar el modelamiento de la mampostería mediante dos procesos: «Paulay y Priestley» y «FEMA 356». Estos métodos se basan en incorporar la mampostería como una «diagonal equivalente» [13], unida a los pórticos (ver Figura 1).

La figura 1, explica los parámetros que se utilizan para determinar la «diagonal equivalente» y su «ancho equivalente» Estos se basan en las características geométricas de los pórticos: H , h , L_v , L y θ . Donde, teta es el ángulo que se forma por la diagonal. El ancho «a», es el ancho de la diagonal y su espesor es el ancho del bloque. Así como también, las propiedades de la mampostería como son: «módulo de elasticidad (E_m)» y «resistencia a la compresión (f'_m)» [4].

Posteriormente, se procede a realizar una evaluación de la estructura con la mampostería y se determina si se modifica el «nivel de desempeño» inicialmente obtenido. Así como también, los parámetros «modales».

A partir de los datos obtenidos, se propone una forma de aislamiento de la mampostería a los pórticos a nivel constructivo. Enfocándose en los desplazamientos a nivel «modal» y «no lineal» que va a tener la estructura. Para así llegar a un desplazamiento objetivo, y que la mampostería no afecte a la respuesta estructural inicialmente planteada.

La figura 2, muestra la forma esquemática del proceso realizado para el diseño de las edificaciones establecidas, obtención de desplazamientos y propuesta de aislamiento de la mampostería en función de los resultados obtenidos (ver Figura 2).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES

Las edificaciones poseen irregularidades en planta y elevación. Son de uso residencial. Se ubican en la ciudad de Quito en la parroquia de Calderón (Figuras 3 a, b, c y 4 a, b, c).

Están emplazadas sobre un perfil de suelo tipo D. Se evalúan con la incorporación de la mampostería según el plano arquitectónico.

ANÁLISIS MODAL - EDIFICACIÓN DE 3 PISOS

Para determinar el «análisis modal» se requiere de las secciones de los elementos estructurales, como indica la tabla 1. Estas secciones se obtienen de un predimensionamiento. Posteriormente, las secciones obtenidas se analizan en un software de análisis estructural y dimensionamiento de edificios (ver Tabla 1).

El «espectro sísmico» es inherente al sitio donde se va a construir la obra, al tipo de suelo y forma de la edificación. La tabla 2 indica todos los parámetros sísmicos para la obtención del «porcentaje de carga reactiva» que interviene en el «análisis modal» y «no lineal» (ver Tabla 2).

Los «resultados modales» están basados en los parámetros que delimita la normativa NEC-SE-DS, 2015 [1].

La tabla 3, indica los parámetros esenciales que se deben verificar, son: período de vibración de la estructura, modos de vibración, derivas, efectos $P \Delta$ y cortante basal estático y dinámico. Esto para que la edificación cumpla con criterios de sismorresistencia a nivel global (ver Tabla 3).

ANÁLISIS NO LINEAL - EDIFICACIÓN DE 3 PISOS

El «análisis no lineal» o también llamado «pushover», indica el desempeño que va a tener la estructura en fun-

Tabla 1.
Dimensiones de elementos estructurales - edificaciones de 3 y 6 pisos

Elementos:	Dimensiones		Unidad
	3 pisos	6 pisos	
Viga tipo 1	25x35	35x50	cm
	ρ_b (ro balanceado)	2,17%	-
	\emptyset (diámetro varilla) (+) y (-)	16	mm
Ductilidad	As (-) (área de acero negativo)	8,0384	cm ²
	ρ (cuantía negativa)	0,92%	-
	As (+) (área de acero positivo)	4,0192	cm ²
	ρ' (cuantía positiva)	0,46%	-
Viga tipo 2	-	45x55	cm
	ρ_b (ro balanceado)	-	-
	\emptyset (diámetro varilla) (+) y (-)	-	mm
Ductilidad	As (-) (área de acero negativo)	-	cm ²
	ρ (cuantía negativa)	-	-
	As (+) (área de acero positivo)	-	cm ²
	ρ' (cuantía positiva)	-	-
	Columna tipo 1	35x35	cm
	\emptyset (diámetro varilla) esquinero	18	mm
	\emptyset (diámetro varilla) longitudinal	18	mm
	# de varillas sentido "a"	3	u
	# de varillas sentido "p"	3	u
Armado y Ductilidad	\emptyset (diámetro varilla) estribo	10	mm
	Ag real (área transversal hormigón)	1225	cm ²
	As (área de acero)	20,3472	cm ²
	ρ (cuantía)	1,66%	-
	Columna tipo 2	35x40	cm
	\emptyset (diámetro varilla) esquinero	18	mm
	\emptyset (diámetro varilla) longitudinal	18	mm
	# de varillas sentido "a"	3	u
	# de varillas sentido "p"	3	u
Armado y Ductilidad	\emptyset (diámetro varilla) estribo	10	mm
	Ag real (área transversal hormigón)	1400	cm ²
	As (área de acero)	20,3472	cm ²
	ρ (cuantía)	1,45%	-
	Losa tipo 1	25	cm
	Losa tipo 2	20	cm

Tabla 2.
Espectro sísmico NEC-SE-DS, obtención del porcentaje de la carga reactiva – edificaciones de 3 y 6 pisos

Parámetro	Símbolo	Resultados	
		3 pisos	6 pisos
Zona sísmica	-	V	V
Factor Z	Z	0,4	0,4
Tipo de suelo	-	D	D
Factor de sitio:	Fa	1,2	1,2
Factor de sitio:	Fd	1,19	1,19
Factor de sitio:	Fs	1,28	1,28
Período crítico	Tc	0,7	0,7
Factor de ubicación geográfica	r	1	1
Amplificación espectral	η	2,48	2,48
Factor de importancia	I	1	1
Irregularidad en planta	$\emptyset p$	0,9	0,9
Irregularidad en elevación	$\emptyset e$	1	0,9
Factor de reducción sísmica	R	6	6
Aceleración espectral - espectro elástico	Sa	1,1904	1,1904
Porcentaje de carga reactiva	%	0,2204	0,2449

Figura 1.
Método empleado para aplicar la mampostería – FEMA 356 - Paulay y Priestley

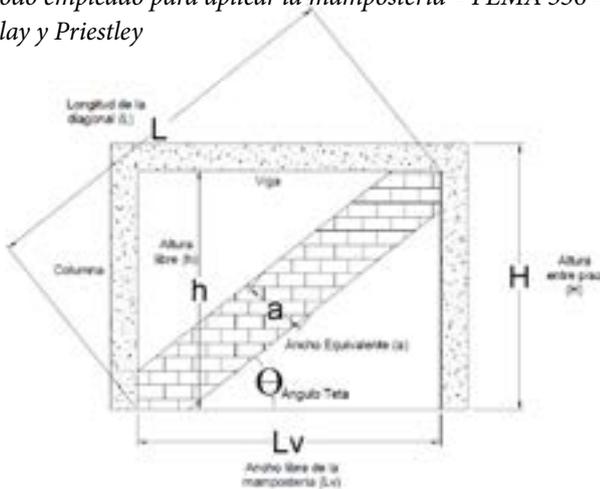


Figura 2.
Metodología planteada para el análisis de aislamiento de la mampostería a los pórticos



Tabla 3.

