

Revista de



TECNOLÓGICO

RIDTEC | Vol. 15, N.º 2, 2019, julio – diciembre 2019

P-ISSN 1680-8894

E-ISSN 2219-6714

Edición Semestral

Publicación Regional



Revista de TECNOLÓGICO

Revista de investigación de la Universidad Tecnológica de Panamá

Volumen 15, Número 2, Edición Semestral, julio-diciembre 2019

P - ISSN 1680-8894

E - ISSN 2219-6714

Revista de I+D Tecnológico: revista de investigación, editada en la Dirección de Investigación, de la Universidad Tecnológica de Panamá. - Vol. 15, no. 2 (jul. - dic. 2019). - Panamá: Editorial Tecnológica, 2019.

v. ;27 cm.

Semestral

P- ISSN 1680-8894

E- ISSN 2219-6714

1. Universidad Tecnológica de Panamá - Publicaciones seriadas
2. Investigaciones - Publicaciones seriadas
3. Investigación y desarrollo.

Universidad Tecnológica de Panamá

AUTORIDADES

Ing. Héctor M. Montemayor Á.

Rector

Licda. Alma Urriola de Muñoz

Vicerrectora Académica

Dr. Alexis B. Tejedor De León

Vicerrector de Investigación, Postgrado y Extensión

Mgtr. Mauro Destro Stimamiglio

Vicerrector Administrativo

Mgtr. Ricardo A. Reyes B.

Secretario General

Ing. Brenda Serracín de Álvarez

Coordinadora General de los Centros Regionales



La Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC) es una revista indexada abierta (OA) con publicación semestral de la Universidad Tecnológica de Panamá, especializada en las áreas de las ciencias, ingenierías y tecnologías.

Actualmente, la RIDTEC forma parte del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX), y The European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences (ERIH PLUS), entre otras como REDIB, ROAD, BASE y OAJI.

Para garantizar un proceso de evaluación libre de sesgo y/o conflictos de intereses, cada artículo ha sido evaluado a través de un proceso de "revisión por pares, doble ciego".

Revista de I+D Tecnológico disponible en:

<http://www.revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico>

© Derechos reservados, UTP

Impreso en Panamá, Ciudad de Panamá

Imprenta de la Universidad Tecnológica de Panamá

Tiraje: 300 ejemplares.



Directorio Editorial

P – ISSN 1680-8894

E – ISSN 2219-6714

Director de la revista

Dr. Orlando Aguilar

Dirección de investigación, UTP¹

Editor de la revista

Dr. Orlando Aguilar

Dirección de investigación, UTP¹

Coeditores y coordinadores

Lic. Cristian Moreno

Dirección de investigación, UTP¹

Lic. Huriviades Calderón

Dirección de investigación, UTP¹

Comité Editorial

Dr. Carlos Medina

Facultad de Ingeniería Eléctrica, UTP¹

M.Sc. Julio Mario Daza Escorcía

Docente Investigador² y Estudiante Doctorando³

Dr. Jesús Javier Alcantar Peña

Investigador titular B⁴

Dr. Frederick Wittel

Docente Administrador⁵

Dr. David Álvarez

Docente Investigador⁶

Comité Científico

Dr. Christian Chapa Gonzalez

Docente Investigador⁸

Dr. Ronaldo Maghirang

Docente Investigador⁹

Dr. Ronaldo Maghirang

Profesor titular ordinario¹⁰

Equipo Técnico y proyección internacional

Ing. Danny Murillo⁷, Ing. Dalys Saavedra⁷

Dirección de Comunicación Estratégica

Mgter. Danilo Toro

Director

Ing. Libia Batista

Editorial Universitaria

Lic. Karin Guillen

Sección de diseño gráfico

Lcda. Shirley Cedeño

Imprenta

Afiliaciones

1. Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
2. Politécnico de la Costa Atlántica, Colombia
3. Universidad de Valencia, España
4. Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), Querétaro, México
5. Assoc. Dean of Math, Science, & Health Professions at Richland College, Dallas, Estados Unidos
6. Universidad de Los Andes - Bogotá, Colombia
7. Repositorio institucional de documentos de acceso abierto

8. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México
9. Professor and Associate Dean for Research and Graduate Programs, Kansas State University, Estados Unidos
10. Universidad Tecnológica Nacional La Plata, Argentina.

Presentación

La Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) presenta a la comunidad científica y público en general, la segunda edición del año 2019 de la Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC), volumen 15, número 2. Con el propósito de divulgar la labor de investigación científica en la UTP, nace en 2002, RIDTEC, como una revista abierta (OA) evaluada por pares Doble Ciego, con publicación semestral. RIDTEC es la principal revista panameña para la publicación de trabajos de investigación en las áreas de ingeniería y tecnología, apoyando a docentes e investigadores nacionales e internacionales en la publicación de sus trabajos. RIDTEC forma parte de los catálogos de indexación Latindex, REDIB, ROAD, MIAR, ERIHPLUS y de la Red LatinREV. Así como de las bases de datos OEI, OpenAIRE, OAJI, PKP|INDEX, MENDELEY, CROSSREF, DRJI, BASE y Google Scholar. RIDTEC está integrada al repositorio UTP-Ridda², SIIDCA y la Red de Repositorios Latinoamericanos.

El primer artículo de este número, revisa los métodos de evaluación de la Usabilidad y de la Experiencia de Usuario para productos y servicios informáticos en Cuba. Se presenta el estado del arte de este tema en el país.

El siguiente artículo hace uso de tecnologías de gran potencia para el desarrollo de una herramienta para la evaluación de productos de *software* basado en pruebas de mutación para la obtención de resultados a través de diversas técnicas de prueba de Caja Blanca, comprobando que los *softwares* cumplan con los requisitos definidos en su diseño.

El tercer artículo presenta una descripción de los sistemas de interfaz cerebro-computadora (BCI), sus características, sus orígenes y evolución, sus elementos constituyentes, así como la captación y tratamiento de señales cerebrales para la generación de comandos de computador que controlen sistemas como sillas de ruedas con motores.

El cuarto trabajo presenta un modelo predictivo para la extracción de patrones utilizando técnicas de fusión de datos que permitan el diseño de un modelo de mantenimiento predictivo, mediante el enfoque de entrenamiento supervisado, realizar la clasificación de datos y la obtención probabilística de valores predictivos en el marco de la Industria 4.0.

El quinto trabajo propone un modelo de gobernanza de datos públicos en Honduras, compuesto por cinco habilitadores; Marco de interoperabilidad, Priorización de la digitalización de procesos de negocio, Protección de datos personales y seguridad de la información, Identificación digital de los ciudadanos

y Mejora continua de la calidad de los servicios; con el fin de dinamizar los servicios prestados a los ciudadanos utilizando las tecnologías de información y comunicación.

El sexto trabajo presenta un diagnóstico de la capacidad y disponibilidad de sistemas de servicios de tecnología de la información en organizaciones de la industria cubana del *software*, en base a los modelos CMMI-SVC, ITIL, COBIT e ISO 20000.

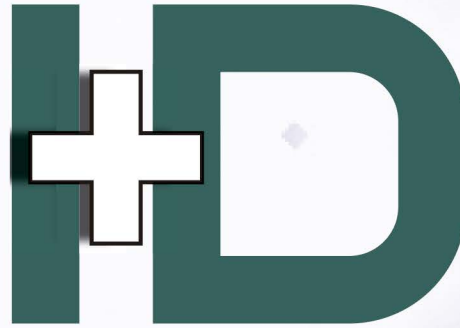
El siguiente artículo propone un modelo heurístico para la penetración masiva de vehículos eléctricos enchufables (VEE), considerando que esto dependerá de la capacidad instalada en los sistemas eléctricos de distribución y de la autonomía y confort que los VEE brinden al usuario. El algoritmo sugiere un mínimo número de estaciones de carga pública (ECP) garantizando la posibilidad de que un VEE pueda conectarse a una ECP reduciendo la ansiedad del operador del VEE.

El octavo trabajo muestra el diseño óptimo de una red óptica de comunicaciones en redes eléctricas inteligentes, basado en un algoritmo que posibilita la creación del árbol de mínima expansión que comunica a todos los actores del sector eléctrico, limitando las distancias entre subestaciones con la finalidad de evitar equipos adicionales intermedios como los amplificadores de la señal óptica.

El noveno artículo propone un enrutamiento y despliegue resiliente de una red de distribución, basado en un modelo meta-heurístico, para el óptimo emplazamiento de transformadores y, *minimum spanning tree* (MST) y define el óptimo enrutamiento del sistema de distribución antes, durante y después de un evento catastrófico extremo.

El último trabajo se enfoca en la óptima conmutación de líneas de transmisión (OTS) posterior a la presencia de contingencias en los sistemas de potencia. Por este medio se reconfigura la etapa de transmisión tras producirse una falla, de esta manera; se busca disminuir la salida de demanda del sistema y reducir la probabilidad de un apagón masivo.

Ing. Orlando Aguilar, Ph.D.
Director del Comité Editorial
Julio, 2019



Contenido

5

Extracción de patrones para la Industria 4.0 a través de un modelo predictivo

Extraction of patterns for Industry 4.0 through a predictive model

Inés Sittón Candanedo | Sara Rodríguez González | Lilia Muñoz

45

Gobernanza de datos públicos en Honduras

Governance of public data in Honduras

Fredis Dubal Medina Escoto | Armando Jipsion

12

Los sistemas de interfaz cerebro-computadora basado en EEG: características y aplicaciones

Brain computer interface systems: characteristics and applications

I. Moreno | E. Batista | S. Serracín | R. Moreno | L. Gómez | J. Serracín | C. Boya | J. Quintero

54

Proceso de gestión de la capacidad y disponibilidad para un modelo de desarrollo de sistemas de servicios de tecnología de la información

Capacity management process and availability for an information technology service systems development model

Clariannis Gómez Barroso | Leonardo Valcarcel Martínez

26

Evaluación de la experiencia de usuario en el contexto cubano

User Experience evaluation in Cuban context

I. Moreno | E. Batista | S. Serracín | R. Moreno | L. Gómez | J. Serracín | C. Boya | J. Quintero

66

Despliegue óptimo georreferenciado de estaciones de carga vehicular pública considerando capacidad de flujo y distancias máximas habilitantes

Georeferenced optimal deployment for public vehicle charge station considering restrictions of capacity flow and maximal enablers distance

Miguel Campaña | Esteban Inga

37

Pruebas de mutación, control sobre variaciones en el código fuente

Mutation tests, control of variations in the source code

Nelson Sánchez Álvarez | Neybis Lago Clara

77

Despliegue óptimo de redes ópticas para comunicaciones en redes eléctricas inteligentes

Optimal deployment of optical networks for smart grids communications

Milton Ruiz | Esteban Inga

Contenido

84

Modelo resiliente de redes de distribución considerando flujos de potencia basado en teoría de grafos

Resilient model for distribution networks regarding power flow based on graph theory
Darwin López V. | Wilson Pavón

96

Estado del Arte de conmutación de líneas de transmisión con análisis de contingencias

State of Art transmission systems switching with contingency analysis
Paúl Andrés Masache Almeida | Diego Francisco Carrión Galarza



Extracción de patrones para la Industria 4.0 a través de un modelo predictivo

Extraction of patterns for Industry 4.0 through a predictive model

Inés Sittón Candanedo ¹, Sara Rodríguez González ¹, Lilia Muñoz ^{2*}

¹ BISITE Digital Innovation Hub Universidad de Salamanca, España

² GITCE, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

*Autor de correspondencia: lilia.munoz@utp.ac.pa

RESUMEN– El Internet de las Cosas ha venido incorporándose a nuestras vidas de forma progresiva, trayendo consigo grandes beneficios para la humanidad como lo es disponer de infraestructuras y servicios más interconectados y eficientes, generación de empleo, reducción de costos operativos e incremento de ganancias. En este sentido, el desarrollo e instalación de sensores avanzados para recolección de datos, las soluciones informáticas de conexión remota y otras tecnologías disruptivas están marcando un proceso de transformación en la industria; dando inicio a lo que diversos sectores han denominado cuarta revolución industrial o Industria 4.0. En este artículo se presenta un modelo predictivo para la extracción de patrones utilizando técnicas de fusión de datos que permitan el diseño de un modelo de mantenimiento predictivo, a través de un enfoque de entrenamiento supervisado, realizar la clasificación de datos y probabilísticamente valores predictivos.

Palabras clave– *Industria 4.0, modelo, predicción, sensores.*

ABSTRACT– The Internet of Things has been incorporated into our lives progressively, bringing with it great benefits for humanity such as having more interconnected and efficient infrastructures and services, generating employment, reducing operating costs and increasing profits. In this sense, the development and installation of advanced sensors for data collection, remote connection computing solutions and other disruptive technologies are marking a process of transformation in the industry; giving rise to what several sectors have called the fourth industrial revolution or Industry 4.0. This article presents a predictive model for the extraction of patterns using data fusion techniques that allow the design of a predictive maintenance model, which allows using a supervised training approach, perform data classification and probabilistically predictive values.

Keywords– *Industry 4.0, model, prediction, sensors.*

1. Introducción

El sector industrial está desempeñando un papel cada vez más importante a nivel mundial. Se considera un motor de la innovación, crecimiento y estabilidad social. Sin embargo, la competencia es cada vez más intensa. Los clientes demandan productos de alta calidad, mucho más personalizados, con un tiempo de producción menor, lo que implica en muchos casos la utilización de herramientas acorde con los requerimientos.

En términos generales, solo aquellas empresas que logren conseguir productos a la medida y disminuyan los tiempos de producción, con la máxima eficiencia y eficacia en sus plantas, serán más competitivos. La solución está en la unificación del mundo real y el virtual, lo que se entiende como Industria 4.0.

En este sentido, la Industria 4.0 y los términos similares como *Smart Manufacturing*, *Smart Production*, Internet Industrial, 4.0, Industria Conectada 4.0, por mencionar algunos de los que han sido adoptados para identificar este paradigma de la cuarta revolución industrial, suponen un cambio de mentalidad importante y hacen referencia a la conversión del modelo industrial conocido hasta el momento por la irrupción del Internet de las Cosas (IoT), las redes de sensores y los sistemas ciber físicos (CPS) [1].

La estandarización es otro de los grandes retos que trae consigo la implementación de la Industria 4.0, convirtiéndose en el tema objeto de interés de los gobiernos, empresas y la comunidad científica para el desarrollo de soluciones, modelos o aplicaciones predictivas basadas en IoT. En opinión de algunos

Citación: I. Sittón, S. Rodríguez y L. Muñoz, “Extracción de patrones para la Industria 4.0 a través de un modelo predictivo”, *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 2, pp. (5-12), 2019.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 24 agosto de 2018. **Recibido con correcciones:** 1 de abril de 2018. **Aceptado:** 26 de julio de 2019.

DOI: <https://doi.org/10.33412/idt.v15.2.2232>

Copyright: 2019 I. Sittón, S. Rodríguez y L. Muñoz. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

autores, existe una oportunidad para los investigadores en el contexto de la cuarta revolución industrial, porque si bien es cierto que las redes de sensores no son un tema reciente, aún son un desafío cuando se trata de encontrar soluciones para el problema de la fusión automática de los datos, el procesamiento y la integración del gran volumen de datos que generan estas fuentes heterogéneas [2].

Dentro de los grandes desafíos asociados al paradigma Industria 4.0, nos enfocamos en los datos generados por redes de sensores IoT instalados en máquinas y su adecuado procesamiento para obtener información que permita anticipar fallos y programar el mantenimiento predictivo de los equipos. Durante los últimos años este tema ha sido objeto de investigaciones por la diversidad de actividades industriales y de equipos que las conforman [3].

El artículo está estructurado de la siguiente manera: la primera sección describe la introducción, seguida el trabajo relacionado del paradigma Industria 4.0, sus habilitadores tecnológicos, investigaciones y países que destacan por sus iniciativas para convertir sus industrias en fábricas inteligentes (*Smart Factories*). En una tercera sección, se explica la propuesta para el diseño de un modelo predictivo, tomando como base el Modelo Omnibus utilizado para la fusión de datos [4]. Además, se presenta un caso de estudio. Se hace referencia a las técnicas y algoritmos que se utilizarán en las etapas de prueba para la extracción de patrones. En la cuarta sección se presentan los resultados. Finalmente, en la última sección se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

2. Trabajo relacionado

La industria es una actividad de vital importancia en una región, ya que mediante ella puede mantenerse tanto el mercado laboral de dicha región como el valor añadido o las habilidades que los empleados pueden aportar. Una industria débil se traduce en incluso modificaciones en los estamentos sociales de una región, ya que puede afectar a la clase media y polarizar cada vez más la sociedad. Las tres revoluciones industriales previas provocaron grandes avances en la productividad y cambiaron la vida de las personas en todo el mundo. En la tabla 1 se puede apreciar un resumen de las revoluciones industriales.

