

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

INGENIO

VOL. IV, N.º 2, 2021 | eISSN: 2697-3243 | pISSN: 2588-0829

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. 4, núm. 2 | julio-diciembre 2021 | p-ISSN 2588-0829 e-ISSN 2697-3243 |

Autoridades

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

Ing. Cecilia Flores Villalva, MSc
Decana, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

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

Editor
Flavio Arroyo Morocho

Consejo Editorial

Ing. Cecilia Flores Villalva, M.Sc., Presidenta, Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Ing. Flavio Arroyo Morocho, Ph.D., Editor in Chief, Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Ing. Abel Remache Coyago, MSc., Editor Académico, Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Ing. Paulina Viera Arroba, MSc., Universidad Central del Ecuador, ECUADOR
Dr. Jhohannes Ritz, 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 Enríquez, 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

Consejo Asesor y Evaluador

Ing. Adrián Coello Velásquez, M.Sc. Empresa Eléctrica de Guayaquil, ECUADOR
Ing. Nelson Layedra Quinteros, M.Sc., Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL, ECUADOR
Ing. Edison Proaño Ayabaca, Ph.D., Investigador Independiente, ECUADOR
Lic. Luis Fernando Andrade, M.Sc., Ministerio de Educación, ECUADOR
Ing. Juan Espinoza Palacios, M.Sc., Escuela Politécnica Nacional EPN, ECUADOR
Ing. Horacio Cedeño Muñoz, M.Sc., Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ULEAM, ECUADOR
Ing. Atal Kumar Vivas, M.Sc., Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, ECUADOR
Ing. Majid Khorami, M.Sc., Ph.D. (c), Universidad Tecnológica Equinoccial UTE, ECUADOR
Ing. Ángel Zambrano Mejía, M.Sc., Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ULEAM, ECUADOR
Mat. Holger Enrique Balseca, M.Sc. Investigador Independiente, ECUADOR
Ing. Raymond Gabriel Suárez, M.Sc., Contraloría General del Estado, ECUADOR
Ing. Marco Terán Santamaría, M.Sc., Contraloría General del Estado, ECUADOR

Este número estuvo bajo la coordinación editorial del Ing. Flavio Arroyo, Ph.D., Ing. Abel Remache, MSc, y Lic. Tatiana Freire MSc.(c)

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

Editorial Universitaria, 2021
Ciudadela Universitaria, Av. América, s. n.
Quito, Ecuador
+593 (02) 2524 033
editorial@uce.edu.ec

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



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

Análisis de equilibrio de voltaje en un sistema de subtransmisión, mediante curvas QV-PV y análisis modals	4
<i>Santillán H., Peña R., Morales J.</i>	
Control de la formación y desarrollo del bulking en una planta de tratamiento de aguas residuales con aireación extendida. Caso de estudio: PTAR, Quitumbe	16
<i>Enríquez C., Molineros O., Vaca S.</i>	
Análisis matemático de la supresión de impulsos tipo atmosférico en sistemas de distribución	27
<i>Quimiz J., Guerra N., Carrión K., Cárdenas D., Chávez C.</i>	
Accidentabilidad laboral en el sector de la construcción: Ecuador, período 2016-2019	35
<i>Morales K., Pacheco G., Viera P.</i>	
El concepto de desarrollo sostenible y su papel en la solución de los problemas.....	46
<i>Vivas D., Tapia M., Sandoval D.</i>	
Normas para publicar en la revista Ingenio	53

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 semestral 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, llamados DOI, para su uso en redes digitales.





Análisis de equilibrio de voltaje en un sistema de subtransmisión, mediante curvas QV-PV y análisis modal

Voltage stability analysis in a subtransmission system, using QV-PV curves and modal analysis

Hólger Santillán | Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador
Roger Peña | Instituto Superior Tecnológico Simón Bolívar, Guayaquil, Ecuador
Juan Morales | Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador

HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recepción: 15/06/2021
Aceptación: 07/09/2021

PALABRAS CLAVE

Inestabilidad de voltaje, potencias reactivas inductivas, voltajes, ángulos, PV, QV, factores de participación, colapso de red.

ARTICLE HISTORY

Received: 15/06/2021
Accepted: 07/09/2021

KEY WORDS

Voltage instability, inductive reactive powers, voltages, angles, PV, QV, participation factors, network collapse.

RESUMEN

El colapso de voltaje en una red eléctrica puede presentarse de diversas formas: como aumento de la carga, operatividad del máximo rendimiento de la máquina, puntos de generación muy alejados, potencias reactivas inductivas muy elevadas, entre otros, por lo que generan desequilibrio en su tensión y en los ángulos de los nodos en un sistema eléctrico. En la red de la provincia de Manabí se identificó, por medio de las curvas PV, que la barra de Chone de 69 kV es la más crítica y, con las curvas QV, que la barra de Manta de 69 kV es la de mayor criticidad, utilizando el software de DigSilent. Para obtener los factores de participación de los ramales y generadores, es necesario aumentar la carga a 0,1 Mvar para estimar la carga utilizando el análisis modal, en donde la subestación más crítica de los ramales es la de Quevedo, que tiene 0,8986 p. u. y en sus generadores la subestación es Montecristi, que llega a tener un valor de 0,346 p. u. en sus tensiones, utilizando Matlab para ejecutar el análisis. Este estudio es de gran importancia, ya que con esos valores de proyección se podrán observar los lugares en donde se presente una inestabilidad de voltaje y optimizar de diferentes formas la red, ya sea aumentando la generación, colocando bancos de capacitores, entre otros, en el punto donde se genere el colapso.

ABSTRACT

The voltage collapse in an electrical network can occur in various ways such as: increased load, maximum performance of the machine, very remote generation points, very high inductive reactive powers, among others; therefore, they generate unbalance in their voltage and in the angles of the nodes in an electrical system. In the network of the Province of Manabí, it was identified by means of the PV curves that the Chone bar of 69 kV is the most critical and with the QV curves that the Manta bar of 69 kV is the most critical, using the software by DigSilent. To obtain the participation factors of the branches and generators, it is necessary to increase the load to 0.1 Mvar to estimate the load using modal analysis, where the most critical substation of the branches is the Quevedo substation, which has 0.8986 p. u. and in its generators the substation is Montecristi, which has a value of 0.346 p. u. on your stresses, using Matlab to run the analysis. This study is of great importance, since with these projection values it will be possible to observe the places where voltage instability is created and the network can be optimized in different ways, either by increasing the generation, by placing a capacitor bank, between others; at the point where the collapse is generated.

I. INTRODUCCIÓN

La inestabilidad del voltaje eléctrico, así como las variaciones en otras magnitudes físicas de un sistema eléctrico de potencia (SEP), como frecuencia y corriente, influyen directamente en el estándar de energía eléctrica proveída [1]. Es responsabilidad de las empresas de transmisión garantizar los niveles adecuados de dichas magnitudes

y establecer normas y procedimientos para medir objetivamente la calidad de la energía que reciben los consumidores finales, reduciendo de esta forma sus efectos perjudiciales [2]. En Ecuador, esta responsabilidad recae en manos de Arconel y la regulación vigente está descrita en la resolución 053/18 [3].

La demanda y la generación eléctricas en Ecuador han crecido en los últimos años. Por ejemplo, del año 2019 al 2020 creció el 5,5% y del año 2020 al 2021 crecerá el 5,2%, que representa 5.091 MW, es decir, crecerá de acuerdo a lo proyectado en el Plan Maestro de Electricidad 2016-2025 [4]. Este aumento de la carga y complejidad del sistema eléctrico tiene un efecto en la estabilización del voltaje.

La inestabilidad de la tensión puede ser causada por perturbaciones eléctricas o electromecánicas; las empresas de transmisión tienen que ser capaces de identificar los diferentes tipos de problemas y proporcionar las soluciones correspondientes [5]. Un estudio de estabilización de diferencia de potencial permite determinar cuáles son los nodos críticos de la red y sus potenciales fallas con respecto al aumento de la carga [6]. El análisis de sensibilidad de la potencia activa y de la potencia reactiva de un SEP, ante las variaciones de voltaje que se realizan, utilizando las curvas PV (voltaje de potencia) y QV (potencia reactiva) respectivamente, así como los datos aportados por un análisis modal del sistema, han probado ser herramientas suficientes para identificar los componentes críticos y evaluar el futuro desempeño del sistema en nuevos escenarios de carga. En este análisis se presentan los resultados de la inestabilidad de tensión utilizando curvas PV, QV y análisis modal del subsistema de subtransmisión de Portoviejo.

En el análisis de los resultados para la revisión sobre el estado del arte relacionado al desequilibrio de diferencia de potencial en una red eléctrica de potencia, se determinan las bases teóricas y el enfoque para el desarrollo del presente estudio y se relacionan las normas establecidas para evaluar el nivel de la energía entregada. En la sección III se describe la red eléctrica de la provincia de Manabí mediante un diagrama unifilar que ha sido modelado, parametrizado y simulado utilizando el software DigSilent Power Factory [7] y se describe la metodología utilizada en el análisis de sensibilidad utilizando las curvas PV, QV y análisis modal. Además, se detalla el procedimiento utilizado en el análisis modal implementado en Matlab. En la sección IV se muestran y analizan los resultados centrados en el sistema de subtransmisión. Por último, se exterioriza el producto del análisis y se realizan las propuestas a fin de garantizar el futuro trabajo estable del sistema.

2. MÉTODO

SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

A. Aspectos generales

Las redes de un sistema eléctrico de potencia están creadas para generar, transmitir y distribuir al usuario final voltaje, corriente y potencia según sus necesidades. En gran parte, los sistemas de generación se encuentran en zonas muy alejadas de la ciudad, por lo que es necesario elevar su nivel de tensión y evitar perturbaciones [8] para que la comercialización sea lo más económica posible hasta llegar a los centros de carga que son las subestaciones de distribución [9]. Es necesario contar con un software SCADA (el cual realiza inspección, revisión y adquisición de data) para poderlos controlar y ser capaz de mantener las redes en operaciones estables [10] y ante cualquier inestabilidad de voltaje alertar a los centros de operación y control para su respectiva inspección [11].

B. Normas de calidad del servicio eléctrico en el Ecuador

Las empresas de transmisión y subtransmisión están en la obligación de suministrar energía de calidad [12] a sus clientes. Arconel es la encargada de regular el servicio eléctrico y hacer cumplir las ordenanzas; una de las disposiciones sobre la calidad de voltaje está en su Resolución 053/18 que habla acerca de «la eficacia de funcionamiento de la repartición y mercadeo de energía eléctrica»[3], donde se especifica este tema de calidad de energía. Arconel divide las regulaciones en 3 aspectos muy importantes que son:

1. Nivel de voltaje

Conocer la intensidad del voltaje en un sistema de distribución hace posible determinar si los parámetros de calidad son aceptables, y de esta manera verificar la variación de voltaje en el suministro, la cual se determina de la siguiente forma [3]:

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} * 100 [\%] \quad (1)$$

Donde:

ΔV_k = Diferencial de la tensión de entrega respecto a la tensión nominal en el punto k .

V_k = Tensión de entrega al punto k , definido como el promedio de las medidas registradas (por lo menos cada tres segundos) en un lapso de diez minutos.

V_N = Tensión nominal en el punto k .

Tabla 1. Límites de tensión aceptables por la Arconel 053/18

Nivel de voltaje		Rango admisible
Tensión alta-grupo 1	> 138 kV	± 5.0 %
Tensión alta-grupo 2	> 40 kV y ≤ 138 kV	± 5.0 %
Tensión media	> 0,6 kV y ≤ 40 kV	± 6.0 %
Tensión baja	≥ 0,6 kV	± 8.0 %

2. Límites de voltaje

Es importante conocer cuáles son los rangos aceptables de voltaje en sus diferentes niveles de tensión; en la tabla 1 se observa los límites permisibles [3] (ver Tabla 1).

3. Desequilibrio de voltaje

Se puede analizar el punto donde existe un desequilibrio de voltaje y se obtiene de la siguiente fórmula [3]:

$$\text{Desequilibrio de Voltaje} = \left| \frac{V^-}{V^+} \right| \times 100 [\%] \quad (2)$$

Donde:

Componente de la secuencia negativa de tensión, definido como el producto medio de las medidas analizadas (por lo menos cada tres segundos) en un intervalo de diez minutos.

Componente de secuencia positiva de tensión, definido como el producto medio de las medidas analizadas (por lo menos cada tres segundos) en un intervalo de diez minutos.

C. Tipos de desequilibrio de la tensión

Se han descrito diferentes causas como generadoras de una inestabilidad de voltaje [13] que, al no controlarse, pueden ocasionar problemas graves en la red a los elementos, equipos y a los usuarios finales; por ello es necesario identificar cuáles de los diferentes tipos de inestabilidad de voltaje se están presentando en la red y llevarlos a los parámetros de calidad que exige la resolución de la Arconel 053/18 [3].

Algunos de los tipos de inestabilidad de voltaje más frecuente son:

1. Aumento de la carga

Cuando no existe un estudio de planificación adecuada del crecimiento de la demanda por ciudades, región y país, es difícil controlar la inestabilidad de voltaje [14], ya que la expansión territorial del ser humano va aumentando y con ello también la carga [15].

2. Operabilidad del máximo rendimiento de la máquina

Inicialmente, cualquier máquina en condiciones normales va a responder sin ningún problema ante la detección

de una carga, pero a medida que va aumentando la carga se va perdiendo la eficiencia [16] ya que el rendimiento de la máquina llega a su máxima capacidad y entra a un estado de saturación [17].

3. Puntos de generación muy alejados

Cuando las fuentes de generación son muy alejadas, la impedancia de la línea hace disminuir el nivel de tensión en la que se encuentra [18], creando un bajo voltaje al final de la línea [19].

4. Potencias reactivas inductivas muy elevadas

En un sistema eléctrico de potencia, a medida que su carga va aumentando, también lo hará su potencia reactiva inductiva, por lo que se va a generar una inestabilidad tanto en voltaje como en ángulo [20].

D. DigSilent

DigSilent Power Factory es un software que ayuda a la simulación de cualquier sistema eléctrico para obtener los resultados necesarios y de esta manera desarrollar proyectos que ayuden a mejorar una red eléctrica en estudio.

Este software incorpora una librería muy grande para realizar diversos casos de estudio como: flujo de fuerza, estudios de fallas, estudio de mallas de baja tensión, mejoramiento de mallas de distribución, modelación dinámica, entre otros [21]. Es muy utilizado en las empresas eléctricas ecuatorianas como: Cenace y Transelectric porque dan un gran aporte al análisis de la red en estudio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CURVAS PV-QV Y ANÁLISIS MODAL

A. Red eléctrica de la provincia de Manabí

El sistema eléctrico de la provincia de Manabí cuenta con 28 barras, 9 transformadores de tres devanados, 13 transformadores de dos devanados, 10 puntos de cargas y 4 puntos de bancos de transformadores trifásicos como se observa en la figura 1 (ver Figura 1).

Las 10 cargas que se encuentran acopladas a la red de estudio son: Severino, Chone, San Gregorio, Quevedo, Esquinas Lodana, Esquinas Portoviejo 3, Esquinas Portoviejo 1, Manta.

Con respecto a las 10 cargas conectadas a la red, se analiza la estabilidad en la tensión mediante las gráficas QV-PV, para estudiar el comportamiento dinámico de sus cargas activa y reactiva inductiva con respecto al análisis modal.

Para obtener las curvas, se comienza dando flujo al sistema eléctrico para observar cómo se está comportado la red en condiciones normales, con el reporte del BusBar se adquieren todos los datos de corriente, voltaje, frecuencia, entre otros. Después se escogen todas las barras que estén conectadas a una carga, para comparar su demanda con respecto al nivel de voltaje, y finalmente se obtienen las gráficas.

B. Curva pv

El análisis de esta curva es muy importante, ya que con ello se observa el comportamiento del voltaje a medida que la potencia activa comienza a aumentar o disminuir en el sistema [22]. El análisis de las curvas pv se interpreta desde su punto de colapso, a medida que su demanda de potencia activa va aumentando, su voltaje va a disminuir, por lo que la curva que se encuentre en la parte más inferior de los ejes de las «Y», que corresponde a las coordenadas de los voltajes, indicará cuál es la barra más crítica de la red (ver Figura 2) [23]. En la curva pv, se indica que p es la cantidad de potencia activa que está entregando la barra y v es el cambio de la tensión a medida que la carga comienza a aumentar hasta alcanzar al punto de su máxima transferencia antes de llegar al colapso de tensión, como se observa en la figura 2 [24].

Con las 10 cargas anteriormente nombradas se obtienen las curvas pv por medio del software DigSilent. Cada barra tiene diferentes tipos de cargas, por lo que sus ángulos, voltajes y potencia va a variar, se obtuvo una curva por cada barra para analizar e identificar el punto de colapso en el bus más crítico del sistema de estudio [25].

C. Curva qv

El análisis de este tipo de curva es muy importante ya que se observa la inestabilidad de voltaje en cada una de las barras por la falta del balance de la potencia reactiva que se genera en la red eléctrica [26]. La curva qv, tiene un aspecto en forma de u, en donde el punto máximo de la curva se encuentra en su holgura, es decir, en la parte más baja de la curva y es ahí donde se encuentra la potencia reactiva más crítica con respecto al voltaje (ver Figura 3). Este tipo de inestabilidad se genera por el exceso de consumo o demanda de potencia reactiva inductiva, en donde se identificará, por medio de sus curvas, cuál es el punto de carga que está cerca del colapso por

no balancear su demanda [27]. Por ejemplo, la figura 3 muestra que la gráfica más eficiente es la P1 ya que tiene una reserva para poder conectar muchas cargas más de potencia reactiva inductiva sin afectar la red. La curva P2 es el límite máximo de operación. En la curva P3 el sistema se encuentra en una inestabilidad de voltaje por falta de potencia reactiva capacitiva [28].

Con las mismas 10 cargas anteriormente nombradas se obtiene las curvas qv utilizando el software de DigSilent. Los ángulos, voltajes y potencia van a ser diferente ya que cada barra tendrá distintas demandas y con las curvas obtenidas se podrá analizar el punto más crítico que será la curva con la concavidad más alta [29].

D. Análisis modal

En el análisis modal se establecen las características como la frecuencia de resonancia, amortiguamiento, modo estado de excitación, entre otros. Los valores que sirven para satisfacer valores propios de la matriz.

El objetivo principal se basa en analizar las áreas más vulnerables a una inestabilidad de voltaje, que también se las denomina áreas débiles; que tienen un decaimiento de voltaje con respecto a su carga, que se analizará por medio de los resultados de los factores de participación [30].

Este análisis modal se basa en encontrar los valores propios que son los valores o modos del sistema que atañe de manera directa a la potencia reactiva introducida en el sistema junto a las tensiones en los nodos [31] o también llamados lambdas que se utilizan en la matriz jacobiana reducida en el procedimiento de Newton-Raphson, el cual consiste, principalmente, en analizar las variaciones en potencia reactiva y en variación de voltaje del sistema, siendo un método de ingeniería que se usa en el estudio de la inestabilidad de voltaje de una red eléctrica de fuerza, y mediante la cual se basa parte del análisis realizado en el presente estudio [32].

1. Matriz jacobiana reducida

Para obtener la matriz jacobiana reducida [33] es necesario dividir en cuatro partes la matriz del método de Newton-Raphson [34] y asumiendo que $\Delta P = 0$, se obtiene la siguiente expresión [27]:

$$\begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (3)$$

Resolviendo esta matriz se obtiene:

$$J_R = [-J_{21}J_{11}^{-1}J_{12} + J_{22}]$$

$$J_R \Delta V = \Delta Q$$

Por lo tanto,

$$\Delta v = J_R^{-1} \Delta v_Q \quad (4)$$

Donde:

- J_R es la matriz jacobiana reducida.
- J_R^{-1} es la matriz inversa de la jacobiana reducida.

Como resultado final se obtendrá la correspondencia para el cambio en la tensión y la potencia reactiva en la cual el i -ésimo componente en la transversal de la matriz es la sensibilidad en Q-v en el modo i , del sistema en estudio [35].

2. Inestabilidad de voltaje en modos

Para desarrollar la matriz diagonal de valores propios, primero se debe realizar la descomposición de la matriz jacobiana reducida, que es [36]:

$$J_R = \Phi \Lambda \Psi \quad (5)$$

$$\Phi \Psi = I; \Psi = \Phi^{-1} \quad (6)$$

Donde:

- J_R es la matriz jacobiana.
- Φ el conjunto de vectores derechos de la asociada a Λ .
- Λ es la matriz transversal de elementos propios de J_R .
- Ψ el conjunto de vectores izquierdos de J_R asociados a Λ .

Hallando la inversa de la ecuación (6), se obtiene:

$$J_R^{-1} = \Phi \Lambda^{-1} \Psi \quad (7)$$

Despejando se tiene:

$$\Delta V = \sum_i \frac{\Phi_i \Psi_i}{\lambda_i} \Delta Q \quad (8)$$

La correspondiente variación de la tensión modal es:

$$\Delta v = \Lambda^{-1} \Delta Q_m$$

Entonces, tenemos:

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} \lambda_1^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_n^{-1} \end{bmatrix}$$

La i -ésima variación de voltaje modal es:

$$\Delta V_{mi} = \lambda_i^{-1} \Delta Q_{mi} \quad (9)$$

Donde:

- ΔV_m corresponde al vector del cambio de voltaje de los modos.
- ΔQ_m corresponde al vector del cambio de la potencia reactiva de los modos.

Con este estudio se muestra que a medida que va creciendo el valor de λ en el modo i « λ_i » se puede determinar la debilidad del voltaje modal, con los siguientes parámetros:

- Si el valor de « λ_i » propio de la matriz jacobiana es positivo, el voltaje de la red está estable.
- Si el valor de « λ_i » propio de la matriz jacobiana es cero, la red está en el límite del desequilibrio.
- Si el valor de « λ_i » propio de la matriz jacobiana es negativo, la red se encuentra en un desequilibrio.