Resultados modales - edificaciones de 3 y 6 pisos

Parámetro	Símbolo	Resultados		Unidad
		3 pisos	6 pisos	
Cortante basal estático	V	70	390	T
Período de vibración	T	0,46	0,64	seg
Torsión en planta (Modo 1)	-	4	4	%
Torsión en planta (Modo 2)	-	19	4	%
Torsión en planta (Modo 3)	-	99	97	%
Deriva inelástica X	ΔM_x	1,30	1,36	%
Deriva inelástica Y	ΔM_y	1,17	1,43	%
Cortante basal dinámico X	VDx	59,23	332,66	T
Cortante basal dinámico Y	VDy	59,25	342,64	T
Torsión accidental (distorsión) X	Ux	2,09	4,98	cm
Torsión accidental (distorsión) Y	Uy	1,89	5,98	cm
Índice de estabilidad Q	Q	0,0024	0,0020	-
Efectos P delta	P Δ	NO	NO	-

Figura 3.

Edificación de 3 pisos: configuración en planta (a), configuración en elevación (b) e incorporación de la mampostería (método de puntal equivalente) (c)

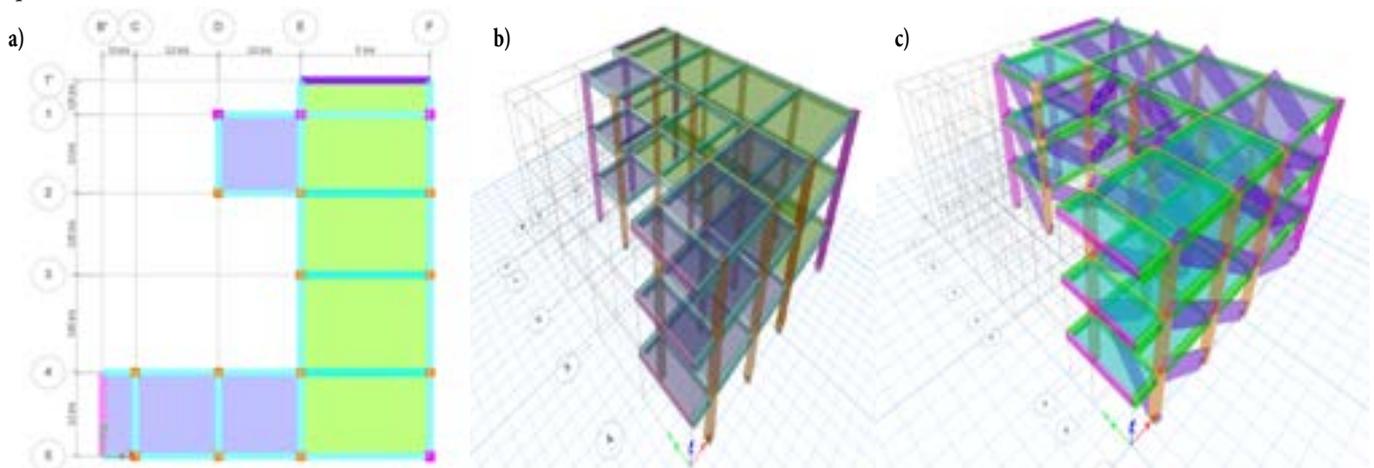
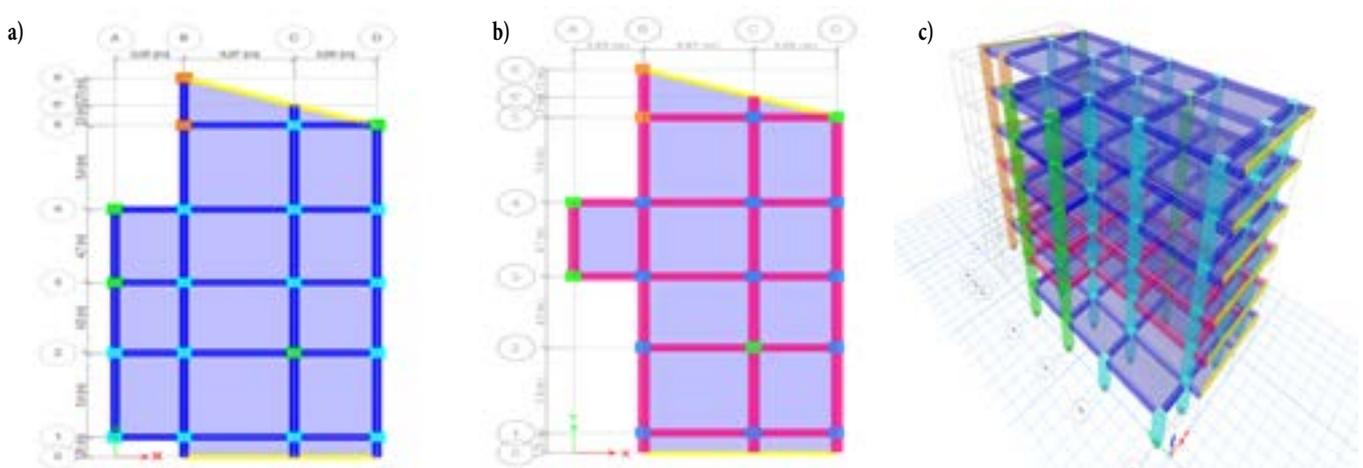


Figura 4.

Edificación de 6 pisos: configuración en planta PB (a), configuración en planta P2 a P6 (b), configuración en elevación (c) e incorporación de la mampostería (método de puntal equivalente) (d)



ción de la amenaza sísmica «sismo de diseño» [1]. Este se evidencia en el llamado «punto de desempeño» [8]. El cual se define a través de la intersección de la «curva de capacidad» y el «espectro sísmico».

Las tablas 4 y 5, indican el punto de desempeño por el método de «espectro de capacidad ATC (NTC 2008)» [14], «linealización equivalente (FEMA 440 EL)» [15] y «coeficientes de desplazamiento modificado FEMA 440 (ASCE 41-13)» (ver Tablas 4 y 5), [8].

A partir de la obtención del «punto de desempeño» se generan los «límites de aceptación» o «nivel de desempeño». Que están acorde a los criterios de ductilidad y desplazamientos [1], [16], [17].

Las figuras 5 y 6, indican los «niveles de desempeño» que posee la estructura mediante la obtención del «punto de desempeño (Pd)» por el método de «coeficientes de desplazamiento modificado FEMA 440 (ASCE 41-13)» [8].

Como se observa en la figura 5, la edificación se encuentra entre los límites de «seguridad de vida» y «prevención al colapso». De acuerdo al desplazamiento objetivo (dd importante - línea roja), obtenido del «punto de desempeño». Por tal razón la edificación está conforme a la normativa NEC-SE-DS (ver Figura 5).

Como se observa en la figura 6, la edificación se encuentra entre los límites de «seguridad de vida» y «prevención al colapso». De acuerdo al desplazamiento objetivo (línea roja), obtenido del «punto de desempeño». Por tal razón la edificación está conforme a la normativa NEC-SE-DS (ver Figura 6).

INCORPORACIÓN DE MAMPOSTERÍA, METODOLOGÍA DE PAULAY Y PRIESTLEY

La incorporación de la mampostería se basa en la formación de una «diagonal equivalente» y de su «ancho equivalente» [13].

La tabla 6, indica la formación de la «diagonal equivalente» y su «ancho equivalente». Según las dimensiones del pórtico crítico para la edificación de 3 pisos (ver Tabla 6).

3.3.2 INCORPORACIÓN DE MAMPOSTERÍA, METODOLOGÍA DE FEMA 356.

Este método se basa en la formación de un «puntal equivalente». La diferencia que existe con el de la sección 3.4, es la obtención del «ancho equivalente» [13].