Tabla 1. Resumen de las revoluciones industriales

	Período	Tecnologías y capacidades
Primera	1784 – 1850	Aparición de la mecanización, con sistemas de producción mecánicos con tracción hidráulica y vapor.
Segunda	Finales siglo XIX – 1970s	Mejora de la producción gracias a la incorporación de nuevas fuentes de energía como la electricidad y el petróleo.
Tercera	1970s – Actualmente	Incorporación de microelectrónica y las tecnologías de la información para automatizar la producción y tareas complejas.
Cuarta	Actualmente	La tecnología de sensores, interconectividad y análisis de datos, permiten la personalización en masa, la integración de cadenas de valor y una mayor eficiencia.

El referente del concepto Industria 4.0 surge en Alemania durante el año 2011, cuando el Gobierno y el sector empresarial, encabezado por Bosch, conforman un grupo de investigación para encontrar un marco común que permitiera la aplicación de las nuevas tecnologías, entregando su primer informe en el 2012, que luego fue presentado en público durante la Feria de Hannover en 2013. Así inicia el paradigma de lo que hoy se conoce como la cuarta revolución industrial, referenciada bajo diferentes términos de acuerdo con el país en donde se desarrollen iniciativas para su investigación, y aplicación dentro del ecosistema industrial tanto a nivel macro como de PyMEs [5].

Según el trabajo desarrollado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España [6], dentro de la iniciativa Industria conectada 4.0, los nuevos

requerimientos del mercado en la economía digital se pueden resumir en:

- Personalización masiva: el consumidor, tanto final como intermedio, demanda cada vez más productos singulares y adaptados a sus preferencias, pero a bajo precio. La personalización masiva implica la producción a bajo costo de productos y servicios de alta calidad y en grandes volúmenes, pero personalizando el producto o servicio a las necesidades y gustos del cliente.
 - Acceso omnicanal a los productos y servicios: con la aparición de canales digitales, los canales se han multiplicado. El cliente ahora requiere de una mayor coherencia entre todos los canales. El reto de la omnicanalidad es eliminar las diferencias entre canales, haciendo que las relaciones con el cliente sean homogéneas independientemente del medio utilizado (ya sean físicos o digitales).
 - Conocimiento predictivo de los hábitos de uso y consumo: la empresa, cada vez más, deberá ser capaz de adelantarse a las demandas del cliente, ofreciéndole, entre todos los productos y servicios disponibles, aquellos más alineados con sus necesidades, sus gustos y sus preferencias. El conocimiento predictivo, así considerado, es un medio para la personalización del servicio al cliente.
- Democratización del acceso a la información: los clientes tienen acceso, en todo momento, tiempo y lugar, a toda la información disponible en un momento dado. Dicha democratización es hoy una realidad en los países desarrollados, donde la gran mayoría de la población tiene acceso a Internet y, por medio de este, a noticias, precios de productos y servicios, opiniones, ideas, publicaciones, informes, etc. de todo tipo y de todo el mundo.

No es posible hablar de una cuarta revolución industrial sin hacer referencia al Internet de las Cosas; aunque no existe una definición estándar aceptada universalmente para el IoT, la ITU (*International Telecommunication Union*) y el IERC (*Internet of Things European Research Cluster*) citados por Cruz et al., [6], lo define como: “una infraestructura de Red Global y dinámica con la autoconfiguración de las capacidades basadas en protocolos de comunicación estándar e interoperables, donde “cosas” físicas y virtuales tienen identidad, atributos físicos, personalidades virtuales y utilizan interfaces inteligentes que se integran a la perfección en la red de información”.

La IoT ha traído consigo entre otras cosas el uso integrado de las tecnologías de la información y las comunicaciones, el desarrollo y acuerdos sobre estandarización, y un nuevo modo de ver a toda la sociedad interactuando con una infraestructura de comunicaciones Persona-Máquina o M2M (Máquina a Máquina) que proporcionara una nueva generación de servicios en una Internet del Futuro con la interconexión de dispositivos de detección inalámbricos en Redes de Sensores Inalámbricas (*WSN Wireless Sensor Network*) basadas en IP [7].

Diversos sistemas se han desarrollado utilizando sensores o redes de sensores, generando su incorporación en infraestructura, inteligencia ambiental, productos, equipos de producción, por lo que, son un componente implícito en un entorno actual [8].

Una WSN forma una gran cantidad de nodos de sensores con el objetivo de detectar un fenómeno físico como: luz, temperaturas, vibraciones, entre otros [9]. En el contexto Industria 4.0 las WSN se consideran un revolucionario método de recopilación de información y con el acelerado desarrollo tecnológico de sensores, estas redes se han convertido en una tecnología clave del IoT.

3. Propuesta

Para afrontar el problema de la fusión automática de la información generada por sensores distribuidos heterogéneamente, Bajo J. *et al.*, [10] indican la importancia de encontrar nuevas soluciones, destacando las diversas técnicas de fusión de datos e información que se encuentran en la literatura. En este contexto, Al Momani B. *et al.* [11], señalan que la fusión de datos ha demostrado ser valiosa en muchas aplicaciones, como el reconocimiento de patrones y la clasificación, donde en diversas investigaciones destacan modelos de fusión de datos para la gran gama de problemas existentes.

La primera etapa de esta investigación analiza el modelo de fusión de datos Omnibus, presentado por Bedworth M. y O'Brien J. [4] donde se enfatiza la extracción de patrones dentro de su ciclo. Este modelo de acuerdo con Almasri *et al.*, [12] consta de una actividad formada por cuatro estados cíclicos que se desarrollan en el siguiente orden:

- Detección y procesamiento de la señal: la información se colecta y preprocesa.

- Extracción de patrones: con la información pre procesada, se extraen los patrones y se fusionan para crear los contextos necesarios.
- Decisión: los contextos son procesados y se establecen las acciones a seguir.
- Etapa de actuación (Act stage): se elige el plan a seguir.

La figura 1 muestra las diferentes etapas que constituyen el modelo que se propone, basándose en el modelo Omnibus, descrito anteriormente. Se inicia con un proceso de recolección de datos no estructurados, a partir de redes de sensores; luego mediante la aplicación de técnicas y algoritmos de fusión de datos se extraerán patrones, permitiendo el diseño de un modelo predictivo orientado a la industria 4.0. La aplicación de este modelo permitirá a las organizaciones una toma de decisiones oportuna en lo referente a la gestión del mantenimiento de equipos.

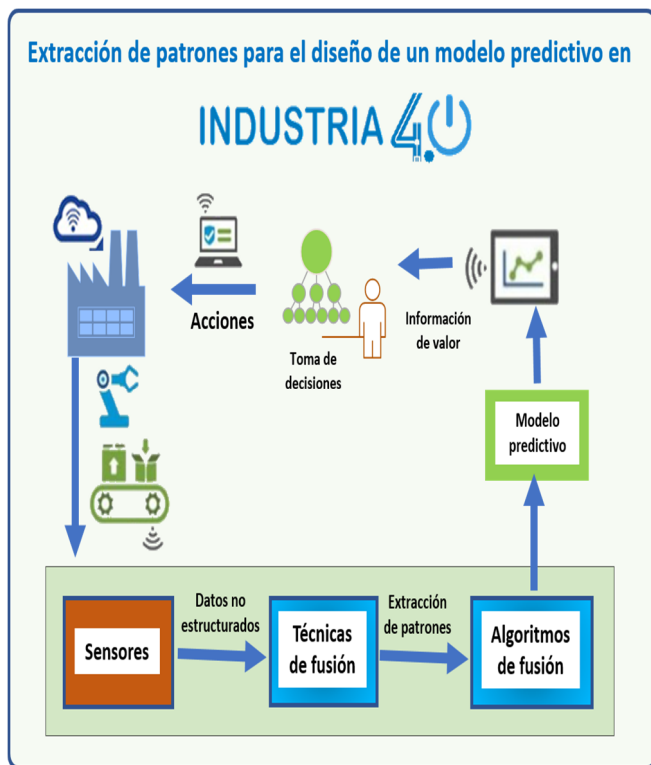


Figura 1. Diseño propuesto: modelo predictivo en industria 4.0.

El reconocimiento de patrones no es un término nuevo, tiene sus orígenes en la ingeniería y las aplicaciones estadísticas, sin embargo, su evolución ha permitido importantes desarrollos en el área de las

ciencias computacionales, donde, facilita la detección automática de regularidades en los datos mediante el uso de algoritmos de inferencia y predicción, contruidos a partir de teoremas probabilísticos como el de *Naives Bayes*, permitiendo tomar acciones tales como clasificar los datos en diferentes categorías [13]. Los métodos de fusión de datos, en su mayoría probabilísticos, se fundamentan en la regla de Bayes, teorema de *Naives Bayes*, que permite combinar información previa y de observación, sin embargo, existen otros métodos como: Filtros de Kalman, *Random Forest* (árboles aleatorios), Secuenciales de Monte Carlo o estimaciones de densidad y otras alternativas a los métodos probabilísticos como la teoría de la evidencia y los métodos de intervalo [14].

4. Caso de estudio

Los sistemas de climatización (HVAC) controlan el clima interior, la temperatura del aire, la humedad y la presión, creando un entorno de producción óptimo en edificios industriales. Estos equipos son fundamentales para el funcionamiento de una fábrica en el contexto de la Industria 4.0, sin embargo, el mantenimiento de rutina no siempre identifica las fallas en esos sistemas. El objetivo del mantenimiento predictivo en el paradigma de la Industria 4.0 es extender la vida útil del equipo utilizando diferentes herramientas y técnicas para identificar patrones anormales tales como: vibración, temperatura o equilibrio.

De acuerdo con la importancia de los sistemas HVAC en estos entornos, se presenta un caso de estudio, donde se utilizó un banco de datos organizado por columnas que contiene el registro de temperatura óptima y los valores reales medidos por sensores en edificios, para analizar el comportamiento de un sistema de climatización HVAC [15] y determinar si el equipo está fallando y requiere ser reemplazado al no mantener las temperaturas interiores en un rango óptimo.

La tabla 2, describe las variables del conjunto de datos HVAC, que está formado por 8,000 registros en edificios con un rango de edad de 0 a 30 años.

Tabla 2. Descripción de variables

Variable	Descripción
<i>Date</i>	Fecha en que se realizó la medida
<i>Time</i>	Hora de la medida
<i>TargetTemp</i>	Temperatura medida por el sensor

<i>Actualtemp</i>	Temperatura óptima para el sistema HVAC
<i>System</i>	Modelo del sistema HVAC
<i>SystemAge</i>	Edad del equipo
<i>BuildingID</i>	Identificador del edificio donde está instalado el equipo

Para el preprocesado de los datos se estableció un rango para las temperaturas normales y dos tipos de alarma que indican las temperaturas extremas y por lo tanto, una posible falla en los equipos. En la tabla 3 se describen los valores normales y las alarmas.

Se agregan dos etiquetas al conjunto de datos: ‘Diferencia’ y ‘FiltroDiferencia’, en la primera se almacenan los valores obtenidos de la diferencia entre la temperatura medida ‘TargetTemp’ y la temperatura óptima ‘Actualtemp’; en la segunda los valores de la conversión binaria asignando un 0 a las temperaturas normales y un 1 a las alarmas por temperaturas extremas (frío o calor).

Tabla 3. Descripción de temperatura normal y alarmas

Rango	Descripción
Normal	IF((TargetTemp - Actualtemp) < 5
Alarma: Temperatura extrema por frio	IF((TargetTemp - Actualtemp) ≥ 5
Alarma: Temperatura extrema por calor	IF((TargetTemp - Actualtemp) ≤ - 5

5. Resultados

Para este caso de estudio se utilizó el clasificador *Naive Bayes*, entre sus ventajas se destacan: la rapidez y su capacidad de estimar con distribuciones unidimensionales. La figura 2, presenta su aplicación al conjunto de datos, en el cual y es una variable de clase o categórica y x es un vector dependiente (patrón o característica) donde x_1 hasta x_n . Por lo anterior, en la variable y , a cada valor considerado óptimo se le asigna un 0 y a cada temperatura fuera del rango normal se le asigna un dígito 1 para realizar la clasificación [16]. Este algoritmo se emplea en procesos secuenciales de

mantenimiento de un modelo probabilístico dentro de un estado que con el tiempo va evolucionando, mientras es monitorizado por sensores. Una de las ventajas de este método es su formulación, ya que permite su aplicación en una variedad de problemas de fusión de datos sin modificar su representación o recurrir a otros modelos de observación [14].

INICIO

Entrada: (y) y (x),

La probabilidad y es: $P(y|x_1, \dots, x_n) = \frac{P(y)P((x_1, \dots, x_n|y)}{P(x_1, \dots, x_n)}$

Asumiendo que: $P(x_i|y, x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n) = P(x_i|y)$

Para i :

Simplificar a: $P(y|x_1, \dots, x_n) = \frac{P(y) \prod_{i=1}^n P(x_i|y)}{P(x_1, \dots, x_n)}$

Donde $P(y|x_1, \dots, x_n)$ es constante dada la entrada.

Las reglas de clasificación son:

$P(y|x_1, \dots, x_n) \propto P(y) \prod_{i=1}^n P(x_i|y)$

$y = \arg \max_y P(y) \prod_{i=1}^n P(x_i|y)$, $P(x_i|y)$, es la

frecuencia relativa de la clase y en los datos de entrenamiento y prueba.

FIN.

Figura 2. Pseudocódigo Naive Bayes.

La figura 3 presenta la predicción que se obtiene al utilizar el clasificador basado en el algoritmo *Naive Bayes*. Se observa una gráfica que muestra los valores de los sensores (color azul) correspondientes a la temperatura y la predicción que realiza el algoritmo (color rojo). Evidenciando que la predicción de valores que realiza este algoritmo es similar a los captados por el sensor, con una precisión del 95%.

Luego de aplicar el modelo *Naive Bayes* y obtener su porcentaje de precisión, se aplicó al conjunto de datos un algoritmo basado en el clasificador *Random Forest* (RF) o Bosques Aleatorios, en este sentido, varios autores como [17] y [18] confirman que el clasificador *Random Forest* es una herramienta efectiva en los procesos de predicción con datos no estructurados como es el caso de los recolectados por redes de sensores IoT.

Este clasificador es considerado, además, como un método estadístico no paramétrico que permite abordar los problemas de regresión y clasificación de dos o más clases. Las recientes investigaciones de Scornet, E., *et al.*, [19] *referenciadas* a su vez por Genuer, R., *et al.*, [17]

demuestran la coherencia del método y sus parámetros de rendimiento. Breiman, L. [20] define *Random Forest* de la siguiente manera: "...un bosque aleatorio es un clasificador que consiste en una colección de clasificadores estructurados en árbol $\{h(x,.., \Theta_k),$

$k=1,..,n\}$ donde $\{\Theta_k\}$ son vectores aleatorios independientes, distribuidos de forma idéntica y cada árbol arroja un voto unitario para la clase más popular de la entra $x...$ ".