Para determinar la sensibilidad de QV del bus k , que se origina en el modo i , se utiliza:

$$\frac{dV_k}{dQ_k} = \sum_i \frac{\Phi_{ki} \Psi_{ki}}{\lambda_i} \quad (10)$$

Factor de participación de los ramales

Con este factor se identifica el ramal que está contribuyendo en mayor proporción a la inestabilidad de voltaje mediante la comparación de los flujos en los ramales para los estados 1 y 2 del sistema, por lo que la variación de ingreso de la potencia reactiva es, el cambio resultante es y el cambio del ángulo con respecto al modo i es [37]:

$$\Delta Q_{mi} = J_R^{-1} * J_R * \Delta V_{mi} \quad (11)$$

Se define,

$$\Delta Q_{lmaxi} = \max_j (\Delta Q_{lji}) \quad (12)$$

Donde:

ΔQ_{lji} = variación de pérdidas reactivas a través de la ruta de traslado j

El elemento de la participación en los ramales es:

$$FPR_{lji} = \frac{\Delta Q_{lji}}{\Delta Q_{lmaxi}} \quad (13)$$

Factor de participación de los generadores

Es posible identificar cuál generador está entregando más potencia reactiva a medida del cambio incremental

Figura 3. Áreas de estabilidad e inestabilidad de la curva QV

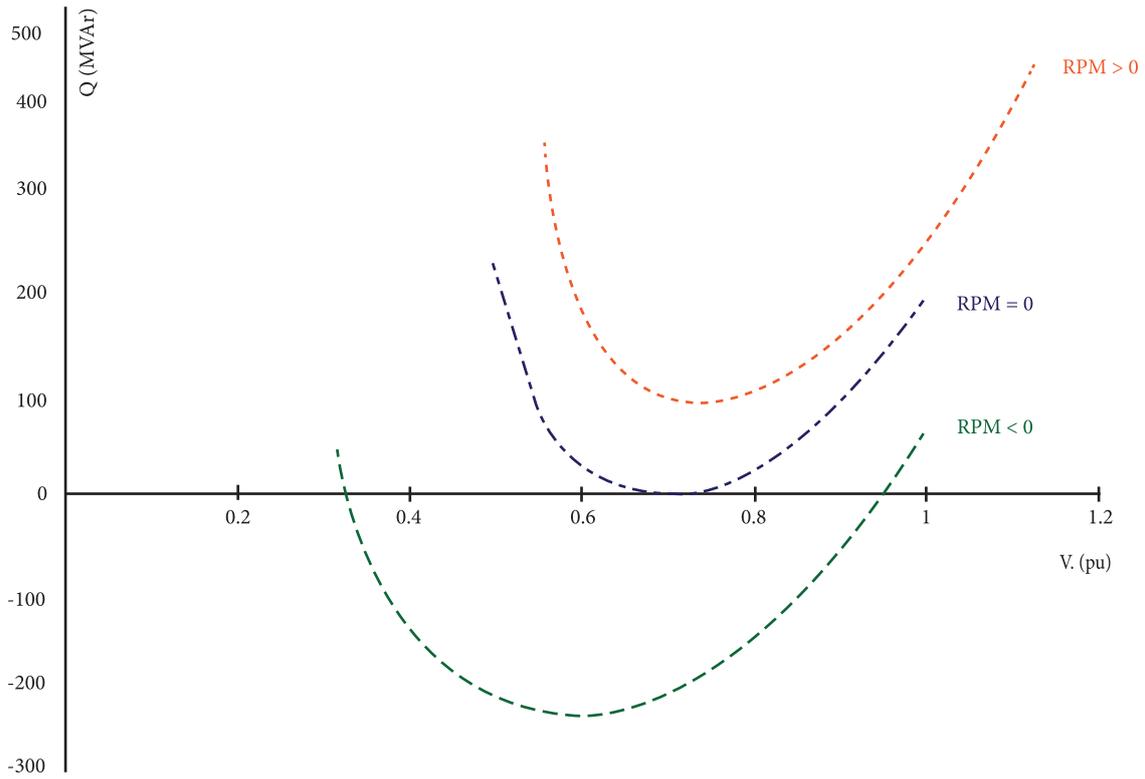
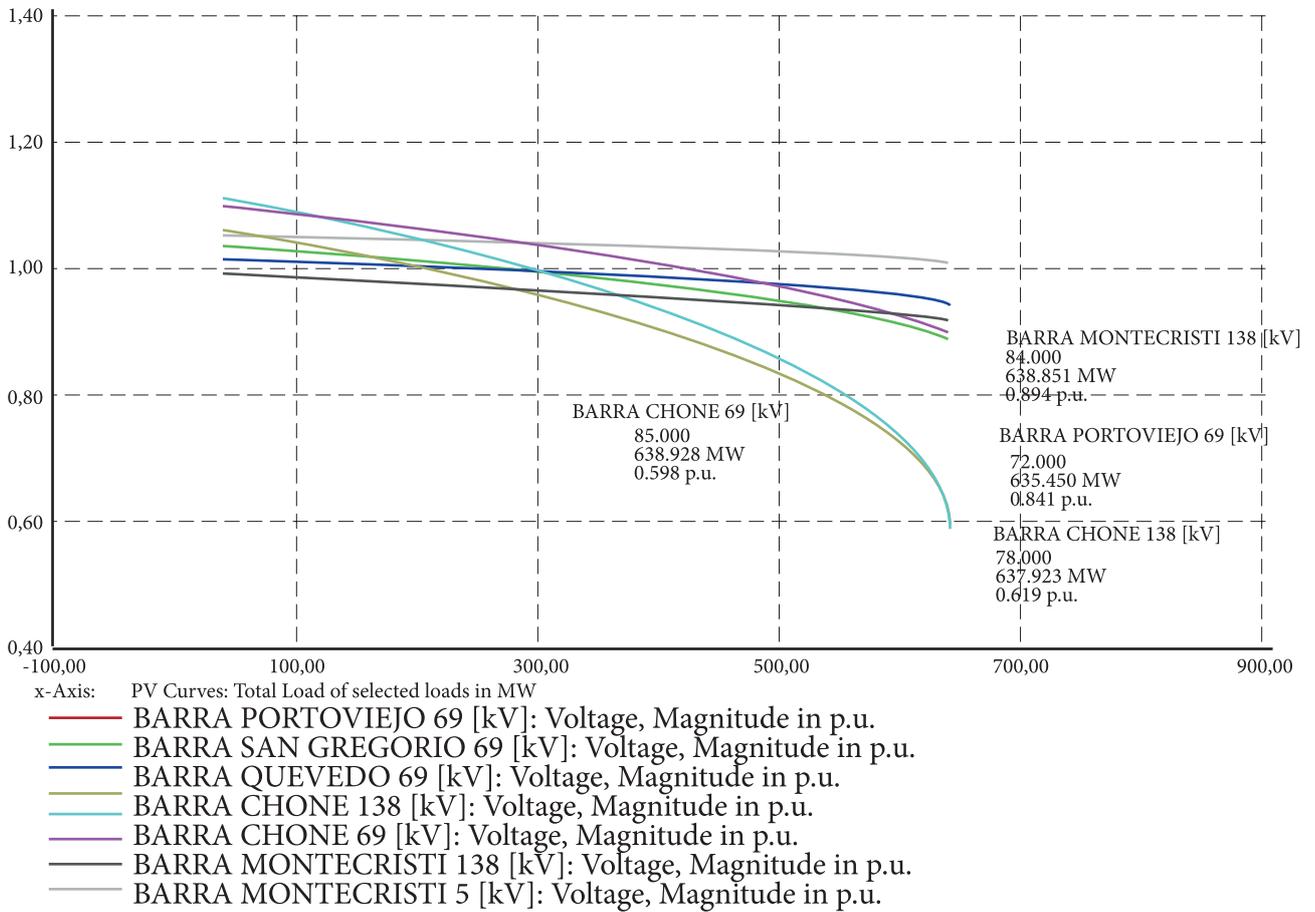


Figura 4. Curvas PV de la red eléctrica de la provincia de Manabí



Fuente: autores. Software: DigSilent.

Tabla 2. Resultados del FPR del sistema eléctrico de la provincia de Manabí, con una proyección de carga de 0,1 Mvar

Ramales		Estado 1		Estado 2		Diferencia	FPR
From	To	Q[Mvar]	Q[p. u.]	Q[Mvar]	Q[p. u.]		
1	2	-19,971	-0,199	22,152	0,221	0,421	1
1	4	-0,225	-0,002	0,075	0,007	0,002	0,006
1	5	48,188	0,481	67,983	0,679	0,198	0,47
2	3	35,724	0,357	-2,136	-0,021	0,378	0,898
2	8	-5,897	-0,058	-33,965	-0,339	0,28	0,666
5	6	-31,825	-0,318	-43,236	-0,432	0,113	0,27
5	7	26,832	0,268	23,432	0,234	0,034	0,08
6	15	11,131	0,111	21,848	0,218	0,107	0,254
6	27	16,722	0,167	9,192	0,091	0,075	0,178
8	9	-2,876	-0,028	-4,594	-0,045	0,017	0,04
8	10	-13,248	-0,132	-12,796	-0,127	0,004	0,01
8	11	-13,24	-0,132	-12,792	-0,127	0,004	0,01
8	12	36,526	0,365	51,431	0,514	0,149	0,353
8	27	-18,301	-0,183	0,32	0,003	0,186	0,442
12	13	-93,186	-0,931	-88,555	-0,885	0,046	0,109
13	14	0	0	0,325	0,003	0,003	0,007
15	16	-29,251	-0,292	-28,458	-0,284	0,008	0,018
15	19	-16,295	-0,162	0,578	0,005	0,168	0,4
16	17	0,017	0,001	-0,915	-0,009	0,009	0,021
16	18	0,015	0,001	-0,581	-0,005	0,005	0,014
19	20	0	0	-1,162	-0,011	0,011	0,027
19	21	0	0	-0,626	-0,006	0,006	0,014
19	22	-1,684	-0,016	-2,672	-0,026	0,009	0,023
19	23	11,033	0,11	17,532	0,175	0,065	0,154
19	24	-25,998	-0,259	-26,731	-0,267	0,007	0,018
23	25	-36,945	-0,369	-38,22	-0,382	0,013	0,029
25	26	0	0	0,152	0,001	0,002	0,004
27	28	44,696	0,446	42,685	0,426	0,02	0,047

de la carga del sistema, si su factor de participación es más alto que otro, esto significa que un generador está aportando más potencia reactiva que la otra y con ello se puede generar una inestabilidad de voltaje por falta de compensación de potencia reactiva capacitiva, se define [38]:

$$\Delta Q_{gmaxi} = \max_k (\Delta Q_{gki}) \quad (14)$$

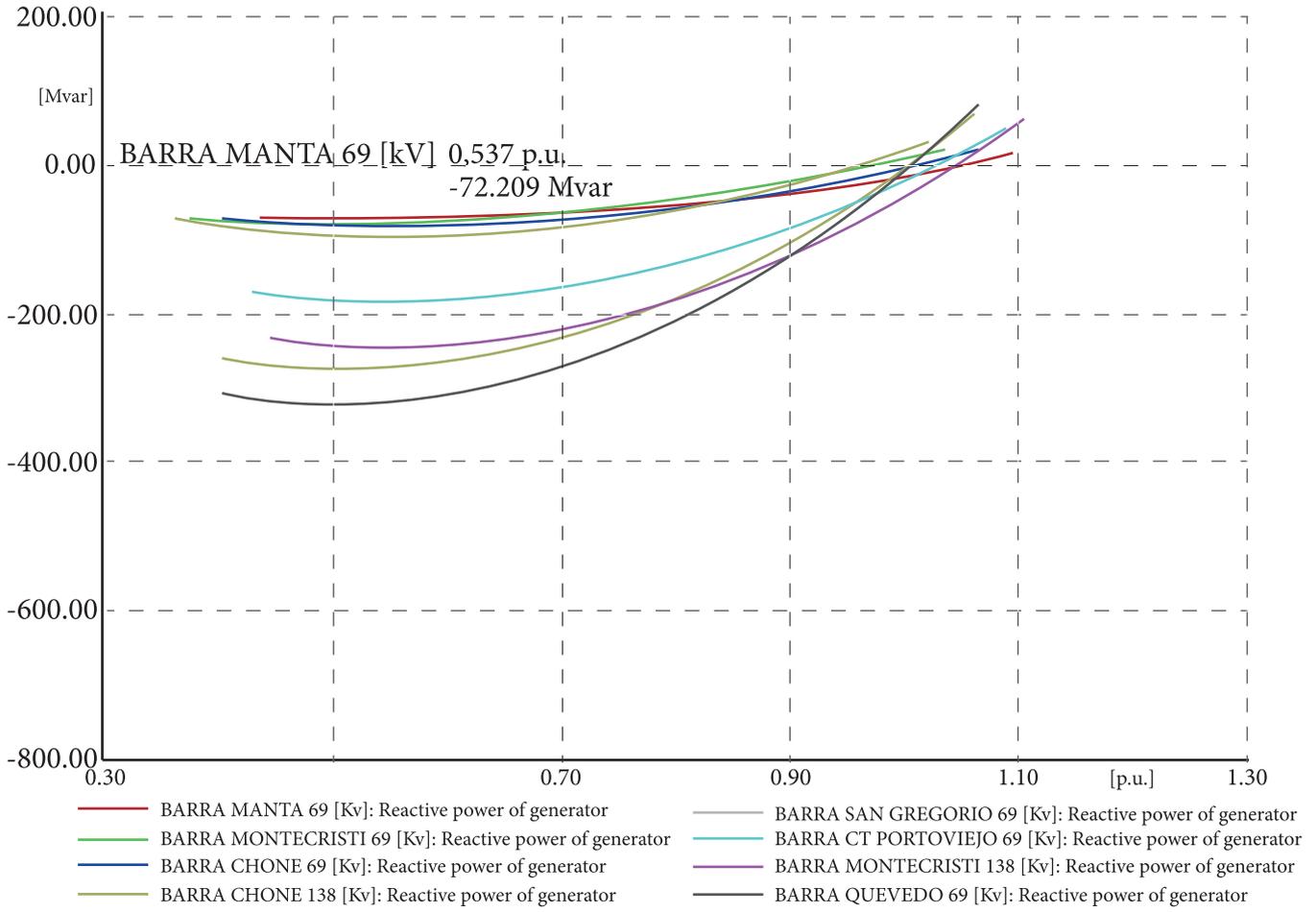
Donde:

ΔQ_{gki} = Cambio de la potencia reactiva para el modo i .

El factor de participación de generadores es:

$$FPG_{gki} = \frac{\Delta Q_{gki}}{\Delta Q_{gmaxi}} \quad (15)$$

Figura 5. Curvas QV de la red eléctrica de la provincia de Manabí



Fuente: autores. Software: DigSilent.

Los datos del sistema modelado en el DigSilent son ingresados al Matlab para realizar cálculos, utilizando algoritmos propios implementados y validados para todas las operaciones correspondientes al análisis modal. Para identificar los ramales y buses más críticos se consideran los factores de participación con valores altos [4]. Los valores de los factores de participación se obtienen simulando una perturbación de la carga de 0,1 Mvar, este valor se obtuvo por el crecimiento anual del país en el Plan Maestro de Electricidad [39].

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

A. Curvas pv

La barra de subtransmisión más crítica es la de Chone de 69 kV, que suministra una potencia de 639.006 MW y 0,595 p. u. de voltaje. También la barra de Portoviejo de 69 kV que tiene un 0,841 p. u. de voltaje que representa un suministro de potencia activa de 635.450 MW se encuentra en una inestabilidad de voltaje. El resto de las barras se encuentran en estabilidad de voltaje ya que tienen

un valor superior a 0,9 p. u. de voltaje (ver Figura 4) [23].

Este resultado se debe a que hay una excesiva demanda de potencia activa en esa barra, por lo que es necesario que exista un punto de generación cercana para compensar con su carga y estabilizar su voltaje [40].

B. Curvas qv

La barra de subtransmisión más crítica es la de Manta de 69 kV, que tiene -72.209 Mvar y 0,537 p. u. en su voltaje. Aunque las demás cargas se encuentran en la zona de reserva de potencia reactiva, no existe un peligro de inestabilidad de voltaje por potencias reactivas inductivas (ver Figura 5).

Este resultado se debe que hay un aumento de cargas con potencias reactivas inductivas en esa barra, por lo que es necesario instalar bancos de capacitores para compensar la potencia reactiva y así estabilizar el ángulo [27].

C. Análisis modal

En la sección 3.4 se obtuvo los valores de los factores de participación mostrados en la tabla 2. Donde en el estado 1 se tienen las potencias reactivas en condiciones ini-

ciales de flujo y en el estado 2 se tiene potencia reactiva con la carga aumentada de 0,1 Mvar, con ese incremento tomado del Plan Maestro de Electricidad el cual indica la proyección del ramal donde se generará una inestabilidad de voltaje, según la proyección de crecimiento del ente regulador para este sistema en análisis (ver Tabla 2).

La barra de subtransmisión más crítica es la barra 2 a 3 que es la subestación de Quevedo de 138 kV a 69 kV, tiene un factor de participación de 0,898 p. u., que al no corregirse provocará una inestabilidad de voltaje por su excesiva carga en potencia reactiva inductiva que afecta a su ángulo del factor de potencia.

Una de las soluciones más frecuentes es la utilización de bancos de capacitores trifásicos para compensar potencias reactivas capacitivas y así mejorar el ángulo del factor de potencia.

En la tabla 3 se observan los factores de participación de los generadores, en donde el estado 1 muestra las potencias reactivas en condiciones normales de la red y en el estado 2 muestra las potencias reactivas aumentadas con 0,1 Mvar para poder hacer el análisis de las proyecciones del crecimiento de la demanda (ver Tabla 3).

La barra más crítica es la 17, que pertenece al generador 1 de Montecristi, y tiene un factor de participación de 0,346 p. u., por lo que no se considera tan grave, pero con cargas futuras puede entrar a un colapso de voltaje por excesiva demanda.

Este problema se debe a las cargas que se encuentran cerca al generador y están aumentando exponencialmente, haciendo que el generador llegue a su estado de saturación, por lo que provocaría una inestabilidad de voltaje por exceso de consumo de potencia activa [24].

Unas de las soluciones más comunes para este caso es crear fuentes de generación cercanas al generador donde se produce el colapso, para aliviar el rendimiento de la máquina y operar en porcentajes de operabilidad adecuadas.

4. CONCLUSIONES

En el análisis de condiciones normales, en el DigSilent se observa que la red se encuentra operando con generadores de sobrecarga y ciertas barras con inestabilidad de voltaje.

Del análisis realizado con las curvas PV, con respecto a todas las barras que tienen sus respectivas cargas del sistema eléctrico de Manabí, se analizó que la barra más crítica es la barra de Chone de 69 Kv, ya que tiene un voltaje de 0,596 p. u., donde es necesario aumentar el sistema de generación en ese punto, puesto que llegaría a un colapso de tensión en caso de no hacerlo.

Del estudio realizado con las curvas QV, referente a todas las barras con sus respectivas cargas, se detecta que la barra más crítica por falta de compensación de potencia reactiva capacitiva es la subestación de Manta de 69 kV ya que tiene un voltaje de 0,537 p. u., donde es necesario

colocar un banco de capacitores para mejorar el ángulo y el voltaje de la red.

Cada barra es un estudio diferente, por lo que se obtienen otras curvas PV y QV, y está directamente relacionado con el dinamismo de la carga.

En el factor de participación de los ramales, la barra más crítica es la 2 a 3 que pertenece a la subestación Quevedo por lo que su FPR es de 0,898 p. u., que se debe a su incremento de potencia reactiva inductiva que afecta al ángulo de la red y es necesario poner un banco de condensadores a fin de optimizar el componente de potencia en esa red.

Referente al factor en la participación de los generadores, la barra más crítica es la 17 que es del generador 1 de Montecristi que tiene un FPG de 0,346 p. u., por lo que la red estaría pronto a entrar en una inestabilidad de voltaje por su máxima carga al generador, debido a lo cual es preciso incrementar la facultad de generación ya que existe una gran demanda.

REFERENCIAS

- [1] P. D. E. Distribución, «Voltage stability analysis in power distribution feeder reconfiguration», vol. 33, n.º 41, pp. 30-35, 2009.
- [2] Arconel 006/2020, «Resolución N.º Arconel-006/2020», pp. 1-58, 2020, [Online]. Available: <http://www.cna-ecuador.com/wp-content/uploads/2020/06/Reg-Sust-Reg-ARCONELOO1-20-Directorio-res-006-20-firm.pdf>
- [3] Arconel, «Resolución N.º Arconel-053/18», Arconel, pp. 1-40, 2018.
- [4] «PME 2016-2025.pdf», Minist. Electr. y Energía Renov., p. 439, 2017.
- [5] B. Brusilowicz, W. Rebizant and J. Szafran, «A new method of voltage stability margin estimation based on local measurements», *APAP 2011 - Proc. 2011 Int. Conf. Adv. Power Syst. Autom. Prot.*, vol. 3, pp. 2443-2447, 2011, DOI: 10.1109/APAP.2011.6180655.
- [6] M. A. Joodi, I. K. Ibraheem, and F. M. Tuaimah, «Power transmission system midpoint voltage fixation using svc with genetic tuned simple PID controller», *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, n.º 4, pp. 5438-5443, 2018, DOI: 10.14419/ijet.v7i4.24799.
- [7] G. Chen, J. L. Moiola, and H. O. Wang, «Bifurcation control: Theories, methods, and applications», *Int. J. Bifurcat. Chaos*, vol. 10, n.º 3, pp. 511-548, 2000, DOI: 10.1142/S0218127400000360.
- [8] Z. Wang, X. Yin, Y. Chen, J. Lai, L. Li, and Z. Qi, «DSTATCOM integrated with Y-y connection transformer for reactive power compensation», *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 117, n.º september 2018, p. 105721, 2020, DOI: 10.1016/j.ijepes.2019.105721.
- [9] T. Cui, Y. Shen, Z. Hu, J. Song, H. Guo and X. Wang,

- «Voltage regulation of synchronous condensers and switching capacitors in power grids with a UHV DC/AC System», *Proc. - 2018 3rd Int. Conf. Smart City Syst. Eng. ICSCSE 2018*, n.º 1, pp. 552-556, 2018, DOI: 10.1109/ICSCSE.2018.00118.
- [10] V. F. Pires, A. V. Pombo and J. M. Lourenço, «Multi-objective optimization with post-pareto optimality analysis for the integration of storage systems with reactive-power compensation in distribution networks», *J. Energy Storage*, vol. 24, n.º april, p. 100769, 2019, doi: 10.1016/j.est.2019.100769.
- [11] M. Hasani and M. Parniani, «Method of combined static and dynamic analysis of voltage collapse in voltage stability assessment», *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Transm. Distrib. Conf.*, vol. 2005, pp. 1-6, 2005, DOI: 10.1109/TDC.2005.1547182.
- [12] M. S. Saddique et al., «Solution to optimal reactive power dispatch in transmission system using meta-heuristic techniques-Status and technological review», *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 178, n.º august 2019, p. 106031, 2020, DOI: 10.1016/j.epsr.2019.106031.
- [13] B. Singh and R. Kumar, «A comprehensive survey on enhancement of system performances by using different types of FACTS controllers in power systems with static and realistic load models», *Energy Reports*, vol. 6, pp. 55-79, 2020, DOI: 10.1016/j.egy.2019.08.045.
- [14] S. Chansareewittaya, «Optimal allocations of FACTS controllers for economic dispatch using evolutionary programming», *ICSEC 2017 - 21st Int. Comput. Sci. Eng. Conf. 2017, Proceeding*, vol. 6, pp. 1-4, 2018, DOI: 10.1109/ICSEC.2017.8443901.
- [15] M. Tituaña and D. Carrión, «Análisis de inestabilidad de tensión en el sistema eléctrico de potencia usando el análisis modal», p. 22, 2016.
- [16] P. Cao et al., «Analysis of electrical length compensation types for tuned half-wavelength transmission lines», *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 115, n.º August 2019, p. 105520, 2020, DOI: 10.1016/j.ijepes.2019.105520.
- [17] P. A. Löf, T. Smed, G. Andersson and D. J. Hill, «Fast calculation of a voltage stability index», *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 7, n.º 1, pp. 54-64, 1992, DOI: 10.1109/59.141687.
- [18] M. Miranda, «Diseño de sistema de generación fotovoltaica para viviendas conectadas a la red de distribución, en el contexto de la Ley n.º 20.571», 2016.
- [19] Á. A. Recalde, «Estabilidad de los sistemas de potencia: problemáticas en escenarios complejos», *Research Gate*, vol. 1, n.º october 2014, p. 6, 2015, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Angel_Recalde/publication/273450101_ESTABILIDAD_DE_LOS_SISTEMAS_DE_POTENCIA_PROBLEMATICAS_EN_ESCENARIOS_COMPLEJOS/links/550204b60cf2d60c0e62981f/ESTABILIDAD-DE-LOS-SISTEMAS-DE-POTENCIA-PROBLEMATICAS-EN-ESCENARIOS-COMPL
- [20] A. Amer, «Voltage collapse prediction for interconnected power systems», *Morgantown, West Virginia*, 2000, [Online]. Available: http://www.wvuscholar.wvu.edu:8881/exlibris/dtl/d3_1/apache_media/L2v4bglicmlzL2R0bc-9kM18xL2FwYWN0Zv9tZWRpys80OtG5.pdf
- [21] N. Manjul and M. S. Rawat, «PV/QV Curve based optimal placement of static var system in power network using DigSilent power factory», *8th IEEE Power India Int. Conf. PIICON 2018*, pp. 1-6, 2018, DOI: 10.1109/POWERI.2018.8704441.
- [22] A. C. Zambroni De Souza, F. W. Mohn, I. F. Borges and T. R. Ocariz, «Using pv and qv curves with the meaning of static contingency screening and planning», *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 81, n.º 7, pp. 1491-1498, 2011, DOI: 10.1016/j.epsr.2011.02.012.
- [23] H. G. P. Kesse, «C=min», n.º july, p. 9935, 1986.
- [24] M. A. Ríos, A. Torres M., and M. T. de Torres, «Estabilidad de voltaje en sistemas de potencia: Caso de aplicación a la EEB», *Rev. Ing.*, n.º 8, pp. 19-24, 1997, DOI: 10.16924/revinge.8.4.
- [25] V. N. Sewdien, R. Preece, J. L. R. Torres, and M. A. M. M. Van Der Meijden, «Evaluation of pv and qv based voltage stability analyses in converter dominated power systems» *Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf. APPEEC*, vol. 2018-October, pp. 161-165, 2018, DOI: 10.1109/APPEEC.2018.8566421.
- [26] R. S. Moura, A. C. Zambroni de Souza, B. I. Lima Lopes, and F. W. Mohn, «Effects of qv curves in the dynamic behaviour of power systems» *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 10, n.º 12, pp. 2861-2870, 2016, DOI: 10.1049/iet-gtd.2015.1042.
- [27] A. Bonini Neto and D. Amancio Alves, «Singularities analysis of the jacobian matrix modified in the continuation power flow: performance evaluation», *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 15, n.º 11, pp. 2137-2143, 2017, DOI: 10.1109/TLA.2017.8070419.
- [28] K. Vu, M. M. Begovic, D. Novosel and M. M. Saha, «Use of local measurements to estimate voltage-stability margin», *IEEE Power Ind. Comput. Appl. Conf.*, pp. 318-323, 1997.
- [29] D. Eltigani, «Method of computing maximum loadability, using continuation power flow», pp. 0-4, 2013.
- [30] N. C. Yang and H. C. Chen, «Decomposed Newton algorithm-based three-phase power-flow for unbalanced radial distribution networks with distributed energy resources and electric vehicle demands», *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 96, n.º september 2017, pp. 473-483, 2018, DOI: 10.1016/j.ijepes.2017.09.042.
- [31] D. Hau and A. Lee, «Equivalent nodal analysis», vol. 31, n.º 1, pp. 454-463, 2016.
- [32] T. Van Cutsem, «Voltage instability: phenomena, countermeasures, and analysis methods» *Proc. IEEE*, vol. 88, n.º 2, pp. 208-227, 2000, DOI: 10.1109/5.823999.
- [33] Y. Song, D. J. Hill, and T. Liu, «State-in-mode analysis of the power flow jacobian for static voltage stability», *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 105, no. September 2018, pp. 671-678, 2019, DOI: 10.1016/j.ijepes.2018.09.012.

- [34] O. D. Montoya, W. Gil-Gonzalez, and V. M. Garrido, «Voltage stability margin in DC grids with CPLs: A recursive Newton-raphson approximation», *IEEE Trans. Circuits Syst. II Express Briefs*, vol. 67, n.º 2, pp. 300-304, 2020, DOI: 10.1109/TCSII.2019.2904211.
- [35] P. Li, H. Su, C. Wang, Z. Liu and J. Wu, «PMU-Based estimation of voltage-to-power sensitivity for distribution networks considering the sparsity of jacobian matrix», *IEEE Access*, vol. 6, n.º c, pp. 31307-31316, 2018, DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2841010.
- [36] W. Xu, Y. Mansour and B. C. Hydro, «Voltage stability analysis using generic dynamic load models», *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 9, n.º 1, pp. 479-493, 1994, DOI: 10.1109/59.317575.
- [37] G. K. Morison, B. Gao, and P. Kundur, «Voltage stability analysis using static and dynamic approaches», *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 8, n.º 3, pp. 1159-1171, 1993, DOI: 10.1109/59.260881.
- [38] M. K. Pal, «Voltage stability conditions considering load characteristics», *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 7, n.º 1, pp. 243-249, 1992, DOI: 10.1109/59.141710.
- [39] Ministerio de Electricidad y Energías no Renovables, «Electricidad Plan», 2018.
- [40] M. Qemali, R. Bualoti and M. Çelo, «N-1 Criterion, Albanian Power System Case», pp. 1-8, 2016.