Las tabla 7 y 8 indican la formación de la «diagonal equivalente» y su «ancho equivalente»; según las dimensiones del pórtico crítico para la edificación de 3 pisos (ver Tablas 7 y 8).

Las «diagonales equivalentes» obtenidas se incorporan a la estructura según el plano arquitectónico. Al considerar la mampostería a la edificación se procede a realizar

una vez más los análisis previamente realizados en los literales 3.2 y 3.3.

ANÁLISIS MODAL - EDIFICACIONES DE 3 Y 6 PISOS CON MAMPOSTERÍA (ver Tablas 9 y 10)

ANÁLISIS NO LINEAL - EDIFICACIONES DE 3 Y 6 PISOS CON MAMPOSTERÍA (ver Tablas 11 y 12)

Como indica la figura 7, la edificación se encuentra entre los límites de «ocupación inmediata» y «seguridad de vida». De acuerdo al desplazamiento objetivo (línea roja), obtenido del «punto de desempeño». Por tal razón la edificación está conforme a la normativa NEC-SE-DS (ver Figura 7).

Como indica la figura 8, la edificación se encuentra entre fuera del límite de «prevención al colapso». De acuerdo al desplazamiento objetivo (línea roja). Obtenido del «punto de desempeño». Por tal razón la edificación no cumple con la normativa NEC-SE-DS y no puede resistir la «amenaza sísmica» (ver Figura 8 y Tablas 13 y 14).

La figura 9 muestra que la edificación se encuentra entre los límites de «ocupación inmediata» y «seguridad de vida». De acuerdo al desplazamiento objetivo (línea roja), obtenido del «punto de desempeño». Por tal razón la edificación está conforme a la normativa NEC-SE-DS (ver Figura 9).

La figura 10, indica que la edificación se encuentra entre fuera del límite de «prevención al colapso». De acuerdo al desplazamiento objetivo (línea roja). Obtenido del «punto de desempeño». Por tal razón la edificación no cumple con la normativa NEC-SE-DS y no puede resistir la «amenaza sísmica» (ver Figura 10).

3.1 DISCUSIÓN

ESTRUCTURA DE 3 PISOS

La edificación de 3 pisos se diseña para llegar a un «nivel de desempeño» de «seguridad de vida» (ver Figura 5). Este diseño se justifica con los límites permitidos por la NEC-SE-DS tanto en derivas, modos de vibración, cortantes, etc. (ver Tabla 3).

Este diseño es la respuesta estructural esperada por el diseñador. No obstante, al incorporar la mampostería por el método de «Paulay y Priestley» o «FEMA 356», la respuesta estructural se modifica.

El «comportamiento modal», es afectado en sus parámetros como: cortante basal; enfocando en el incremento del mismo por el peso. Período de vibración; disminuyendo su valor por el incremento de la rigidez que proporciona la mampostería. Modos de vibración; incrementando

Tabla 4.

Punto de desempeño de la estructura por varios métodos en función de la carga «PUSH X» - edificaciones de 3 y 6 pisos

MÉTODO	CARGA PUSH X			
	3 pisos		6 pisos	
	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)
ESPECTRO DE CAPACIDAD ATC 40 (NTC 2008)	10,29	219,59	26,08	315,31
LINEALIZACIÓN EQUIVALENTE (FEMA 440 EL)	11,55	223,63	25,29	311,48
COEFICIENTES DE DESPLAZAMIENTO MODIFICADO FEMA 440 (ASCE 41-13)	9,80	217,53	28,27	321,22

Tabla 5.

Punto de desempeño de la estructura por varios métodos en función de la carga «PUSH Y» - edificaciones de 3 y 6 pisos

MÉTODO	CARGA PUSH Y			
	3 pisos		6 pisos	
	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)
ESPECTRO DE CAPACIDAD ATC 40 (NTC 2008)	9,22	221,31	23,35	368,75
LINEALIZACIÓN EQUIVALENTE (FEMA 440 EL)	10,31	225,11	21,74	362,49
COEFICIENTES DE DESPLAZAMIENTO	8,42	216,67	25,36	372,59

Figura 5.

Niveles de desempeño mediante carga PUSH X – edificación de 3 pisos

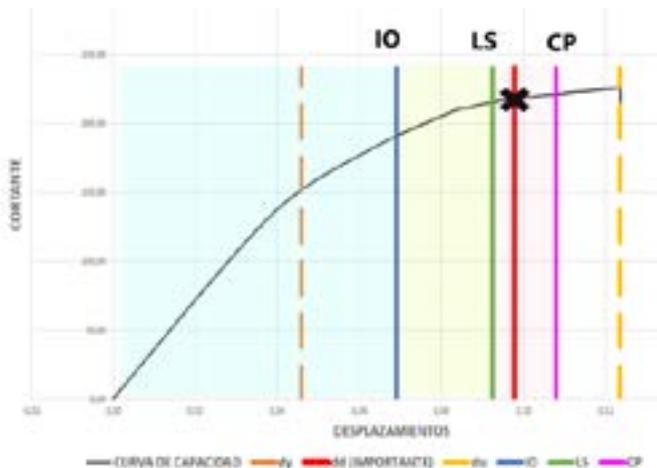
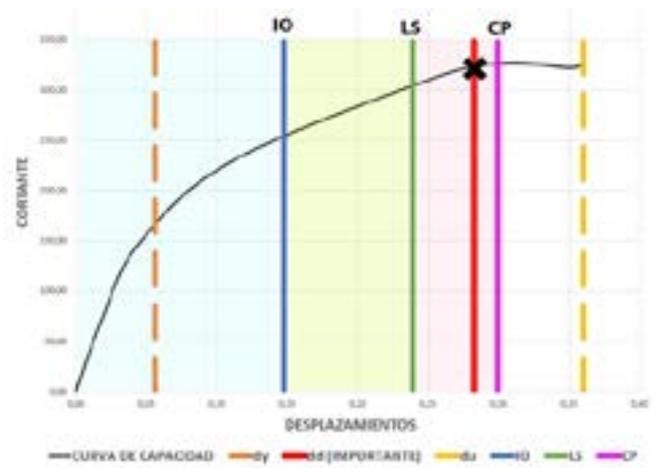


Figura 6.

Niveles de desempeño mediante carga PUSH X – edificación de 6 pisos



la torsión en los primeros 2 modos. Derivas inelásticas; disminuyendo su porcentaje por rigidez (ver Tabla 9).

Una vez comprobada la variación de la «respuesta modal», entonces se procede a revisar la respuesta «no lineal». Es decir, «punto de desempeño» y «niveles de desempeño» (ver Figuras 5, 7 y 9).

Esta modificación de la respuesta estructural se ve delimitada por el método empleado para incorporar la mampostería, ya sea «FEMA 356» o «Paulay y Priestley». Ya que estos métodos generan una «puntal equivalente» y su ancho depende del método generando más o menos rigidez.

A pesar de las modificaciones que posee la respuesta estructural a nivel «modal» y «no lineal», esta estructura mejora su capacidad global ante una excitación sísmica de diseño.

ESTRUCTURA DE 6 PISOS

La edificación de 6 pisos se diseña para llegar a un «nivel de desempeño» de «seguridad de vida» (ver Figura 6). Este diseño se justifica con los límites permitidos por la NEC-SE-DS tanto en derivas, modos de vibración, cortantes, etc. (ver Tabla 3).

Tabla 6.

Obtención del ancho equivalente –edificaciones de 3 y 6 pisos

Parámetro	Símbolo	Resultados		Unidad
		3 pisos	6 pisos	
Altura entre piso	H	270	300,6	cm
Altura libre	h	235	250,6	cm
Ancho libre de mampostería	Lv	465	470	cm
Longitud de la diagonal	L	521,01	532,64	cm
Ancho equivalente	a	130,25	133,159	cm

Tabla 8.