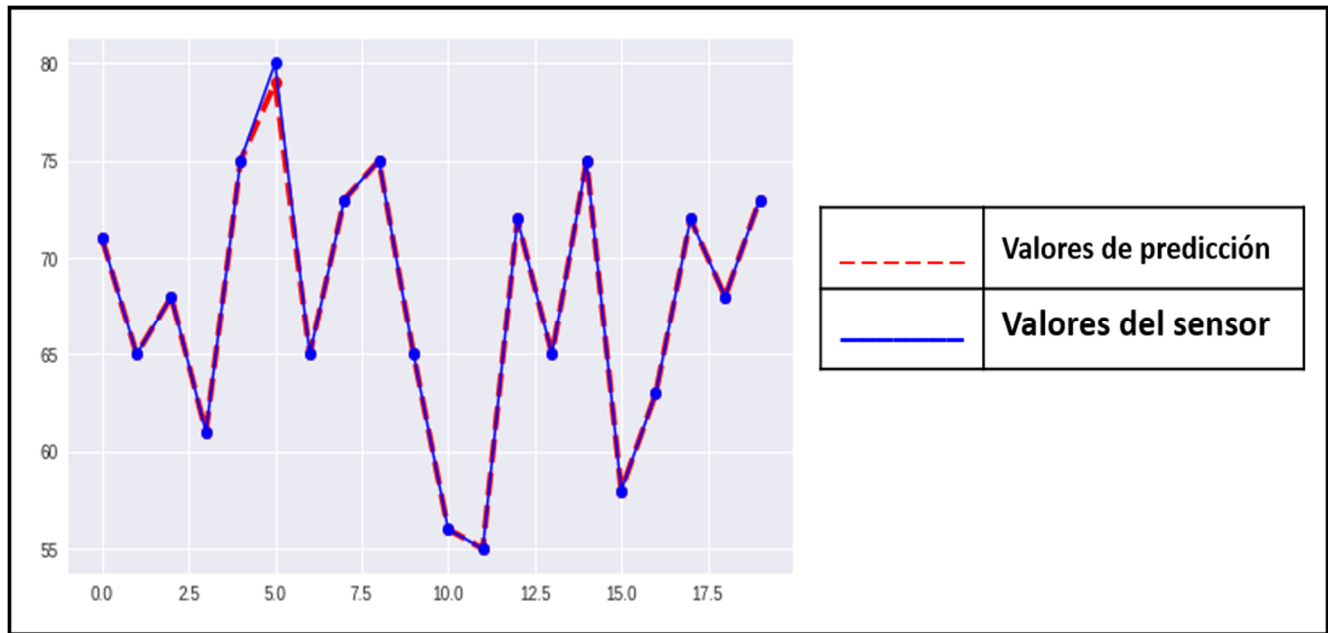


Figura 3. Resultado Naive Bayes.

La figura 4 muestra la implementación de un modelo de predicción utilizando *Random Forest*, en el que se dividió el conjunto de datos originales. Los valores que se generaron muestran una precisión del 72%, si se utiliza como variable categórica, la clasificación binaria como característica, evalúa la edad de los equipos con una predicción con tendencia a fallo (1), en los equipos con un rango de edad de 15 a 30 años. Con estos resultados, si utilizamos como métrica de comparación la precisión (*accuracy*), para este caso de estudio se obtienen resultados más exactos al utilizar el clasificador *Naive Bayes*.

INICIO

1. Seleccionar aleatoriamente " k " a partir de las características " f " totales.
2. Donde $k < f$
3. Para " k ", calcular el nodo " d " utilizando el mejor punto de división
 - a. Dividir " d " en d_1, d_2, \dots, d_n .
4. Repetir 1:3 hasta obtener " d_n ".

5. Repetir pasos 1 hasta 4 para obtener " n " árboles y construir el bosque aleatorio **B**.
6. Predicción
 - 6.1 Precondición: Conjunto de entrenamiento $S = (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$, características f y n árboles en el Bosque **B**.
 - a. Función RanfomForest (S, F)
 - b. $H \leftarrow \emptyset$
 - c. Para $i \in 1, \dots, n$, hacer B
 - $S \leftarrow (i)$ una muestra de arranque de S
 - $h_i \leftarrow \text{randomizedtreelearn}(S(i)F)$
 - $H \leftarrow H \cup \{h_i\}$
 - Fin Para
 - d. Retornar H
 - e. Fin Función
 - 6.2 Función RandomForestClassifier
 Hacer clasificación para n estimaciones de $S(x_n, y_n)$ donde
 Predicción es:

$$D = \frac{f(x)}{\sum_{i=1}^n \mathbb{1}_{\{x_i, y_i\}}}$$
 específicamente $D =$

Se entrena $h_k(x)$ donde:

Cada clasificador $h_k(x) \equiv h(x|\theta_k)$ es un predictor de n para $\mathcal{Y} = \pm 1$ asociada con cada entrada x

Fin función

Fin Predicción

FIN

Figura 4. Pseudocódigo Random Forest (Bosques aleatorios).

6. Conclusiones

El modelado e integración del gran volumen de datos industriales generados por las máquinas y recolectados por sensores, es un claro problema que requiere el desarrollo de futuras investigaciones. El modelo de mantenimiento predictivo que se presenta en este artículo está en una etapa incipiente, permitiendo el uso de otras técnicas para la extracción de patrones, en bancos de datos con un mayor volumen de medidas realizadas por sensores instalados en otros entornos industriales. La realización de pruebas utilizando varios métodos y técnicas de clasificación, entrenamiento y predicción, permitirán obtener las bases necesarias para efectuar un diseño de algoritmo que admita su implementación en un conjunto de datos heterogéneo, lo que es característico en organizaciones del contexto industria 4.0.

En las pruebas efectuadas, hasta el momento, el algoritmo *Naive Bayes* permitió, mediante un enfoque de entrenamiento supervisado, realizar la clasificación de datos y probabilísticamente generar las predicciones de valores con una precisión del 95% y *Random Forest* (bosques aleatorios) con un 72%. En trabajos futuros se efectuarán pruebas aplicando otras técnicas y métodos para la determinación de patrones como lo es el Filtro de Kalman, permitiendo realizar comparaciones sobre la eficiencia y confiabilidad de los algoritmos y empleando otras métricas de evaluación diferentes a la precisión. Además, se utilizarán bancos de datos industriales de mayor volumen que requieran para su procesamiento y análisis de plataformas con tecnología *Big Data*.

7. Agradecimiento

I. Sittón Candanedo dispone de una beca IFARHU-SENACYT del Gobierno de la República de Panamá.

8. Referencias

[1] H. Kagerman, R. Anderl, J. Gausemeier, G. Schuh and W. Wahlster (2016). "Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies

for Cooperating with International Partners", Acatech Study, Munich, Germany.

- [2] F. Civerchia, S. Bocchino, C. Salvadori, C., E. Rossi, L. Maggiani, L., and M. Petracca, (2017). Industrial Internet of Things Monitoring Solution for Advanced Predictive Maintenance Applications. *Journal of Industrial Information Integration*.
- [3] M. García-Valls (2016). Prototyping low-cost and flexible vehicle diagnostic systems. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*, Salamanca, v. 5, n. 4.
- [4] M. Bedworth, & J. O'Brien. (2000). The Omnibus model: a new model of data fusion? *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 15(4), 30-36.
- [5] Gobierno de España, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Santander y Telefónica (2015). "La Transformación Digital de la Industria Española. Informe Preliminar".
- [6] M. Cruz, P. Oliete., C. Morales, C. González, B. Cendón., & A. Hernández (2015). "Las Tecnologías IoT dentro de la Industria Conectada 4.0". Gobierno de España, Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Escuela de Organización Industrial (eoi). Libro digital en: <http://a.eoi.es/industria4>.
- [7] I. Ishaq, D. Carels, G. Teklemariam, J. Hoebeke, H. Van den Abeele, E. De Poorter, I. Moerman, I., and P. Demeester, (2013). "IETF standardization in the field of the internet of things (IoT): a survey," *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 2, pp. 235-87, June 2013.
- [8] S. Rodríguez, D. Tapia, E. Sanz, C. Zato, F. C. de la Prieta, & O. Gil. (2010). Cloud computing integrated into service-oriented multi-agent architecture. In *Balanced Automation Systems for Future Manufacturing Networks* (pp. 251-259). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [9] K. Hoon, B. Kita, M. Goreti, K. Haengkon, Y. Hyun, C. Ramos (2014). A Study on the Key Management Strategy for Wireless Sensor Networks. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*, Salamanca, v. 3, n. 3
- [10] J. Bajo, J. De Paz J., G. Villarrubia, and J. Corchado, (2015). "Self-organizing architecture for information fusion in distributed sensor networks," *Int. J. Distrib. Sens. Networks*, vol. 2015, pp.1-13
- [11] B. Al Momani, P. Morrow, S. McClean. (2011). "Fusion of Elevation Data into Satellite Image Classification Using Refined Production Rules. In *Image Analysis and Recognition*". Springer: Berlin/Heidelberg, Germany; pp. 211-220.
- [12] M. Almasri, and K. Elleithy, (2014). "Data fusion models in WSNs: comparison and analysis". In *American Society for Engineering Education (ASEE Zone 1), 2014 Zone 1 Conference of the IEEE*, pp 1-6.
- [13] C. Bishop, (2006). "Pattern recognition and machine learning". Springer.
- [14] B. Siciliano, (2008). "Handbook of Robotic". Springer.
- [15] Hortonworks, (2017). "Analyze HVAC Machine and sensor data". <https://es.hortonworks.com/hadoop-tutorial/how-to-analyze-machine-and-sensor-data/#section-2>.
- [16] S. Marsland, (2015). *Machine learning: an algorithmic perspective*. CRC press.
- [17] R. Genuer, J. Poggi, C. Tuleau-Malot & N. Villa-Vialaneix, (2017). Random forests for big data. *Big Data Research*, 9, 28-46.

- [18] S. Janitza, G. Tutz, & A. Boulesteix, (2016). Random forest for ordinal responses: prediction and variable selection. *Computational Statistics & Data Analysis*, 96, 57-73.
- [19] E. Scornet, G. Biau, P.J. Vert, (2015) “Consistency of random forests”. In: *The Annals of Statistics*, Vol., 43(4), 1716-1741.
- [20] L. Breiman, (2001) “Random Forests”. In: *Machine Learning*, Vol 45, 1, pp. 5-32.
- [21] S. Marsland, (2015). *Machine learning: an algorithmic perspective*. CRC press.
- [22] Ministerio de Industria, Economía y Competitividad (s.f.). Plataformas Tecnológicas. Disponible en: <http://www.idi.mineco.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.6f2062042f6a5bc43b3f6810d14041a0/?vgnnextoid=844cb292d3ff4410VgnVCM1000001d04140aRCRD>
- [23] F. Ballesteros. (2017). “La Estrategia Predictiva en el mantenimiento industrial”. *Predictécnico* (23), pp. 36-45. Grupo Álava, España.

Los sistemas de interfaz cerebro-computadora basado en EEG: características y aplicaciones

Brain computer interface systems: characteristics and applications

I. Moreno ^{1*}, E. Batista ¹, S. Serracín ¹, R. Moreno ¹, L. Gómez ¹, J. Serracín ¹, C. Boya ², J. Quintero ¹

¹ Grupo ROBOPROC, Centro Regional de Chiriquí, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

*Autor de correspondencia: iveth.moreno@utp.ac.pa

RESUMEN— Los sistemas de Interfaz Cerebro Computadora (BCI por su acrónimo en inglés) se basan en la característica del cerebro de emitir señales eléctricas, y cómo a través de la captación de estas señales, se pueden generar comandos de computador que controlen sistemas como sillas de ruedas con motores. Los sistemas BCI tienen diversas aplicaciones, pero su objetivo principal es brindar a personas con discapacidades motrices la posibilidad de transmisión de su intención a través de la modulación de las señales eléctricas en su actividad cerebral. En este artículo se presenta una breve descripción de lo que es una interfaz cerebro-computadora (BCI), sus características; y se describen sus orígenes y evolución, elementos constituyentes, tratamiento de señales cerebrales contemplando la función del cerebro, y las aplicaciones más relevantes.

Palabras clave— Cerebro, domótica, EEG, interfaz cerebro-computadora.

ABSTRACT— The Brain Computer Interface (BCI from its acronym in English) systems rely on the brain's characteristic of emitting electrical signals, and how through the register of these signals, computer commands controlling systems like wheelchairs with motors can be generated. BCI systems have many applications, but their principal objective relies on offering people with motor impairment the possibility to convey the intention through the electrical signal modulation from their brain activity. In this article it's presented a brief description about what is a Brain Computer Interface (BCI), its characteristics; and are described its origins, evolution, constituent elements, brain's signal treatment contemplating the cerebral function, and most relevant applications.

Keywords— Brain, domotics, EEG, brain computer interface.

1. Introducción

La Interfaz Cerebro Computadora (BCI por su acrónimo en inglés) es una interfaz asistida por computador que permite la interacción directa entre el cerebro y el entorno de un sujeto, a través de actuadores enlazados al computador. Este tipo de interfaz surge de la necesidad de establecer un nuevo canal de comunicación entre un sujeto y su entorno; que no dependa de sus vías nerviosas o musculares [1]. Estas interfaces se basan en la captación de señales asociadas a procesos mentales, aplicadas para la resolución de problemas de comunicación en pacientes, registrando señales neurofisiológicas adquiridas a través de EEG, MEG, fMRI, entre otras; facilitando con ello la interacción con el entorno a personas con discapacidades motrices severas [2].

Como seres vivos, las personas deben ser capaces de responder a los estímulos del ambiente para poder

subsistir. En la vida diaria, esta respuesta se logra a través de dos vías esenciales: modificando el entorno en forma directa a través de los mecanismos musculares, o manifestando su pensamiento (comunicación), ya sea expresando sus sentimientos, deseos y/o ideas. No obstante, en algunos casos las funciones motrices se ven comprometidas debido a enfermedades como las lesiones medulares, infarto cerebral, esclerosis lateral amiotrófica, esclerosis múltiple, distrofia muscular, tumores o accidentes; por lo que sufren daños parciales o totales en subsistemas del cuerpo, lo que provoca pérdida de la capacidad de respuesta natural (parcial o total) al entorno. Este tipo de discapacidad dio lugar al desarrollo de las tecnologías de interfaz cerebro computadora.

De forma inicial el primer sistema propiamente BCI fue desarrollado para contestar una pregunta: ¿Es posible utilizar señales eléctricas del cerebro para

Citación: I. Moreno, E. Batista, S. Serracín, R. Moreno, L. Gómez, J. Serracín, C. Boya y J. Quintero, "Los sistemas de interfaz cerebro-computadora basado en EEG: características y aplicaciones," *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 2, pp. (13-26), 2019.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 3 de septiembre de 2018. **Recibido con correcciones:** 11 de abril de 2018. **Aceptado:** 26 de julio de 2019.

DOI: <https://doi.org/10.33412/itd.v15.2.2230>

Copyright: 2019 I. Moreno, E. Batista, S. Serracín, R. Moreno, L. Gómez, J. Serracín, C. Boya y J. Quintero. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

comunicar información que permita controlar un dispositivo tal como una prótesis? Con tal interrogante en mente, el Dr. Jacques Vidal creó el primer sistema BCI, con el objetivo de evaluar si una persona se podía comunicar con una computadora, la cual interpretaría las señales del cerebro que posteriormente serían usadas para controlar una prótesis [3]. Desde Vidal, se han desarrollado varias versiones y mejoras en estos sistemas, con el propósito principal de recuperar o sustituir funciones motrices humanas; debido a vías neuromusculares inhabilitadas [4] [5] [6].

Un BCI es definido como “un sistema basado en una computadora que adquiere señales eléctricas del cerebro; las analiza y las traduce en comandos que son transmitidos a un dispositivo de salida para llevar a cabo una acción deseada”, según [7]. La idea central es capturar la intención del usuario implícita en las señales eléctricas de su cerebro, procesando dichas señales, y extrayendo sus características y las relaciones entre las mismas, para una posterior interpretación a comandos (i.e. órdenes), que son ejecutadas por una computadora u otro dispositivo a través de actuadores. En la actualidad los sistemas BCI se consideran una herramienta de gran potencial como medio de comunicación alternativo, actuador, y medio de restablecimiento y rehabilitación de funciones motrices en sujetos con discapacidades neuromotoras [8].

La interfaz cerebro computador por la naturaleza de su método de adquisición de señales puede ser de tipo invasiva: mediante electrodos implantados en la superficie de la corteza cerebral o en su interior; o no invasiva: mediante electrodos ubicados en la superficie del cuero cabelludo. Tras esta adquisición de señales, la BCI se convierte en un nuevo canal de salida del cerebro que, como otros canales, puede regular su respuesta para adaptarla al objetivo propuesto [9]; es decir, el cerebro a través de una imaginación motora por ejemplo, emite una señal que la BCI transforma en una orden para controlar acciones de su entorno.