REVISTA INGENIO

Control de la formación y desarrollo del *bulking* en una planta de tratamiento de aguas residuales con aireación extendida. Caso de estudio: PTAR, Quitumbe

Proposal to control the formation and development of bulking in a wastewater treatment plant with extended aeration. Case study: Wastewater treatment plant (WWTP), Quitumbe

Carlos Enríquez | [iD](#) Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Oswaldo Molineros | [iD](#) Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Sebastián Vaca | [iD](#) Universidad Central del Ecuador, Ecuador

HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recepción: 22/06/2021

Aceptación: 09/09/2021

PALABRAS CLAVE

Límites permisibles, parámetros de control, aguas residuales, *bulking*.

ARTICLE HISTORY

Received: 22/06/2021

Accepted: 09/09/2021

KEY WORDS

Permissible limits, control parameters, wastewater, bulking.

RESUMEN

La planta de tratamiento de aguas residuales Quitumbe, de la ciudad de Quito, presentó *bulking* en su sistema de lodos activados mediante aireación extendida, lo que formó espumas sobrenadantes en el biorreactor, por lo que para solucionarlo se analizaron estadísticamente datos históricos y experimentales de calidad del agua y parámetros operacionales en contraste con límites permisibles para el «vertido en cuerpos de agua» de las normativas, Acuerdo Ministerial AM097-A y Ordenanza Metropolitana 404, con el fin de evaluar remoción de contaminantes, calculándose, además, un modelo correspondiente a la revisión del diseño existente, para comparar condiciones operativas actuales y calculadas. Finalmente, se concluyó que el origen del *bulking* es operacional, se determinaron dos propuestas: la primera consiste en la adición de una sustancia estabilizadora (hidróxido de calcio) en el reactor biológico, y la segunda, basada en la operación eficiente, consistente en la programación de la purga de lodos en exceso.

ABSTRACT

Quitumbe's Wastewater Treatment Plant, in the city of Quito presented bulking in its prolonged aeration through activated sludges process, which developed foaming on the biological reactors' surface. Therefore, to solve it, the historical and experimental data from the quality of water and operation parameters have been statistically analyzed and contrasted with the permissible limits for «discharges into water streams» regulations issued by; The Ministerial Agreement AM097-A and The Metropolitan Ordinance 404 with the aim to evaluate contaminants removal, also a model focused on the review of the existing design was calculated in order to compare the current operative conditions against the calculated ones. Lastly, concluding that the origin of the sludge bulking is purely operational, two proposals were made: The first entails the addition of a stabilizer substance (calcium hydroxide) into the biological reactor; and the second one, based on the efficient operation, consists in programming the purge of the excess sludges.

I. INTRODUCCIÓN

En el Distrito Metropolitano de Quito, las aguas residuales de los barrios: Manuelita Sáenz, San Alfonso, Nuevos Horizontes, Los Cóndores, Arrayanes, San Francisco del Sur, Martha Bucaram de Roldós, La Ecuatoriana, Las Orquídeas, La Concordia y Ninallacta, son conducidas hasta la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)

Quitumbe, ubicada al sur de la ciudad, entre las avenidas Guayanay Ñan y Rumichaca Ñan; que cuenta con 1,5 hectáreas y capacidad de tratamiento de 108 L/s.

Aquí el agua residual pasa del cárcamo de bombeo al pretratamiento, que consta de los procesos de cribado, desarenado y desengrasado para posteriormente ser

enviada al tratamiento secundario de lodos activados mediante aireación extendida, el cual se basa en la depuración del agua con un cultivo biológico conformado por una gran variedad de bacterias las cuales se alimentan de sustancias presentes en el agua contaminada para poder remover contaminantes a través de sus procesos metabólicos.

Entre la variedad de bacterias presentes que incluyen los géneros *Pseudomonas*, *Zoogloea*, *Gordonia*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Mycobacterium*, y las dos bacterias nitrificantes más comunes, los *Nitrosomas* y las *Nitrobacter* [1] se encuentran las de tipo filamentosas, que al proliferar de forma excesiva generan el problema del *bulking*, que provoca dificultades como: hinchamiento de lodos y aparición de espumas en la superficie de los reactores biológicos que pueden propagarse a los procesos posteriores y, por ende, afectar la calidad del agua tratada (ver Figura 1); además de generar una deficiente sedimentabilidad de los lodos destinados a la deshidratación [2].

Dicha problemática tiene su origen bajo ciertas condiciones que pueden ser: anormales concentraciones de oxígeno disuelto, valores de pH inferiores a 7,5 [3] así como una baja relación alimento/microorganismo (F/M) ($0,05-0,15$ [$\text{kg DBO}/\text{kgSSV}_{\text{LM}}^* \text{día}$]) o tiempos de retención celular elevados superiores al rango normal de 20-30 días [4].

De manera que para enfrentar el problema de *bulking* y que la PTAR continúe trabajando con normalidad, la presente investigación planteó una caracterización fisicoquímica del influente y efluente de la planta para evaluar el cumplimiento de remoción de contaminantes, de igual manera se caracterizó y analizó el diseño junto al desempeño del biorreactor (operación unitaria donde se identificó el problema).

Consecuentemente, los datos recolectados fueron aprovechados para lograr establecer las causas para la formación y proliferación del *bulking*, así como sus efectos adversos en la PTAR. Y, por ende, se determinaron procedimientos de control operativo y de mantenimiento para el crecimiento de las bacterias filamentosas, adecuados desde el punto de vista técnico y económico.

2. METODOLOGÍA

La planta de tratamiento de aguas residuales de Quitumbe posee un tren de tratamiento que consta de: bombeo inicial, con un cárcamo y filtro de sólidos gruesos; pretratamiento, de cribado y desarenado-desengrasado; tratamiento biológico, compuesto por dos biorreactores y sedimentadores; y filtración mecánica previa a la desinfección. Se evidenció que había un problema al observarse espumas en ambos biorreactores, mismas que pasaron a las dos unidades de sedimentación (clarificadores) del proceso posterior (ver Figura 2).

En visitas realizadas los días 15 y 18 de junio de 2019, se observó el estado del reactor biológico (ver Figura 3); el cual presentaba espumas en su superficie, normales en el proceso, de no ser por su coloración marrón, espesor

y cobertura superficial mayor al 30%, que teóricamente indican la presencia excesiva de bacterias filamentosas, como puede ser la *Gordonia*, además, sugieren una elevada edad de lodos, por lo que se dedujo un posible evento de espumas relacionado al *bulking* (ver Figura 4).

Por lo que, con base en la información obtenida de la observación, se procedió a realizar la recolección de datos de la planta y análisis de éstos, como se verá en los siguientes puntos.

2.1 TOMA DE MUESTRAS

Debido a la gran cantidad de datos históricos entregados por la EPMAPS [6], únicamente se necesitó realizar un muestreo experimental durante una semana: «simple», para análisis microbiológico. Y «compuesto-integral» para los demás parámetros, siendo seleccionados para todos los puntos: DBO, DQO, tensoactivos y sólidos totales. Adicionalmente se obtuvo el índice de coliformes fecales (análisis microbiológico) al ingreso y salida de la PTAR.

Los puntos de muestreo elegidos fueron:

1. Compuerta de agua cruda (influyente de la ptar).
2. Ingreso del biorreactor.
3. Salida del biorreactor.
4. Efluente de la planta.

De esta manera se llevó a cabo un contraste de datos para verificar si la planta estaba cumpliendo con su objetivo de remoción de contaminantes en su efluente respecto al influente. Además, se caracterizó el influente y efluente del proceso unitario donde se evidenció el problema (reactor biológico), en cuanto a DBO, DQO, sólidos totales y tensoactivos, ya que los tres primeros son indicadores del metabolismo bacteriano, mientras que el último puede favorecer la generación de espumas.

En cuanto a la frecuencia de muestreo, se tomó al lunes (día de arranque de la planta), miércoles (día de operación normal) y sábado (día no-laboral), los cuales poseen características representativas de caudal y carga contaminante; proveyendo de suficientes datos para el estudio en cuestión.

2.2 ANÁLISIS DEL BIORREACTOR

La caracterización del reactor biológico se llevó a cabo para observar su eficiencia en remoción de DBO y DQO, además de observar lo que ocurriría con tensoactivos y sólidos a la entrada y salida del proceso. Los resultados dan información importante sobre la operación del biorreactor y sobre el proceso de bio-floculación y metabolismo bacteriano.

2.3 OXÍGENO DISUELTO

La generación de espumas, así como el *bulking* ocasionado por una población excesiva de bacterias filamentosas



Figura 1. Espumas sobrenadantes en los clarificadores.

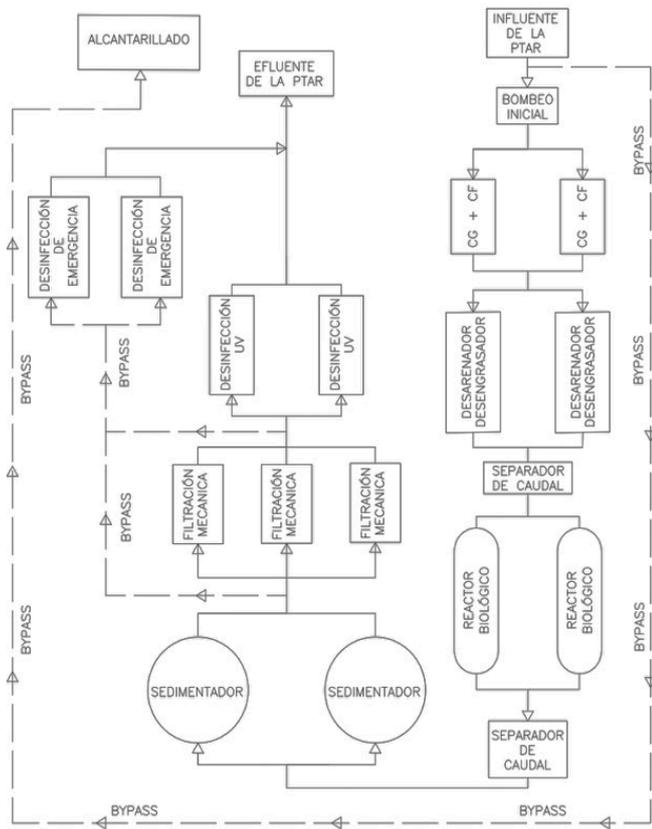


Figura 2. Procesos de tratamiento de la línea de agua [6].



Figura 3. Presencia de espumas en el reactor biológico.

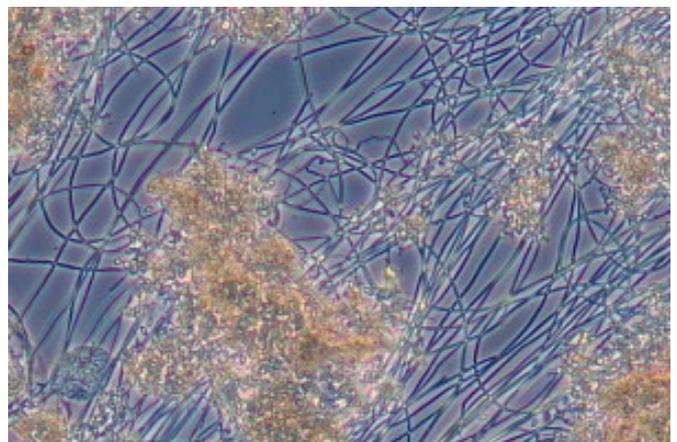


Figura 4. Bacteria filamentosa Gordonia [5].

pueden estar ligados a una sobreaireación del sistema o a una escasez de aire. Por lo que se revisaron gráficas con las concentraciones promedio diarias de meses asociados a la problemática.

Los límites para el análisis son: mínimo de 0,5 mg/L, y el rango normal en sistemas con nitrificación de 1,5-4,0 mg/L [7].

2.4 CURVA DE POTENCIAL REDOX

«La curva de potencial redox (eH, electrodo de hidrógeno), se usa principalmente como un indicador de diagnóstico de la progresión del proceso de nitrificación-desnitrificación y como un parámetro de control» [8]. Esto a través de la medición y conversión de la energía química de oxidación-reducción

Se analizó el 12 de junio de 2019 al ser el día más crítico. Determinar si el pH era bajo y afectaba al cultivo biológico, nos llevó a la mencionada curva de potencial redox, que a través del sistema SCADA es medido cada 5 minutos, y se relaciona con las mediciones de oxígeno disuelto y el pH.

2.5 REVISIÓN DEL DISEÑO

Comprender el funcionamiento del reactor biológico requería poder cuantificar de algún modo la diferencia entre el comportamiento que se esperaba para el reactor en las condiciones operativas para ese entonces y las que realmente se estaban dando para que el problema haya tenido lugar. Por lo que se calculó un modelo en función de parámetros según el tipo de sistema de tratamiento, información histórica del reactor biológico y observaciones del manual de operaciones.

El análisis se basó principalmente en el dimensionamiento del proceso unitario y la edad de lodos, calculados para datos de caudal y carga contaminante de la planta y ajustado dentro de los rangos normales para un proceso de lodos activados por aireación extendida.

Volumen del reactor biológico:

$$V = \frac{DBO_5 * Q}{SSV_{LM} * C_m} \quad (1)$$

Donde:

v = volumen del reactor [m³]

DBO₅ = concentración de DBO en el influente [kg DBO₅/m³]

Q = caudal a tratar [m³/día]

SSV_{LM} = concentración de sólidos suspendidos volátiles del licor de mezcla [kg ssv_{LM}/m³]

cm = carga másica [kg DBO₅/kg ssv_{LM} * día]

Edad de lodos:

$$\theta_c = \frac{V * SSV_{LM}}{[(Q_{purga} * SSV_{purga}) + (Q_{efluente} * S_{efluente})]} \quad (2)$$

Donde:

θ_c = edad de lodos [días]

v = volumen del reactor [m³]

SSV_{LM} = concentración de sólidos suspendidos volátiles del licor de mezcla [kg ssv_{LM}/m³]

Q_{purga} = caudal de purga [m³/hora]

SSV_{purga} = concentración de ssv en la purga de lodo [kg/m³]

Q_{efluente} = caudal del efluente [m³/hora]

SSV_{efluente} = concentración de ssv en el efluente [kg/m³]

2.6 ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL) Y RELACIÓN ALIMENTO/MICROORGANISMOS (F/M)

El IVL, es el cociente entre los sólidos suspendidos totales en el reactor biológico (SST_{LM}) en mg/L y el dato obtenido de la prueba de sedimentabilidad de los lodos expresado en mL/L en un tiempo de 30 min [9]. Dato que se recoge diariamente en la PTAR.

Índice volumétrico de lodos:

$$IVL = \frac{V_{30}}{SST_{LM}} * 1000 \left(\frac{mL}{g} \right) \quad (3)$$

Donde:

IVL = índice volumétrico de lodos [mL/g]

v₃₀ = volumen de decantación en 30 minutos [mL/L]

SST_{LM} = concentración de SST en el licor mezcla [g/mL]

El llamado factor de carga o relación

$$\frac{\text{alimento}}{\text{microorganismos}} \left(\frac{F}{M} \right)$$

Es el más significativo de los parámetros para medir el nivel de carga del proceso de lodos activados, «esta relación ayuda a mantener un balance adecuado entre la cantidad de nutrientes disponibles y la cantidad de microorganismos en el reactor aerobio» [10]. Los valores típicos de esta relación varían entre 0,05-0,15 para DBO en aireación extendida (ver Tabla 1).

Relación F/M:

$$F / M = \frac{S_o}{\theta * SSV_{LM}} \quad (4)$$

Donde:

F/M = relación F/M [kgDBO/kgSSVLM * día]

S_o = concentración de DBO en el afluente [kg/m³]

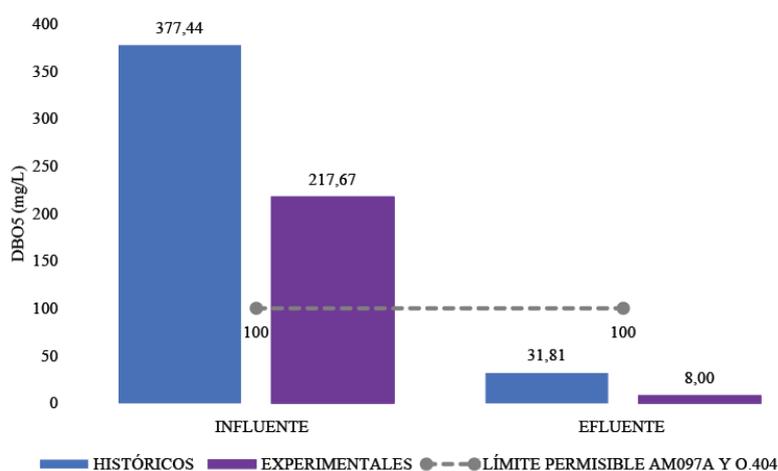
θ = tiempo de retención hidráulica del biorreactor [día]

SSV_{LM} = concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación [kg/m³]

Tabla 1. Rangos y valores típicos de IVL

Sedimentabilidad	Valores para índice volumétrico de lodos	
	Rango	Típico
Óptima	0 - 50	45
Buena	50 - 100	75
Media	100 - 200	150
Pobre	200 - 300	250
Muy pobre	300 - 400	350

Nota: [11].

Figura 5. Contraste de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS

3.1.1 Remoción de contaminantes en la PTAR

Para mostrar los resultados obtenidos del muestreo experimental, en los puntos 1 y 4, se trazaron gráficas que en sus barras muestran las concentraciones históricas y experimentales para influente y efluente de la PTAR y rectas que señalan las concentraciones máximas permitidas por el Acuerdo Ministerial 097-A (AM097-A) y la Ordenanza Metropolitana 404 (0,404) a razón del emplazamiento de la PTAR (ver Figura 5).

De esta manera, en cuanto a la DBO, desde el inicio de operación se ha cumplido con el límite de descarga de 100 mg/L de ambas normativas. Mientras que en DQO se cumple con el límite más crítico de 160 mg/L (0,404) y, por ende, con los 200 mg/L que establece el AM097-A (ver Figura 6).

En cuanto a sólidos totales, tanto influente como efluente se encuentran por debajo del límite permisible más crítico (1200 mg/L) cumpliendo satisfactoriamente con la normativa (ver Figura 7).

Según datos históricos, los tensoactivos sobrepasan el valor permisible de 0,5 mg/L ínfimamente, sin embargo, en la experimentación sí se cumple con una remoción del 99,7% (ver Figura 8).

Finalmente, en cuanto a coliformes fecales, experimentalmente se cumplió con lo especificado en ambas normativas de una remoción superior al 99,9% (ver Figura 9).

3.1.2 Análisis del biorreactor

La caracterización del reactor biológico (puntos 2 y 3) reflejó que en cuanto a la DBO y DQO, existe una remoción que es complementada por los clarificadores, para llegar a un 80-95%; los valores de sólidos son normales, debido al proceso de biofloculación y metabolismo bacteriano, y son eliminados mediante sedimentación. Y los tensoactivos removidos ya indican concentraciones menores al límite normativo (ver Tabla 2).

3.1.3 Oxígeno disuelto

El 2019 fue el año en que se atestiguó la presencia de espumas, y junio el mes en que se dio una tendencia al aumento de oxígeno disuelto en el reactor A y gran disminución en

el B, debido a acciones correctivas para solucionar el problema. Se identificaron días críticos, como el 12 de junio, que mostró estados visiblemente opuestos entre ambos biorreactores, y del cual se partió para el análisis de dichas condiciones, pues ambos extremos crean condiciones favorables para que las espumas sobrenaden y las bacterias filamentosas perduren (ver Figura 10).

3.1.4 Potencial redox

Reactor biológico A

Para este reactor se muestra la curva verde de oxígeno disuelto. Las mediciones durante picos de carga contaminante son elevadas, superan los 4 mg/L. Durante la aireación, la materia orgánica se oxida y se produce la nitrificación, creciendo la curva azul debido al aumento del potencial redox, que se estabiliza hasta caer en la zona «de paro», donde el oxígeno decae, y las bacterias llevan a cabo la desnitrificación (ver Figura 11).

En la figura 12 se observa la curva púrpura de pH, a razón de oxidaciones y reducciones, que no varía fuera de 6,3 a 6,15; rango bajo, que «favorecería el crecimiento de bacterias filamentosas por su afinidad a los medios ácidos, y afectaría el de los microorganismos nitrificantes-desnitrificantes debido a su sensibilidad» [10] (ver Figura 12).

En consecuencia, la remoción de contaminantes bajo altas concentraciones de oxígeno no se da de manera más eficiente, sino que propicia la formación de espumas y acidifica el medio.

Reactor biológico B

En éste, se observa un comportamiento constante, específicamente en la curva de oxígeno disuelto de color verde donde se mantiene una concentración de alrededor de 0,5 mg/L, y sufre ligeros aumentos alrededor de las 12:00 h. y su elevación a las 21:00 horas (ver Figura 13).

Debido a estas bajas concentraciones de oxígeno disuelto, se obtienen resultados negativos de potencial redox, es decir, que se produjo una reducción en el agua basificándola, pero el pH siguió bajo (ver Figura 14).

Es así como, al mantener oxígeno y pH bajos, se estaría propiciando el desarrollo de bacterias filamentosas más que en sobre aireación; pues permite el desarrollo de sus filamentos, ya que éstas acaparan de mejor forma el oxígeno en bajas concentraciones.

En conclusión, el pH ligeramente bajo, teóricamente propicia el desarrollo desequilibrado de las bacterias filamentosas e inhibe el de las bacterias desnitrificantes.

3.1.5 Revisión del diseño

En la tabla 3 se muestran los resultados de los cálculos del modelo y de variaciones mínimas entre las columnas

de «Diseño calculado» y «Diseño existente». Esto permitió realizar la columna de «Condiciones operativas calculadas» y compararla con «Condiciones operativas actuales», ambas calculadas con datos proporcionados para el 2019.

Se concluyó que la purga de lodos para el caudal con que operaba la planta debía ser un 50% mayor, confirmando la observación anterior de una elevada edad de lodos (ver Tabla 3).

3.1.6 Índice volumétrico de lodos y relación (IVL) Alimento/Microorganismos (F/M)

A continuación, se presentan los resultados de IVL para el día 12 de junio de 2019, tanto para el reactor A como para el B.

$$IVL_A = 465.79 \text{ mL/g}$$

$$IVL_B = 482.89 \text{ mL/g}$$

Como se puede observar, en ambos reactores, el IVL sobrepasó los 300 mL/g, valor para el cual la sedimentabilidad ya es «muy pobre», es decir, sin duda hubo *bulking* (ver Figura 15).

Y como complemento, en base a datos históricos, se presentan las gráficas del IVL versus F/M para días entre los meses de enero y abril (ver Figura 16).

La relación entre estos es inversa, porque cuando el alimento escasea, las bacterias filamentosas lo identifican y proliferan mayormente para acapararlo, elevando el IVL, y pese a que incrementa, la relación F/M varía dentro del rango ideal para un proceso de aireación extendida. Se acota que el IVL es sensible al caudal de purga que denota nuevamente una relación entre la problemática y la edad de lodos. Estableciéndose como la causa raíz la edad del lodo que, según la operación al 2019, era aproximadamente de 43 días, siendo lo ideal 28, según el modelo calculado.

3.2 DISCUSIÓN

En la búsqueda de la causa raíz de la problemática, se llevó a cabo la metodología mencionada, la cual se basó en ir descartando posibles causas comúnmente relacionadas con la aparición del *bulking*, siendo analizado en primera instancia, el cumplimiento global de la PTAR que demostró una eficaz remoción de contaminantes en la correlación de datos experimentales e históricos, acorde a las normativas de referencia, lo cual indicó que el problema no generaba una deficiente remoción de contaminantes del reactor biológico, que fue el objetivo de la experimentación, sino que se focalizaba en los parámetros operativos que regulan este proceso unitario.