Obtención del ancho equivalente – edificación de 6 pisos – FEMA 356

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Resistencia a la compresión Mampostería	f'm	8,8	kg/cm ²
Módulo de elasticidad Mampostería	Em	7920	kg/cm ²
Resistencia a la compresión Hormigón armado	f'c	210	kg/cm ²
Módulo de elasticidad hormigón armado	Ec	182591	kg/cm ²
Altura entre piso	H	300,6	cm
Altura libre	h	250,6	cm
Ancho libre de mampostería	Lv	470	cm
Longitud de la diagonal	L	532,64	cm
Espesor del bloque de mampostería	t	15	cm
Ángulo teta generado por la diagonal	atan	0,49	-
	θ	28,07	rad
	sen 2θ	0,830	rad
Inercia de columnas	Ic 1	2000833	cm ⁴
	Ic 2	2000833	cm ⁴
	Ic promedio	2000833	cm ⁴
λh FEMA 356-2000	λh	0,00405	-
Ancho equivalente	a	86,15	cm

Al igual que la edificación de 3 pisos esta estructura posee modificaciones en su comportamiento. La «respuesta modal» y «no lineal» se ven afectadas en sus parámetros (ver Tabla 10 y Figuras 8 y 10).

En este caso la estructura de 6 pisos tiene un comportamiento diferente a la de 3 pisos. Los parámetros «modales» tienen relevancia pues el período de vibración aumenta en vez de disminuir. Las derivas inelásticas aumentan en vez de disminuir. Su cortante basal cambia por el incremento del peso de la estructura. Sus

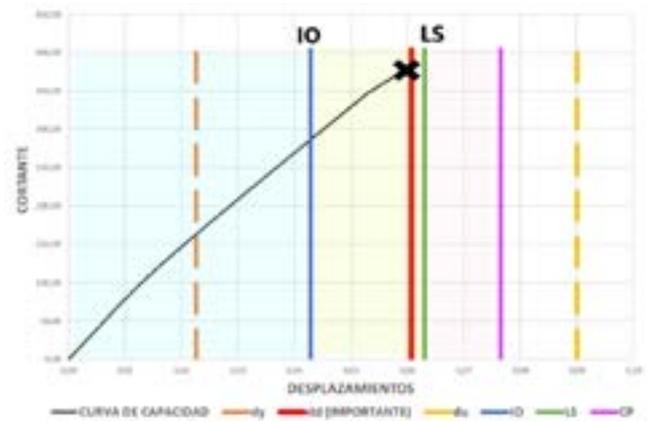
Tabla 7.

Obtención del ancho equivalente – edificación de 3 pisos – FEMA 356

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Resistencia a la compresión Mampostería	f'm	8,8	kg/cm ²
Módulo de elasticidad Mampostería	Em	7920	kg/cm ²
Resistencia a la compresión Hormigón armado	f'c	210	kg/cm ²
Módulo de elasticidad hormigón armado	Ec	182591	kg/cm ²
Altura entre piso	H	270	cm
Altura libre	h	235	cm
Ancho libre de mampostería	Lv	465	cm
Longitud de la diagonal	L	521,01	cm
Espesor del bloque de mampostería	t	15	cm
Ángulo teta generado por la diagonal	atan	0,47	-
	θ	26,81	rad
	sen 2θ	0,805	rad
Inercia de columnas	Ic 1	125052	cm ⁴
	Ic 2	186667	cm ⁴
	Ic promedio	155859	cm ⁴
λh FEMA 356-2000	λh	0,00773	-
Ancho equivalente	a	67,92	cm

Figura 7.

Niveles de desempeño mediante carga PUSH X – edificación de 3 pisos con mampostería – Paulay y Priestley



2 primeros modos de vibración tienen una alta concentración de torsión.

Al verificar la distorsión de la respuesta estructural «no lineal», la edificación no llega a un «nivel de desempeño» de «seguridad de vida», a diferencia de la edificación de 3 pisos.

Estos resultados demuestran que la mampostería independientemente del tipo de edificación (número de pisos), generan variación en su comportamiento esperado.

Tabla 9.

Resultados modales de la edificación con mampostería – edificación de 3 pisos

Parámetro	Símbolo	FEMA 356	Paulay y Priestley	Unidad
Cortante basal estático	V	70,09	76,33	T
Período de vibración	T	0,36	0,326	seg
Torsión en planta (Modo 1)	-	41	42	%
Torsión en planta (Modo 2)	-	3	8	%
Torsión en planta (Modo 3)	-	97	96	%
Deriva inelástica X	ΔMx	0,79	0,65	%
Deriva inelástica Y	ΔMy	0,73	0,63	%
Cortante basal Dinámico X	VDx	59,96	64,93	T
Cortante basal Dinámico Y	VDy	59,92	64,96	T
Índice de estabilidad Q	Q	0,0015	0,0014	-
Efectos P Δ	P Δ	NO	NO	-

Tabla 10.

Resultados modales de la edificación con mampostería – edificación de 6 pisos

Parámetro	Símbolo	FEMA 356	Paulay y Priestley	Unidad
Cortante basal estático	V	418,52	430,12	T
Período de vibración	T	0,70	0,696	seg
Torsión en planta (Modo 1)	-	6	6	%
Torsión en planta (Modo 2)	-	35	68	%
Torsión en planta (Modo 3)	-	64	33	%
Deriva inelástica X	ΔMx	1,98	1,99	%
Deriva inelástica Y	ΔMy	1,43	1,32	%
Cortante basal dinámico X	VDx	355,376	365,61	T
Cortante basal dinámico Y	VDy	355,82	365,89	T
Índice de estabilidad Q	Q	0,0029	0,0037	-
Efectos P Δ	P Δ	NO	NO	-

Figura 8.

Niveles de desempeño mediante carga PUSH X – edificación de 6 pisos con mampostería – Paulay y Priestley

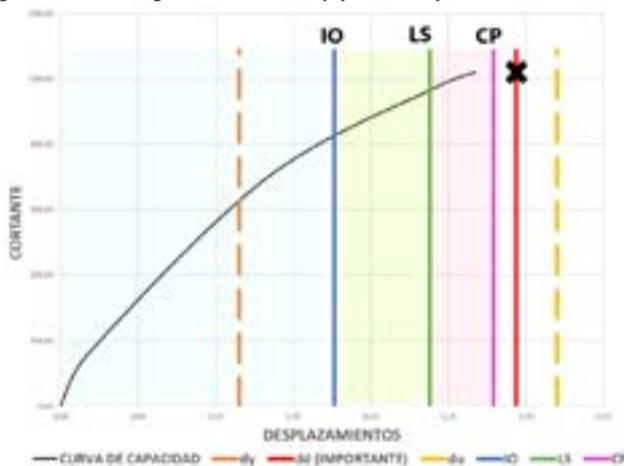


Figura 9.

Niveles de desempeño mediante carga PUSH X – edificación de 3 pisos con mampostería – FEMA 356

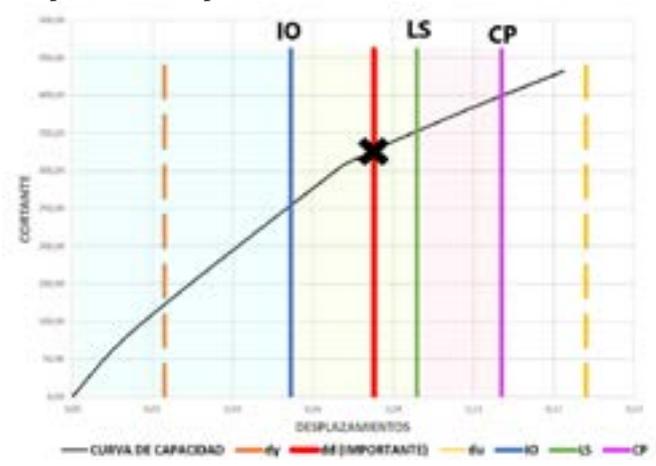


Figura 10.