En este artículo se presenta brevemente lo que son los sistemas BCI, enfocados principalmente a sistemas no invasivos, sus características y aplicaciones más relevantes. El desarrollo del documento se realiza de la siguiente manera: en la sección dos, el cerebro modulación eléctrica (i.e. aspectos de la actividad eléctrica cerebral); en la sección tres, métodos de adquisición de señales; en la sección cuatro componentes (i.e. etapas) de un sistema BCI; en la

sección cinco, tipos de señales utilizadas para control BCI; en la sección seis, aplicaciones; en la sección siete se hablan de estudios actuales sobre la retroalimentación; en la sección ocho, sobre “BCI inteligente”; y, finalmente la discusión.

2. El cerebro: modulación eléctrica

El cerebro constituye el núcleo del Sistema Nervioso Central (CNS), y su función es el procesamiento de información (i.e. estímulos) recibida desde los sentidos con el objetivo de preparar y ejecutar una respuesta [10]. Entre los tipos de respuesta cerebral, está la actividad electrofisiológica. La existencia de esta naturaleza en las respuestas cerebrales brinda la posibilidad de rastrear procesos mentales reflejados en las señales eléctricas.

2.1 Explorando el cerebro

A finales del siglo XVII el estudio enfocado al cerebro a manos del Dr. Gustav Fritsch dio un aporte importante para conformar la neurociencia moderna, a través de la comprobación de la naturaleza eléctrica en el funcionamiento del cerebro y la existencia de la corteza motora. La comprobación se consiguió al estudiar los cerebros de pacientes provenientes de la guerra entre Prusia y Dinamarca [11].

Se reconoció que la actividad cerebral se debe al funcionamiento de células especializadas (i.e. nerviosas) llamadas neuronas, las cuales poseen propiedades eléctricas y químicas; siendo las neuronas la fuente de la naturaleza eléctrica que posee el cerebro [12].

2.2 Las Neuronas

Las neuronas existen en grandes cantidades; con variable morfología; sus componentes principales son las dendritas, el soma y el axón. Las dendritas reciben la información y se conectan con axones; mientras que el axón proyecta información y se conecta a dendritas; a estas conexiones se les denomina sinapsis [13]. Estas partes, en conjunto con el núcleo, constituyen el cuerpo de la neurona [14].

Las neuronas transmiten la información mediante respuestas químicas y eléctricas. En forma predominante, entre neuronas se comunican entre sí mediante respuestas químicas utilizando neurotransmisores [14], los neurotransmisores desencadenan cambios de potencial eléctrico dentro del cuerpo de la neurona denominados potenciales de

acción [15]; este tipo de actividad eléctrica es similar a la de un circuito eléctrico [16].

Esencialmente, las neuronas funcionan como pequeñas unidades de proceso y/o transmisión de información, que constituyen redes de procesamiento para operaciones más complejas, a través de su configuración en arreglos de diferentes tipos de neuronas. Estos arreglos conforman estructuras con diferentes especializaciones.

2.3 Divisiones funcionales del cerebro

De forma global, las estructuras conformadas por neuronas en el cerebro pueden percibirse como tres grandes estructuras cerebrales: la corteza cerebral (i.e. neocorteza), el cerebelo y el sistema límbico.

La corteza cerebral se encarga de funciones superiores y del control de los actos voluntarios [17] y se puede dividir en cuatro partes llamadas lóbulos. Estos lóbulos son: frontal, parietal, temporal y occipital; y exceptuando al frontal estos se encargan de procesar la información adquirida a través de los sentidos.

El cerebelo procesa los impulsos eléctricos provenientes de los sistemas esquelético y muscular; incluyendo los sentidos y realiza funciones de coordinación (avanzadas), organización (de ejecución), optimización de adquisición sensorial de información, y ajuste y recalibración de sistemas [18] [19] [20] [21] [22]. Finalmente, el sistema límbico es el encargado de procesar emociones [23]; además, en este sistema tiene lugar la memoria a largo plazo.

La neocorteza gobierna la creatividad, inteligencias, emociones, comportamiento y la memoria [24] además de la ejecución. Al tener múltiples estructuras con funciones diferenciadas, puede llevar a cabo acciones simultáneas de diferente naturaleza, como los pensamientos, habla, y/o coordinación (básica) y ejecución motora (e.g. como caminar); siempre y cuando no se padezca de alguna limitante.

3. Métodos de adquisición de señales

3.1 Antecedentes de la EEG

Entre los primeros científicos que hicieron aportes en el campo de la neurofisiología, más concretamente en el estudio de la electrogénesis cerebral, se destacan: Richard Caton, que en 1875 realizó pruebas en perros y logró confirmar actividad eléctrica en la “sustancia gris” [25], en el 1891 Adolf Beck hace las primeras observaciones sobre potenciales evocados visuales y es

el primero en plantear la existencia de actividad eléctrica no sólo en el cerebro sino también a lo largo de la médula espinal y su posible variación dependiendo de la actividad realizada [26]; pero fue el alemán Hans Berger el inventor del término “electroencefalograma” y el primero en investigar y comprobar la existencia de señales eléctricas en el cerebro humano, por lo que se le considera el padre de la electroencefalografía (EEG) [27].

El concepto de electroencefalografía (EEG) hace referencia a una técnica de adquisición de la señal eléctrica cerebral de forma no invasiva; en la que se registra la región emisora, la polaridad y los cambios espacio temporales de dichas señales por medio de electrodos superficiales y basales que transforman las corrientes iónicas del tejido cerebral en corrientes eléctricas en la superficie craneal.

Es Berger quien en 1924 utilizando un galvanómetro de cuerda logra registrar los primeros “ritmos” en su hijo [28], es decir, es el primero en reconocer los patrones característicos de la señal eléctrica que se observan en la presencia de eventos o comportamientos específicos del individuo. Para esta recopilación de señales utilizó electrodos de aguja de distintos materiales (zinc, platino, plomo, entre otros) en el cuero cabelludo de forma invasiva, pero sin llegar a penetrar el cráneo, que era la única técnica utilizada en la época. El proceso finalizaba con la impresión de las señales por medio del reflejo de un espejo y papel de bromuro de plata que se movía a una velocidad de 3 cm/s [29].

No es hasta 1930 cuando hace una recopilación de más de 1100 registros de 76 individuos, donde clasifica dos tipos de ritmos según el voltaje y frecuencia de sus respectivas ondas; a las de mayor voltaje y menor frecuencia las llamó alfa (α) y a las de menor voltaje y mayor frecuencia beta (β) [30].

Debido a su falta de conocimiento técnico y la escasa disponibilidad del equipo apropiado para tomar las mediciones, no pudo avanzar mucho más en sus investigaciones. Pero en 1934 Adrian y Matthews corroboran el trabajo de Berger al utilizar amplificadores y galvanómetros más sofisticados y potentes [31].

3.2 EEG en la actualidad

En la actualidad con los avances en la electrónica tanto el proceso de adquisición como el de análisis de las señales se han optimizado considerablemente.

Permitiendo a su vez que los métodos de colocación de los electrodos sean menos invasivos, evitando así mayores riesgos para los pacientes.

Todo el sistema nervioso puede generar electricidad, unas zonas con mayor intensidad que otras. Para propósitos de obtención de señales EEG, se toman en cuenta las células piramidales de las capas III y IV de la neocorteza del cerebro [31]; las señales generadas son superposiciones de todos los potenciales de las neuronas perpendiculares a la ubicación del electrodo [32].

Los principales tipos de electrodos superficiales se pueden clasificar según la forma en que se consigue la señal en:

- Electrodo de aguja: de uso poco común debido a su complejidad. Se suele restringir su uso a neonatos y cuidados intensivos [33].
- Electrodo adherido: pequeños discos metálicos que se caracterizan por tener muy baja resistencia de entre 1 a 2 K Ω . A su vez estos se pueden subdividir en:
 - Húmedos: los que por medio de una pasta o solución conductora facilitan el intercambio de información, aptos para periodos de registro cortos [25], [31].
 - Activos-secos: se utilizan materiales que tengan estabilidad química, resistencia mecánica y buenas propiedades eléctricas; es apto para periodos de registro prolongados [25].
- Electrodo de casco o malla: se utiliza un casco elástico con ranuras para los electrodos, variando el tamaño del casco según el paciente [31].

Por otro lado, los electrodos basales o también llamados, especiales, utilizan otras vías de acceso a la base del cerebro, como lo son la faríngea y la timpánica [25].

3.3 Disposición de los electrodos

Desde 1958 la Federación Internacional de Sociedades de Electroencefalografía y Neurofisiología Clínica estableció la norma estándar de colocación de electrodos. La norma 10-20, que divide las distancias del cráneo en distancias que corresponden al 10% la longitud de arco entre el *inion* y el *nasion*, con una trayectoria a través del *vertex*; el 20% se refiere a la distancia entre dos electrodos, como una separación equidistante. En esta convención cada punto posee una

letra y un subíndice; las letras hacen referencia al lóbulo cerebral al que corresponden y los subíndices “z” para la línea media del cráneo indicando “cero”, mientras que los subíndices numéricos pares indican el hemisferio derecho y los impares el hemisferio izquierdo. De esta forma se puede decir que: F corresponde al lóbulo frontal, T al temporal, O al occipital y P al parietal; C corresponde al *vertex* y A, a la zona del pabellón auditivo [24].

Se pueden distinguir dos arreglos principales (ver figura 5) para el análisis de las señales EEG:

- Monopolar o referencial: este arreglo utiliza un “electrodo activo” (i.e. cambiante) en conjunto con un electrodo a modo de referencia (tierra), que suelen colocarse en el lóbulo de la oreja o en la barbilla; este principio se aplica a los demás electrodos de forma individual según el número de canales disponibles.
- Bipolar o diferencial: esta toma los valores monopolares de los electrodos y realiza una sustracción entre los mismos generando un canal. Este arreglo disminuye la contaminación de la señal captada para el análisis.

Cabe destacar que todos los potenciales son explícitamente bipolares, no obstante, el término es utilizado porque se entiende que el valor de un voltaje a electrodo activo (i.e. la medida monopolar) es necesariamente ya referenciado a un valor tierra, por lo que es estrictamente bipolar [34].

4. Funcionamiento de un sistema BCI

Un sistema BCI detecta la actividad eléctrica generada en el cerebro. Esta actividad eléctrica produce señales que pueden contener información acerca de una tarea mental específica, sea consciente (e.g. Ritmos sensoriomotores) o inconsciente (e.g. modulaciones P300); a dicha señal se le extraen sus características más relevantes de tal forma que a partir de estas, se pueda identificar si se trata de uno u otro proceso mental [35]. Esto es, que de cada proceso o tarea mental se observará un registro EEG diferente. A la persona se le puede solicitar que realice estas tareas de manera repetitiva para obtener un promedio de cada tipo de señal.

Las características que se extraen a estas dos señales deben ser óptimas para identificación, es decir, las que permitan de manera más eficiente diferenciarlas una de la otra. Estas características pueden ser la cantidad de energía en bandas específicas de frecuencia,

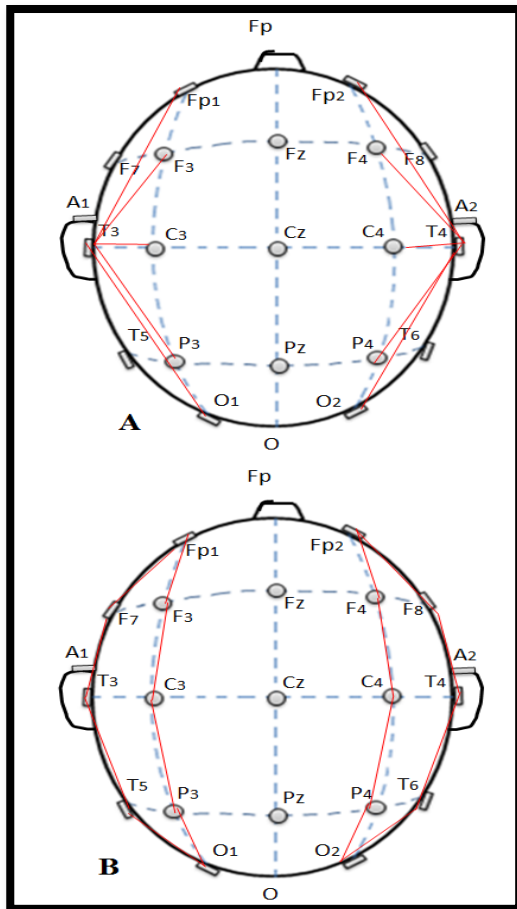


Figura 1. Diagrama de arreglo referencial (A) y diferencial (B).

su amplitud, su duración, su distribución espacial, o relaciones entre las características anteriormente mencionadas, entre otras [35]. Posteriormente, los valores de estas características asociados a cada tarea mental pueden ser utilizados como comandos a través de un actuador acoplado a la interfaz. Como ejemplo la imaginación del movimiento del brazo izquierdo puede ser el comando “encender la luz” (a través de un interruptor) y la señal generada por la imaginación del movimiento de la pierna derecha para “apagar la luz” (a través del interruptor). De esta manera, si la persona desea encender la luz sólo tiene que imaginar mover el brazo izquierdo y para apagarla, imaginar el movimiento de la pierna derecha.

Un sistema de BCI detecta y procesa las señales, compara las características de la señal obtenida del sujeto con las de un patrón en una base de datos, identifica la señal en base a sus características y la computadora selecciona el comando asociado a tal patrón. El comando se utiliza para controlar un

dispositivo externo (acoplado a la interfaz) tal como un interruptor de luminaria o el motor de una silla de rueda [36]. La materialización del deseo del usuario y la consecuente conciencia de ello, cierra un ciclo de control que se inicia en el pensamiento (u otros procesos mentales).

Aunque en estos ejemplos se obvian algunas complejidades que surgen de una BCI, ilustra su fin, el cual es crear un nuevo canal para comunicar las intenciones o deseos de una persona.

Para la comprensión del proceso de un BCI en forma más detallada, el sistema se divide en cuatro partes [37]: Adquisición de señales, extracción de características, asignación de comandos y salida o acción del comando. Estas partes son controladas por un protocolo que define el inicio y tiempo de cada operación, además de los detalles del procesamiento de las señales.

4.1 Adquisición de señales

Una vez adquirida la señal EEG, siguiendo alguno de los arreglos estándar (figura 1), a través de un sistema no invasivo, se amplifica a un nivel adecuado para su procesamiento. En este punto puede aplicarse algún tipo de filtrado analógico para remover señales indeseables tales como la señal de 50/60 Hz de la línea de distribución eléctrica y/o artefactos de baja frecuencia; cabe destacar que el uso de filtros analógicos puede generar derivas de baja frecuencia en las señales. Finalmente, las señales se digitalizan, se agrupan en bloques de muestras y se transmiten en secuencia a una computadora para su almacenamiento y procesado.

4.2 Extracción de características

Este proceso analiza las señales con el objetivo de obtener características relevantes, de tal manera que puedan ser correlacionadas con la intención del usuario.

Los electrodos de un EEG registran las variaciones de voltaje del cuero cabelludo en un momento dado. No obstante, estas variaciones no representan explícitamente ninguna intención por parte del usuario. Por ello, se recurre al reconocimiento de patrones en las señales, o más propiamente, a los patrones entre las características de las señales. Para este efecto las señales se acondicionan, posteriormente se capturan las características y finalmente se acondicionan las características. En el acondicionamiento de la señal, se realiza filtrado digital en la frecuencia y en el espacio.

Los filtros en la frecuencia remueven derivas de baja frecuencia introducidas por el uso de filtros analógicos (en caso de haberse utilizado) y se remueven rangos de frecuencia irrelevantes para el análisis de la señal. También pueden utilizarse filtros pasa banda y de muesca digitales, para remover interferencia de la línea y artefactos en caso de no haberse filtrado analógicamente.