A partir de aquí se hizo un neto uso de los datos históricos obtenidos del reactor biológico, proporcionados por la EPMAPS [6], entre los cuales se encuentran: la

Figura 6. Contraste de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO)

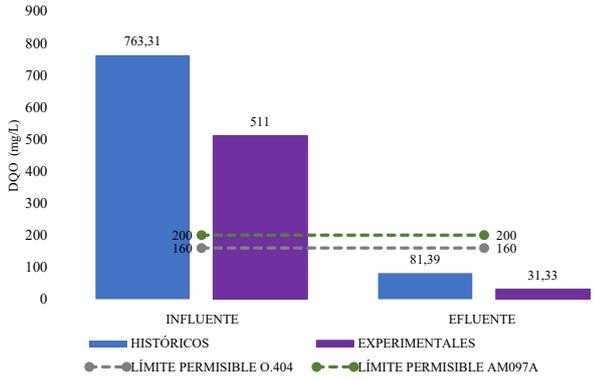


Figura 7. Contraste de remoción sólidos totales

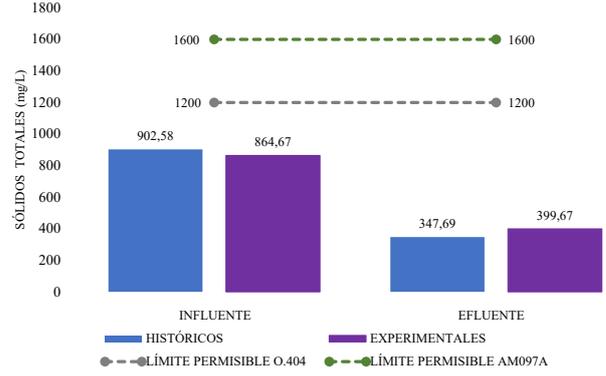


Figura 8. Contraste de remoción de tensoactivos

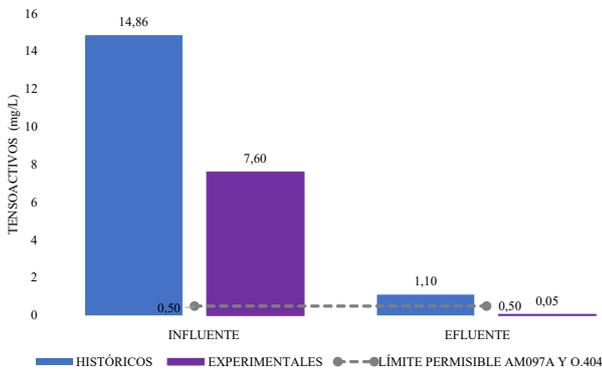


Figura 9. Remoción experimental de coliformes fecales

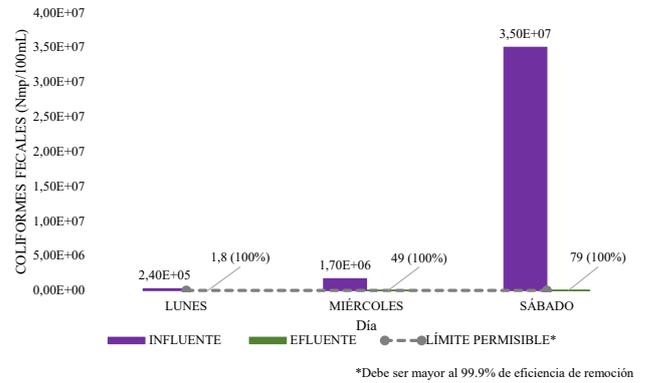


Figura 10. Concentraciones promedio de oxígeno disuelto para junio 2019

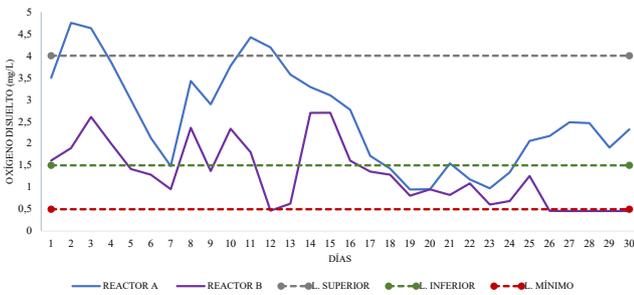


Figura 11. Potencial redox y oxígeno disuelto en función del tiempo. Reactor A (12 de junio de 2019)

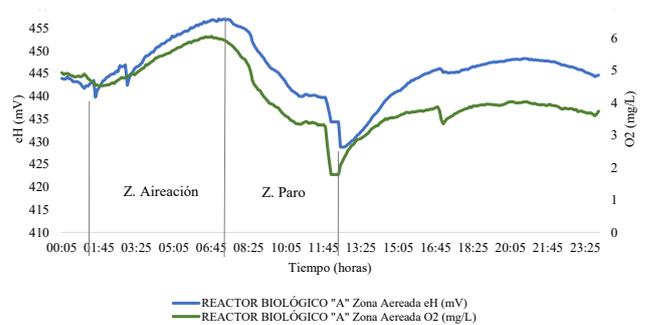


Figura 12. Potencial redox y pH en función del tiempo. Reactor a (12 de junio de 2019)

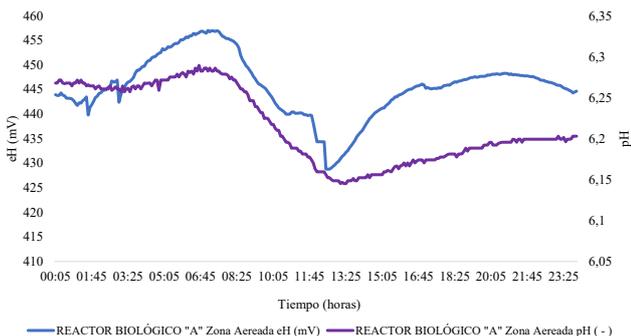
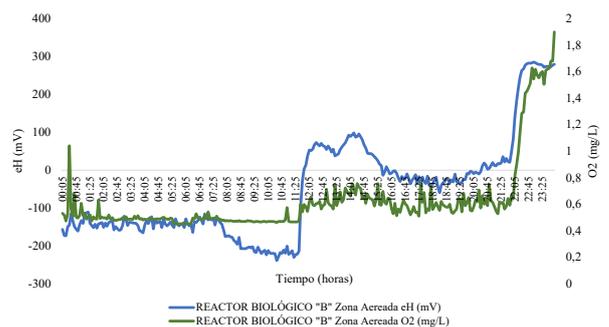


Figura 13. Potencial redox y oxígeno disuelto en función del tiempo. Reactor A (12 de junio de 2019)



obtención diaria de la velocidad de sedimentación (v_{30}), SSV_{LM} y SST_{LM} , concentraciones de oxígeno disuelto, potencial redox y pH.

En dicho proceso se suscitaron anomalías en la concentración de oxígeno disuelto y potencial redox medidas por el sistema SCADA, determinándose que existen variabilidades de oxígeno entre el biorreactor B respecto del A; llegándose a dar casos en que uno queda sobreaireado (concentración promedio mayor a 4 mg/L), y el otro en escasez (concentración promedio menor a 0,5 mg/L), lo cual es una causa netamente operativa debida a los intentos por solventar el problema en la que ambos extremos perjudican relativamente la sedimentación del lodo tratado (aumento del IVL) al crear condiciones favorables para el desarrollo elevado de bacterias filamentosas, responsables de los eventos de espumas. Además, de esta causa se deriva el pH ligeramente bajo, comprendido entre 6 y 6,5 en ambos biorreactores según el análisis, el cual nuevamente propicia el desarrollo desequilibrado de las bacterias filamentosas; mientras que una corrección hacia un pH de 7,5 a 9, podría disminuir el riesgo, estabilizando el cultivo biológico.

Por otro lado, el análisis de los demás parámetros inherentes al proceso de lodos activados por aireación extendida, tales como edad de lodo, caudal de purga, relación F/M, e IVL, y sus interrelaciones denotaron la causa raíz que se define en el tiempo de retención celular o edad de lodo, que según la operación de la planta al momento de la problemática era mayor a la necesaria, alargando la permanencia de las bacterias filamentosas y, por tanto, el hinchamiento de lodos (aumento del IVL), implicando menores porcentajes de materia seca obtenidos del proceso de deshidratación, debido a que no existió una correcta separación entre la fase sólida y líquida. Lo cual recae nuevamente en una causa netamente operativa que es un bajo caudal de purga.

Por lo tanto, definiéndose tras la revisión del diseño que la problemática tiene un carácter operativo y que el oxígeno disuelto requería volver a estabilizarse dentro del rango ideal, se establecen dos propuestas complementarias para optimizar la operación de la planta: la primera consiste en la adición de cal y la segunda se enfoca directamente en corregir el caudal de purga. Ambas atacan las causas mencionadas, sin embargo, la segunda se dirige a la raíz del problema y es la de mayor importancia, pero debería ser acompañada de la primera para eliminar las espumas, ya que las bacterias filamentosas son capaces de sobrevivir en las espumas emulsionadas durante varios meses, gracias a sus actividades exoenzimáticas; en consecuencia, si no se retiran eficazmente del sistema, los problemas en la PTAR podrían prolongarse en el tiempo.

3.2.1 Propuesta 1

Adición de cal

Consiste en la adición de cal, que produce una disminución del IVL y la formación de espumas, precipita contaminantes disueltos y controla el pH. Se aplica hidróxido de calcio en concentraciones de 10 a 30 mg/L a la entrada de cada unidad y se lo realizará de forma instantánea, es decir, en 1/30 del tiempo de retención hidráulico.

Dosificación de cal:

$$P = \frac{V * Co}{I * 10^3} \quad (5)$$

Donde:

P = peso de la cal por añadir al reactor [kg]

V = volumen útil del reactor [m³]

Co = concentración [mg/L]

I = grado de pureza de la cal [%]

Para una concentración de 10 mg/L y a razón de la pureza de la cal disponible en el país, de alrededor del 60%, se obtuvieron diarios para cada unidad. Teóricamente se aconseja que el tiempo de aplicación, sea de una edad a una edad y media de lodo, siendo en este caso 28 días, de los que se plantea hacerlo saltando uno para evitar taponamiento de difusores. Se debe «tomar muestras del licor de mezcla cada 3 días para observar el avance del control del *bulking*» [8], es decir, que dicho control servirá para evaluar si la concentración de cal es la adecuada dentro del rango sugerido y se hace mediante la medición del IVL en el licor de mezcla hasta que se establezca dentro del rango de sedimentabilidad óptimo (ver Tabla 4).

Dicho esto, tenemos en la tabla 5 el costo total de la propuesta. Cabe recalcar que, si bien se puede solucionar el problema por periodos de tiempo relativamente largos, no es una solución definitiva (ver Tabla 5).

3.2.2 Propuesta 2

Frecuencia de purga

El objetivo es corregir el tiempo de retención celular mediante la purga del exceso de lodo, influyendo positivamente en la calidad del efluente, en la sedimentación del licor de mezcla, manteniendo una buena relación F/M, y principalmente controlando la velocidad de crecimiento de las bacterias.

Las condiciones de operación actuales de la PTAR indican que para condiciones normales de operación existe un caudal de purga de 5 m³/hora. Este establece un tiempo de retención de 43 días.

Figura 14. Potencial redox y oxígeno disuelto en función del tiempo. Reactor B (12 de junio de 2019)

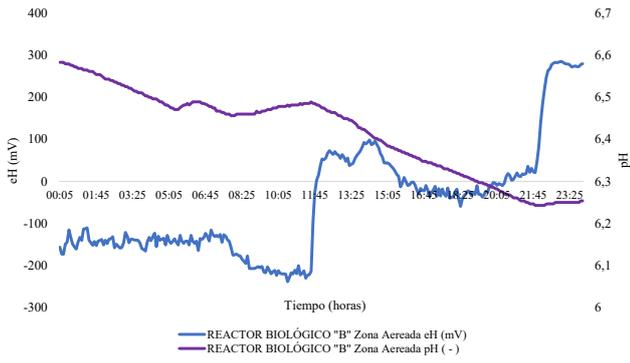


Figura 15. IVL y relación F/M. Reactor A

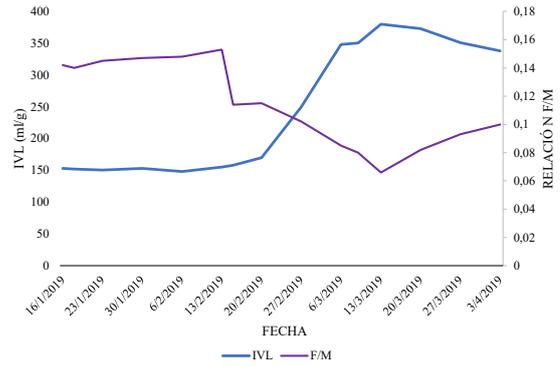


Figura 16. IVL y relación F/M. Reactor B

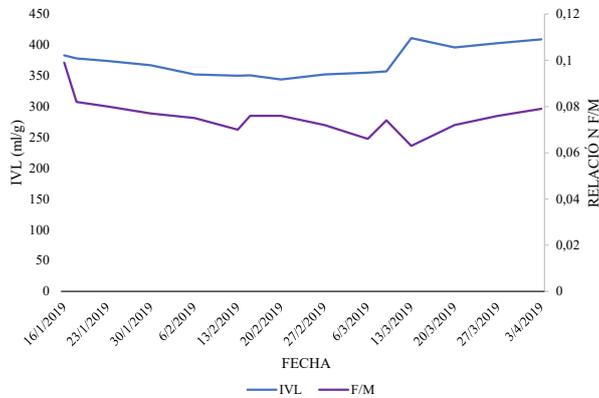


Tabla 2. Análisis del reactor biológico

Parámetros	PUNTO 2 (Ingreso al reactor biológico)	PUNTO 3 (Salida del reactor biológico)
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) [mg/L]	2.456,33	1.714,33
Demanda química de oxígeno (DQO) [mg/L]	12.585	8.450
Sólidos totales [mg/L]	6.666,67	9.110,67
Sustancias activas al azul de metileno (detergentes aniónicos) [mg/L]	0,06	0,02

Tabla 3. Resultados de la revisión del diseño

	Diseño calculado	Diseño existente	Condiciones operativas calculadas	Condiciones operativas actuales
Caudal medio (Qm) [m ³ /h]	392,04	392,04	-	-
Caudal actual (Qa) [m ³ /h]	270	270	270	270
Volumen por biorreactor [m ³]	5.901,517	6.080	6.080	6.080
Tiempo de retención hidráulico para Qm [horas]	15,05	15,3	-	-
Tiempo de retención hidráulico para Qa [horas]	21,86	22,52	22,52	22,52
Caudal de purga de fangos para Qa [m ³ /h]	7,65	-	7,65	5
Recirculación de fangos para Qa [%]	74,48	-	74,48	120
Tiempo de retención celular para Qa [días]	27,44	25	28,27	43,25

Tabla 4. Aplicación de cal para el control del *bulking*

Aplicación	
Agente químico	Hidróxido de calcio Ca(OH)_2
Dosis de aplicación	98 kg*biorreactor/día
Tiempo de aplicación	28 días (saltando un día)
Forma de aplicación	Adición directa sobre punto de entrada a cada biorreactor

Tabla 5. Presupuesto total para la adición de hidróxido de calcio

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (en USD)	Precio total (en USD)
A	INSUMOS				
A.1	Hidróxido de calcio (sacos de 25 kg) (incluye transporte)	N sacos	110	8	880

Tabla 6. Espesamiento y deshidratación en un día

Espesamiento y deshidratación en un día de operación normal	
Caudal de purga [m ³ /h]	7,65
Polímero [kg]	6,98
Lodos deshidratados [m ³]	7,344

Tabla 7. Presupuesto mensual para la frecuencia de purga

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (en USD)	Precio total (en USD)
A	INSUMOS				
A.1	Polielectrolito catiónico (sacos de 25 kg)	N sacos	9	6,25	56,25
B	TRANSPORTE				
B.1	Transporte de lodo a escombrera Cocotog 40 km (volqueta 15 m ³)	N de viajes	15	26,25	393,75
	Total (USD)				450

Sin embargo, con base en el tiempo de retención celular de 28 días especificado para condiciones de operación actuales calculadas, se establece que el caudal de purga debería ser de 7,65 m³/hora.

Según los datos del proceso de deshidratación de lodos, se necesitan 6,98 kg de polímero para producir 7,3 m³ de lodos deshidratados en un día de operaciones (ver Tabla 6).

Los rubros considerados son los mismos con los que la planta ha venido operando, tanto en insumos como transporte y disposición final en la escombrera de

Cocotog. Estimándose en la tabla el costo total para 1 mes de operación según resultados diarios obtenidos al 2019 (ver Tabla 7).

4. CONCLUSIONES

Se determinó que se cumple con los límites establecidos por ambas normativas en cuanto a DBO, DQO, sólidos totales, tensoactivos y coliformes fecales. Consecuente-

mente, la planta está cumpliendo su objetivo de remoción de contaminantes.

La eficiencia del reactor biológico determinó que se remueve efectivamente DBO y DQO, y los ST indican que se suscita el proceso de bio-floculación y metabolismo bacteriano propio de un tratamiento de lodos activados. Tras revisar el diseño, se concluyó que la problemática tiene origen operacional, generando desequilibrio en la concentración de oxígeno disuelto y pH, formación de espumas y una elevada edad de lodos, que propician la permanencia de espumas y el desarrollo de bacterias filamentosas. Por último, el cálculo de condiciones operativas indica que la purga de lodos es inferior a la que debería realizarse. Y que el tiempo de retención celular (43 días) es 1,5 veces mayor al calculado (28 días).

Se dedujeron dos propuestas de control; la primera usa cal como estabilizador para disminuir el IVL, mejorar la sedimentación, aumentar la alcalinidad, controlar la población de bacterias filamentosas y la formación de espumas, solucionando el problema por periodos de tiempo relativamente largos. La segunda determinó que la edad de lodo debe ser corregida con un caudal de purga de 7,65m³/h, mejorando la sedimentación de lodos, facilitando su espesamiento y deshidratación para su disposición final.

REFERENCIAS

- [1] J. Alzate, «Remoción biológica de nitrógeno por nitrificación y desnitrificación aeróbica en reactor de cargas secuenciales SBR», Tratto da Universidad Nacional de La Plata, 2019. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/84134/Documento_completo.pdf-PDFA2u.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [2] G. Salinas, «Control preventivo y correctivo del *bulking* filamentoso y espumas», tesis de ingeniero civil-químico Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2013. Recuperado el 21 de junio de 2019; primera edición: pp. 68-75. Disponible en: http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-8500/UCF8855_01.pdf
- [3] J. Carrera, «Eliminación biológica de nitrógeno en un efluente con alta carga», 2001, obtenido de Universitat Autònoma de Barcelona <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5299/jcm1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] Metcalf & Eddy, *Wastewater engineering: treatment and reuse*. McGraw Hill, 2003.
- [5] A. Zornoza, S. Serrano y J. L. Alonso, «Environmental ordination of filamentous», 2017.
- [6] EPMAAPS, *Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales Quitumbe*, Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento de Quito, 2018.
- [7] M. Carlini, *Problemas operacionales en plantas de tratamiento*, 2003, recuperado el 10 de julio de 2019; primera edición: pp.12-20 Disponible en: https://www.puntoambiental.com/informes/problemas_operacionales_en_plantas_de_tratamiento.pdf
- [8] K. Contreras Bernal, *Control de bulking filamentoso en procesos de lodos activados con aireación extendida*, tesis de ingeniero-civil químico, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2010. Recuperado el 21 de junio de 2019; primera edición: pp. 66-69. Disponible en: http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-1000/UCG1411_01.pdf
- [9] OSE, *Cálculos básicos para la operación de la PTAR Canelones*, 2016.
- [10] G. Buitrón, C. Reino y J. Carrera, *Manual técnico sobre tecnologías biológicas aerobias aplicadas al tratamiento de aguas residuales industriales*. Tratto da Programa Iberoamericano Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 2018, Recuperado de: http://www.cytcd.org/sites/default/files/tratamiento_aerobio_de_aguas_residuales.pdf
- [11] M. Von Sperling, «Dimensionamento de lodos ativados por batelada utilizando os principios da teoria da flujo de sólidos», Universidad Federal de Minas Gerais, 2001. Recuperado el 3 de julio de 2019 de Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG4website: http://aves_dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v6n34/v6n34a05.pdf



Análisis matemático de la supresión de impulsos tipo atmosférico en sistemas de distribución

Mathematical analysis of the suppression of atmospheric impulses in distribution systems

Josué Quimiz | [iD](#) Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador

Nathalie Guerra | [iD](#) Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador

Kléver Carrión | [iD](#) Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador

David Cárdenas | [iD](#) Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador

Carlos Chávez | [iD](#) Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador

HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recepción: 09/07/2021

Aceptación: 08/10/2021

PALABRAS CLAVE

Supresión de impulsos, óxido de zinc, pararrayos, varistor.

RESUMEN

Se realizó el estudio y análisis de la supresión de impulsos tipo atmosférico al pararrayo de un sistema de distribución eléctrica, basado en la comparación de resultados teóricos desarrollados con el software Matlab-Simulink y los experimentales realizados en el laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, con el objeto de entender el comportamiento eléctrico y matemático de la protección al sistema de distribución. Se utilizó el circuito equivalente del modelo dependiente de la frecuencia de la IEEE «Modeling of metal oxide surge arresters». El análisis matemático consistió en construir las ecuaciones del circuito equivalente y utilizar la herramienta de Matlab que extrapole con la mejor aproximación el comportamiento de las resistencias no lineales del pararrayo, además, se modeló el circuito generador de impulso atmosférico definido en las normas ANSI/IEEE Standard 4-1995 requerido para la supresión.

ARTICLE HISTORY

Received: 09/07/2021

Accepted: 08/10/2021

KEY WORDS

Pulse suppression, zinc oxide, lightning rod, varistor.

ABSTRACT

The study and analysis of the suppression of atmospheric impulses to the lightning rod of an Electrical Distribution System was carried out, based on the comparison of theoretical results developed with the Matlab - Simulink software and the experimental ones carried out in the High Voltage laboratory of the Salesian Polytechnic University of Ecuador, in order to understand the electrical and mathematical behavior of the protection to the distribution system. The equivalent circuit of the IEEE frequency-dependent model «Modeling of metal oxide surge arresters» was used. The mathematical analysis consisted in constructing the equations of the equivalent circuit and using the Matlab tool that extrapolates with the best approximation the behavior of the nonlinear resistances of the beam, in addition, the atmospheric impulse generating circuit defined in the ANSI/IEEE Standard 4-1995 standards required for suppression was modeled.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad es más frecuente encontrarse con problemas relacionados a las descargas tipo atmosféricas que se producen en los sistemas de distribución. Estas descargas transitorias son generadas por las cargas de un campo eléctrico que se ha creado entre una nube y la tierra o entre nubes, los cuales ocasionan problemas

que afectan el continuo servicio de energía [1], por ello se desarrolló este proyecto enfocándose en los siguientes parámetros:

Se abordó la importancia del riesgo que se produce por la sobretensión en los sistemas de energía que puede causar serios daños al aislamiento de los equipos. El rayo

puede causar un aumento de sobretensión de dos formas en un sistema de energía: La primera mediante una descarga directa a la fase, y el segundo por una descarga cercana a la tierra que se traduce en un aumento inducido en el sistema.

El pararrayos protege a los sistemas de energía, tanto de la descarga directa e indirecta del rayo, desviando la descarga y su energía a tierra. El pararrayos reduce a un nivel de voltaje adecuado generado por la corriente que fluye por la red para no dañar el equipo.

Se utilizó un modelo de circuito eléctrico para el análisis teórico matemático de respuesta a los transientes de voltaje que se generan mediante un circuito generador de impulso de voltaje y un modelo de circuito descargador de sobretensión.

Respuestas de señal que se analizan mediante la aplicación de Matlab-Simulink, de supresión de transiente, aplicado en media tensión, obteniéndose porcentaje de error al comparar los impulsos de voltaje simulado y experimental con las respectivas señales de supresión al impulso experimental y simulado, respectivamente en referencia al pararrayo real valvular de óxido de zinc.

2. MÉTODO

DESCARGAS TIPO ATMOSFÉRICAS

Según [2], las descargas atmosféricas se originan de nubes cargadas eléctricamente, las que generalmente contienen cargas positivas en la parte superior y cargas negativas en la parte inferior. Como resultado de estas cargas, se generan campos eléctricos dentro de las nubes, entre nubes y entre éstas y tierra.

PARARRAYOS

Los pararrayos son dispositivos cuya misión es limitar las sobretensiones en los sistemas en los que están instalados, protegiendo al resto de los equipos. Durante la explotación normal del sistema, a través de los pararrayos sólo circula una pequeña corriente de fuga (del orden de unos pocos mA). Sin embargo, cuando aparece una sobretensión en el sistema, los pararrayos derivan a tierra la sobre intensidad asociada, limitando la tensión a valores que pueda soportar los equipos [3].

En la tabla 1 se resumen las principales características de los pararrayos de ZnO comparados con los de SiC (ver Tablas 1 y 2). En forma general, pueden resumirse a continuación las ventajas que estos dispositivos tienen con respecto a los del tipo auto valvular [4].

- Mejoran los márgenes de protección
- Mayor capacidad térmica
- Construcción más sencilla al no tener entrehierros

- Tamaño y peso reducido
- Mejor comportamiento en zonas contaminadas

La característica tensión-intensidad de la zona no lineal (ver Figura 1) para un varistor de resistencia variable viene expresada en general según la siguiente ecuación [5]:

$$I = \beta \cdot U^\alpha \quad (1)$$

Donde el factor β depende del material y del proceso de fabricación, y es controlado por la geometría del elemento, siendo directamente proporcional a la sección del elemento e inversamente proporcional a la longitud del mismo. Una medida de la no-linealidad entre corriente y tensión es el exponente α (coeficiente de no-linealidad), cuyo valor depende de las características del material. Para el SiC, este factor α está comprendido entre 2 y 6, mientras que para el ZnO puede alcanzar valores comprendidos entre 20 y 50. Por tanto, el ZnO presenta mayor no-linealidad que el SiC.

En la característica de la figura se distinguen tres regiones de operación [7]:

- Región 1: Predescarga, prerruptura o lineal
- Región 2: Región de descarga, ruptura o no lineal
- Región 3: Alta descarga o alta corriente (ver Figura 2)

MODELO DEPENDIENTE DE LA FRECUENCIA IEEE [8].

Se muestra en la figura 3 el modelo de la frecuencia propuesto por la IEEE, compuesto por 2 resistencias no lineales A0 y A1 (ver Figura 3).