Niveles de desempeño mediante carga PUSH X – edificación de 6 pisos con mampostería – FEMA 356

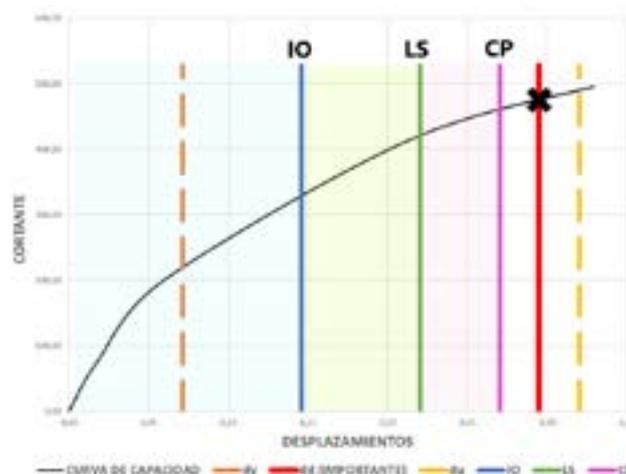


Tabla 13.

Punto de desempeño de la estructura con mampostería por varios métodos en función de la carga PUSH X - edificación de 3 y 6 pisos - método de FEMA 356

MÉTODO	CARGA PUSH X - FEMA 356			
	3 pisos		6 pisos	
	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)
ESPECTRO DE CAPACIDAD ATC 40 (NTC 2008)	5,59	259,17	26,38	507,14
LINEALIZACIÓN EQUIVALENTE (FEMA 440 EL)	9,11	364,44	29,16	469,10
COEFICIENTES DE DESPLAZAMIENTO MODIFICADO FEMA 440 (ASCE 41-13)	7,52	326,58	29,52	471,61

Tabla 14.

Punto de desempeño de la estructura con mampostería por varios métodos en función de la carga PUSH Y - edificación de 3 y 6 pisos - método de FEMA 356

MÉTODO	CARGA PUSH Y - FEMA 356			
	3 pisos		6 pisos	
	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)	DESPLAZAMIENTO (CM)	CORTANTE (T)
ESPECTRO DE CAPACIDAD ATC 40 (NTC 2008)	4,43	259,99	21,20	881,01
LINEALIZACIÓN EQUIVALENTE (FEMA 440 EL)	7,83	404,48	28,12	1065,16
COEFICIENTES DE DESPLAZAMIENTO MODIFICADO FEMA 440 (ASCE 41-13)	6,19	348,54	22,56	917,07

Esto no puede ser controlado por el diseñador estructural, ya que tiene concepción en el modelo arquitectónico.

Se debe generar un aislamiento de la mampostería a los pórticos o analizar el diseño estructural desde un inicio con este tipo de material. Cabe recalcar, si el diseño estructural toma en cuenta a la mampostería, estos elementos deben ser sometidos a control de calidad y no ser modificados en el transcurso de la vida útil de la edificación.

3.2 PROPUESTA DE AISLAMIENTO

El aislamiento de la mampostería tiene como objetivo no interferir en la respuesta estructural esperada por el diseñador.

Este aislamiento se basa en la deformación que va a sufrir la estructura a partir de dos criterios. El primero se enfoca en la «deriva inelástica máxima» que va a tener la estructura. La normativa NEC-SE-DS, dispone que sea hasta el 2%.

El segundo criterio analiza el desplazamiento máximo que va a tener la estructura en el «rango no lineal», ya que va a sufrir mayores deformaciones para soportar el «sismo de diseño».

ANÁLISIS POR DEFORMACIONES CONTROLADAS (DERIVAS)

Este tipo de aislamiento parte de las características de la edificación como es su «altura de entre piso» y el porcentaje máximo de deriva que establece la NEC-SE-DS [1]. Obteniendo así un desplazamiento base que permita la movilidad libre del pórtico dentro de los límites permisibles de la «deriva máxima».

Altura de entre piso (He) = 3,06 m; edificación de 6 pisos.

Deriva máxima: 2%

Separación o aislamiento de mampostería (sm):

$$sm = 3,06 * 2\%$$

$$sm = 6,12 \text{ cm}$$

El aislamiento debe ser 3,5 cm de cada lado.

ANÁLISIS NO LINEAL

Este tipo de aislamiento se debe al máximo desplazamiento que va a tener la estructura una vez que esté sometida a la carga «PUSH», ya sea en el sentido «X» o «Y».

La figura 9 muestra el desplazamiento máximo que va a tener la estructura cuando es sometida a la carga «PUSH X», para soportar el «sismo de diseño» (ver Figura 11).

El desplazamiento máximo es de 25,8 cm en el último piso (6.º). No obstante, el resto de pisos tiene menores desplazamientos oscilando desde: 2, 7, 12, 18 y 23 cm, desde PB hasta P5, respectivamente (ver Tabla 15). Con lo cual se adoptó una media de 14,5 cm de desplazamientos.

Esta media indica que la separación de la mampostería a los pórticos debe ser de 7 cm a cada lado. Cabe recalcar que esta media de igual manera generará una leve intervención de la mampostería en la edificación al no permitir el desplazamiento estimado ante la acción sísmica de diseño.

En adición, se puede generar un aislamiento de la mampostería a los pórticos, según el nivel de piso y el desplazamiento obtenido en cada piso.

Desplazamiento medio: 14,5 cm

Separación de la mampostería (sm) = 7 cm

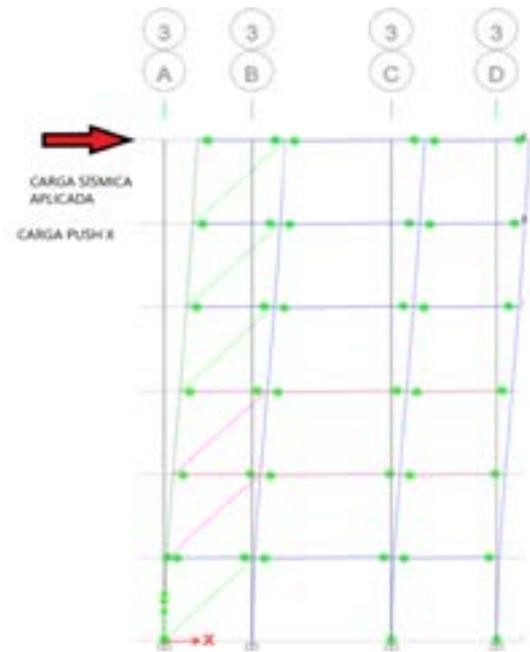
Tabla 15.

Desplazamientos generados por la carga PUSH X - edificación de 6 pisos

DESPLAZAMIENTOS	CARGA PUSH X
	DESPLAZAMIENTO UX (CM)
6TO.	25,00
5TO.	23,00
4TO.	18,00
3ER.	12,00
2DO.	7,00
PB	2,00

Figura 11.

Desplazamiento del pórtico «3», debido a la carga PUSH X - edificación de 6 pisos



El aislamiento de la mampostería debe ser 7 cm de cada lado.