Los filtros en el espacio buscan el filtrado de los canales (i.e. diferencia de potencial entre electrodos), de forma que se enfatice en aspectos relevantes de la señal. El filtro espacial, es una matriz de pesos (i.e. parámetros) W , que multiplicada por el arreglo de señales X que ingresa de los canales, produce un set de canales Y con señales filtradas, es decir:

$$Y = WX \quad (1)$$

Que es lo mismo que:

$$\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1P} \\ y_{21} & y_{22} & & \\ \vdots & & \ddots & \\ y_{M1} & & & y_{MP} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1N} \\ w_{21} & w_{22} & & \\ \vdots & & \ddots & \\ w_{M1} & & & w_{MN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1P} \\ x_{21} & x_{22} & & \\ \vdots & & \ddots & \\ x_{N1} & & & x_{NP} \end{bmatrix} \quad (2)$$

En esta expresión: P indica el número de muestra de señal digital sucesiva para cada un canal N ; las filas W representan N pesos de muestras para esos canales. [35]. Esta matriz de peso W puede crearse mediante diferentes técnicas, que pueden ser dependientes o independientes de la *data* de alguna actividad cerebral particular.

Los filtros independientes de la *data* se basan en ajustes de relaciones geométricas. Estos pueden ser:

- Referencia común promedio (CAR): promedia el potencial de todos los electrodos y usa el valor resultante como una referencia para obtener el potencial en un electrodo dado. Esto es:

$$V_n = \Phi(r_n) - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{\infty} \Phi(r_n) \quad (3)$$

n : se refiere al número de electrodo; $\Phi(r_n)$: se refiere al potencial dipolar del electrodo n de interés respecto al infinito; la sumatoria promediada representa la referencia común; y V_n es el voltaje ajustado de un electrodo n .

- Laplaciano: segundo derivativo espacial de potenciales en el cuero cabelludo. Para un electrodo dado elimina los potenciales que son comunes a los electrodos circundantes. Se

puede realizar hasta con un mínimo de 5 electrodos (i.e. 4 ortogonales al electrodo de interés), lo que se conoce como Laplaciano del vecino más cercano [38], y se expresa como:

$$V_n = \Phi(r_n) - \frac{1}{4} \sum_{i \in \Theta} \Phi(r_n) \quad (4)$$

Donde V_n : es el voltaje ajustado; $\Phi(r_n)$: al potencial dipolar del electrodo n de interés respecto al infinito; y Θ : representa los índices de potencial de los electrodos circundantes.

Los filtros dependientes de la *data* ajustan el filtro en base a información (previamente obtenida) asociada a una tarea cerebral dada. Entre estos, se tiene:

- Análisis de Componentes Principales (PCA): Realiza un ajuste dimensional a la *data*, para obtener varianza máxima y ortogonalidad en las componentes principales; reubicando el eje en el centroide de datos (de cada canal), por medio de la sustracción del promedio de P muestras para cada muestra j de un canal i de la matriz X , es decir:

$$x_{ij} - \frac{1}{P} \sum_{j=1}^P (x_{ij}) = x_{ij} - \bar{x}_i = x_{ij}' \quad (5)$$

Para generar una matriz ajustada X' :

$$X' = \begin{bmatrix} x_{11}' & x_{12}' & \dots & x_{1P}' \\ x_{21}' & x_{22}' & & \\ \vdots & & \ddots & \\ x_{N1}' & & & x_{NP}' \end{bmatrix} \quad (6)$$

De forma que se obtenga la matriz de covarianzas de esta matriz X' , y así se calculen los autovalores y auto-vectores de dicha matriz de covarianza. Cada conjunto de auto-vectores correspondiente a un autovalor de X' , constituye los pesos (i.e. parámetros) de una fila de la matriz W , representando el conjunto de canales filtrados Y mediante:

$$Y = WX' \quad (7)$$

Esta técnica es apropiada cuando los canales están muy correlacionados y/o son mayores en número a las fuentes independientes.

- Patrones Espaciales Comunes (CSP):

El principio es el mismo del PCA, pero considera condiciones específicas de operación. Realiza una configuración dual de ejes ortogonales, de forma que se produzca máxima varianza para una condición dada y mínima para otra. Esto los hace muy viables en una discriminación dual.

- **Análisis de Componentes Independientes (ICA):** Es una técnica similar a PCA, pero que además busca que las componentes sean estadísticamente independientes.

Estas mismas técnicas de análisis dependiente de la *data*, pueden utilizarse para identificar artefactos y removerlos.

Posteriormente, se realiza la captura (i.e. extracción propiamente) de las características de interés en la señal, utilizando una técnica que sea apropiada para ello, y así conformar vectores de características. Para este efecto, se utilizan técnicas (i.e. modelos o algoritmos) como:

- *Peak Picking*: captura máximos y/o mínimos para un bloque de y/o su tiempo de ocurrencia como característica.
- Integración de bloque: realiza un promedio de un bloque y toma este valor como característica.
- Bandas de energía (mediante filtro): se toman valores absolutos o al cuadrado de amplitudes de la señal a frecuencias específicas.
- Transformada Rápida de Fourier (FFT): captura características espectrales (e.g. magnitud y fase) mediante transformada de Fourier:

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (8)$$

$$X(\omega) = a(\omega) + jb(\omega) \quad (8.1)$$

Con magnitud $|X(\omega)|$ y fase θ denotadas como:

$$|X(\omega)| = \sqrt{a^2(\omega) + b^2(\omega)} \quad (8.2)$$

$$\theta = \arg(X(\omega)) = \tan^{-1} \left(\frac{b(\omega)}{a(\omega)} \right) \quad (8.3)$$

Para cada frecuencia ω , por medio de un algoritmo eficiente para obtener la Transformada de Fourier discreta.

- Transformada Wavelet: captura características similares a las de Fourier utilizando ondas madres (i.e. modulaciones de ondas finitas) en vez de senos y cosenos (i.e. ondas infinitas), permitiendo crear ventanas tiempo-frecuencia.

Además de otras técnicas como Modelado Auto-Regresivo (A-R), Dimensión Fractal, Parámetros Hjorth, *Phase locking value* (PLV), Coherencia, Distancia de Mahalanobis, entre otros [39].

Cabe destacar, que la técnica utilizada debe ser congruente con el tipo de características que se esté extrayendo. Adicionalmente, se debe tener cuidado con la selección de características. Las características deben cumplir con tres requisitos: ser comunes a un usuario o población, ser relativamente estacionarias y rastreables, y su modulación debe ser a voluntad (del usuario) o por sus procesos de atención; de lo contrario, no serán efectivas en aplicaciones BCI.

Las características extraídas se acondicionan: realizando normalización para expresar las características en términos de valores unitarios o logarítmicos, y finalmente son utilizados para conformar vectores de características que se traducen posteriormente en la siguiente etapa.

4.3 Interpretación de comandos

Las características de las señales se transfieren como vectores a un algoritmo basado en un modelo matemático para la interpretación de comandos. El cual convierte las características en comandos apropiados para la salida del sistema BCI. Esto se realiza utilizando modelos matemáticos que puedan diferenciar grupos de características a través de zonas en los espacios entre ellas, de tal forma que la posición de una respecto a la tendencia del modelo matemático, active una señal que desencadene un comando. Entre estos modelos matemáticos se encuentran diferentes tipos de discriminantes como Análisis Discriminante Lineal (LDA), método Robusto para Análisis Discriminante Lineal (RLDA), Análisis Discriminante Cuadrático (QDA), Máquinas de Soporte Vectorial (SVM), *Bagging*, *Random Forest*, *Boosting*, *Learning Vector Quantization*, que son viables como diferenciadores discretos; y funciones de regresión que es más adecuada para generación de comandos continuos. Además de estas aproximaciones se encuentran las redes neuronales, y las redes con *back propagation* que

pueden desempeñar las funciones del algoritmo de extracción de características y traducción al mismo tiempo [39].

La generalización del algoritmo será mayor para una mayor cantidad de datos al parametrizar el modelo, y será menor mientras más parámetros sean usados en el modelo [40]. También, se debe tomar en cuenta que el algoritmo de asignación de comandos debe ser dinámico de tal forma que se adapte a cambios espontáneos en las características de las señales, sea por condicionamiento operante (i.e. ajuste realizado por el usuario) [41], por aprendizaje de máquina [42] o por ambas simultáneamente [43]; y debe asegurar que el usuario tenga la posibilidad de un eficiente rango de valores para controlar un dispositivo externo.

4.4 Salida del sistema BCI

Los comandos desde el algoritmo de interpretación operan sobre dispositivos externos, tales como la selección de una letra, control del cursor, brazo robótico, silla de ruedas, luces etc. La operación del dispositivo de salida provee la realimentación al usuario, y de esta forma se cierra el ciclo de control.

5. Señales inherentes a los eventos cerebrales utilizadas en un BCI

Las señales que se registran como actividad EEG son cambios en los potenciales eléctricos en zonas del cuero cabelludo como se mencionó previamente. Estos potenciales se encuentran distribuidos a lo largo de todo el cuero cabelludo. No obstante, como el cerebro es un sistema de redes complejo que realiza distintos tipos de procesamiento dependiendo de la zona funcional, se pueden encontrar tipos de señales muy diferenciados dependiendo de su región de generación, asociadas a procesos mentales de diversa índole. Algunas señales se modulan a través de procesos metabólicos, otras dependen de niveles motivacionales y de atención del usuario; y, por último, se encuentran señales que se pueden modular a voluntad.

Si bien existe gran variedad de señales, para una aplicación práctica de BCI mediante un sistema EEG, se pueden utilizar [41-52]:

- P300: componente endógena (i.e. tardía) de un potencial relacionado a eventos (ERP), que se asocia con procesamiento de ciertos eventos y ocurre aproximadamente a 300 ms.

- Potenciales evocados de estado estable (SSEP): son potenciales evocados de estado estable generados a partir de estímulos a una frecuencia determinada, que producen una respuesta a una frecuencia aproximada a la del estímulo. Entre estos se tienen:
 - SSVEP (*Steady State Visual Evoked Potentials*): potencial generado por estímulos visuales.
 - SSSEP (*Steady State Somatosensory Evoked Potentials*): potencial evocado generado por estímulos somatosensoriales.
 - ASSEP (*Auditory Steady State Evoked Potentials*): potencial evocado generado por estímulos auditivos.
- Potenciales Corticales Lentos (SCP): son potenciales asociados a actividades motrices o de imaginación motriz, y entre estos se tienen:
 - SCP BP (*Slow Cortical Potentials Bereitschaftspotentials*): es un potencial cortical asociado a preparación para actividad motriz.
 - SCP CNV (*Slow Cortical Potentials Contingent Negative Variation*): es un potencial cortical asociado a la finalización de una actividad motriz.
- Ritmos sensoriomotores (SMR): son disminuciones y/o aumentos en las bandas de frecuencia Mu1 de 8 – 10 Hz, Mu2 de 10-13 Hz y Beta de 18-25 Hz [56] en el cuero cabelludo, asociadas a actividad o imaginación motora.

A continuación, la tabla 1 detalla aspectos asociados a cada una de estas señales.

6. Aplicaciones

La aplicación del BCI se refiere a los propósitos o dispositivos específicos a los que se aplican los comandos de salida de un sistema BCI [57]. Diversos artículos se han encargado de recopilar las aplicaciones más importantes. Mark enfoca su investigación en aplicaciones clínicas, y divide estas en dos grandes grupos: tecnologías de asistencia y neuro-rehabilitación. Dentro de las tecnologías de asistencia se tienen las áreas de comunicación, control de movimiento, control del ambiente y locomoción; similar clasificación es presentada por Moore [58] en su artículo sobre las aplicaciones en el mundo real de esta tecnología.

Tabla 1. Tipos de señales utilizados en aplicaciones BCI

Tipo de	P300	SSVEP	SSSEP	ASSEP	SCP BP	SCP CNV	SMR
<i>Apariencia de la señal</i>	Deflexión positiva	Serie de deflexiones positivas y negativas	Serie de deflexiones positivas y negativas	Serie de deflexiones positivas y negativas	Polaridad negativa	Polaridad negativa	Aumentos y disminuciones
<i>Condiciones de generación</i>	Estímulo entregado bajo paradigma excéntrico	Exposición a estímulo visual de frecuencia constante	Exposición a estímulo táctil a frecuencia constante	Exposición a estímulo auditivo a frecuencia constante	Intención de iniciación de movimientos	Incidencia de estímulo que requiera respuesta.	Intención de iniciación de movimientos
<i>Dominio de análisis</i>	Temporal	Frecuencia y/o tiempo	Frecuencia	Frecuencia	Temporal	Temporal	Frecuencia
<i>Deflexiones o alteraciones importantes</i>	Deflexiones P300: Positiva a 300 ms	Deflexiones N70: Negativa a 70ms P100: Positiva a 100 ms	Picos de frecuencias mayores con estímulos en las manos entre los 21 a 26 Hz.	La magnitud del segundo armónico es mayor para frecuencias entre 5 y 20 Hz.	Ocurren de 500 a 1000 ms, antes de un movimiento iniciado a voluntad.	Ocurren de 200 a 500 ms posterior a un estímulo (que requiera acción) en S1.	Ocurren entre los 8 – 12 Hz, 18 – 30 Hz y de 30 – 200 Hz.
<i>Amplitud</i>	10 a 20 uV Percibido como: 4 a 10 uV	Amplitudes en armónicos decrecientes a medida aumenta el armónico	Primer armónico de modulación altamente dominante.	Diferentes frecuencias tonales proporcionan funciones con amplitudes similares.	Varía dependiendo del tipo de movimiento, músculo involucrado y estado psicológico.	Varía dependiendo de la tarea específica y es afectada por factores motivacionales.	Varía dependiendo del músculo de interés del usuario y de la zona de generación.
<i>Características al modularse</i>	Amplitud inversamente proporcional a la Probabilidad del estímulo. Mayores dificultad de tarea o mayores tiempos entre estímulo, implican mayores amplitudes.	Frecuencia similar a la del estímulo.	Frecuencia similar a la del estímulo. Amplitudes mayores en zonas contralaterales a la región del cerebro asociada al proceso.	Frecuencia similar a la del estímulo. Decremento lineal en amplitud y aumento lineal en latencia asociados a decremento de intensidad de estímulo.	Picos de mayor de amplitud en la corteza se muestran contra lateralmente a la zona asociada al proceso requerido.	La amplitud cambia con el entrenamiento/uso de este sistema.	Disminuye el nivel de energía entre las frecuencias 8 – 10 Hz, en las regiones contralaterales del cerebro, a la imaginación motora.
<i>Región de modulación accesible mediante EEG.</i>	Lóbulo Parietal y Occipital	Áreas occipitales, especialmente corteza visual primaria.	S1	S1 y regiones de procesamiento auditivo.	PMC, SMA, M1 y S1	SMA, S1, S2, Áreas Frontales y/o M1.	PM, SMA, S1, especialmente M1.
<i>Naturaleza de modulación</i>	Inconsciente: Función de reconocimiento	Inconsciente: Función de procesamiento visual	Inconsciente Función de procesamiento táctil	Inconsciente Función de procesamiento auditivo	Consciente Función asociada a operaciones motrices	Consciente Función asociada a operaciones motrices	Consciente Función asociada a operaciones motrices
<i>Operación asincrónica viable</i>	No	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí
<i>Referencias teóricas y estudios de aplicación de la señal</i>	[44]	[45] [46]	[47] [48]	[49] [50]	[51] [52]	[53] [54] [55]	[56]

Cada día son más las aplicaciones pensadas para los sistemas BCI, actualmente incluyen su uso en personas saludables. Abdulkader, presenta en [59] seis campos diferentes: medicina, ambientes inteligentes y neuroergonómicos, publicidad y neuromarketing, autoregulación educacional, juegos y entretenimientos, y autenticación y seguridad. En esta sección abordaremos las tecnologías de asistencia.

6.1 Comunicación

Las investigaciones en esta área están orientadas a reestablecer la comunicación de personas que están impedidas para moverse y hablar, estas incluyen desde un simple selector Sí/No o Sí/No/Continuar/Parar, mover un cursor en una pantalla y los deletreadores. Estos últimos se han presentado con diferentes mecanismos de selección; por ejemplo el deletreador basado en P300, fue introducido por Farwel en 1988 [5]; en sus sistemas las 26 letras del alfabeto y algunos otros comandos de control eran desplegados en una pantalla, en una matriz, cuyas frecuencias de parpadeo variaban para las diferentes filas y columnas; permitiendo detectar el carácter seleccionado por el sistema BCI. En sus experimentos se logró que cuatro personas sanas comunicaran una palabra de cinco letras

a una computadora. Años después Kathner [60], utiliza un deletreador, para probar su sistema P300 con estímulo auditivo y comparará este con el P300 evocado visualmente, la matriz de letras tradicional permite seleccionar el tono objetivo. Nuevamente el sistema fue probado con personas sanas, obteniéndose buenos resultados.