RELACIÓN TENSIÓN-INTENSIDAD DEL MODELO [8]

En la tabla 3 se muestran los valores en kV de cada resistencia no lineal A0 y A1 [9]. Para este análisis se obtuvo por medio de cálculos los valores de las resistencias A0 y A1 en este tipo de pararrayos [10] (ver Tabla 3). Se realizó el impulso de tensión tipo rayo normalizado con un tiempo de subida hasta el valor de cresta de 1,2 μ s y un tiempo de cola de 50 μ s (forma de onda que se utilizó para crear el modelo de la descarga eléctrica) (ver Figura 4).

TABLAS DEL PARARRAYOS PDV-100 OPTIMA [12]

El pararrayos de óxido de zinc que utilizamos es el PDV100-óptima de 10 kA para realizar las pruebas en el laboratorio y para ello necesitamos los valores del fabricante, que se muestran a continuación en la tabla 4 de las características eléctricas y tabla 5 de las características físicas (ver Tablas 4, 5).

Tabla 1. Comparación entre los pararrayos de ZnO y SiC

Carburo de silicio	Óxido de zinc
Requiere entrehierros.	No requiere entrehierros.
Debe llegar a una tensión de chispeo para descargar la energía debida a una sobretensión.	Al no tener entrehierros conduce la corriente de descarga de forma inmediata después que se presenta una sobretensión.
Bajo condiciones normales de operación es insensible al medio ambiente.	Es relativamente insensible al medio ambiente; sin embargo, es muy sensible a la temperatura, siendo esta por tanto una variable muy importante en su diseño.

Tabla 2. Tensiones nominales para las clases de pararrayos

Distribución	1	3	6	9	10	12	15	18	21	25	27	30
Intermedios	3	6	9	1	1	2	2	3	3	3	4	6
Estación				2	5	1	4	0	6	9	8	0

Tabla 3. Valores de las resistencias A0 y A1

Resistencia A0			Resistencia A1		
kA	V(pu)	V(kV)	kA	V(pu)	V(kV)
0,01	1,4	27,65			
0,1	1,54	30,415	0,1	1,23	24,293
1	1,68	33,18	1	1,36	26,86
2	1,74	34,365	2	1,43	28,243
4	1,8	35,55	4	1,48	29,23
6	1,82	35,945	6	1,5	29,625
8	1,87	36,936	8	1,53	30,218
10	1,9	37,525	10	1,55	30,613
12	1,93	38,118	12	1,56	30,81
14	1,97	38,908	14	1,58	31,205
16	2	39,5	16	1,59	31,403
18	2,05	40,488	18	1,6	31,6
20	2,1	41,475	20	1,61	31,798

Tabla 4. Características físicas

Características físicas			
Trabajo pesado PDV 100-óptima			
Voltaje nominal		kV	10
mCOV		kV	8,4
Número de catálogo de unidad		-	213709
Altura con soporte de base aislante		pulgadas	8,7
Distancia de fuga terminal a base		pulgadas	14,4
Limpieza de montaje	Línea central a línea central	pulgadas	6,2
	Línea central a tierra	pulgadas	4,2
Pesos netos aproximados	Unidad	Libra	2,8
	Unidad con soporte de base aislante	Libra	3,8
	Unidad con soporte de base aislante y soporte	Libra	6,3

Tabla 5. Características eléctricas

Trabajo pesado PDV100-óptima	Características eléctricas		
Voltaje nominal		kV	10
MCOV		kV	8,4
Número de catálogo de unidad		-	213709
0,5 μsec 10 kA máximo IR-kV ⁽¹⁾		-	34
500 A máximo de sobretensión de conmutación IR-kV ⁽²⁾		-	24,4
8/20 descarga máxima de voltaje - kV	1,5	kA	25,4
	3	kA	27,1
	5	kA	28,8
	10	kA	31,6
	20	kA	35,6
	40	kA	42,3

Tabla 6. Comparativo de valores obtenidos con/sin pararrayos

mm	Sin pararrayos		Con pararrayos	
	VpDC V osciloscopio	VpDC kV calculado *4000	VpDC V osciloscopio	VpDC kV calculado *4000
5	8,16	32640	8	32000
7,5	11,28	45120	9,92	39680
10	13,76	55040	10,64	42560
12	15,12	60480	10,64	42560

Figura 1. Comparación de resistencias no lineales [6]

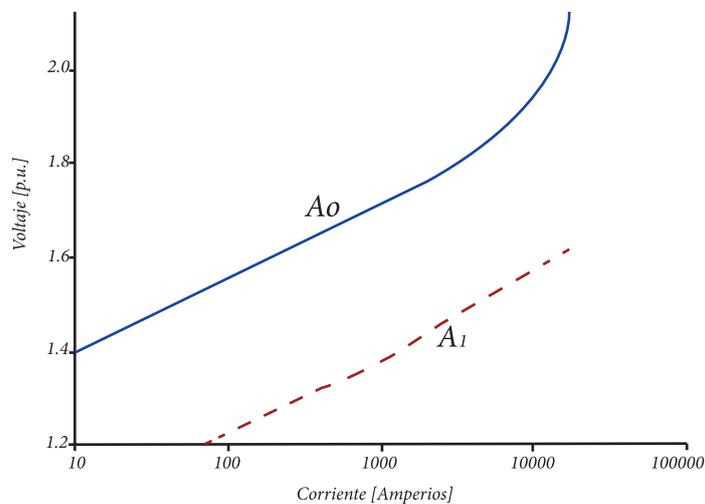


Figura 2. Característica tensión-intensidad de los pararrayos de ZnO y SiC

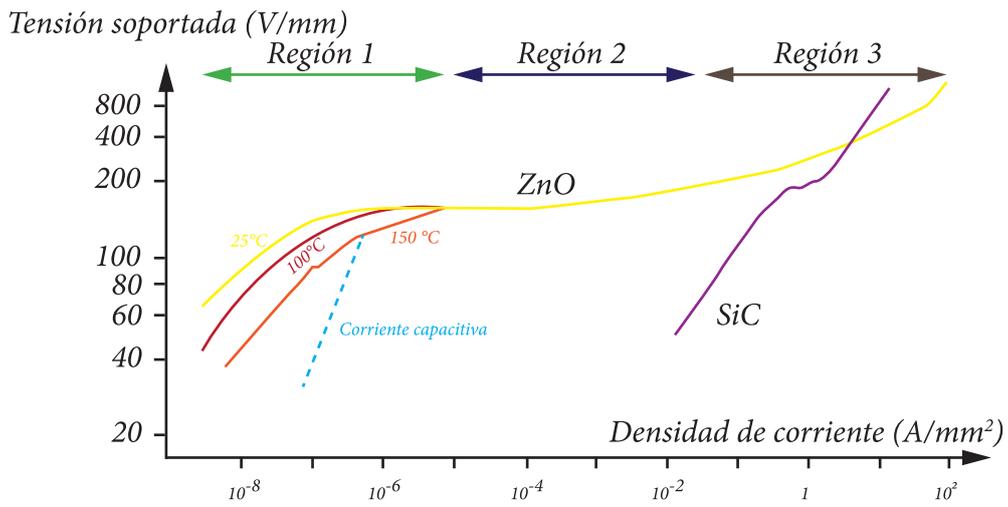


Figura 3. Modelo de la frecuencia [6]

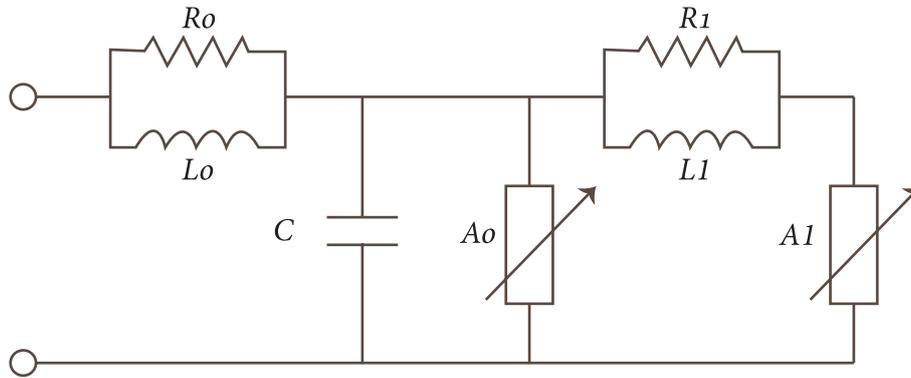


Figura 4. Onda normalizada de $1.2 \times 50 \mu\text{seg}$ [11]

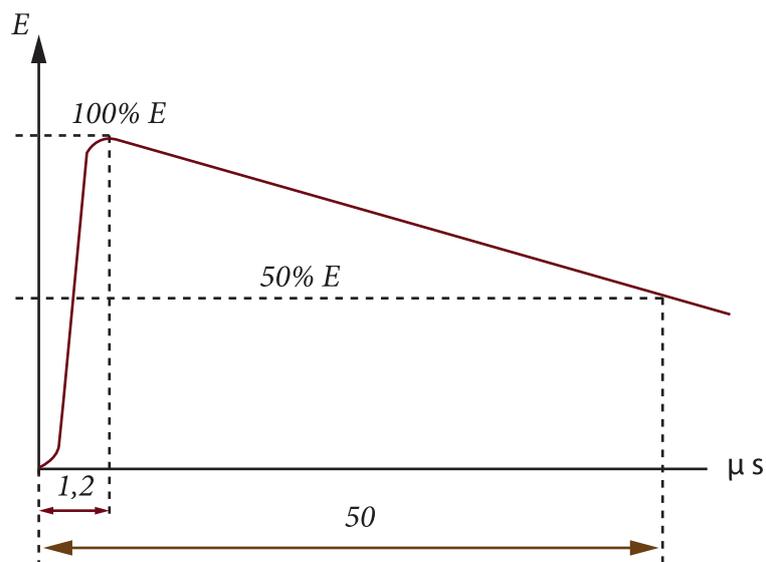


Figura 5. Circuito del impulso de voltaje tipo rayo

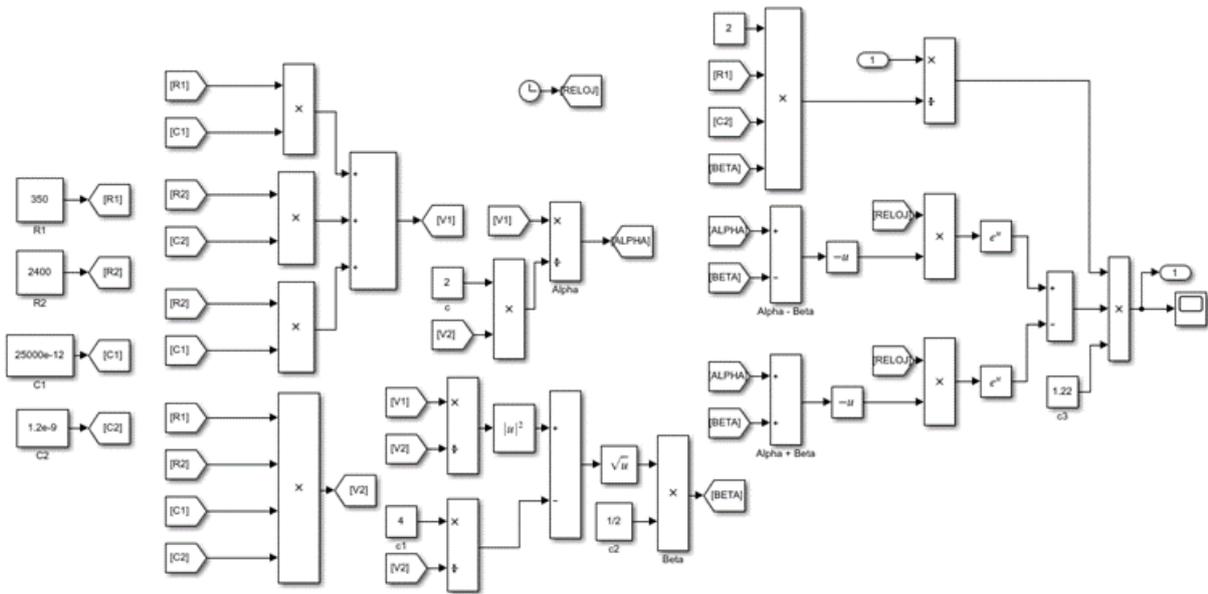


Figura 6. Impulso de voltaje tipo rayo

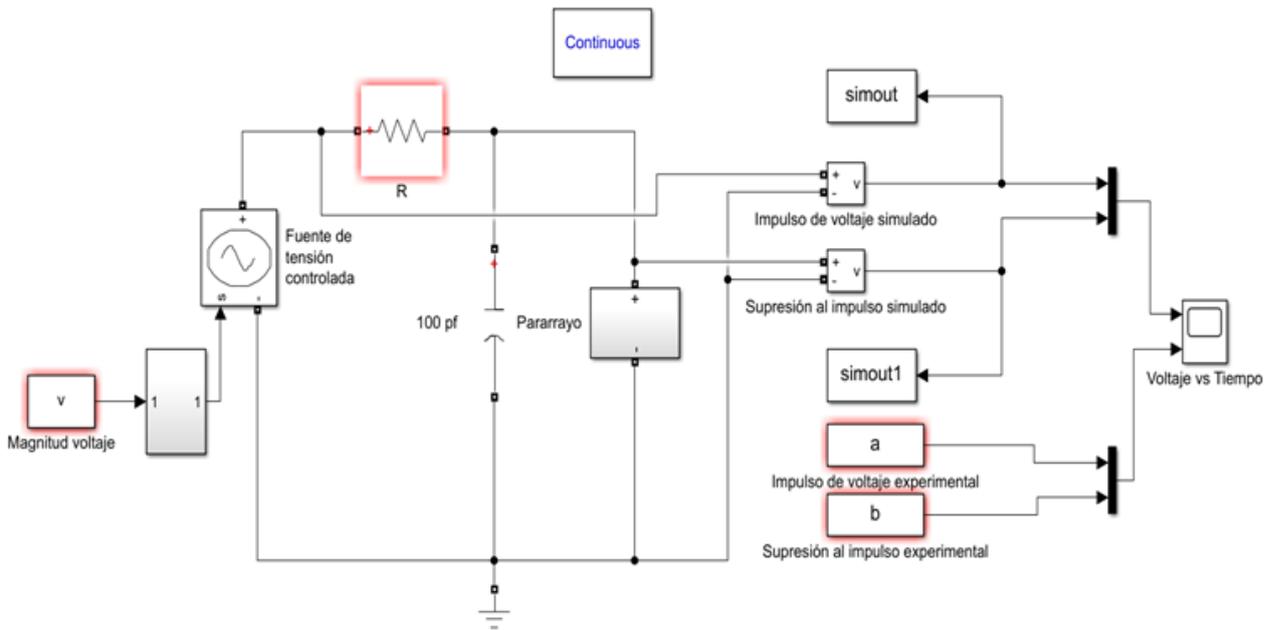


Figura 7. Circuito generador de impulso sin pararrayos

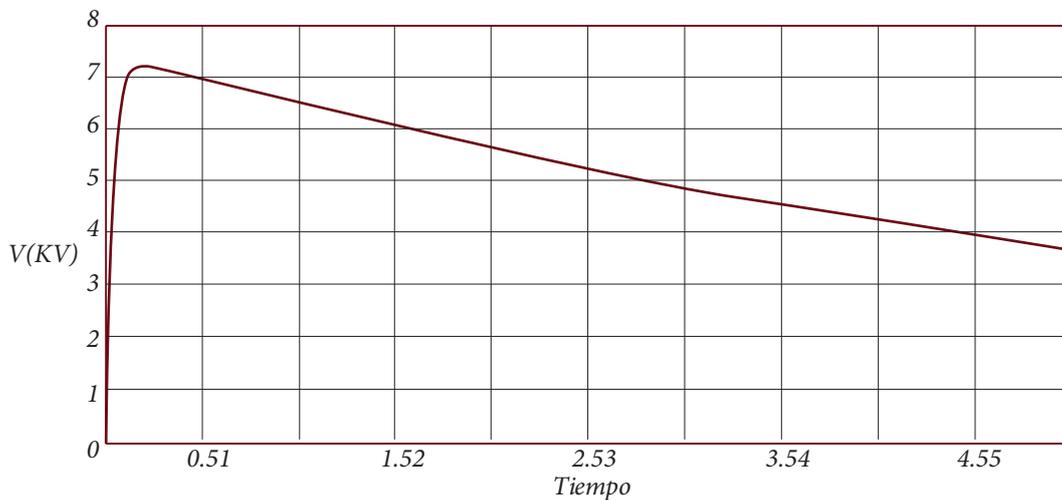
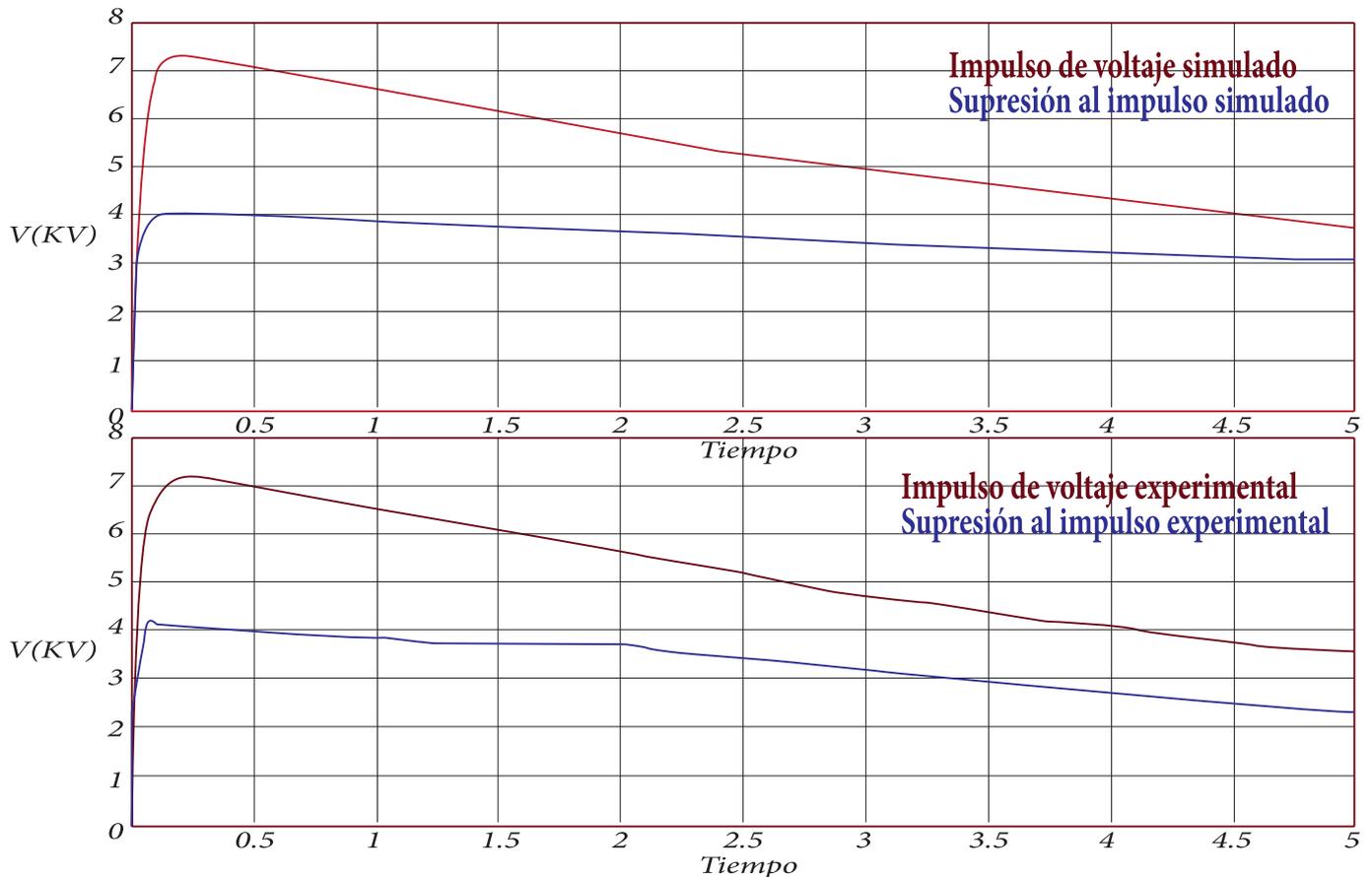


Figura 8. Supresión del impulso tipo rayo



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

SIMULACIÓN

Se realiza la solución del circuito propuesto en la figura 3, utilizando Kirchhoff y ley de Ohmm, obteniendo las respectivas ecuaciones algebraicas mediante Laplace, ecuaciones que servirán para la simulación en las aplicaciones de Matlab/Simulink.

Se realizó el circuito de impulso de voltaje tipo rayo 1,2/50 μ s 32 KV, mostramos diseño creado en Simulink que luego se creará en un subsistema, como se muestra en la figura 5 (ver Figura 5). También, una simulación de la supresión de impulsos de voltaje tipo atmosféricos (ver Figura 6).

En las figuras que se muestran a continuación, se puede observar el trabajo de atenuación de impulso que realiza el pararrayos.

La figura 7, muestra las señales obtenidas con la simulación del circuito generador de impulsos sin pararrayos (ver Figura 7).

La figura 8 muestra la señal obtenida con la simulación del circuito generador de impulsos con pararrayos, la supresión del impulso, tanto teórico como práctico (ver Figura 8).

4. CONCLUSIONES

Se alcanzó el objetivo de implementar 2 modelos de pararrayos en el programa Matlab-Simulink, con base en los datos generados por el fabricante, el primero es el equivalente eléctrico de un pararrayos propuesto por la IEEE W.G.3.4.11 y el segundo un modelo que consiste en una resistencia no lineal de Mathworks.

Se plantearon las ecuaciones utilizando las leyes de voltaje de Kirchhoff (nodos) y se modeló en el programa Matlab-Simulink, dando como resultado la curva característica del comportamiento no lineal del elemento. Esta curva nos ayudó a encontrar el valor de la resistencia en el momento en que se realizó la prueba en el laboratorio con una fuente de voltaje de impulso de 1,2 a 50 μ s.

Se planteó el circuito generador de impulsos en el programa Matlab-Simulink obtenido del resultado esperado según la validación de la práctica donde se conectó al pararrayos y se obtuvo la supresión de valores medidos con una separación de esferas de 5, 7.5, 10, 12 y 14 mm, se comparó en Matlab, con el 6% de error para el impulso de voltaje.

La tabla 6 muestra los valores obtenidos experimentalmente, los valores calculados mediante el circuito generador de impulsos de voltaje tipo rayo, estos valores

obtenidos corresponden a la parte experimental y simulada, utilizando el pararrayos y sin utilizar el pararrayos.

Con estas pruebas se pueden obtener la supresión de impulsos tipo atmosféricas de otros pararrayos, con sus respectivas tablas y cálculos correspondientes para realizar un estudio más profundo y en aplicaciones a futuro.

REFERENCIAS

- [1] A. Aguirre, A. A., Diseño del manual de procedimientos de prácticas para el laboratorio de alta tensión de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, 2015.
- [2] Q. Jiang, X. Li, B. Wang and H. Wang, PMU-based fault location using voltage measurements in large transmission networks. *IEEE transactions on power delivery*, 27(3), 1644-1652, 2012.
- [3] J. F. Lazo Cárdenas y N. A. Vélez Tenemaza, Estudio para la implementación de pararrayos en sistemas de distribución de media tensión (Bachelor's thesis), 2016.
- [4] J. P. Guacho Vizuete y E. J. Gutiérrez Navas, Estudio de factibilidad de un plan de contingencia ante una posible suspensión de energía eléctrica en la ciudad de baños frente a un desastre natural a nivel de 13.8 kv en la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte SA (Bachelor's thesis, LATACUNGA/UTC), 2015.
- [5] L. Aguas Romero and R. Jiménez Chinchilla, Guía de trabajos independientes para sistemas eléctricos de potencia (Doctoral dissertation, Universidad de la Costa CUC), 2013.
- [6] T. o. P. D. IEEE, «Modeling of metal oxide surge arresters», vol. 7, no. 1, pp. 302-309, Jan 1992.
- [7] A. H. Rojas, Sistema de protecciones contra descargas atmosféricas en la línea eléctrica de la mina Yagrumaje. Cuba, 2012.
- [8] J. A. Velasco, Coordinación de aislamiento en redes eléctricas de alta tensión. España: McGraw-Hill España, 2013.
- [9] M. S. Naidu and V. Kamaraju, High voltage engineering. Tata McGraw-Hill Education, 2013.
- [10] F. Fernández and R. Díaz, Metal-oxide surge arrester model for fast transient simulations, 2001
- [11] Coordinación de aislamiento. Parte 1: Definiciones, principios y reglas, Norma UNE-EN 60071-1
- [12] M. Nafar, G. B. Gharehpetian and T. Niknam, A novel parameter estimation method for metal oxide surge arrester models. *Sadhana*, 36(6), 941-961, 2011.



Accidentabilidad laboral en el sector de la construcción: Ecuador, período 2016-2019

Work accident in the construction sector: Ecuador, period 2016-2019

Kelly Morales | [iD](#) Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Génesis Pacheco | [iD](#) Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Paulina Viera | [iD](#) Universidad Central del Ecuador, Ecuador)/Universitat Politècnica de València, España

HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recepción: 21/07/2021
Aceptación: 09/09/2021

PALABRAS CLAVE

Accidentabilidad laboral, sector de la construcción, estadística, trabajador.

ARTICLE HISTORY

Received: 21/07/2021
Accepted: 09/09/2021

KEY WORDS

Work accident, construction industry, statistics, worker.