La figura 12 (a) indica a detalle las características del armado de la propuesta de aislamiento de manera frontal.

La figura 12 (b) indica el detalle de manera transversal de los elementos que conforman la propuesta de aislamiento.

La separación de los pórticos con la mampostería, está rellena de un material elástico que permita su libre movimiento y ayude a cerrar los espacios libres. Ya que, por lo general, estos pórticos son perimetrales.

Las riostras verticales y horizontales ayudan a anclar a la mampostería para que esté sobre su eje. Para evitar el volcamiento de la mampostería se ancla a la «vigüeta», un par de varillas y se acoplan a la viga principal.

El acople de las varillas que impiden el volcamiento está sujeto o relleno con material epóxico.

Figura 12.

Detalle constructivo – vista frontal (a) y corte (b)

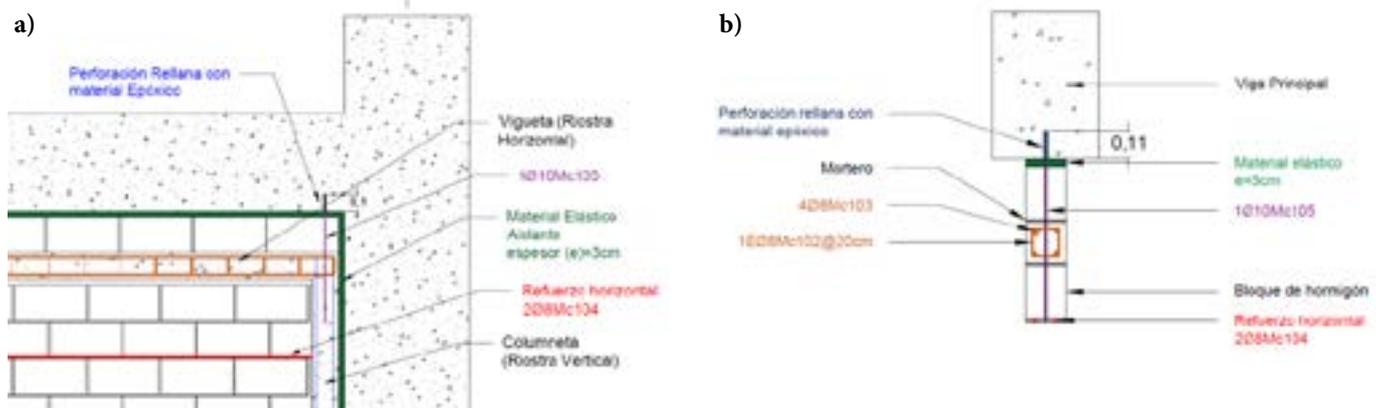
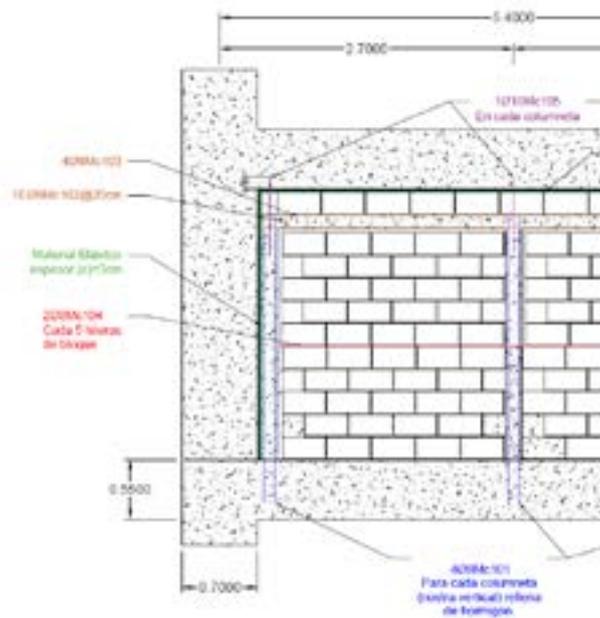


Figura 13.

Propuesta general de aislamiento de pórticos



PROPUESTA CONSTRUCTIVA DE AISLAMIENTO DEL MATERIAL (ver Figuras 12 y 13)

4. CONCLUSIONES

Los «resultados modales» de las edificaciones de 3 y 6 pisos se ven alterados cuando se evalúan a estas estructuras incorporando la mampostería a los pórticos. Esto debido a que la mampostería genera más rigidez y peso a la estructura. Los parámetros que se ven alterados por la incorporación de la mampostería (FEMA 356) a los pórticos de la edificación de 3 pisos son los siguientes: período de vibración, de 0,46 a 0,36 seg. Derivas inelásticas de 1,3 a 0,79% y de 1,17 a 0,73%, en el sentido «X» y «Y», respectivamente. Los modos de vibración, modificando el porcentaje de incidencia torsional en el primer modo de 4 a 41%.

De igual manera para la estructura de 6 pisos. Su período de vibración cambia de 0,64 a 0,7 segundos. Su deriva inelástica, de 1,36 a 1,98% en el sentido «X». Sus modos de vibración varían en el primer modo de 4 a 35% de incidencia torsional. Esto indica que las características «dinámicas o modales» se ven afectadas por la integración de la mampostería a los pórticos, debido al proceso constructivo.

Al analizar los resultados «no lineales» se observa que, en las figuras 5 y 6, las edificaciones llegan a «seguridad de vida». Al incorporar la mampostería a los pórticos estos resultados varían tanto para el método de «FEMA 356» y «Paulay-Priestley» modificando este «nivel de desempeño» inicialmente obtenido. Mejorando

su capacidad de disipación de energía en el caso de la edificación de 3 pisos y disminuyéndolo en el caso de la edificación de 6 pisos.

Los resultados obtenidos indican que la mampostería afecta al comportamiento esperado de las edificaciones. Para evitar este comportamiento se debe obviar que el proceso constructivo integre la mampostería a sus pórticos. Para ello se plantea una propuesta de aislamiento.

El aislamiento de la mampostería debe permitir el libre movimiento de los pórticos ante una excitación sísmica y no involucrar a la mampostería. Para ello se establece dos parámetros de desplazamiento a nivel «modal» y «no lineal». El desplazamiento a nivel «modal» separa a la mampostería en función de la mayor «deriva inelástica» que puede tener la edificación. Lo cual al superar los 3,5 cm de distancia se involucrará a los pórticos afectándolos en un menor grado.

Si el desplazamiento es a nivel «no lineal», entonces la distancia será la máxima que va a tener la estructura hasta llegar a su «punto de desempeño». Con la cual la mampostería no se involucrará en ningún momento con los pórticos dejando así que la estructura se comporte como en el diseño inicialmente planteado.