6.2 Control

Conforme a las señales del cerebro se establecen un conjunto de comandos que permiten manejar algunos dispositivos sin la utilización de las vías normales: nervios periféricos y músculos. Si bien, la mayoría de las aplicaciones son pensadas para personas imposibilitadas para moverse; también podría servir para facilitar aplicaciones con manos libres o autorregulables de acuerdo con el estado monitoreado de la persona. Dentro de estos sistemas entran los controladores del ambiente, locomoción y neuroprótesis.

6.3 Controlador Ambiental

Gao en el 2003 [61] presenta un controlador del ambiente utilizando BCI basado en el potencial de estado estable visualmente evocado (SSVEP). Consta

de 48 luces verdes, cada uno representando un objetivo, las cuales parpadean a diferentes frecuencias (entre 6 y 15 Hz); cuando el operador se fija en una luz determinada, se induce en el cerebro un SSVEP a la misma frecuencia que es identificada por el analizador de frecuencia. Un controlador remoto infrarrojo, previamente entrenado, recibe la selección y controla el aparato seleccionado. Gao logró la selección de canales, el control de volumen y otras funciones de un televisor.

6.4 Robótica móvil y neuroprótesis

Nuevamente la mayoría de las investigaciones en esta área, se centran en pacientes que han perdido la movilidad y para los cuales la robótica móvil podría ayudarle a realizar algunas actividades de la vida diaria; sin embargo, las señales del cerebro pueden ser utilizadas, por ejemplo, para controlar la velocidad de un vehículo si se percibe una condición que afecte al conductor.

Dentro de esta línea su uso para lograr un desplazamiento independiente de personas con parálisis, mediante sillas de ruedas basadas en BCI, es el más estudiado. Luzheng divide estos robots móviles en dos categorías: los que son plenamente controlados por el cerebro del usuario o aquellos que combinan las señales BCI con un control inteligente que ayuda al usuario en la navegación [62]. El primer grupo presenta un bajo costo y complejidad computacional, sin embargo, causa al usuario fatiga. El segundo debido a la necesidad de un gran número de sensores tiene un costo mayor y una mayor complejidad computacional. Rebsamen [6] presenta una silla de ruedas del segundo tipo, pero sin un gran número de sensores, por trabajar en un ambiente familiar donde la ruta a seguir por la silla de rueda es establecida con anterioridad. Utiliza un BCI basado en P300 para seleccionar el destino de una lista predefinida que se presenta en una matriz de botones en una pantalla, una vez realizada la selección la silla se moverá en una trayectoria predeterminada; sin embargo, se permite al usuario parar en cualquier momento durante el movimiento, ya sea por un algoritmo rápido P300 o por imágenes motoras. La silla solo requiere dos codificadores rotatorios ópticos utilizados para odometría y un sensor de proximidad para la evasión de obstáculos. Rebsamen solo probó su sistema con personas saludables. Por otro lado, Iñaki propone una silla de ruedas con un sistema de

navegación completamente automática [63]. El usuario selecciona un destino inmediato, al enfocar su atención en un lugar de la pantalla, que hace una reproducción visual del escenario, presentándola con un mallado polar; esta selección es captada por el sistema BCI de potencial evocado visualmente P300 y transferida al sistema de navegación autónomo de la silla de ruedas, una vez que el usuario valida la selección. La silla aplica navegación autónoma para moverse hacia la meta mientras evade colisiones al detectar obstáculos por medio de un escáner laser. Nuevamente el prototipo se validó con personas saludables. Carlson [64] también presenta sus estudios con una silla de ruedas con un controlador compartido cerebro-computadora; pero, en vez de utilizar el paradigma P300, utiliza imágenes motoras que le permiten al usuario interactuar en forma espontánea con la silla hasta alcanzar la posición deseada. Carlson acepta que el tiempo requerido para el entrenamiento es alto, pero lo compara al tiempo de rehabilitación después de un accidente.

7. Realimentación

Un problema común que existe entre la actividad BCI de la calibración y entrenamiento (i.e. operación *offline*) a la actividad en tiempo real (i.e. operación *online*) es el hecho de que el efecto de la actuación produce perturbaciones que alteran el estado de un sistema y por ende a la modulación de señales EEG en el usuario. A razón de esto, por ejemplo, en casos como la modulación de SMR se han conducido estudios sobre el impacto que tiene la realimentación en la operación BCI [65]. Los mismos han demostrado que mediante diferentes elementos visuales para neuro-realimentación en el entrenamiento, se puede influenciar la modulación de la actividad, afectando el sistema BCI [66]. Además, expone que para un óptimo aprendizaje del uso de un sistema BCI, se requieren sistemas visuales de estimulación que afecten en lo menos posible, o en la forma deseada, a los estados mentales de un usuario.

8. BCI Inteligente

Otro problema común que ha existido es la no estacionariedad de los datos dentro de un mismo usuario (i.e. cambios en los patrones de las señales en el tiempo). Alternativas conocidas como BCIs

inteligentes, buscan anticipar la variabilidad en los datos de un usuario, de forma que se prepare una matriz diccionario de esta posible variación y mediante técnicas nuevas de clasificación y filtrado espacial como *Spatial Filtering Based Sparsity (SFS)* se mejore la operación para BCIs activados mediante M1 (e.g SMR) [67]. Estos métodos, han mejorado la precisión y velocidad de estos sistemas BCI.

9. Conclusiones

El entendimiento completo del funcionamiento del cerebro y el diseño de sistemas que puedan asistirlo es todavía un reto, no obstante, a través de la ingeniería actual se han podido implementar soluciones viables a través de aplicación de sistemas BCI. A continuación, las conclusiones más relevantes de la revisión realizada:

- Los sistemas BCI son esencialmente transductores de las señales eléctricas del cerebro, que permiten la interpretación de señales asociadas a procesos mentales.
- En el caso de un método de adquisición de señales no invasivo como el EEG, la captación de las señales de un sistema BCI depende en gran medida de la calidad de los sensores y su ubicación en el cuero cabelludo respecto a una fuente de modulación específica de señal, y la colocación de electrodos debe estar normada de acuerdo al sistema internacional 10-20.
- Todos los dispositivos BCI incluyen una etapa electrónica y una etapa de procesamiento informático que permiten el tratamiento de las señales eléctricas captadas por sensores para lograr una operación de control.
- La operación BCI constituye la aplicación de múltiples disciplinas de las ciencias e ingeniería, como las matemáticas, la electrónica, la teoría de control, la automática y la informática, el desarrollo de cualquiera de estas áreas amplía el campo de acción de los dispositivos BCI.
- El cerebro como tal, está constituido por múltiples regiones que se encargan del procesamiento de información de distinta naturaleza. A razón de esto se derivan señales que son diferentes en todos los aspectos de su modulación. Estas modulaciones, pueden aprovecharse en una forma distinta para constituir unidades de control apropiadas para las

interfaces BCI, desde aplicaciones individuales, hasta aproximaciones híbridas.

- La aplicación de técnicas BCI, actualmente tiene relevancia en el campo de la medicina, tanto para el control de dispositivos de asistencias, así como para rehabilitación y/o sustitución de funciones.

10. Agradecimientos

Este trabajo es financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), bajo contrato N°86-2016-4-IDDS15-094.

11. Referencias

- [1] T. C. A. R. Gentiletti G., «Interfaz Cerebro-Computadora: Estado del arte y desarrollo en Argentina.» Revista Argentina de Bioingeniería, vol. 13, n° 1, pp. 21-29, 2007.
- [2] P. F. Camillo S., «P300-based Brain-computer Interface: clinical applications and new possible directions.» de Proceedings of SIMPAR 2010 Workshops. Intl. Conf. on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots., Germany, 2010.
- [3] J. J. Vidal, «Toward direct brain-computer communication.» Annual review of Biophysics and Bioengineering, vol. 2, n° 1, pp. 157-180, 1973.
- [4] R. B. L. W. & B. N. Elbert T., «Biofeedback of slow cortical potentials.» Electroencephalography and Clinical Neurophysiology., vol. 48, n° 3, pp. 293-301, 1980.
- [5] D. E. Farwell L.A., «Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials.» Electroencephalography and Clinical Neurophysiology., vol. 70, pp. 510-523, 1988.
- [6] G. C. Z. H. W. C. T. C. A. J. M. & B. E. Rebsamen B., «A brain controlled wheelchair to navigate in familiar environments.» Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on, vol. 18, n° 6, pp. 590-598, 2010.
- [7] K. D. W. J. R. Shih J.J., «Brain-computer interfaces in medicine.» In Mayo Clinic Proceedings. Elsevier, vol. 87, n° 3, pp. 268-279, 2012.
- [8] C.-N. J. C.-E. R. E.-V. D. Gutiérrez-Martínez J., «Los sistemas de interfaz cerebro-computadora: una herramienta para apoyar la rehabilitación de pacientes con discapacidad motora.» Mediagraphic.Tecnología en salud., vol. 2, n° 2, pp. 62-69, 2013.
- [9] I. J. B. L. del Castillo M., «Metodología para la creación de una Interfaz Cerebro.Computador aplicada a la identificación de la Intención del movimiento.» Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial., vol. 8, n° 2, pp. 93-102, 2011.
- [10] E. W. Jonathan R. Wolpaw, «Brain-Computer Interfaces:

- Something New Under the Sun.» de BCI Principles and Practices, New York, Oxford University Press, 2012, pp. 3-4.
- [11] K. Michio, *Future of the Mind*, United States: Doubleday, 2014.
- [12] F. E. p. l. C. y. l. Tecnología., *Viaje al universo neuronal.*, Ministerio de Educación y Ciencia., 2007.
- [13] K. Academy, «La sinapsis.» [En línea]. Available: <https://es.khanacademy.org/science/biology/human-biology/neuron-nervous-system/a/the-synapse>. [Último acceso: 20 enero 2017].
- [14] D. N. Allan R. Crossman, «Componentes y organización del sistema nervioso: Neuronas y neuroglía,» de *Neuroanatomía: Texto y Atlas 5ta Edición*, Barcelona, Elsevier, 2015, pp. 2-3.
- [15] K. Academy., «Función y estructura de la neurona.» [En línea]. Available: <https://es.khanacademy.org/science/biology/human-biology/neuron-nervous-system/a/overview-of-neuron-structure-and-function>. [Último acceso: 20 enero 2017].
- [16] E. D. A. f. t. Brain, *Neuroscience: Science of the Brain-An Introduction for Young Students.*, The British Neuroscience Association, 2003.
- [17] P. Ceibal, «El sistema nervioso humano. La corteza cerebral,» [En línea]. Available: http://www.ceibal.edu.uy/userfiles/P0001/ObjetoAprendizaje/HTML/Unidad_elsistemalnerviosohumano_AWilliman.elp/la_corteza_cerebral.html. [Último acceso: 16 enero 2017].
- [18] G. R., «Inferior olivary neurons in the awake cat: Detection of contact and passive body displacement,» *J. Neurophysiol*, n° 54, pp. 40-60, 1985.
- [19] L. S. Stone LS, «Detection of tracking errors by visual climbing fiber inputs to monkey cerebellar flocculus during pursuit eye movements.,» *Neurosci Lett*, n° 72, pp. 163-168, 1986.
- [20] W. J. E. T. Kim JH, «Climbing fiber afferent modulation during treadmill locomotion in the cat,» *J. Neurophysiol*, n° 57, pp. 787-802, 1987.
- [21] K. J. E. T. Wang JJ, «Climbing fiber afferent modulation during a visually guided, multi-joint arm movement in the monkey,» *Brain Res*, n° 410, pp. 323-329, 1987.
- [22] B. J. Lou JS, «Responses of sagittally aligned Purkinje cells during perturbed locomotion: Synchronous activation of climbing fiber inputs,» *J. Neurophysiol*, n° 68, pp. 570-580, 1992.
- [23] U. D. o. H. a. H. S. N. I. o. Health., «Medline Plus. Información de salud para usted.,» [En línea]. Available: https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp_imagepages/19244.htm. [Último acceso: 16 enero 2017].
- [24] M. Clinic, «Mayfield Brain&Spine,» [En línea]. Available: <http://www.mayfieldclinic.com/PDF/PE-AnatBrain.pdf>. [Último acceso: 20 enero 2017].
- [25] J. Sánchez, «Técnicas de toma de datos y análisis de Electroencefalografía,» Universidad de Sevilla, Sevilla, 2014.
- [26] L. Palacios, «Breve historia de la electroencefalografía,» *Acta Neurol Colomb.*, vol. 18, n° 2, pp. 104-107, 2002.
- [27] E. Fine, «Berger Hans de Encyclopedia of the Neurological Sciences.,» Second Edition of Academic Press Oxford, 2014, p. 411.
- [28] R. Navarro, «Instrumentación Biomédica Electroencefalografía. Departamento de Electrónica,» Universidad de Alcalá, Alcalá, 1998.
- [29] L. Palacios, «Breve Historia de la Electroencefalografía,» *Acta Neurol Colomb*, vol. 18, n° 2, pp. 104-107, 2002.
- [30] E. Val, Tesis Doctoral: Utilidad de la Cartografía cerebral en el diagnóstico del TDAH., Burgos: Universidad de Burgos., 2014.
- [31] R. Navarro, Instrumentación Biomédica: Electroencefalografía, Alcalá: Universidad de Alcalá, 1998.
- [32] P. L. Nunez, «Electric and Magnetic Fields Produced by the Brain: Macroscale fields,» de BCI Principles and Practices, New York, Oxford University Press, 2012, p. 45.
- [33] J. Sánchez, *Técnicas de toma de datos y análisis de Electroencefalografía*, Sevilla: Universidad de Sevilla, 2014.
- [34] P. L. Nunez, «All Scalp Recordings are Bipolar,» de BCI Principles and Practices, New York, Oxford University Press, 2012, p. 57.
- [35] D. J. M. J. C. P. Dean J. Krusienski, «BCI Signal Processing: Feature Extraction,» de BCI Principles and Practices, New York, Oxford University Press, 2012, pp. 123-144.
- [36] H. Wang, Y. Li y L. & Y. G. Long, «An asynchronous wheelchair control by hybrid EEG-EOG,» *Cognitive Neurodynamics*, vol. 8, pp. 399-409, 2014.
- [37] K. D. S. W. W. J. McFarland DJ., «Emulation of computer mouse control with a noninvasive brain computer interface.,» *Journal Neural Engineering.*, vol. 5, n° 2, pp. 101-110, 2008.
- [38] H. B., «An Online Transformation of EEG scalp potentials into ortogonal source derivations,» *Electroencephalography Clin Neurophysiol*, n° 39, pp. 526-530.
- [39] R. P. Rao, *Brain-Computer Interfacing*, New York: Cambridge University Press, 2013, pp. 8-9.
- [40] D. J. & K. D. J. McFarland, «BCI Signal Processing: Feature Translate,» de BCI principles and practices, Oxford University Press, 2012, pp. 147-163.
- [41] N. Birbaumer, T. Hinterberger y A. & N. N. Kübler, «The thought-translation device: Neurobehavioral mechanisms and clinical outcomes.,» *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering.*, vol. 11, pp. 120-