RESUMEN

El sector de la construcción es uno de los más importantes en el país, pues genera empleo e inversión. Sin embargo, poco se conoce de la tipología y causas de los accidentes que suceden durante la ejecución de esta actividad. El objetivo de esta investigación es realizar un análisis de datos obtenidos de fuentes oficiales de la accidentalidad en el sector de la construcción en el período 2016-2020, buscando relacionarlos con aspectos como el género, edad, tipo de trabajo, lugar de ocurrencia, tipos de riesgo, ubicación y la naturaleza de las lesiones. Se observa que el mayor número de accidentes ocurrió en 2018, en su mayoría a hombres de entre 25 y 44 años de edad, en el centro o lugar de trabajo habitual. Las heridas más comunes fueron fracturas en las extremidades superiores. La mayoría de accidentes en construcción ocurren los lunes en la mañana, principalmente en Guayas y Pichincha.

ABSTRACT

The construction industry is one of the most important in the country, because it generates employment and investment. However, little is known about the accidents' typology and causes that occur during the performance of this activity. The objective of this research is analysis the data obtained from official sources of accidents in the construction industry at the period 2016-2020, looking to relate them to aspects such as gender, age, type of work, place of occurrence, risks, location and injuries nature. Noting that the highest number of accidents occurred at 2018, mostly to men between the age of 25 and 44 years, in the center or usual workplace. The most common injuries are fractures in the upper extremities. Most of the work accidents occur on Monday mornings, mainly in Guayas and Pichincha.

I. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción es un pilar fundamental en la economía del Ecuador; según el INEC, en 2019 el sector generó más de medio millón de plazas de trabajo [1] [2]. El dinero invertido en construcción es multiplicado en industria, transporte, comunicaciones, alimentación y servicios de diferente clase [3]. Sin embargo, en esta

actividad existe bajo nivel de instrucción y calificación ocupacional, así como escasez de mano de obra calificada, especialmente profesionales y técnicos [4]. Por ello, el objetivo de la presente investigación es realizar un análisis estadístico que relacione la accidentabilidad en el sector de la construcción con determinadas varia-

bles, tales como el género, edad, tipo de trabajo, lugar de ocurrencia, riesgos y ubicación de las lesiones ocurridas en los trabajadores. Con la finalidad de brindar información válida para que los diferentes estamentos del sector de la construcción puedan tomar las medidas que mejor convengan, teniendo en cuenta el tipo de edificación que se realice, el lugar y temporalidad de ejecución de éstas y las características de los trabajadores.

En 2015, según la Organización Internacional del Trabajo, aproximadamente 6400 personas murieron diariamente por accidentes o enfermedades relacionadas al trabajo, y 86.000 personas sufrieron lesiones por motivos laborales [5]. Cerca del 3% de estas cifras ocurrieron en el sector de la construcción, el cual está ubicado entre las primeras 10 actividades que generan más accidentes laborales en el Ecuador [6].

La construcción es un sector estratégico y fundamental para la reactivación económica del Ecuador [7], pero también es de los sectores más peligrosos [8], debido a la complejidad de sus trabajos y diversificación de sus operarios; la mano de obra es vulnerable y, a su vez, necesaria para producir construcciones de manera eficiente [9]. En este sentido, la seguridad y la salud de los trabajadores se encuentra íntimamente ligada al proceso de desarrollo socioeconómico del país [10]. Por ello, un ambiente de trabajo sano y seguro, donde se promueva el uso y cumplimiento de reglamentos y normas para preservar la integridad de los trabajadores, es importante.

En 2014, el Departamento de Normas Internacionales del Trabajo, perteneciente a la ONU, generó la *Guía sobre las normas internacionales del trabajo*, donde se presentan puntos clave y de manera sintética, explica procedimientos y artículos de su constitución, refiriendo obligaciones y derechos de los trabajadores, relacionados a su salud y seguridad (Recomendación N.º 175), citando también que cada país adoptará más parámetros, de ser necesarios, dependiendo de sus condiciones [11].

En el *Reglamento de seguridad para la construcción y obras públicas* del Ecuador de 2008, se establece que debe existir un registro y estadística de cada accidente con la finalidad de retroalimentar los programas preventivos [12]. El encargado de elaborar esta base de datos es el Seguro General de Riesgos del Trabajo (SGRT), perteneciente al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El alcance de esta investigación está dado por los datos brindados por parte del Seguro General de Riesgos del Trabajo del IESS, organización que provee de los datos informativos referentes a la accidentabilidad en Ecuador en sus boletines estadísticos. Para obtener la información del período 2016-2020 se solicitaron las estadísticas de la accidentabilidad en Ecuador en este período. Esta información fue recopilada en un programa informático de

hojas de cálculo electrónicas (*Excel*).

Los aspectos como el género, edad, tipo de trabajo, lugar de ocurrencia, tipos de riesgo, ubicación y naturaleza de las lesiones que se muestran en la presente investigación, son los datos que se pudieron obtener por parte de la institución.

De igual forma, se han analizado diferentes trabajos relacionados a la accidentabilidad en el sector de la construcción en Ecuador, como *Impacto de accidentes laborales en el sector de la construcción en la ciudad de Quito* [13], que fue realizado en el año 2018. En este estudio, a través de datos obtenidos en diferentes constructoras, se determina los tipos de riesgos y accidentes ocurridos en el D. M. de Quito, y concluye que la accidentabilidad en Quito ocurre con mayor frecuencia por riesgos mecánicos y riesgos psicológicos, así como por falta de conocimiento y precaución del trabajador [13]; también se ha analizado el artículo propuesto por Ordóñez, Garcés y Martínez «Modelo cuantitativo de riesgos laborales para el sector de la construcción en el Ecuador», el cual concluye que en el período 2007-2011 existió un incremento de los accidentes reportados debido a que se incrementó el número de afiliados al Seguro Social relacionados al sector de la construcción, estos accidentes representaron el 10% del Producto Interno Bruto. Además, los autores, concluyeron que existe baja información estadística de los accidentes laborales en el sector de la construcción en el Ecuador [9].

Debido a que la bibliografía referente a la accidentabilidad en el sector de la construcción en el país es baja, se tomaron de referencia artículos internacionales [14]; así, por ejemplo: «Análisis y clasificación iberoamericana de la accidentabilidad laboral en la industria de la construcción civil», en el cual se destaca que, a pesar de poseer los datos de organismos oficiales, éstos no pueden representar del todo la realidad de la industria, debido a la gran informalidad, y donde se recomienda la estandarización y potenciación de los datos como en el caso de Argentina, Chile o Portugal [14]. También [15] en el artículo: «Accidentabilidad laboral en el sector de la construcción: el caso del distrito de Cartagena de Indias (Colombia), período 2014-2016», se concluye que los accidentes son constantes en las actividades constructivas, y por ello se deben reducir con cursos de capacitación y especificaciones de las normas y directrices de seguridad, para mejorar las conductas en obra [15].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Si bien la industria de la construcción no es la que mayor accidentabilidad presenta en Ecuador, sí es la de mayor mortalidad en sus accidentes [16]. En la tabla 1 se presentan el número de accidentes de trabajo en el sector de la construcción por año, el porcentaje a nivel nacional representa los accidentes en el sector de la construcción en referencia al total de accidentes laborales en el Ecuador

dor (ver Tabla 1). Se resalta el año 2018 ya que, en dicho año, el sector de la construcción presentó un crecimiento del 1,1% respecto al 2017, después de casi diez meses de decrecimiento, de acuerdo con el Banco Central del Ecuador [17].

Es importante resaltar que, en el 2018, año de crecimiento para el sector de la construcción, ocurrieron a nivel nacional 15.918 accidentes, de los cuales el 3,16% estuvieron relacionados a actividades de construcción, es decir, 503 personas reportaron un accidente constructivo. Por otro lado, en 2016 ocurrieron 20.302 accidentes a nivel nacional, de los cuales, el 5,54% representaron accidentes relacionados con la construcción, esto equivale a un total de 1125 accidentes reportados, se aprecia así que en 2016 ocurrieron casi el doble de accidentes que en 2018. Sin embargo, es lógico inferir que, si la actividad constructiva aumentó en 2018, también debía aumentar la accidentabilidad, pero los datos no reflejan aquello.

Se destaca también, que en año 2020, debido a la pandemia del covid-19, el sector de la construcción se vio afectado por la situación económica derivada del confinamiento y la consecuente ralentización de la economía en el país [19].

La actividad constructiva del 2020 disminuyó en un 60% respecto al 2019 [20], aunque fue de los primeros sectores en contar con un plan piloto en el contexto de la emergencia sanitaria por el covid-19, es así que el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos (COE) autorizó retomar las actividades constructivas desde el 21 de abril del 2020 [20], y para los meses de junio y julio varias obras habían reanudado sus actividades, lo que significó un aumento de mano de obra, pero de manera paulatina, por lo que al año 2020 se lo considera como atípico para el análisis estadístico de la accidentabilidad en el Ecuador.

La tabla 2, muestra el número de accidentes por provincia. En todas las provincias, año tras año se observa disminución del número de accidentes reportados, pese a ello, según el *Boletín estadístico del Seguro General de Riesgos del Trabajo*, del IESS (2018), se reporta a la construcción entre las primeras diez actividades a nivel nacional con mayor accidentabilidad [6]. Esto podría hacer pensar que existen casos de accidentes no denunciados o una accidentabilidad oculta, que existen sobre todo en países latinoamericanos [21], pues las actividades que se realizan en la construcción llegan a formar parte del sector informal de la economía laboral del país, ya que los trabajadores no son afiliados [22], se conoce que el 46,3% de la población económicamente activa del país trabaja de manera informal [23], es decir, no cuentan con afiliación, y solamente pueden reportar los accidentes los empleadores, afiliados afectados o familiares de los mismos [24] (ver Tabla 2).

De esta manera, se concuerda con lo indicado por Hernández y Neves [14]: «En los países estudiados, especialmente en los pertenecientes a América, existe una gran dificultad para registrar el 100% de los accidentes

y muertes», debido a la informalidad y serie de trámites para registrar el accidente, lo que lleva a tener ciertas imprecisiones en el manejo de los datos. Se resalta, también, el hecho del incumplimiento de las normas de seguridad en las construcciones, pues éste es más notorio en obras pequeñas, donde los casos no son reportados, ya que se resuelven de forma directa [20], es por ello que las regulaciones nacionales e internacionales de seguridad y salud deberían ser difundidas también a los obreros, así como diseñar cursos breves de capacitación y de seguridad para los trabajadores [15].

La figura 1 indica que el mayor porcentaje de accidentes reportados se presenta en Guayas y Pichincha, provincias donde el cuidado por los trabajadores en obra es más regulado, esto se debe a que la mayoría de empresas constructoras se encuentra en dichas provincias [25], y a que desde el 2016 el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) recepta los avisos sobre accidentabilidad de trabajo y enfermedades profesionales únicamente en su página web, y según Dávalos, se asegura que el año 2020, Pichincha y Guayas son las provincias con mayor acceso a internet [26]. Por tal motivo se puede concluir que en Ecuador no se notifican todos los accidentes de trabajo por parte del empleador en comparación con otros países europeos [27] (ver Figura 1).

Llama la atención que en la provincia de Galápagos no se hayan reportado accidentes entre 2016 y 2019, y de igual manera en Los Ríos en el año 2019, aunque en el boletín técnico de «Encuesta nacional de edificaciones (ENED) 2019» Galápagos contó con 169 edificaciones a construir, y Los Ríos se posicionó dentro del promedio nacional de 140 m² de áreas de construcción con un promedio de 120 m² [28]. Es decir, las obras que se realizaron en estas provincias no tuvieron inconveniente de accidentabilidad o, sí existieron y no se reportaron.

3.1. ACCIDENTABILIDAD Y GÉNERO

De la figura 2, en la mayoría de los años presentados, más del 95% de accidentes han ocurrido a personas de género masculino (ver Figura 2), estos accidentes son más frecuentes en los rangos desde los 25 a 44 años como se visualiza en la figura 3; mientras las mujeres sufren más accidentes en el rango de edad de 40 a 44 años (ver Figura 3).

Los hombres son los más afectados en cuanto a accidentabilidad, ya que la mayor cantidad de trabajadores en esta industria son de sexo masculino, debido a que las tareas de construcción están calificadas como típicamente masculinas, aseveración que comúnmente es explicada por el lugar de trabajo, la cantidad de tareas que exigen fuerza muscular, sus riesgos eventuales y afección a la procreación, es decir, complicaciones en el embarazo y maternidad [29]. Además, la negligencia y exceso de confianza (en varones) producido por considerar al riesgo físico, más como un reto que como un peligro provoca minimización de la gravedad del mismo [30].

Tabla 1. Número de accidentes de trabajo por año en el sector de la construcción en Ecuador [18]

Año	Porcentaje a nivel nacional	Accidentes sector construcción
2016	5,54%	1125
2017	4,19%	645
2018	3,16%	503
2019	3,11%	467
2020	2,54%	261

Tabla 2. Número de accidentes en el sector de la construcción por provincia [18]

Provincias	Accidentes por año				
	2016	2017	2018	2019	2020
Azuay	57	44	39	20	7
Bolívar	10	0	1	1	0
Cañar	20	31	3	3	0
Carchi	5	2	0	1	1
Chimborazo	11	18	4	12	3
Cotopaxi	7	2	10	12	3
El Oro	14	4	14	4	2
Esmeraldas	39	38	17	43	52
Galápagos	0	0	0	0	0
Guayas	331	161	137	164	103
Imbabura	6	13	19	8	3
Loja	21	19	1	1	1
Los Ríos	17	9	4	0	0
Manabí	31	34	24	16	13
Morona Santiago	9	8	8	4	0
Napo	177	23	15	10	3
Orellana	12	1	10	8	2
Pastaza	2	0	2	4	1
Pichincha	227	166	167	112	45
Santa Elena	2	7	3	1	2
Santo Domingo de los Tsáchilas	51	18	2	5	5
Sucumbíos	38	12	1	2	1
Tungurahua	11	13	10	14	3
Zamora Chinchipe	27	22	12	22	11
TOTAL	1125	645	503	467	261

Sin embargo, la presencia de la mujer en el sector de la construcción va en aumento; desde 2019 dos de las empresas más reconocidas a nivel nacional, Holcim y Uribe & Schwarzkopf, han incorporado personal femenino tanto en lo operativo como lo ejecutivo [31].

La Organización Mundial de la Salud considera a un individuo como adulto mayor desde los 60 años en adelante [32]. La figura 3 muestra la presencia de

accidentabilidad en hombres de 60 a 69 años que trabajan en el sector de la construcción, esto se debe a que los adultos mayores representan un perfil ocupacional terciario y poco calificado que se encuentra concentrado en el sector informal urbano [33]. Para el género femenino la edad máxima en la que se reportan accidentes en el sector es de 55 a 59 años.

3.2. ACCIDENTABILIDAD Y LUGAR DE OCURRENCIA

Es frecuente el pensar que los accidentes laborales son aquellos que ocurren únicamente en el centro de trabajo, sin embargo, los datos analizados, como se muestra en la figura 4, determinan que éstos son solo el 68% del total, el 32% restante se desarrollan fuera del mismo, es decir, también son considerados aquellos accidentes que ocurren con motivo de trabajo, sin importar el lugar o tiempo en que ocurran [34]. Es decir, que los accidentes que ocurren mientras los trabajadores se desplazan de su hogar al trabajo y viceversa (en su ruta frecuente) también son considerados accidentes laborales, éstos representan el 10% del total de accidentabilidad en la construcción en el año 2019 (ver Figura 4).

3.3. UBICACIÓN Y NATURALEZA DE LA LESIÓN

En los mencionados accidentes laborales, son los miembros superiores e inferiores, comúnmente, los más afectados al desarrollar actividades en la construcción, como se aprecia en la figura 5 (ver Figura 5).

El levantar y acarrear cargas y materiales, junto al montaje de estructuras de acero y manipulación inadecuada de herramientas o maquinaria, frecuentemente son las causas de lesiones y magulladuras en extremidades superiores e inferiores [35], estas lesiones se deben principalmente a la negligencia por parte de los trabajadores en su propio cuidado al usar incorrectamente o no usar los equipos de protección personal [36].

La figura 6 muestra a las fracturas como los resultados más frecuentes en los accidentes de la construcción con un 25,60%, seguidos por traumatismos superficiales, como conmociones y traumatismos internos con 22,45% (ver Figura 6).

Estas afecciones son causadas principalmente por el riesgo mecánico, debido a movimiento por desplazamiento o rotación de la maquinaria, por trabajos en tejas o cubiertas, es decir, en trabajos a un distinto nivel, o tropezones en el piso inestable. Todos estos accidentes se relacionan con el tipo de riesgo al que se encuentran expuestos los trabajadores.

3.4. TIPOS DE RIESGOS Y ACCIDENTES

La construcción es un sector con un elevado riesgo de siniestralidad, principalmente por la complejidad de las actividades que se realizan, la variedad de tareas y la temporalidad de trabajos [37]. Considerando que el riesgo es definido en el Código del Trabajo como «todo suceso imprevisto y repentino que ocasiona al trabajador una lesión corporal o perturbación funcional, con ocasión o por consecuencia del trabajo que ejecuta por cuenta ajena», se expone los siguientes tipos de riesgos (ver Tabla 3):

Los riesgos más comunes en la actualidad son, en primer lugar, caídas del personal, seguida por caída de objetos, el tercer riesgo más común es el lanzamiento o

proyección de partículas o fragmentos, esto ocurre, por ejemplo, cuando se desprenden partículas del material de trabajo, por efectos de la utilización de alguna máquina o herramienta [13], [38], [39]. En cuarto lugar, tenemos el riesgo eléctrico, después está atrapamiento entre objetos o maquinaria y, finalmente, sobreesfuerzos que ocurren generalmente en el levantamiento de cargas más allá de la capacidad del individuo [40], lo recomendable y normado en las normas ISO 11228 es que la carga no supere los 25 kg; razón por la cual, actualmente existen presentaciones de materiales como cal, arena, bondex, cemento, etc., en bolsas de 25 kg. En el *Reglamento de seguridad y salud para la construcción y obras públicas*, se especifica que: «cuando la carga supere los 23 kg, debe levantarse entre dos o más personas dependiendo del peso», y «se debe evaluar ergonómicamente el levantamiento de cargas según el método internacional reconocido y que los trabajadores que levanten cargas deben realizarse exámenes periódicos de la columna» (art. 64) [12].

En la tabla 4 se muestra información publicada por la CAMICON, en 2020, acerca de las acciones que provocan más accidentes en el sector de la construcción en Ecuador, la cual se remite a datos del sistema general de riesgos del trabajo [16], los riesgos más comunes constan en la tabla 4 (ver Tabla 4).

De igual forma, en la tabla 5, Paucar describe los riesgos mecánicos, químicos, biológicos, ergonómicos y psicosociales más comunes que se presentan en el sector de la construcción [13] (ver Tabla 5):

3.5. TEMPORALIDAD DE LOS ACCIDENTES

Los datos analizados demuestran que la mayoría de los accidentes laborales en el país ocurren los lunes, como se muestra en la figura 7 (ver Figura 7).

Específicamente en el sector de la construcción suelen ocurrir de 9 a 11 de la mañana, como se aprecia en la figura 8. Jurgen Zulley, profesor del Centro de Medicina del Sueño de Regensburg, en Alemania, explica el motivo, diciendo que los fines de semana las personas suelen alterar sus patrones de sueño, llegando agotados al trabajo los lunes por la mañana [42]. Por ello no pueden rendir como normalmente lo harían (ver Figura 8). Por otro lado, el fin de semana se presenta un menor número de accidentes [43].

3.6. PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

«Todo trabajo, operación o proceso posee cierto grado de riesgo, si éstos no se controlan, reducen o eliminan tarde o temprano causarán un accidente o una lesión al trabajador» [44]. Es responsabilidad de los empleadores garantizar la salud y seguridad de sus empleados a través de un ambiente sano y seguro, así podrán desempeñar correctamente sus funciones. Actualmente la legislación ecuatoriana presenta normativas para

Figura 1. Porcentaje de accidentes por provincia [18]

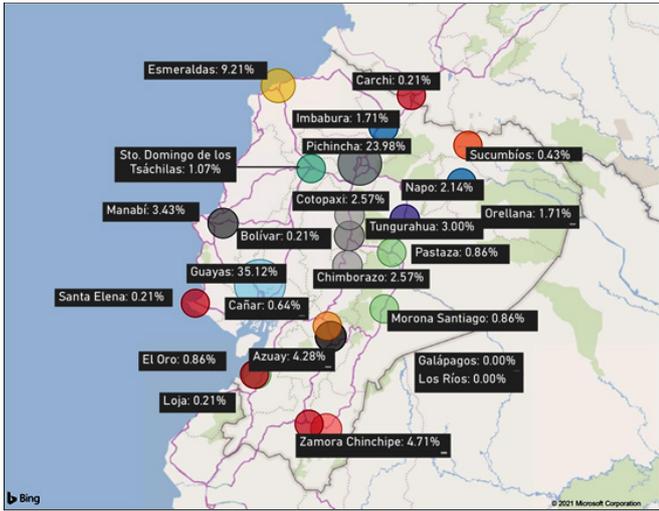


Figura 3a. Accidentes por género-edades [18] (femenino)

Femenino

- 40-44
- 35-39
- 45-49
- 30-34
- 21-24
- 25-29
- 50-54
- 55-59
- 15-17
- 18-20
- 60-64
- 65-69
- 70-74
- 75-79
- 80-84
- Mayor a 85

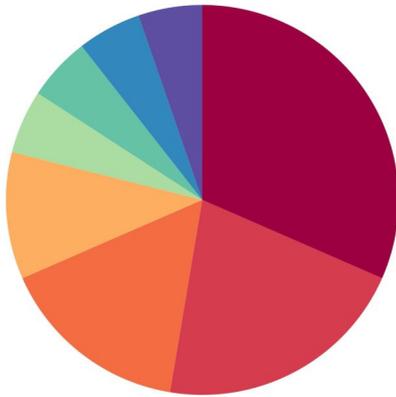


Figura 3b. Accidentes por género-edades [18] (masculino)

Masculino

- 30-34
- 25-29
- 35-39
- 40-44
- 45-49
- 21-24
- 55-59
- 50-54
- 60-64
- 18-20
- 65-69
- 15-17
- 70-74
- 75-79
- 80-84
- Mayor a 85

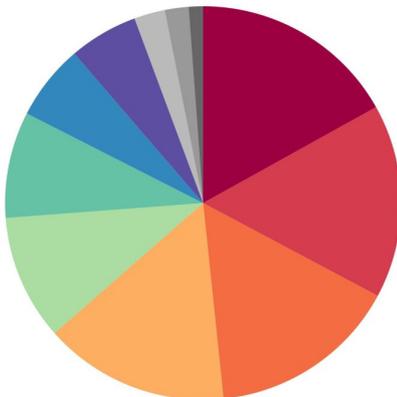


Figura 2. Porcentaje de accidentes clasificado por género

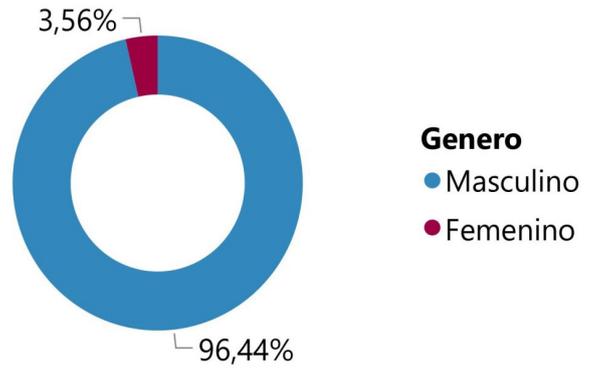


Figura 4. Porcentaje de accidentes por lugar de accidente

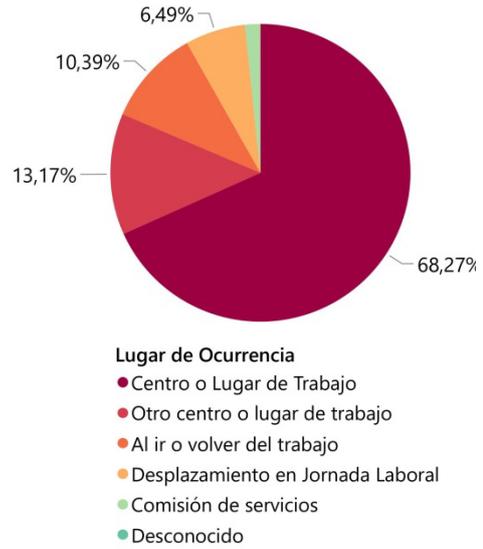


Figura 5. Ubicación de la lesión ocasionada por accidente

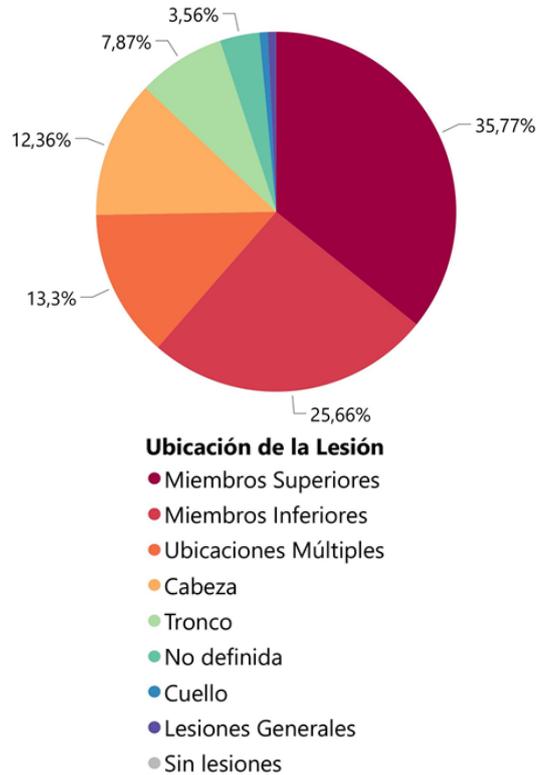


Figura 6. Naturaleza de la lesión [18]

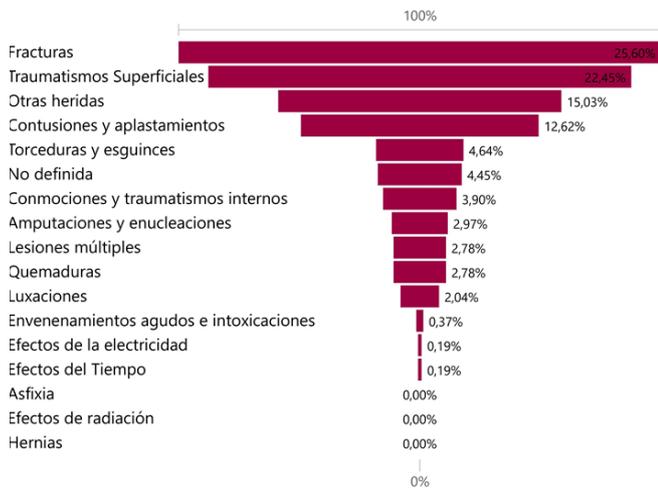


Figura 7. Temporalidad de los accidentes semanalmente

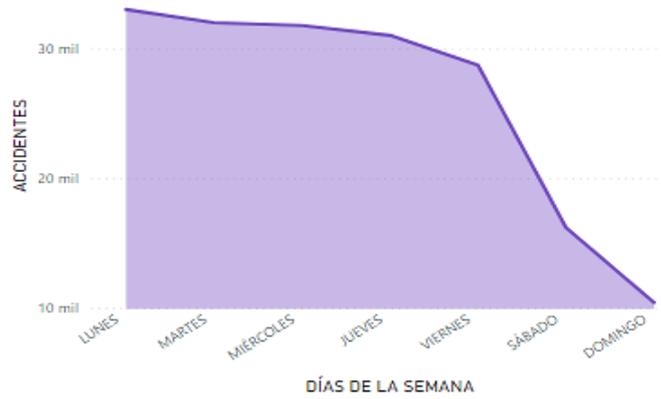


Figura 8. Temporalidad de los accidentes (horas) [41].