REFERENCIAS

- [1] Dirección de Comunicación Social MIDUVI. (2015, Junio, 29). NEC-SE-DS Peligro sísmico, diseño sismorresistente. [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatori>

- ana-de-la-construccion/
- [2] CAE. (2019, Junio, 29). Proyecto piloto de reforzamiento estructural para edificaciones vulnerables frente a riesgos sísmicos. [Online]. Available: https://issuu.com/caepichincha/docs/reforzamiento_estructural
- [3] El Comercio. (2011, Junio, 29). La fiscalización protege a la obra. [Online]. Available: <https://www.elcomercio.com/tendencias/construir/fiscalizacion-protége-obra.html>
- [4] R. Poveda. «Modelación estructural del bloque 1 del centro de investigación y posgrado de la Universidad ESPE, usando mampostería tradicional y otros materiales de menor fragilidad y peso», tesis de ingeniería, ESPE, Sangolquí, 2017.
- [5] L. Viera y P. Caiza, «Modelamiento del comportamiento resistente de mamposterías con baja adherencia mortero-ladrillo», 2017. [Online]. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/339094205_Modelamiento_del_comportamiento_resistente_de_mamposterias_con_baja_adherencia_mortero-ladrillo
- [6] K. Lima y J. Paredes, “Estudio analítico-experimental del desempeño de un pórtico de hormigón armado con panel de relleno de bloque de baja resistencias, a través de un ensayo a carga lateral y modelo computacional”, tesis de ingeniería, EPN, Quito, 2017.
- [7] Dirección de Comunicación Social MIDUVI. (2015, Junio, 29) NEC-SE-RE, Riesgo sísmico, evaluación, rehabilitación de estructuras. [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [8] ASCE 41-13, «Seismic evaluation and retrofit of existing buildings», 2013. American Society of Civil Engineers.
- [9] Dirección de Comunicación Social MIDUVI. (2015, Junio, 29). NEC-SE-HM, Estructuras de hormigón armado. [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [10] P. Caiza y L. Viera, “Diseño de columnas, muros estructurales y diafragmas en hormigón armado”. Editorial ESPE, 2019. [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/21345/1/Dise%C3%B1o%20de%20columnas%20y%20muros%20estructurales.pdf>
- [11] T. Guevara y L. García, «El efecto de columna corta o columna cautiva», *Tecnología y Construcción*, vol. 17, n.º 1, 2001.
- [12] INEC. (2019, JUNIO, 29) *Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED)*. [Online]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2019/3.%202019_ENED_Boletin_tecnico.pdf
- [13] R. Aguiar, *Análisis sísmico de edificios*, Sangolquí, Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército, 2008.
- [14] Federal Emergency Management Agency. FEMA-356. (2000, Junio, 29). Prestandar and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. [Online]. Available: <https://www.nehrp.gov/pdf/fema356.pdf>
- [15] Federal Emergency Management Agency. FEMA-440 (2005, Junio 29). Improvement of nonlinea static analysis procedures. [Online]. Available: <https://mitigation.eeri.org/wp-content/uploads/fema-440.pdf>
- [16] B. Gallegos (2016, Junio, 29). Diseño basado en desempeño. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/315487018_Diseno_Basado_en_Desempeno_Perfomance_Based_Desing
- [17] L. Borda y A. Pastor, “Desempeño sísmico de un edificio apórticado peruano de seis pisos”. tesis de ingeniería, PUCP, Lima, 2007.

Normas para publicar en la revista Ingenio

TÍTULOS EN DOS IDIOMAS

1. Título del artículo en tipografía *Times New Roman* tamaño 14 (cada palabra con mayúscula).
2. Título del artículo en inglés en tipografía *Times New Roman* tamaño 11.

Ejemplos:

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque.

Lorem ipsum fusce viverra massa et sem facilisis, id aliquet ex venenatis. Integer at luctus nunc. Nunc dignissim a eros sit amet sagittis.

INFORMACIÓN DE AUTORES, USO SUPERÍNDICE PARA IDENTIFICACIÓN

1. Uso del superíndice para identificación
2. Institución ante la cual se acredita el autor.
3. Dirección electrónica
4. *Open Research and Contributor ID* (ORCID)

Ejemplo:

Lorem I.;¹ Ipsum L.²

¹Universidad Lorem Ipsum (Ecuador)

loremipsum@loremipsum.org

¹Universidad Lorem Ipsum (Ecuador)

loremipsum@loremipsum.org

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

1. En fuente tamaño 9
2. (Información colocada por el editor)

Información del artículo Recibido: Lorem ipsum 2021 Aceptado: Lorem ipsum 2021
--

EXTENSIÓN DEL DOCUMENTO

1. 10.000 palabras incluidas las referencias

RESUMEN

1. 100-150 palabras

PALABRAS CLAVE

1. Justo después del resumen, mínimo cuatro.

Ejemplo:

Palabras clave: lorem, ipsum, consectetur adipiscing.

ABSTRACT

1. 50-100 words

KEYWORDS

1. Just after the abstract, minimum four.

Example:

Keywords: lorem, ipsum, consectetur adipiscing.

TEXTO PRINCIPAL

1. Texto en *Microsoft Word*
2. Columna simple
3. *Times New Roman* tamaño 11
4. Espaciado de 1,5

FIGURAS Y ECUACIONES EN EL TEXTO

- Tabla 1, Tablas 1 y 2, Tablas 1 a 3
- Fig. 1, Figs. 1 y 2, las Figs. 1 a 3
- Eq. 1, Eqs. 1 y 2, Eqs. 1 a 3

ECUACIONES

1. Úsese el editor de ecuaciones de Microsoft.
2. Número de identificación de la ecuación alineación siempre a la derecha.

Ejemplo:

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} * 100 [\%] \quad (1)$$

ESTILO Y ESTRUCTURA DE LOS ENCABEZADOS

1. Solo hasta 4 niveles y 3 subniveles.

Ejemplo:

1. Lorem ipsum sit amet
2. Lorem ipsum maecenas euismod
 - 2.1 Lorem ipsum rutrum libero
 - 2.2 Lorem ipsum accumsan sagittis
 - 2.2.1 Lorem ipsum egestas tristique

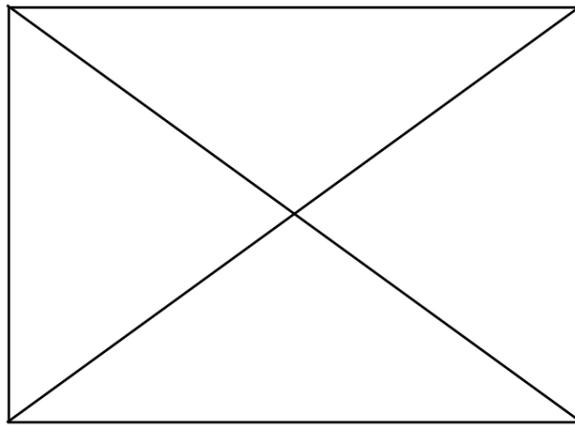
3. Lorem ipsum vestibulum auctor
- 3.1 Lorem ipsum vulputate consectetur
- 3.2 Lorem ipsum scelerisque turpis
4. Lorem ipsum bibendum tincidunt

FIGURAS Y TABLAS

1. Las figuras y tablas se agregarán al final del archivo del manuscrito; no se agregarán al texto principal. La ubicación de las figuras y tablas se exhibirá insertando sus subtítulos en el texto principal. Una vez aceptado, los archivos de figuras de alta resolución (más de 300 dpi, un archivo por figura) se enviarán al editor.

Figura 1.

Lorem ipsum dolor sit amet.



2. Los datos dentro de la tabla siempre alineación derecha
3. Alineado a la izquierda, usar normas APA 7ma. para la elaboración de la tabla.

Ejemplo:

Tabla 1.

Lorem ipsum dolor sit amet

LOREM IPSUM			
	LOREM IPSUM SIT	% LOREM	% IPSUM
Lorem ipsum	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123
Lorem ipsum	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123
	Lorem ipsum	123	123

Nota: Lorem ipsum consectetur. Fuente. Lorem ipsum suspendisse quis dictum velit [1].

4. Si las imágenes o tablas tienen fuente se coloca el número de su referencia entre corchetes.

Ejemplo:

Fuente. Lorem ipsum suspendisse quis dictum velit [1].