- 123, 2003.
- [42] B. Blankertz, G. Dorneg, C. Schafer, R. Krepki, J. Kohlnorgen, M. K-R., V. Kunzamann y F. & C. G. Losch, «Boosting bit rates and error detection for the classification of fast-paced motor commands based on single trial EEG analysis.» *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 11, pp. 100-104, 2003.
- [43] J. Wolpaw, N. Birbaumer, D. McFarland y G. & V. T. Pfurtscheller, «Brain-computer interfaces for communication and control.» *Clinical Neurophysiology*, vol. 113, pp. 767-791, 2002.
- [44] T. W. Picton, «The P300 Wave of the Human Event-Related Potential.» *J. Neurophysiology*, vol. 4, n° 9, pp. 456-479, 1992.
- [45] P. N. S. Celesia G., «Visual evoked potentials and electroretinograms.» de *Electroencephalography - Basic Principles, clinical applications and related fields.*, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2005, pp. 1017-1043.
- [46] G. X. W. Y. H. B. Bin G., «VEP-based brain-computer interfaces: time, frequency, and code modulations.» *Computational Intelligence Magazine, IEEE*, n° 4, pp. 22-26, 2009.
- [47] R. S. C. N. G. P. Müller-Putz, «Steady-State Somatosensory Evoked Potentials: Suitable Brain Signals for Brain-Computer Interfaces?», *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 14, n° 1, pp. 30-37, 2006.
- [48] K. K. S. C. J. Sangtae Ahn, «Steady-State Somatosensory Evoked Potential for Brain-Computer Interface-Present and Future.» *Frontiers in Human Neuroscience*, 14 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4712271/>.
- [49] D. L. J. B. S. G. H. T. W. P. David R. Stapelis, «Huma Auditory Steady State Potentials.» *Electrophysiologic Techniques in Audiology and Otology*, vol. 5, n° 2, pp. 105-113, 1984.
- [50] P. d. L. M. I. d. A. S. K. C. L. d. A. O. G. L. Aline Tenório Lins Carnaúba, «SciELO-Auditory Steady-State Evoked Potentials at Carrier Frequencies above 4000 Hz.» *Audiology - Communication Research*, 03 Julio 2017. [En línea]. Available: www.scielo.br/scielo.php?pid=S2317-64312017000100320&script=sci_arttext&tlng=en.
- [51] «Bereitschaftspotentials. Movement-Related Cortical Potentials.» *Journal of Psychophysiology*, vol. 3, n° 17, pp. 135-136, 2013.
- [52] N. B. A. R.-M. Ozge Yilmaz, «NCBI - Movement related slow cortical potentials in severely paralyzed chronic stroke patients.» *Frontiers in Human Neuroscience*, 15 Enero 2015. [En línea]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4295525/>.
- [53] Altenmüller, «Neurocognitive functions and the EEG.» de *Electroencephalography: basic principles, clinical applications and related fields*, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2005, pp. 661 - 682.
- [54] W. W. G., «Contingent Negative Variation: an electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain.» *Nature*, n° 203, pp. 380-384, 1964.
- [55] B. A. H. L. T. A. W. I. D. R. S. G. M. H. H. A. R. Holger Gevensleben, «NCBI - Neurofeedback of slow cortical potentials: neural mechanisms and feasibility of a placebo-controlled design in healthy adults.» *Frontiers in Human Neuroscience*, 11 Diciembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4263073/>.
- [56] D. J. McFarland, L. A. Miner y T. M. & W. J. R. Vaughan, «Mu and Beta Rhythm Topographies During Motor Imagery and Actual Movements.» *Brain Topography*, vol. 12, n° 3, pp. 177-186, 2000.
- [57] W. J. Mark J., «Clinical Applications of Brain-Computer Interfaces: Current State and future Prospects.» *IEEE Reviews in Biomedical Engineering.*, vol. 2, pp. 187-199, 1999.
- [58] M. Moore., «Real world applications for Brain-computer Interface Technology.» *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering.*, vol. 11, n° 2, pp. 162-165, 2003.
- [59] A. A. M. M. Abdulkader S., «Brain Computer Interfacing: Applications and Challenges.» *Egyptian Informatics Journal.*, vol. 16, pp. 213-230, 2015.
- [60] R. C. P. E. B. C. B. N. H. S. Kathner I., «A portable auditory P300 brain-computer interface with directional cues.» *Clinical Neurophysiology.*, vol. 124, n° 2, pp. 327-338, 2013.
- [61] X. D. C. M. G. S. Gao X., «A BCI-based environmental controller for the motion-disabled.» *IEEE Transactions Neural Systems Rehabilitation Engineering.*, vol. 11, n° 2, pp. 137-140, 2003.
- [62] F. X. L. Y. Bi L., «EEG-based brain controlled mobile robots: a survey.» *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 43, n° 2, pp. 161-176, 2013.
- [63] A. J. K. A. Iturrate I., «A Noninvasive Brain-Actuated Wheelchair Based on a P300 Neurophysiological Protocol and Automated Navigation.» *IEEE Transactions on Robotics.*, vol. 25, n° 3, pp. 614-627, 2009.
- [64] M. J. Carlson T., «Brain-controlled wheelchairs.» *IEEE Robotics&Automation Magazine*, pp. 65-73, 2013.
- [65] M. Z. Y. A. M. n. S. K. D. M. Eltaf Abdalsalam, «Modulation of sensorimotor rhythms for brain-computer interface using motor imagery with online feedback.» *Springer-Verlag*, n° 12, pp. 557-564, 2017.
- [66] P. F. E. Z. Dariusz Zapala, «The Impact of Different Visual Feedbacks in User Training on Motor Imagery Control in BCI.» *Appl Psychophysiol Biofeedback*, n° 43, pp. 23-35, 2017.

- [67] J. R. D. S. P. M. M. S. S. R. Sreeja, «Classification of Motor Imagery Based EEG Signals Using Sparsity Approach,» *Intelligent Human Computer Interaction - Proceedings*, n° 9, pp. 47-59, 2017.
- [68] OCDE, *La comprensión del cerebro. El nacimiento de una ciencia del aprendizaje.*, Ediciones Universidad Católica Silva Henríquez, 2009.
- [69] L. d. S. G. Pfurtscheller, «EEG. event-related desynchronization (ERD) and event-related synchronization (ERS),» de Niedermeyer's *Electroencephalography 6th Edition*, Philadelphia, Wolters Kluwer, 2011, pp. 935-948.

Evaluación de la experiencia de usuario en el contexto cubano

User Experience evaluation in Cuban context

Raúl Cuervo Bello^{1*}

¹ Empresa de soluciones informáticas (Desoft División Santiago), Cuba

*Autor de correspondencia: rcuervo@nauta.cu

RESUMEN— La usabilidad puede ser expandida utilizando las posibilidades que ofrece el estudio de la experiencia de usuario. Existen métodos de evaluación dirigidos a la comprobación de la satisfacción del usuario, que utilizan la experiencia, los valores cognitivos y elementos subjetivos. En Cuba se implementan procesos de informatización, los cuales son regulados a través de la gestión de la calidad en *software*. Esta es comprobada por entidades certificadoras. Estas basan sus fundamentos en políticas, disposiciones legales, normas y modelos establecidos. En este trabajo se revisaron métodos de evaluación de la usabilidad y de la experiencia de usuario, para los productos y servicios informáticos cubanos. Los resultados obtenidos muestran el estado del arte de este tema en el país.

Palabras clave— *Calidad en software, experiencia de usuario, métodos de evaluación, usabilidad.*

ABSTRACT— Usability can be expanded using the possibilities offered by the study of User Experience. There are measuring methods aimed to user satisfaction, using experience, cognitive values and subjective elements. In Cuba, informatics processes are implemented. They are regulated through software's quality management, which is verified by certifying entities. Their foundations rely on policies, legal provisions, norms and established models. In this paper, methods of evaluation of Usability and User Experience were reviewed for Cuban IT products and services. The results obtained, show the state of the art of this subject in the country.

Keywords— *Software quality, user experience, evaluation methods, usability.*

1. Introducción

La usabilidad aporta conceptos y métodos para desarrollar productos y servicios que alcancen y mantengan parámetros aceptados como complementos de la calidad [1]. Constituye una guía indispensable para los especialistas que producen y evalúan soluciones informáticas, con el objetivo de comprobar que el producto pueda ser utilizado por los usuarios con efectividad, eficiencia y satisfacción [2].

La experiencia de usuario (UX, del inglés *user experience*) extiende el alcance de la usabilidad al enfocar sus objetivos en el análisis de factores subjetivos [3], los que se manifiestan en las personas que interactúan con los sistemas.

Los métodos de evaluación centrados en el usuario, permiten medir el grado de satisfacción de los clientes [4], y asegurar la elaboración de características que respondan a los requisitos planteados. Su inclusión desde las primeras fases de desarrollo del producto, contribuye a la reducción de costos [5], y al alcance de metas más realistas en tiempos óptimos.

En Cuba se han implementado políticas que tributan al cumplimiento de planes de desarrollo económico y

social, [6, 7], donde la informatización de los procesos posee carácter prioritario [8].

Para la ejecución de estas tareas de manera segura y sostenible, se aplican mecanismos de gestión de la calidad [9], necesarios para garantizar el cumplimiento de estándares internacionales.

El objetivo de este trabajo consiste en analizar cómo se manifiestan las prácticas asociadas a la evaluación de la experiencia de usuario en el país. Se seleccionaron entidades dedicadas a la evaluación y certificación de servicios y productos de *software*, para analizar los métodos de chequeo empleados. También se revisaron políticas, disposiciones legales y normas en las que se basan estas organizaciones para ejecutar las comprobaciones.

Las buenas prácticas de diseño centrado al usuario han ido evolucionando de manera consistente [10], y acumulan varias décadas de prácticas y perfeccionamiento. Su aplicación en el contexto cubano [11], ofrece una ventana amplia de oportunidades.

2. Experiencia de usuario

2.1 De la usabilidad a la experiencia de usuario

La definición de la usabilidad ha sido sujeta a constantes reajustes. Esta se encuentra plasmada en los estándares internacionales [12]. En la ISO-9241-11 se describe en términos de efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto determinado.

Nuevos paradigmas de la interacción con las tecnologías continúan surgiendo y prosperando desde hace más de tres décadas, [12]. Esto demanda la revisión constante de conceptos, los cuales han expandido su alcance y ya no muestran a la usabilidad solamente como una propiedad del producto [1], también como el resultado de una interacción.

El profesor emérito de la Universidad de California Donald Norman, se especializa en la Ciencia Cognitiva. Sus aportes contribuyen al tratamiento de la definición del término experiencia de usuario [13]. Este investigador ha mencionado la relación que existe entre la usabilidad y la psicología, la cual se destaca por su importancia para el diseño, descripción o mejora sobre lo que el usuario percibe mientras interactúa con un sistema. En la ISO 9241-210:2010 [14] el concepto de la UX se define como “la percepción y respuesta resultantes del uso (anticipado o no) de un producto, sistema o producto”.

La comprensión de la experiencia de usuario suele resultar difícil, debido al constante cambio de las tendencias tecnológicas, las que ejercen una gran influencia sobre las características de los productos. Por esta razón, los estudios realizados sobre el tema suelen volverse obsoletos en breves períodos de tiempo [15].

Nigel Bevan destaca la diferencia entre usabilidad y UX [16] en términos de rendimiento y placer. Cada una responde a los siguientes objetivos:

Usabilidad

- Evaluar efectividad, satisfacción y eficiencia.
- Construir una interfaz/producto fácil de utilizar.
- Mejorar el aprendizaje.

UX

- Comprender al usuario, qué hace y qué desea.
- Reconocer y sugerir respuestas relacionadas con las emociones.

2.2 Métodos de evaluación de la UX

Las pruebas de Usabilidad evalúan elementos como el éxito de las tareas, la satisfacción del usuario, el número

de intentos o el tiempo utilizado [17]. Estas métricas deberían ser cuantificables para que puedan ser sometidas a mediciones. En el caso de la UX se toman en cuenta aspectos que requieren mayor observación [18], pero que aportan información valiosa para la toma de decisiones a través del proceso de desarrollo, los cuales permiten evitar las divagaciones basadas en instintos y suposiciones gracias al enfoque de los objetivos en metas realistas. En ambos casos resulta difícil estimar el tamaño y la magnitud del alcance de las evaluaciones.

Al inicio y durante el proceso de desarrollo de un sistema, se definen los objetivos que este debe cumplir a través de las funcionalidades. Si estas están dirigidas a aumentar la productividad, las medidas objetivas son prioritarias, pero si requieren mayor atención en la satisfacción del usuario, entonces las medidas subjetivas adquieren mayor relevancia [17].

En la ingeniería de la usabilidad se emplean cuestionarios para evaluar el nivel de satisfacción de los encuestados [18]. La recolección de estos datos constituye un aporte estratégico, antes, durante y después del lanzamiento de un producto. Contribuyen a esclarecer las metas trazadas y a encaminar el desarrollo sobre bases sólidas.

La UX suele ser interpretada como una extensión del concepto de usabilidad [12]. Aunque su concepto continúa siendo revisado, cada vez resulta más fácil encontrar definiciones que brindan mayor claridad al tema. La evolución de la ciencia y la tecnología aplicada a la interacción entre usuarios y sistemas, tiene un ritmo rápido y vertiginoso. Por esta razón, resulta necesaria una revisión constante de las definiciones de estos paradigmas.

La UX ha madurado en el transcurso de los años recientes, y ha evolucionado como un factor competitivo en el desarrollo de productos y servicios de *software* [5]. Sin embargo, se han encontrado dificultades en el entorno académico, debido al insuficiente enfoque sobre la realidad de las condiciones de la industria del *software*. Su aplicación en el marco de desarrollo industrial brinda transparencia, inspección y adaptación. Se recomienda su aplicación desde las primeras fases de desarrollo, así como el adiestramiento al personal involucrado en la materia. De esta manera se aprovechan estilos de diseño, evaluación y control disponibles en paradigmas ágiles.

La evaluación de la UX incorpora técnicas enfocadas en factores subjetivos [19]. Este modelo vincula los

atributos del producto a las necesidades humanas y sus valores. Su objetivo consiste en adquirir una mayor comprensión del proceso de interacción del cliente con los productos y servicios. Esto se logra permitiendo al usuario expresar sus sentimientos, impresiones y actitudes en formas fáciles e inmediatas [20].

El estudio de los métodos de evaluación de la experiencia de usuario (UXEM, del inglés *user experience evaluation methods*), tiene fundamentos basados en la relevancia de las necesidades psicológicas vinculadas al placer y el estímulo que perciben los usuarios durante la interacción con los productos [21]. Este acercamiento ha proliferado en investigaciones que destacan por su diversidad, lo cual complica la toma de decisiones al momento de decidir qué métodos de evaluación se ajustan mejor al producto.

Existen variantes diseñadas para mejorar esta situación. Una de ellas consiste en la identificación de un total de 89 UXEM [22] en base a los siguientes objetivos:

- Facilitar el proceso de identificación y validación de los UXEM.
- Simplificar la selección del UXEM adecuado a utilizar.
- Identificar las ventajas o desventajas, los UXEM se especifican para las necesidades de determinados proyectos.
- Asistir a los investigadores y practicantes de la UX en la creación de nuevos UXEM que se adecúen a sus proyectos.

En la región de Latinoamérica estas prácticas son tomadas en cuenta con cierta latencia [12]. Sin embargo, en el contexto brasileño estudio evaluó el estado de las prácticas de usabilidad y UX en pequeñas y medianas empresas [22]. Se demostró que muchas de estas permiten liberar versiones de prueba a sus usuarios para ser probadas, lo cual les permite anticiparse a los posibles contratiempos que pueden surgir antes del lanzamiento de versiones oficiales del producto.

Las investigaciones sobre UX se enfocan en emociones positivas como la alegría, la diversión, confianza u orgullo más que en los detalles negativos de un producto [3]. El trabajo dirigido a potenciar la aprobación del cliente, puede garantizar un lugar prevaleciente en el mercado [23]. Su importancia presiona a las compañías a integrar métodos y técnicas dirigidos a mejorar la UX.

Las compañías especializadas en la consultoría de la usabilidad han incrementado su presencia en el mundo

[24]. La Junta Internacional para la Cualificación de la Usabilidad y la Experiencia de Usuario (UXQB), es un consorcio de expertos en usabilidad y UX. Tiene como objetivo la certificación de profesionales y se ha convertido en un estándar internacional para la certificación de entidades y profesionales evaluadores de la calidad de *software*.

2.3 Informatización y aseguramiento de la calidad en *software* en Cuba

En Cuba se ejecutan acciones dirigidas al cumplimiento de la política integral para el perfeccionamiento de la informatización de la sociedad en Cuba [7]. Esta política está apoyada sobre las bases del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030 mencionadas en el Lineamiento 108 [25].

El Estado cubano ha declarado su interés en estos procesos, los que son prioritarios en la gestión gubernamental del país [8].

El Ministerio de Comunicaciones (MINCOM) ha sido el encargado de elaborar la política integral, como documento rector para los procesos de informatización de la sociedad de manera segura y sostenible [7]. Es aplicada dentro de un marco legal constituido por:

- 1 Decreto-Ley
- 2 Decretos
- 9 Normas complementarias

Entre las políticas específicas se encuentra “Reordenar la actividad productiva y de servicios asociada al sector”, que incluye el establecimiento de un sistema de certificación para la calidad, la seguridad y la interoperabilidad [7].