Tabla 3. Tipo de riesgos [13], [38], [39]

Tipo de riesgos	Descripción	Tipo de riesgos	Descripción
Riesgo mecánico	Conjunto de factores físicos que pueden dar lugar a una lesión por la acción mecánica de elementos, tales como maquinaria, herramientas, materiales proyectados, diferencia de nivel.	Riesgo físico	Por las características del entorno de desarrollo de las actividades.
Riesgo químico	Exposición y manipulación de sustancias químicas.	Riesgo ergonómico	Trabajos repetitivos y prolongados.
Riesgo biológico	Agentes biológicos con capacidad infecciosa, tales como virus, bacterias, parásitos, hongos, esporas, etc.	Riesgo psicológico	Altos niveles de exigencia al que son sometidos los trabajadores.

Tabla 4. Acciones que generan accidentabilidad [16]

Acciones	Porcentaje (%)
Operar equipos sin autorización	2,1
Inexistencia de señalización de advertencia (peligro)	45,3
Aseguramiento inadecuado de equipos de protección personal	10,6
Operar a velocidad inadecuada con equipos, máquinas, otros	1
Inutilizar o eliminar equipos de protección personal	2
Usar equipo defectuoso o inadecuado	1,7
Usar los equipos o herramientas, de manera incorrecta	2
Emplear en forma inadecuada o no usar el equipo de protección personal	2,4
Manipulación incorrecta de cargas (posición incorrecta o cargas superiores)	4
Traslados y almacenajes de productos de forma incorrecta	2
Manipular cargas en forma incorrecta	1,4
Levantar equipos en forma incorrecta	1
Adoptar una posición inadecuada para hacer la tarea	4,5
Realizar mantenimiento de los equipos mientras se encuentran operando	1,8
Hacer bromas pesadas	0
Trabajar bajo la influencia del alcohol y/u otras drogas	0,1
Falta de coordinación en operaciones conjuntas	5,1
Otros	13
TOTAL	100

Tabla 5. Riesgos comunes

Tipo de riesgo	Riesgo
Físico	Los ruidos generados por la maquinaria y caídas al mismo nivel
Químicos	Material particulado
Biológicos	Bacterias
Ergonómicos	Sobre esfuerzo físico/la sobretensión y las posturas inadecuadas
Psicosociales	Presión-sobre exigencia

preservar la salud y seguridad de los trabajadores, por ejemplo, el *Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo*, el *Reglamento de seguridad y salud para la construcción de obras públicas*, *Reglamentos de higiene y seguridad*, entre otros. Sin embargo, el trabajo de los organismos de control aún es deficiente [45].

Por ende, es de vital importancia una toma de conciencia personal de cada empleador, jefe de obra y trabajador sobre los elementos que rigen la seguridad del personal, como, por ejemplo, el correcto uso del equipo de protección personal, señalética adecuada, entre otros.

4. CONCLUSIÓN

Los datos estadísticos acerca de la accidentabilidad en el país demuestran que el 3% de los accidentes se presentan en el sector de la construcción, pero también existe una accidentabilidad oculta, debido a que en este sector algunas personas laboran informalmente y por ello la mayoría de accidentes que ocurren no son reportados.

Los accidentes en construcción se presentan mayormente en el género masculino desde los 18 años en adelante, con mayor ocurrencia en hombres de 25 a 44 años. Se aprecia que ocurren accidentes en el género femenino desde los 25 años, siendo de 25 a 44 años la edad más recurrente para sufrir accidentes. Los adultos mayores no están exentos, ya que hombres entre 60 a 69 han reportado algún tipo de accidentabilidad relacionada a la

construcción. En el caso de mujeres la edad máxima reportada fue de 55 a 59 años. El lugar de accidentabilidad se presenta en su mayoría en el centro o lugar de trabajo. El tipo de lesiones que se presentan están relacionadas principalmente al riesgo mecánico, por ello las afecciones presentadas son mayormente en extremidades superiores e inferiores; entre las causas se encuentra el movimiento o desplazamiento de maquinaria, trabajos a diferente nivel y tropezones; dando como consecuencias fracturas, traumatismos superficiales, contusiones y aplastamientos.

Para próximos análisis es recomendable profundizar en la accidentabilidad dependiendo de la fase constructiva en la que se encuentre una obra.

De igual forma, se recomienda potenciar el sistema de datos de accidentabilidad en el país, reforzando las normativas y las exigencias en obra, para que se dé un seguimiento más riguroso a los accidentes que se producen, pues los análisis de las estadísticas actuales sirven como indicadores y herramientas para demostrar que existe una accidentabilidad oculta.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Censos, Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENUMDU), *Datos en el sector de la construcción como porcentaje del empleo total*, 2020. Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/EMPLEO/2019/Marzo/Boletin_mar2019.pdf
- [2] Gestión Digital, *La construcción, un pilar de la economía debilitado por la pandemia*, 2020. Recuperado de <https://www.revistagestion.ec/economia-y-finanzas-analisis/la-construccion-un-pilar-de-la-economia-debilitado-por-la-pandemia>
- [3] L. Luna, *Boletín 218: La importancia del sector construcción*, 2018. Recuperado de <https://colegiodeeconomistas.org.ec/boletin-215-el-ecuador-las-tres-carabelas-y-el-titanic-2-2-2/>
- [4] Escuela Superior Politécnica del Litoral, *Estudios industriales orientación estratégica para la toma de decisiones. Industria de la construcción*, 2016. Recuperado de <http://www.espae.espol.edu.ec/wp-content/uploads/2016/03/industriaconstruccion.pdf>
- [5] Organización Internacional del Trabajo, *Tendencias mundiales sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales*, 2015. Recuperado de https://www.ilo.org/legacy/english/osh/es/story_content/external_files/fs_st_1-ILO_5_es.pdf
- [6] Seguro General de Riesgos del Trabajo IEES, *Boletín Estadístico*, 2018. Recuperado de https://www.iess.gob.ec/documents/10162/51889/Boletin_estadistico_2018_nov_dic.pdf
- [7] Primicias, *La construcción trabaja en tres frentes para reactivarse en 2021*, enero 2021. Recuperado de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/construccion-trabaja-tres-frentes-reactivacion-ecuador-economia/>
- [8] Organización Internacional del Trabajo, *La construcción: un trabajo peligroso*, 2015. Recuperado de https://www.ilo.org/safework/areasofwork/hazardous-work/wcms_356582
- [9] M. Ordóñez, C. Garcés y H. Martínez, *Modelo cuantitativo de riesgos laborales para el sector de la construcción en el Ecuador*, 2017. Recuperado de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/161/pdf>
- [10] R. Fontes, *Seguridad y salud en el trabajo en América Latina y el Caribe: análisis, tema y recomendaciones de política*, 2002. Recuperado de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Seguridad-y-salud-en-el-trabajo-en-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-An%C3%A1lisis-temas-y-recomendaciones-de-pol%C3%ADtica.pdf>
- [11] Organización Internacional del Trabajo, *Guía sobre las normas internacionales del trabajo*, 2014. Recuperado de https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_norm/---normes/documents/publication/wcms_246945.pdf
- [12] Ministerio de Trabajo y Empleo, *Reglamento de seguridad y salud para la construcción y obras públicas*, 2008. Recuperado de <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/12/Reglamento-de-Seguridad-y-Salud-para-la-Construccion-y-Obras-Publicas.pdf>
- [13] R. Paucar, *Impacto de accidentes laborales en el sector de la construcción en la ciudad de Quito*, Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas. Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y del Comercio. Carrera de Administración. Sangolquí-Ecuador, p. 29, 2018. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14088/1/T-ESPE-057646.pdf>
- [14] J. Hernández y J. Neves, *Análisis y clasificación iberoamericana de la accidentalidad laboral en la industria de la construcción civil*, 2020. Recuperado de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732020000200135&lang=pt
- [15] E. Bedoya, C. Severiche, D. Sierra e I. Osorio, *Accidentalidad laboral en el sector de la construcción: el caso del distrito de Cartagena de Indias (Colombia), Periodo 2014-2016*, 2018. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000100193
- [16] Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON), *Accidentes laborales en la construcción*, febrero 2020, Recuperado de <https://www.camicon.ec/la-camara-accidentes-laborales-en-la-construccion/>
- [17] APIVE, *Segundo trimestre del 2018 refleja moderado crecimiento del sector construcción*, 2018. Recuperado de

- <https://apive.org/segundo-trimestre-del-2018-refleja-moderado-crecimiento-del-sector-construccion/>
- [18] Seguro de General de Riesgos del Trabajo, *Datos proporcionados por el SGR*. [Archivo Excel otorgado por el Seguro General de Riesgos del Trabajo], 2020.
- [19] Grupo Faro, *Sector de la construcción en el Ecuador en época de covid-19*, 2020. Recuperado de <https://grupofaro.org/sector-de-la-construccion-en-el-ecuador-en-epoca-de-covid-19/>
- [20] El Universo, *El incumplimiento de las normas de seguridad en las construcciones genera lesiones o hasta la muerte de obreros*, agosto 2021. Recuperado de <https://www.eluniverso.com/noticias/informes/el-incumplimiento-de-las-normas-de-seguridad-en-las-construcciones-genera-lesiones-o-hasta-la-muerte-de-obreros-nota/>
- [21] Universidad Particular de Loja, *Los principales indicadores de accidentes laborales*, marzo 2018. Recuperado de <https://noticias.utpl.edu.ec/los-principales-indicadores-de-accidentes-laborales>
- [22] Diario La Hora, *Accidentes afectan a los trabajadores*, febrero 2007. Recuperado de [https://lahora.com.ec/noticia/533712/el-nc3bamero-de-trabajadores-que-muere-por-accidentes-es-apreciable-en-el-ecuador-segc3ban-la-organizacic3bn-internacional-del-trabajo-\(oit\)-en-el-pac3ads-se-registran-alrededor-de-dos-mil-751-muertes-por-ac3b1o-sin-embargo-la-mayorc3ada-de-los-accidentes-no-son-reportados-y-en-algunos-casos-los-afectados-llegan-acuerdo-con-los-empleadores-normalmente-los-casos-deberc3adan-ser-notificados-al-instituto-ecuatoriano-de-seguridad-social-cuando-los-trabajadores-estc3an-afiliados](https://lahora.com.ec/noticia/533712/el-nc3bamero-de-trabajadores-que-muere-por-accidentes-es-apreciable-en-el-ecuador-segc3ban-la-organizacic3bn-internacional-del-trabajo-(oit)-en-el-pac3ads-se-registran-alrededor-de-dos-mil-751-muertes-por-ac3b1o-sin-embargo-la-mayorc3ada-de-los-accidentes-no-son-reportados-y-en-algunos-casos-los-afectados-llegan-acuerdo-con-los-empleadores-normalmente-los-casos-deberc3adan-ser-notificados-al-instituto-ecuatoriano-de-seguridad-social-cuando-los-trabajadores-estc3an-afiliados)
- [23] Instituto Nacional de Estadística y Censos, *Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo 2021-2021*. Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/EMPLEO/2021/Febrero-2021/202102_Mercado_Laboral.pdf
- [24] Ecuadorlegalonline, *Derechos por accidente de trabajo en Ecuador*, 2021. Recuperado de <http://www.ecuadorlegalonline.com/laboral/accidentes-de-trabajo/#:~:text=Tramite%20para%20reportar%20un%20accidente,desde%20la%20fecha%20del%20accidente.>
- [25] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), *Infoeconomía*. Publicación 10, 12 diciembre 2012. Recuperado de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Infoeconomia/info10.pdf>
- [26] N. Dávalos, *Ecuador tiene 11,18 millones de conexiones a internet fijo y móvil*, septiembre 2020, Recuperado de <https://www.primicias.ec/noticias/tecnologia/ecuador-millones-conexiones-internet-fijo-movil/>
- [27] A. Gómez y P. Suasnavas, *Incidencia de accidentes de trabajo declarados en Ecuador en el Período 2011-2012*, 2015. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/cyt/v17n52/art10.pdf>
- [28] Instituto Nacional de Estadística y Censos, *Boletín Técnico. Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED) 2019*, 2019. Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2019/3.%202019_ENED_Boletin_tecnico.pdf
- [29] J. Castro, *Discriminación en las relaciones laborales. Santiago de Chile: Dirección de Trabajo de Chile*, 2001. Recuperado de https://www.dt.gob.cl/portal/1626/articulos-65173_recurso_1.pdf
- [30] M. Salanova, I. Martínez y L. Lorente, *La relación entre el exceso de confianza y los accidentes laborales en trabajadores de la construcción*, 2011. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3750415>
- [31] Revista Líderes, *Más espacio para la mujer en la construcción*, marzo 2019. Recuperado de <https://www.revistalideres.ec/lideres/mujeres-construccion-empresas-genero-onu.html>
- [32] M. Rosero, *¿A qué edad una persona se convierte en adulto mayor? La oms lo explica*, 2020. Recuperado de <https://www.elcomercio.com/tendencias/sociedad/adulto-mayor-riesgo-coronavirus-ecuador.html>
- [33] S. Escobar, *Los adultos mayores en el mundo del trabajo urbano*, 2012. Recuperado de <http://www.helpagela.org/silo/files/los-adultos-mayores-en-el-mundo-del-trabajo-urbano.pdf>
- [34] S. Franco, L. Serrano, J. Vásquez y L. García, *Riesgos de trabajo ocurridos con personal de un hospital en el estado de Jalisco 2009*, 2012, Recuperado de <https://www.re-dalyc.org/pdf/730/73026905004.pdf>
- [35] Oficina Internacional del Trabajo, *Seguridad, salud y bienestar en obras de construcción. Manual de capacitación*, 1997. Recuperado de https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/instructionalmaterial/wcms_218620.pdf
- [36] C. Arcentales, *Prevención de riesgos laborales en la construcción: estudio de la complejidad y siniestralidad*, 2018. Recuperado de <https://eloficial.ec/el-uso-del-epp-no-es-negociable/>
- [37] I. Rincón, *Prevención de riesgos laborales en la construcción: estudio de la complejidad y siniestralidad*, 2013. Recuperado de <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/7627/Rinc%c3%b3n%20Larre%2c%20Itziar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [38] Estrucplan, *Riesgos para la salud en las obras de construcción*, 2005. Recuperado de <https://estrucplan.com.ar/riesgos-para-la-salud-en-las-obras-de-construccion/>
- [39] D. Flórez, R. Méndez y N. Portilla, *Riesgos químicos en el sector de la construcción*, noviembre 2016. Recuperado de https://issuu.com/yulianaportilla/docs/revista_riesgos_quimicos_en_la_con_1da919cbc22884
- [40] Isotools Excellence, *Principales riesgos de la industria de la construcción*, octubre 2020. Recuperado de <https://www.isotools.org/2020/10/20/principales-riesgos-de-la-industria-de-la-construccion/>
- [41] Seguro General de Riesgos del Trabajo, 2021, Recuperado de <https://sart.iess.gob.ec/SRGP/>

- horas_at.php?NmMzYmlkPWVzdGF0#
- [42] J. Zulley, *Riesgos de accidentes: cuidado con el lunes*, 2011. Recuperado de <http://prevencion.umh.es/files/2011/09/riesgo-de-accidente-cuidado-con-el-lunes.pdf>
- [43] suVA (Caja Nacional Suiza de Seguros en Caso de Accidentes), *Riesgos de accidentes: cuidado con el lunes*, septiembre 2011. Recuperado de <http://prevencion.umh.es/files/2011/09/riesgo-de-accidente-cuidado-con-el-lunes.pdf>
- [44] H. Robledo, *Lesiones profesionales e inspecciones de control*, 2.ª ed., Bogotá: Ecoe Ediciones, 2013. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibiosudamericano/reader.action?docID=4870551&query=accidente+labora>
- [45] C. Montaña, *Riesgos del trabajo en la legislación ecuatoriana*, s. f., Recuperado de <https://www.derechoecuador.com/riesgos-del-trabajo-en-la-legislacion-ecuatoriana>



El concepto de desarrollo sostenible y su papel en la solución de los problemas

The concept of sustainable development and its role in solving problems

David Vivas Paspuel | [iD](#) Universidad San Francisco de Quito, Ecuador

María José Tapia | [iD](#) Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador

Doménica Sandoval | [iD](#) Universidad de Pisa, Italia

HISTORIAL DEL ARTÍCULO

Recepción: 07/09/2021
Aceptación: 25/10/2021

PALABRAS CLAVE

Desarrollo sostenible, medio ambiente, sostenibilidad.

ARTICLE HISTORY

Received: 07/09/2021
Accepted: 25/10/2021

KEY WORDS

Sustainable development, environment, sustainability.

RESUMEN

El presente artículo muestra el origen del desarrollo sostenible en forma breve, así como las proyecciones futuras de los problemas que pueden ocasionar el crecimiento demográfico y el impacto del avance industrial en los países. También se analiza sobre los conceptos y la caracterización que se da al desarrollo sostenible, sus alcances y las ventajas que pueden proporcionar las políticas establecidas en las regiones que implementan dichas normativas. Asimismo, las tecnologías limpias (TL), que aportan a la mejora de las emisiones y desechos que emiten las industrias al ambiente, son tratadas en la dimensión de la eficacia de las industrias. Se determina, además, la forma que pueden aportar ciertos indicadores en la evaluación del desarrollo y cómo estos contribuyen a la resolución de varios problemas relacionados al medio ambiente y la energía, tales como: sustentabilidad ecológica que se relaciona con el mantenimiento de los ecosistemas, sustentabilidad social, que propone mejorar la calidad de vida de las personas,

ABSTRACT

This article briefly shows the origin of sustainable development, as well as future projections of the problems that demographic growth may cause and the impact of industrial progress in the countries. It also analyzes the concepts and characterization that is given to sustainable development, its scope and the advantages that the policies established in the regions that implement these regulations can provide. Likewise, clean technologies (CT), which contribute to the improvement of emissions and wastes emitted by industries to the environment, are treated in the dimension of the efficiency of the industries. It also determines the way that certain indicators can contribute in the evaluation of development and how these contribute to the resolution of various problems related to the environment and energy such as: Ecological sustainability that is related to the maintenance of ecosystems, social sustainability, that proposes to improve the quality of life of the people and, economic sustainability.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible va apareciendo en virtud de un crecimiento económico, del desarrollo tecnológico y, por ende, del uso, manejo y explotación de los recursos que están a nuestro alcance en el planeta. Con la aparición de dificultades a nivel mundial, la humanidad se ve obligada a crecer sobriamente y sobresalir de los problemas

existentes, acelerando el conocimiento y la evolución de las industrias. Se cree que a partir de la Segunda Guerra Mundial, el desarrollo comienza a concebirse como crecimiento económico, orientándose hacia el logro de un acelerado desarrollo industrial y tecnológico; de esta manera la forma de vida ha ido cambiando, generando con-

secuencias diversas que pueden visualizarse en el cambio de vida del hombre, en la aparición de nuevas enfermedades, desaparición de especies, escasez de recursos, problemas ambientales, etc. Con el incremento del deterioro de las condiciones ambientales del planeta y los diferentes sistemas biofísicos y sociales que lo constituyen; ha desencadenado la llamada crisis ambiental [1]. Según, Muñoz, de una manera blanda, sintiendo los primeros resultados del crecimiento acelerado de la economía y la industria, ya en la década del 60, la humanidad inicia debatiendo sobre los efectos del desarrollo (al menos en los países industrializados), que contiene altos costos sociales, económicos, culturales y ambientales vinculados al consumo y manejo irracional e indiscriminado de los recursos del medio [2].

Así, el crecimiento y desarrollo de un espacio demográfico, sin lugar a dudas puede desencadenar o generar otro tipo de problemas, y no como ciertas veces se interpretaba que el crecimiento económico podría eliminar problemas, consecuentemente, se debía tomar cartas en el asunto y verificar el origen de los efectos del progreso en la comunidad.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que incluye 17 objetivos y 169 metas, presenta una visión ambiciosa del desarrollo sostenible e integra sus dimensiones económica, social y ambiental. Esta nueva hoja de ruta presenta una oportunidad histórica para América Latina y el Caribe, ya que incluye temas altamente prioritarios para la región, como la erradicación de la pobreza extrema, la reducción de la desigualdad en todas sus dimensiones, un crecimiento económico inclusivo con trabajo decente para todos, ciudades sostenibles y cambio climático, entre otros [3].

El progreso económico y social conseguido durante el último siglo ha estado acompañado de una degradación medioambiental que está poniendo en peligro los mismos sistemas de los que depende nuestro desarrollo futuro. El consumo y la producción sostenibles se refieren al uso de servicios y productos relacionados, que responden a las necesidades básicas y brindan una mejor calidad de vida, al tiempo que minimizan el uso de recursos naturales y materiales tóxicos, así como las emisiones de desechos y contaminantes a lo largo del ciclo de vida del servicio o producto para no comprometer las necesidades de las generaciones futuras [3].

2. MÉTODO

Se consideró utilizar una investigación de tipo exploratoria y descriptiva, ya que por su naturaleza se necesitó de la búsqueda de varios documentos, así como la explicación detallada de los fenómenos que ocurren y se relacionan con el tema en discusión.

ANTECEDENTES

A lo largo del desarrollo continuo y el incremento económico a nivel mundial, el resultado más visible es el descenso de la cantidad de recursos y la destrucción progresiva del medio ambiente. Ciertamente, la economía creció de forma acelerada en los países dedicados a su propio desarrollo, pero luego de realizar una evaluación a futuro no se veía un panorama alentador para las futuras generaciones. De esta manera se promueve y desarrolla una idea que permita sostener a través del tiempo los recursos, esperando que las futuras generaciones tengan las mismas oportunidades y condiciones para el aprovechamiento de los mismos, en lo posible, semejante al ambiente que nos rodea en este momento.

Gudynas [4], propone y realiza una proyección desde 1900 hasta el 2100 (ver Figura 1), en donde el incremento de la población y el consumo de los recursos converge en el acrecentamiento de la contaminación; de esta manera, la misma contaminación crea enfermedades, problemas ambientales, destrucción de la biósfera, etc., lo que sumado a la escasa cantidad de recursos, prevé una disminución de la población por el aumento de la tasa de mortalidad en el hombre. Por ende, se hizo necesario la implementación de normas y políticas medioambientales y de preservación tratando de evitar estas proyecciones que afectan directamente a la humanidad.

Desde otro punto de vista, suponiendo que tengamos los recursos suficientes, el consumo de éstos supone una fuerte elevación de los índices de contaminación y, por ende, la disminución de la población por la tasa de mortalidad existente (ver Figura 2). Al proponer utilizar energías más duraderas (nucleares, solares, eólicas), se puede suponer que tendremos el mismo resultado, puesto que los recursos utilizados generarían directamente el incremento de la contaminación y los resultados anteriormente mencionados.

Por ende, el reforzar las políticas internacionales de sustentabilidad es necesario, tanto internamente dentro de un país como externamente entre regiones o a nivel global. La reutilización, el consumo moderado, el control de la calidad ambiental, la conservación de recursos, el mantenimiento de la biósfera, etc., obligan a crear normas y evaluar las proyecciones futuras continuamente.