REFERENCIAS

1. Las referencias se enumerarán por orden de citación en el texto (IEEE).

Ejemplo:

- [1] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque. In eu tortor nibh. Nulla hendrerit augue accumsan sagittis scelerisque.
- [2] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque. In eu tortor nibh. Nulla hendrerit augue accumsan sagittis scelerisque.
- [3] Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque. In eu tortor nibh. Nulla hendrerit augue accumsan sagittis scelerisque.

CITAS Y REFERENCIACIÓN

1. En el texto, cite cada referencia por número.

Ejemplo:

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque. Etiam mattis, ante ac pretium molestie, dolor mauris sagittis dolor, et pretium arcu dui at ipsum. Morbi egestas tristique quam. Vestibulum sit amet nisl sit amet enim vestibulum auctor por Suzana *et al.* [1].

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Curabitur vitae varius magna. Maecenas euismod rutrum libero ac scelerisque [1].

2. El estilo dependerá del tipo de referencia, pero no es necesario clasificarlo en los tipos, simplemente enumerarse por orden de citación en el texto.

Ejemplos:

ARTÍCULOS

[1] Couhert C, Salvador S, Commandré J-M. Impacto de la torrefacción en la producción de syngas a partir de madera. *Fuel* 2009; 88: 2286-2290.

CONFERENCIAS

[1] Suzana Y, Mohamad T A, Uemura Y, Anita R, Lukman I, Shuit S H, Tan K T, Lee K T. Revisión sobre la utilización de la biomasa agrícola como fuente de energía en Malasia. En: *Actas del 16º Simposio regional de la ASEAN sobre ingeniería química*, 1 y 2 de diciembre de 2009, Manila, Filipinas, págs. 86-89.

SITIO WEB

[1] MPOB (Junta de Aceite de Palma de Malasia), 2008, «6.8 Productores principales mundiales de aceite de palma: 1999 - 2008». Recuperado el 28 de enero de 2010 de http://econ.mpob.gov.my/economy/annual/stat2008/ei_world08.htm.

LIBRO

[1] Corley R H V, Tinker P B. *La palma aceitera*. 4.ª ed. Oxford: Blackwell Science; 2003, p. 328.

3. Citar correctamente, pues la información de la fuente se verificará en los buscadores especializados de contenido.

ARBITRAJE

1. REVISIONES INICIALES. Todos los manuscritos enviados y recibidos por la Revista Ingenio serán revisados por el editor interno para determinar si están preparados adecuadamente y si siguen las políticas éticas de la revista. Los manuscritos que no se ajusten a la política de ética de la revista o que no cumplan con los estándares de la revista serán rechazados antes de la revisión por pares. Los manuscritos que no estén preparados adecuadamente serán devueltos a los autores para su revisión y reenvío. Después de estas verificaciones, el editor determinará si el manuscrito se ajusta al alcance de la revista y si es científicamente sólido. En esta etapa, no se emitirá ningún juicio sobre el impacto potencial del trabajo. Las decisiones de rechazo en esta etapa serán verificadas por el editor. El número de autores o firmantes no debe ser superior a cinco, considerando al primero como autor principal del artículo. Dicho manuscrito será un documento formal, público, controlado y debe cumplir con los criterios claves de redacción.

2. REVISIÓN POR PARES. Una vez que un manuscrito pase las comprobaciones iniciales, se asignará al menos a dos expertos independientes para su revisión por pares. Se aplica una revisión a doble ciego, donde los revisores no conocen las identidades de los autores y viceversa. Los comentarios de la revisión por pares son confidenciales y solo se divulgarán con el acuerdo expreso del revisor.

En el caso de presentaciones regulares, los editores asistentes internos invitarán a expertos, acorde a las recomendaciones del editor. Estos expertos también pueden incluir miembros del consejo editorial y editores invitados de la revista. También se pueden considerar los posibles revisores sugeridos por los autores siempre y cuando no hayan trabajado ni colaborado con los autores o coautores los últimos cinco años.

3. DECISIÓN EDITORIAL Y REVISIÓN. Todos los artículos, revisiones y comunicaciones publicados en la revista Ingenio pasan por el proceso de revisión por pares y reciben al menos dos rúbricas. El editor comunicará la decisión de los pares, que será una de las siguientes:

[a] *Aceptar luego de realizar correcciones menores* (en principio, el documento se acepta después de la revisión basada en los comentarios del revisor. Los autores tienen quince días para revisiones menores).

[b] *Reconsiderar después de realizar correcciones importantes* (la aceptación del manuscrito dependería de las revisiones. El autor debe proporcionar una respuesta punto por punto o proporcionar una refutación si algunos de los comentarios del revisor no se pueden revisar. Por lo general, solo se permite una ronda de revisiones importantes. Se pedirá a los autores que vuelvan a enviar el artículo revisado dentro de un período de tiempo adecuado, y la versión revisada se devolverá al revisor para obtener más comentarios).

[c] *Rechazar y promover el reenvío* (si se necesita reforzar el método o elementos experimentales adicionales para respaldar las conclusiones, el manuscrito será rechazado y se alentará a los autores a volver a enviar el artículo una vez que se hayan realizado más experimentos).

[d] *Rechazar* (el artículo tiene serios defectos o no hace una contribución significativa original. No se ofrece ninguna oferta de reenvío a la revista).

Todos los comentarios de los revisores deben ser respondidos punto por punto. Cuando los autores no estén de acuerdo con un revisor, deben proporcionar una respuesta clara.

4. APELACIONES DEL AUTOR. Los autores pueden apelar un rechazo enviando un correo electrónico a la revista Ingenio. La apelación debe proporcionar una justificación detallada, incluidas las respuestas punto por punto a los comentarios de los revisores o del editor. Se le pedirá al consejo editor consultado que dé una recomendación de asesoramiento sobre el manuscrito y puede recomendar la aceptación, una revisión por pares adicional o mantener la decisión de rechazo original. Una decisión de rechazo en esta etapa es definitiva y no se puede revertir.

5. PRODUCCIÓN Y PUBLICACIÓN. Una vez aceptado, el manuscrito se someterá a corrección de estilo profesional, edición, revisión por parte de los autores, correcciones finales, paginación y publicación en el sitio web de la revista acorde a la periodicidad.

ANTIPLAGIO

1. Todos los artículos recibidos por la revista Ingenio serán sometidos a un control antiplagio utilizando diversas herramientas como el sistema Urkund, que analiza los textos en busca de coincidencias gramaticales y orto tipográficas, lo que garantiza que los trabajos sean inéditos.



Esta revista, que usó tipografía *Minion Pro* tamaño 11, se terminó de diagramar para su versión digital en Editorial Universitaria en el mes de junio de 2023 siendo rector de la Universidad Central del Ecuador el Dr. Fernando Sempértegui Ontaneda y director de Editorial Universitaria el Prof. Gustavo Pazmiño.

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Pone a disposición de la comunidad los siguientes servicios:

LABORATORIO DE SANITARIA

Telf: (02) 2542026 Ext: 224



ÁREA DE CAPACITACIÓN INFORMÁTICA

Telf: (02) 2542026 Ext: 246



CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL, INNOVACIÓN Y EMPRENDIMIENTO

Telf: (02) 2542026 Ext: 218



LABORATORIO DE PROTOTIPOS

Telf: (02) 2542026 Ext: 218



LABORATORIO DE HIDRÁULICA

Telf: (02) 2542026 Ext: 223



LABORATORIO DE PAVIMENTOS

Telf: (02) 2550910



DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA

Telf: (02) 2238970



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Telf: (02) 2522655



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Telf: (02) 2238744 Ext: 211



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA POPULAR - DIP

Telf: (02) 2542026