3. RESULTADOS

PROBLEMAS AMBIENTALES Y LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA SUSTENTABILIDAD

El crecimiento de la población y su progreso han creado nuevos problemas ambientales en distintos ámbitos:

En el sector industrial con la aparición de empresas y procesos técnicos, explotación y uso de minerales,

Figura 1. (A) Límites del crecimiento [4]

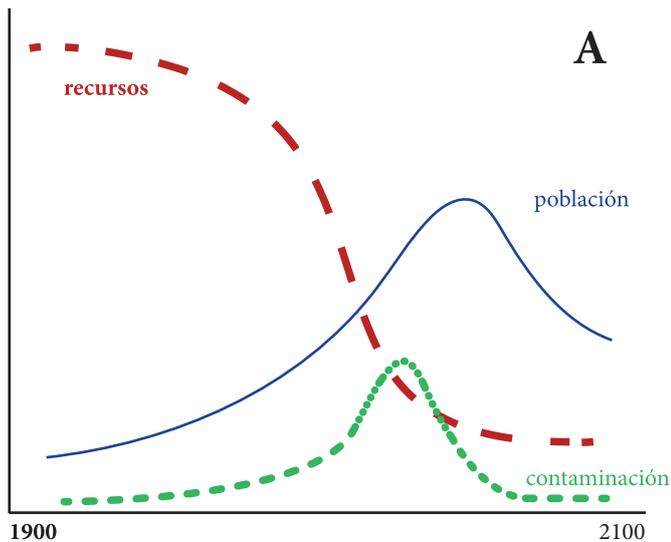
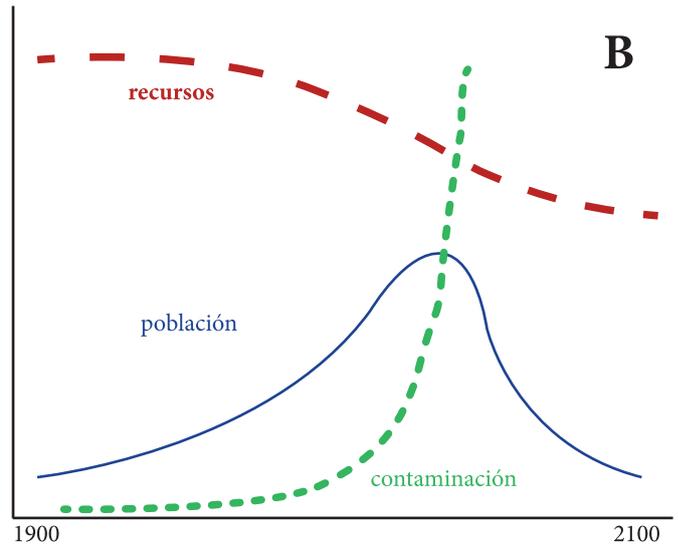


Figura 2. (B) Límites del crecimiento [4]



explotación y uso de materias primas, uso de energía, etc. También a nivel doméstico con el uso de recursos transformados, tales como tecnología, desechable, vestimenta, etc., han generado obligatoriamente basura que en mayor o menor porcentaje se puede reutilizar o darle un segundo aprovechamiento. Entonces, aparece el cuestionamiento, ¿Hacia dónde va tanta cantidad de recursos desechados? ¿Qué se puede hacer con los productos generados por el uso de la tecnología? ¿Son suficientes los recursos que se utiliza y éstos pueden mantenerse en el futuro? Aquí es donde el concepto de desarrollo sustentable entra en vigor y trata de solucionar estas controversias.

A estos inconvenientes, el Programa de la Naciones Unidas plantea dos alternativas que pueden ayudar a solventar dichos cuestionamientos, de alguna manera, tanto a nivel industrial como doméstico:

La primera, como concepto tradicional, se basa en el uso de tecnologías «end of pipe», basados en el manejo de los residuos domésticos e industriales al final del proceso productivo, en donde los residuos sólidos son llevados a vertederos, las emisiones gaseosas son lavadas o filtradas y las emisiones líquidas son sometidas a diversos tratamientos [5].

Esta alternativa es la más usada en América Latina, pero no existen las suficientes normas gubernamentales internas que puedan formar parte de la política de crecimiento sostenido dentro de una nación y, si existen las políticas establecidas, no hay la suficiente supervisión y control que pueda evidenciar que se cumpla con lo planteado.

La segunda alternativa plantea la prevención como punto de partida, pone énfasis en una mayor eficiencia de utilización de los recursos materiales o materias primas y los recursos energéticos, de modo que se incrementen simultáneamente la productividad y la competitividad. Este concepto ha servido de mucho para que las industrias conscientemente evalúen si la materia y recursos

que ingresan son utilizados al máximo. De ahí que el uso maximizado de los recursos ha sido denominado «producción más limpia», y ésta, en la actualidad, pasa a formar parte de las estrategias de gestión preventiva, tanto a nivel empresarial como industrial, la cual es aplicada a bienes, procesos y organizaciones del trabajo.

Producción más limpia es conocida actualmente como P+L, creada por la Oficina de Industria y Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en el año 1989, que se define como «la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada y aplicada a procesos, productos, y servicios para mejorar la ecoeficiencia y reducir los riesgos para los humanos y el medio ambiente» [5].

La producción más limpia plantea siempre la disminución de las emisiones y/o descargas hacia el medio ambiente, que puedan afectarla tanto en un presente como en un futuro, de esta manera se reducen los riesgos para la salud humana y ambiental, como resultado de estas prácticas se mejora la competitividad de las empresas. En el caso de aplicar estos conceptos radicalmente, existe una ideología contraria, que la interpreta de tal forma que supone que la inserción de estas alternativas a los procesos establecidos en las empresas, no permitirá obtener altos ingresos económicos en una empresa o industria, ya que la implementación de estas operaciones supone el empleo de recursos económicos; por ende, la evasión o caso omiso de estas alternativas se hace presente en muchas regiones en América Latina, claro está que influye directamente la ideología y desconocimiento por parte de los administradores de las mismas.

EL USO DE LAS TECNOLOGÍAS LIMPIAS

La ingeniería ambiental ha desarrollado varios temas que pueden ayudar a solucionar los problemas que generan

las emisiones y productos generados por la industria como consecuencia del desarrollo, mismos que han sido sugeridos a través del Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norteamérica: a) utilizar de la mejor manera posible y a su máxima potencia los más recientes conocimientos técnicos y tecnologías, aplicándolos en la mejora de ciertos procesos dentro de las industrias; b) basarse en la experiencia propia de cada empresa y proponer métodos de análisis y control, así como diversas técnicas de control de riesgos, c) participar en el establecimiento industrial que ya existe: analizando riesgos; proponiendo correcciones; tomando medidas protectoras en procedimientos de explotación y asesorías referentes a las óptimas inversiones; buscando procesos de reciclado y de recuperación de productos (en caso de ser posibles); interviniendo en proyectos nacientes a través de la integración de la rama medioambiental y la planificación del mantenimiento, la protección del entorno y parte de la instalación, y buscando la experiencia de los demás, incluyendo a la estrategia de la empresa con el medio ambiente [6].

En la región latinoamericana, la introducción de las tecnologías limpias se vio retrasada varios años debido a la carencia de normas ambientales en los gobiernos, un claro ejemplo se da en la zona de Ecuador en donde, desde 1976 hasta 1991, no había una normativa que la rijan, solamente existía la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental de 1976, luego, en 1991, se introdujeron normativas que fueron evolucionando hasta finales de 1999 en donde se crea una «Estrategia ambiental para el desarrollo sustentable del Ecuador». De esta manera el retraso de esta estrategia fue un «beneficio», por así decirlo, a la explotación desmesurada de sus recursos.

Como se mencionó anteriormente, las tecnologías limpias están orientadas tanto a reducir la contaminación a través de la introducción de tecnologías situadas al final de los procesos como a evitar la contaminación, enviando al ambiente productos asimilables por la naturaleza. Por ende, la incorporación de cambios en los procesos productivos puede generar una serie de beneficios económicos a las empresas, tales como la utilización más eficiente de los recursos, reducción de los costos de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos

Las TL o tecnologías ambientalmente sanas, TAS son un concepto relativo (y actualmente un concepto nuevo en Suramérica) en el cual el término «ambientalmente sanas» no puede atribuirse a ninguna tecnología determinada o a un grupo específico de tecnologías, debido a que esto implica que lo que puede percibirse como ambientalmente sano hoy, puede no necesariamente ser sano mañana. Así, cualquier tecnología debe inspeccionarse en relación con las condiciones económicas, culturales y ambientales, creando una interacción cuyo resultado necesita ser constantemente evaluado [7]. Un claro ejemplo se da en los efectos contaminantes que puede generar un combustible, por lo que sería mejor reemplazarlo con

baterías de efecto químico. Pero a mayor escala y a futuro (incluso por el crecimiento poblacional), cuando se deban desechar los residuos y desechos de una batería de este tipo tendría un efecto más devastador en la naturaleza, que el índice de CO₂ emitido por un motor de combustión. Por ende, se hace evidente una evaluación continua de las soluciones actuales y sus efectos venideros, en caso de existirlos.

NUEVAS TECNOLOGÍAS Y SUS COMPLICACIONES

Puede ser que en ciertos ámbitos surjan complicaciones o inconvenientes a la hora de implementar procesos sustentables dentro de una industria u organización. Las actividades industriales son las primeras que han mostrado ciertas controversias entre la sustentabilidad, y la estructura económica e industrial de las organizaciones, puesto que ciertas normas y fines de la sustentabilidad pueden traer a colación polémica o argumentaciones contradictorias a la hora de aplicarlas dentro de un nuevo sistema o proceso.

El uso e introducción de las nuevas tecnologías muestran una perspectiva opuesta, caracterizada, por un lado, por los avances tecnológicos que han permitido extraordinarios incrementos en la eficiencia y disminución del impacto ambiental, muy en concordancia con la sustentabilidad. Pero, por el otro, ha hecho posible un mayor dominio de la naturaleza y propiciado la proliferación de megadesarrollos en prácticamente todos los ámbitos de la producción y los servicios, situación que apuntala un modelo de desarrollo abiertamente no sustentable [8]. De esta forma la necesidad de introducir una nueva tecnología dentro de nuestro medio ha incrementado el desarrollo de nuevas industrias, que *a posteriori* producirán emisiones o desechos nocivos para la naturaleza.

Otra controversia, que a su vez se la podría considerar como inferior, está relacionada con el concepto de desarrollo sustentable, ya que su interpretación viene acompañada por varias definiciones de términos, tales como: sustentable, sostenido y sostenible, al parecer convergen en el mismo punto, y es común apreciar que dichos términos son utilizados de manera indistinta y en forma de sinónimos, a pesar de que cada uno de ellos configura sensibles matices que los diferencian. Al respecto, Tréllez y Quiroz [9], señalan que el *desarrollo sustentable*, se refiere a un posibilidad, condición o característica de un hecho o fenómeno de tener basamento de apoyo, soporte o sustentación para asegurar su permanencia en el tiempo, de presentarse la oportunidad de su ocurrencia; *sostenible* se entiende como un proceso o hecho que una vez ocurrido puede mantenerse activo en el tiempo o continuar en operación eficiente; y, *sostenido*, puede ser un hecho o suceso que se mantiene invariable en el tiempo.

Por tal motivo, alcanzar un desarrollo sustentable a nivel mundial, regional y nacional conlleva una enorme complejidad, dado que el planeta está conformado por

una heterogeneidad en las políticas de las naciones que responden de manera particular a sus circunstancias históricas, espaciales y temporales, lo cual exige la adopción de políticas globales y locales que, analizando la cambiante configuración geopolítica mundial, se torna aún más difícil [10].

PROYECCIONES FUTURAS

Actualmente se ha dividido la sustentabilidad en tres grandes grupos, esto con la finalidad de crear indicadores que ayuden a la solución y evaluación de problemas continuos en el medio:

Sustentabilidad ecológica: que se relaciona con el mantenimiento de los ecosistemas, la calidad y mejoramiento de hábitats, mantenimiento y recuperación de la biósfera.

Sustentabilidad social: que propone mejorar la calidad de vida de las personas, como seres vivientes que necesitamos también del medio, pero sin intervenir en la producción industrial; este es un reto que se viene dando a la par con la introducción y globalización de nuevas tecnologías.

Sustentabilidad económica: el cual imperativamente asegura el crecimiento económico y la eficiencia productiva [11]. De esta forma se evidencia que la sustentabilidad económica no trata de mantener el proceso económico, sino más bien se basa en aumentar los ingresos, he ahí el desafío de la sustentabilidad.

Se puede considerar que regionalmente al hablar de desarrollo sustentable, o sostenibilidad, no se logra contemplar que exista un avance similar entre naciones, cada uno depende de las prácticas internas y las relaciones entre estos tres grandes grupos sustentables. Así se considera que «[...] el desarrollo sustentable está anclado en el desempeño técnico según el medio capitalista y su relación con el desarrollo social» [12].

USO DE INDICADORES PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Para desarrollar estrategias y solucionar problemas (a nivel energético), mediante el tema del desarrollo sostenible, se han creado los indicadores energéticos del desarrollo sostenible (IEDS), organizados en espacios, temas y subtemas, fundamentado en los conceptos desarrollados por la Comisión de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (CDS), con la finalidad de mejorar varias condiciones necesarias a nivel global.

Algunos de estos indicadores son un instrumento inequívoco para medir los progresos realizados; sirven para diferenciar claramente las tendencias deseables de las indeseables. En el aspecto social, se pueden considerar los temas de equidad y salud, en donde se analiza el impacto que puede tener la energía y su influencia en la subsistencia del hombre. Cada ser humano consume a diario recursos, los cuales influyen directamente en sus relaciones sociales, como producto de las necesidades que se vayan

generando respecto a la tendencia del tiempo.

Los indicadores energéticos económicos, hacen referencia al uso de la energía relacionada con la inversión que la empresa puede ejercer. Es decir, estos indicadores muestran las relaciones que debe tener el uso de la energía respecto al consumo de valores energéticos y monetarios, versus la producción generada y el uso final que se le conceda a ésta. Estos indicadores pueden servir para analizar la eficiencia, productividad, cantidad de recursos disponibles y requeridos, etc., que necesita una industria o empresa, con el fin de evaluar el estado financiero interno y su proyección a futuro.

Se debe indicar que, en los indicadores de uso de la energía per cápita y eficiencia de la conversión y distribución de energía, la baja utilización de la energía per cápita puede ser debido a que la región es muy pobre o que la misma tiene una elevada eficiencia energética y la riqueza económica se basa más en los servicios que en la industria. De la misma manera, la energía primaria respecto a la energía final puede ser elevada por el hecho de que la región cuenta con un sistema energético primitivo en el que la energía primaria y la final llegan a ser semejantes, o que sea elevada porque el país disfruta de una economía avanzada, en la que utiliza sus industrias para la transformación de la energía de manera eficiente.

Los indicadores energéticos deben interpretarse en el contexto de la economía de cada país y de sus recursos energéticos. Una economía dominada por la extracción y elaboración primarias tendrá un uso de energía por unidad de producto interno bruto (PIB) relativamente alto, por muy eficiente que sea. Esto no significa que el país deba olvidarse de desarrollar su base de recursos [13].

Varios de los indicadores dan una idea clara de lo que pasa internamente en un país, es decir, pueden interpretarse como términos de desarrollo. Estas señales directas pueden encontrarse en los indicadores sociales y ambientales, tales como el indicador de víctimas mortales de accidentes, de emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de los sistemas energéticos y la tasa de deforestación atribuida al uso de energía. Éstos proporcionan una idea clara del estado actual en el que se encuentra el medio ambiente y su relación con el avance de las normas internas de la nación.

Existen varios indicativos que deben ser interpretados para solucionar problemas, sin obedecer el ambiente que les rodea; es decir, son independientes del desarrollo de la región, por ejemplo, según las iniciativas de progreso escogidas, éstas pueden derivar en problemas o efectos negativos o poco ventajosos que, por lo general, son pasajeros, hasta que se dé un nivel de desarrollo superior.

También estas variables pueden depender de los recursos explotados internamente, un claro ejemplo es Ecuador, que ha basado su economía en el petróleo en las últimas décadas, de ahí que los precios de combustibles y el consumo de energía es diferente a cualquier otro país de la región, pero en el caso de la inexistencia de este

elemento, los valores escalarían drásticamente afectando a la economía interna, incluso tomando el caso de una variación del precio del petróleo.

Ciertos indicadores no pueden considerarse como evaluadores, no se los puede calificar en una escala aceptable o no aceptable, ni ser considerados como elementos propios de desarrollo o de solución de problemas, solamente muestran un estado que puede ser bueno o malo según los aspectos internos o externos del contexto. Por lo general, los indicadores económicos poseen esa tendencia.

Igualmente hay que tomar en consideración los cambios estructurales en la economía. Por ejemplo, el cambio de la matriz productiva, en un país que dependía hasta entonces del petróleo y de la ayuda extranjera, podría repercutir en ciertos indicadores, así mismo, en Ecuador existen cambios que influirán de forma directa en los indicadores sociales como es la prioridad al turismo, o a los indicadores económicos y de consumo de energía al trabajar directamente en la matriz de producción e implementación de una refinería de crudos.

No obstante, los indicadores tomados en conjunto y en su contexto, sin olvidar las diferencias intrínsecas entre países, ofrecen una perspectiva adecuada del sistema energético de un país. A medida que los indicadores vayan evolucionando con el tiempo, se convertirán en buenos marcadores del progreso y de los cambios subyacentes. Ello servirá para orientar las políticas y encauzar las decisiones sobre inversiones en energía, control de la contaminación e industria.

Para finalizar, se debe señalar que la utilización de indicadores puede ayudar a obtener respuestas a las preguntas relativas a los costos externos que, por lo general, son complicadas de cuantificar. Sin embargo, ciertos costos externos son difíciles de internalizar, por lo que recaerán sobre la sociedad. Entre esos factores externos hay que mencionar la mala salud, los estragos ambientales y la caída del valor de las propiedades causada por las refinerías de petróleo, las líneas de alta tensión y otras instalaciones relacionadas con la energía.

Se debe tomar en cuenta que el desarrollo de los pueblos mejora y aumenta la implementación de tecnología, fuentes generadoras de energía, desarrollo de la industria, expansión demográfica, etc., pero esto tiene un costo ambiental, el cual debe ser medido y discutido uno a uno. Por mencionar, ¿Qué costo y ventaja tiene la construcción de una fuente de generación eléctrica frente a las pérdidas de paisajes, destrucción del hábitat de animales y plantas, contaminación del aire, etc.? ... «¿Qué sanciones o subsidios deben adjudicarse a cada tecnología energética? Gracias a la cuantificación de la intensidad energética, de los accidentes y las consecuencias ambientales por unidad de energía, los indicadores permiten evaluar comparativamente estrategias y alternativas, y ayudan a los encargados de la adopción de políticas a tomar decisiones sobre las medidas apropiadas, incluidas

las sanciones o subvenciones, y a promover un desarrollo energético eficiente y sostenible. Se están elaborando indicadores que reflejen el grado de internalización de los costos externos y que podrán incorporarse a su debido tiempo a los IEDS» [13].

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo continuo y el incremento económico a nivel mundial, da como resultado el descenso de la cantidad de recursos y la destrucción progresiva del medio ambiente. Por ello se debe promover y desarrollar ideas innovadoras que permitan sostener los recursos a lo largo del tiempo, asegurando que las futuras generaciones tengan las mismas oportunidades y condiciones para el aprovechamiento de éstos.

La innovación tecnológica es capaz de generar avances en el mejoramiento de la competitividad de las empresas, esto se da por medio de la creación de nuevas tecnologías aplicadas a productos y procesos. Es de gran apoyo la gestión y concesión de ayudas gubernamentales para la mejora de la tecnología, el fomento de la investigación y desarrollo a través de la cooperación entre empresas, universidades y centros de investigación, la promoción de la transferencia de tecnología tomando en cuenta la oferta y la demanda.

La introducción de nueva tecnología en el planeta ayuda al desarrollo y generación de nuevas industrias, y éstas a futuro causarán el cambio de la imagen en la naturaleza, generación de emisiones al medio ambiente o, a su vez, desechos materiales hacia la naturaleza. Puede ser que éstas en el presente no causen malestar o daño, pero a futuro pueden ser perjudiciales, por lo que la evaluación continua es necesaria.

Existen indicadores que ayudan a la solución y evaluación de problemas continuos en el medio, para esto la sustentabilidad se divide en tres grandes grupos: sustentabilidad ecológica, que se relaciona con el mantenimiento de los ecosistemas; sustentabilidad social, que propone mejorar la calidad de vida de las personas; y sustentabilidad económica, que asegura el crecimiento económico y la eficiencia productiva.

Los indicadores energéticos del desarrollo sostenible, sirven para desarrollar estrategias y solucionar problemas a todo nivel, algunos de estos indicadores son utilizados como un instrumento para medir los progresos realizados en una región o país; o a menudo para diferenciar claramente las tendencias deseables o indeseables de desarrollo.

REFERENCIAS

- [1] A. García, «Breve historia de la educación ambiental: del conservacionismo hacia el desarrollo sostenible»,

- Futuros*, n.º 12, p. 10, 2008.
- [2] M. Muñoz, *Educación popular ambiental para un desarrollo sostenible*, tesis doctoral, La Habana, 2003.
- [3] Naciones Unidas, *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*, Naciones Unidas, Santiago, 2018.
- [4] E. Gudynas, *Ecología, economía y ética del desarrollo sostenible*, 5.ª ed., Montevideo: CLAES, 2004.
- [5] p. e. m. A. I. Programa de las Naciones Unidas, *Producción más limpia: un paquete de recursos de capacitación*, 1999. [En línea]. Available: <http://www.pnuma.org/industria/documentos/pmlcp01e.pdf>
- [6] C. d. I. y. C. A. d. N. A. CICEANA, «www.ciceana.org.mx», 12 09 2007. [En línea]. Available: <http://www.ciceana.org.mx/recursos/Tecnologias%20limpias.pdf>
- [7] J. Arroyave y L. Garcés, «Tecnologías ambientalmente sostenibles», *Producción + Limpia* vol.1, n.º 2, pp. 78-86, 2006.
- [8] A. Mercado y K. Córdova, «Desarrollo sustentable-industria: más controversias, menos respuestas», *Ambiente & Sociedad*, vol. 1, pp. 1-23, 2005.
- [9] E. Tréllez y C. Quiroz, *Formación ambiental participativa. Una propuesta para América Latina*, Lima: CALEDOS, 1995.
- [10] M. A. Arias, «Academia Nacional de Educación Ambiental», septiembre 2003. [En línea]. Available: <http://www.ambiental.ws/anea>
- [11] G. Foladori, «Avances y límites de la sustentabilidad social», *Economía, sociedad y territorio*, vol. III, pp. 621-637, 2002.
- [12] N. Midleton y P. O'keefe, *Redefinig sustainable development*, London: Pluto Press, 2001.
- [13] OIEA, *Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías*, Viena: Organismo Internacional de Energía Atómica, 2008.

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)

<p>Información del artículo</p> <p>Recibido: Lorem ipsum 2021</p> <p>Aceptado: Lorem ipsum 2021</p>

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. Úse 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

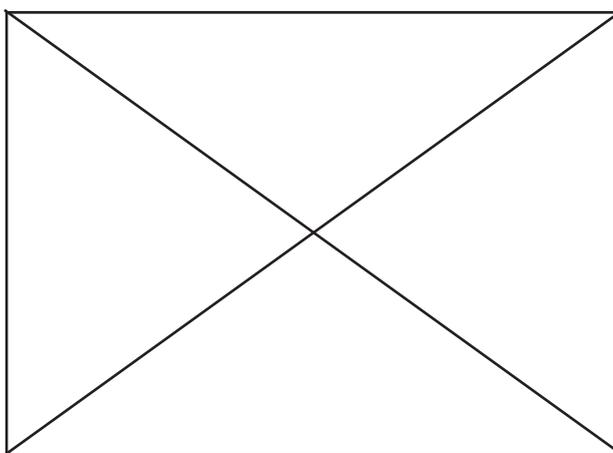
2.2.1 Lorem ipsum egestas tristique

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.
2. Tanto la figura como la leyenda deben estar centradas.

Figura 1. Lorem ipsum dolor sit amet.



3. Los datos dentro de la tabla siempre alineación derecha
 4. Alineado a la izquierda, usar normas APA 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].

5. 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 enumérese 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 16° 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 deber 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 diciembre julio de 2021 siendo rector de la Universidad Central del Ecuador el Dr. Fernando Sempértegui Ontaneda y director de Editorial Universitaria el Prof. Gustavo Pazmiño.

Pone a disposición de la comunidad los siguientes servicios:

LABORATORIO DE SANITARIA

+593 2 2542026 ext. 224



ÁREA DE CAPACITACIÓN INFORMÁTICA

+593 2 2542026 ext. 246



CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL, INNOVACIÓN Y EMPRENDIMIENTO

+593 2 2542026 ext. 218



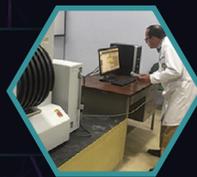
LABORATORIO DE PROTOTIPOS

+593 2 2542026 ext. 218



LABORATORIO DE HIDRÁULICA

+593 2 2542026 ext. 223



LABORATORIO DE PAVIMENTOS

+593 2 2550910



DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA

+593 2 2238970



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

+593 2 2522655



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

+593 2 2238744 ext. 211



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA POPULAR - DIP

+593 2 2542026



<http://uce-ing-informatica.blogspot.com/>



DITORIAL
UNIVERSITARIA