El aseguramiento de la calidad de los productos y servicios tiene como objetivo el cumplimiento de estándares internacionales, debido a su importancia para el desarrollo económico del país, según el lineamiento 83 de la política económica y social [6].

En la implementación de proyectos dedicados a la proyección de estos objetivos, participan organizaciones y entidades de orígenes académicos, entidades públicas, empresariales, desarrolladores del nuevo modelo de gestión no estatal y medios de comunicación [26]. Forman parte del ecosistema de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) del país y se han incluido en la creación de la Unión de Informáticos de Cuba (UIC), como organización de la sociedad civil.

La Oficina Nacional de Normalización ha aprobado la elaboración de Normas Cubanas a través de los Comités Técnicos de Normalización. En el caso de la Norma Internacional ISO/IEC 12207, fue preparada por el Comité Técnico Conjunto ICO/IEC JTC 1, Tecnologías de la información, Subcomité SC 7, Ingeniería de *software* [27].

Esta norma internacional “se aplica a la adquisición de sistemas, y productos y servicios de *software*, así como al suministro, desarrollo, operación y mantenimiento de productos de *software*” [27].

La norma Cubana contiene procesos, actividades y tareas para verificar que los productos y procesos de *software* cumplen con sus requisitos y planes establecidos [27]. Está destinada a proveedores, desarrolladores, operadores, mantenedores, dirigentes, gestores del aseguramiento de la calidad y usuarios de productos de *software*.

El MINCOM emitió la Resolución 166/2017 el 21 de septiembre de 2017, que aprueba el procedimiento para la obtención del certificado que garantiza la seguridad y la calidad los sistemas contable-financieros [9].

La resolución contiene el Anexo núm. 1, donde se definen los requisitos informáticos de seguridad y calidad para los sistemas contable-financieros soportados sobre las TICs.

En el apartado A se disponen diez requisitos de seguridad que mencionan el uso de trazas, mecanismos de control por roles de usuario, cifrado de la información y alertas ante intentos de violación. Resulta relevante la mención de la usabilidad en el requisito 6, donde se reconoce la importancia del diseño para la navegación intuitiva, segura y clara.

El apartado B se refiere a los requisitos informáticos de calidad y su evaluación a través de:

- Normas Cubanas vigentes sobre Ingeniería de *Software* y sistemas.
- Requisitos de calidad y evaluación de *software* (SQuaRE).
- Modelos de calidad de *software* y sistemas.

La usabilidad es mencionada como una característica de calidad a comprobar. No se definen los tipos de pruebas a realizar. Tampoco se mencionan los términos que corresponden a la UX, obviando el impacto de esta sobre la calidad y la aceptación de los productos y servicios.

2.4 Evaluación de la UX durante la gestión de la calidad en *software* por entidades cubanas

Las entidades evaluadoras y/o certificadoras de calidad en *software* dirigen sus servicios a desarrolladores y proveedores de productos y soluciones que forman parte de la Industria Nacional de Programas y Aplicaciones Informáticas [27]. Estas utilizan normas internacionales [27] como marco de referencia, así como disposiciones legales y regulaciones ministeriales [28] según el caso.

Para la búsqueda y análisis de los UXEMs aplicados a productos y servicios de *software* cubanos, se seleccionaron cuatro entidades evaluadoras tomando en cuenta los criterios:

- Objeto social.
- Experiencia en el sector.
- Fundamentos para el ejercicio de evaluación (estándares, resoluciones).
- Tipo de validación (dictamen, certificación).

2.4.1 Centro Nacional de Calidad de *software* (CALISOFT)

CALISOFT presta servicios de evaluación de productos, servicios, procesos, y el asesoramiento de especialistas, con el objetivo de promover buenas prácticas y gestionar la calidad a través de tareas de planificación, control y aseguramiento.

El centro cuenta con laboratorios destinados a la ejecución de pruebas de calidad. Algunos de estos se encuentran ubicados en la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), con la que está relacionada y conectada tecnológicamente y donde también radica un departamento de calidad. Presta sus servicios a las entidades que los soliciten, a lo largo de todo el país.

Esta entidad verifica en sus evaluaciones los requisitos establecidos en el apartado 3.3.1 de la norma NC ISO/IEC 12119:2005 [28] para la instalación, presencia de funciones, corrección y consistencia. Estos requisitos de calidad están incluidos como complementarios a los sistemas informáticos y productos de *software*.

Para la usabilidad se basa en la norma ISO/IEC 25010:2011 [28], descritas en 6 sub-características:

- **Operabilidad**, define 38 requisitos para establecer los formatos y restricciones de presentación de los formularios, según el estilo y tamaño de las fuentes, los campos de entrada y los botones. Los elementos a evaluar están distribuidos según el tipo de sistema:

- General, para todos (19 requisitos).
- Productos o sistemas para la Web (17 requisitos).
- Sistemas de gestión (1 requisito).
- Aplicaciones de escritorio (1 requisito).
- **Cognoscibilidad**, define 11 requisitos para referirse a cómo se busca la información en la pantalla principal, la cantidad de clics, el color de los vínculos y la velocidad del menú. Esto permite que los usuarios puedan navegar con facilidad por los contenidos del sistema. Para los productos o sistemas para la Web contiene dos requisitos.
- **Reconocibilidad**, contiene nueve requisitos dirigidos al del lenguaje, a través de títulos, logotipos y otros elementos que sean descriptivos y distintivos. Se recomienda el alineamiento de los contenidos para que se ajusten al perfil temático definido. Dedicar cuatro indicaciones para los sistemas para la web.
- **Protección ante errores de usuarios**, trata el uso de las opciones por defecto en los formularios, el tratamiento de errores a través de advertencias ante eventos o acciones, y guías para la solución de problemas. La escasez de requisitos es notable, debido a que solo tiene cuatro definiciones.
- **Estética de interfaz de usuario**, con 18 requisitos, guarda relación con la subcaracterística de operabilidad en cuanto al uso apropiado de tipografías, la ubicación de menús, la alineación de elementos y los niveles de importancia de los contenidos. Vela por la ortografía y la composición del texto en el caso de páginas. No hace mención a la interacción del usuario con estos elementos. Divide los puntos a evaluar en:
 - General, para todos (11 requisitos).
 - Productos o sistemas para la Web (cuatro requisitos).
 - Aplicaciones de escritorio (tres requisitos).
- **Accesibilidad**, presenta siete requisitos que definen la presentación de contenidos para personas con discapacidades físicas. En el caso de los elementos gráficos, se requiere la inclusión de un texto alternativo. Además, se exige el uso correcto del contraste entre el texto y el fondo y la identificación del cambio de idiomas para el texto. Se utilizan herramientas como *Colour Contrast Analyser* para determinar la legibilidad del texto y el contraste visual de los elementos (figura 1).

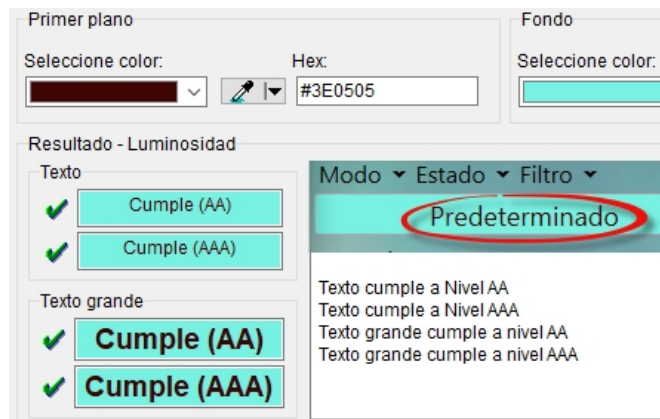


Figura 1. Análisis de contraste utilizando *Colour Contrast Analyser* para evaluar la usabilidad de un producto en *Calisoft*.

Los requisitos organizados en subcaracterísticas de usabilidad, proporcionan una guía para la evaluación de elementos de interacción entre la persona y el sistema. Se centran exclusivamente en el producto, sin incluir la participación del usuario en las evaluaciones, las cuales se realizan en entornos limitados a los especialistas. Los datos sobre la experiencia de usuario son insuficientes para evaluar los factores subjetivos que influyen en la satisfacción del cliente. No se mencionan mecanismos de selección de UXEMs que se adecúen a las características del producto, obviando la aplicación de estos.

Tabla 1. Fragmento del informe de resultado de la evaluación de calidad del producto

Característica: Usabilidad	
No conformidades (NC)	
NC: 29	No se diferencian los campos obligatorios de los opcionales. Ver imágenes de la 4.1.1.1.1 a la 4.1.1.1.3. Localización: Gestiona clientes Gestionar chofer Operaciones/Recargos Revisar en todo el sistema Clasificación: operabilidad
NC: 30	El tamaño de la caja de texto es menor que la información que se recoge en ella. Ver imagen 4.1 .2.1.1. Localización: Facturación Clasificación: operabilidad
NC: 31	No se resaltan los enlaces del menú al ser seleccionados. Ver imágenes 4.1.9.1.1 y 4.1.9.1.2.

	Localización: menú principal Configuración/Menú de opciones Revisar en todo el sistema Clasificación: operabilidad
NC: 32	No se definen de manera correcta gráficos y tablas utilizando sus atributos. Ver imágenes 4.1.18.1.1 y 4.1.18.1.2. Localización: informes Estadísticas Revisar en todo el sistema Clasificación: operabilidad

2.4.2 Empresa de aplicaciones informáticas (DESOFT)

DESOFT ofrece servicios de desarrollo de *software*, distribución de productos propios y de terceros, capacitación y soporte. Tiene representaciones territoriales en todo el país.

Cada división territorial cuenta con infraestructura logística autosuficiente para la gestión comercial, desarrollo y soporte. Aunque algunos de sus productos son evaluados en CALISOFT, cuenta con departamentos de gestión de la calidad.

El Grupo de Calidad de *Software* de DESOFT División Habana radicado en la sede central de la empresa, es el encargado de elaborar los procedimientos para revisar las normas, y son extendidos al resto de las divisiones.

Se revisaron documentos que sirven de guía para la revisión de la usabilidad y la percepción de los clientes sobre los productos y servicios ofrecidos:

- Lista de chequeo de usabilidad.
- Anexo 3. Encuesta al cliente.

2.4.2.1 Lista de chequeo de usabilidad

Tiene como objetivo verificar el empleo de las buenas prácticas en el diseño de las interfaces gráficas. Consiste en un conjunto de preguntas agrupadas por categorías según el tipo de componente a evaluar:

- **Menús:** presenta seis preguntas que verifican la uniformidad de la estructura de la información, el agrupamiento de los elementos del menú y el orden lógico de estos.
- **Formularios de búsqueda:** consiste en 11 preguntas donde la ortografía juega un papel importante en la evaluación de la funcionalidad. Se verifica el ordenamiento de los campos de filtro y la forma en la que se muestran los resultados de la búsqueda.

- **Formularios de edición:** posee 28 preguntas que referencian exhaustivamente la ortografía. Se hacen distinciones en dependencia del idioma (español o inglés). También se verifican el agrupamiento de los campos, el ancho de los formularios, los iconos, el orden de los botones y la validación de los tipos de datos introducidos.

- **Listas:** es el último grupo de cinco preguntas dirigidas al chequeo del conjunto de datos presentados en listas. Se verifica el uso correcto de los íconos, su correspondencia con los botones y el orden de aparición de los campos que puedan ser mostrados.

Durante el análisis de las 50 preguntas contenidas en estos grupos de categorías, no se encuentran detalles que involucren al usuario. Estas están orientadas al cumplimiento estricto de parámetros normados, para la presentación de textos, opciones y el empleo de buenas prácticas en el diseño de la interfaz gráfica.

Los formularios de edición son los componentes que más análisis requieren, porque concentran la mayor cantidad de preguntas. Esto se debe al papel que juegan en el procesamiento de la información que introduce el usuario. Por esta razón, estas funcionalidades son las que producen más experiencias de interacción con el sistema. Sin embargo, no se hacen referencias al uso del color y contraste, aspectos importantes en la carga cognitiva del usuario, en un ambiente donde prevalece el uso de textos.

El área donde se aplica la lista de chequeo para la revisión de la usabilidad, ofrece oportunidades para la validación de la experiencia del usuario. Estas no son aprovechadas debido a la falta de preguntas dirigidas a obtener información subjetiva sobre la interacción del usuario con el sistema.

2.4.2.2 Encuesta al cliente

La encuesta es un documento diseñado como formulario y está dirigido a los usuarios. Contiene aspectos a valorar sobre las experiencias obtenidas con los productos y servicios que brinda la empresa. Es utilizado para medir el grado de satisfacción del cliente y está dividido en tres secciones: relacionado a los recursos humanos (tabla 2), al producto (tabla 3) y al servicio (tabla 4). Finalmente se reserva un espacio para que el encuestado pueda emitir comentarios.

Los aspectos a valorar están acompañados por una escala de puntuación. El usuario debe otorgar los puntos según su criterio sobre la calidad percibida: 2=Mal, 3=Regular, 4=Bueno, 5=Muy Bueno. En el caso del

espacio reservado para emitir comentarios, no se incluye el sistema de puntaje. Esto difiere con lo aplicado a las secciones anteriores y no permite obtener la claridad necesaria para su procesamiento.

Tabla 2. Relacionado a los recursos humanos

Aspectos a valorar	2	3	4	5
La atención de los especialistas comerciales.				
Las habilidades comunicativas de nuestros consultores técnicos.				
La atención de los consultores técnicos.				
La formación y experiencia de nuestros especialistas.				

Tabla 3. Relacionado al producto

Aspectos a valorar	2	3	4	5
Diseño				
Funcionalidad				
Presentación				
Calidad				
Evolución (actualizaciones y nuevas versiones)				

Tabla 4. Relacionado al servicio

Aspectos a valorar	2	3	4	5
Calidad				
Capacidad de respuesta				
Cumplimiento de los plazos previstos				
Frecuencia de visitas preventivas				

El cuestionario ofrece una visión global de la percepción que tienen los clientes sobre los productos y servicios recibidos, pero está limitada a una escala que no

brinda detalles sobre el origen de las inconformidades en los casos necesarios.

El lenguaje utilizado en el diseño de las preguntas es genérico y produce un esfuerzo cognitivo extra, lo que influye de manera negativa en la búsqueda honesta de factores subjetivos que contribuyen a la toma de acciones para mejorar la experiencia del cliente, y de esta forma su satisfacción.

El marco de aplicación de estas preguntas brinda una oportunidad valiosa de acercamiento a los usuarios. Con la selección de los UXEMs adecuados, puede ser aprovechada exitosamente.

La aplicación de esta encuesta se realiza en la culminación de las prestaciones brindadas a los clientes. Esta situación no brinda la posibilidad de comparar entre escenarios diferentes. Las etapas iniciales marcan un hito y podrían como termómetro del estado de la ejecución de los servicios.

2.4.3 Consultoría económica de la asociación Nacional de Economistas y Contadores de Cuba (CANEC)

CANEC es una consultoría económica líder en el mercado cubano, la cual aplica técnicas modernas de gestión a partir de la experiencia de consultores y auditores [29].

Su política de calidad está dirigida a la satisfacción de las necesidades y expectativas de sus clientes. Ofrece los servicios de asesoría, auditoría y consultoría conforme con las normas y las legislaciones aplicables.

Su cartera de servicios de auditorías comprende las modalidades [29]:

- Auditoría financiera con o sin dictamen.
- Auditoría financiera a sucursales extranjeras.
- Auditorías especiales:
 - Asesoría de tipo contable y financiera.
 - Servicios de contabilidad.
 - Servicios de teneduría de libros.
 - Consultoría en control interno.
 - Consultoría en manuales y procedimientos.
 - Consultoría en dirección y gestión empresarial.
 - Consultoría en el proceso inversionista.
 - Consultoría en formación de cooperativas no agropecuarias.
 - Consultoría integral colaborativa.
 - Servicios de asesoría y consultoría en gestión comercial y financiera, de comercio exterior y de la inversión extranjera.

o Entrenamientos y adiestramiento.

Para la revisión, dictamen y certificación de productos informáticos que soportan operaciones contables, se basa en la Resolución No. 340/2004 [30] del Ministerio de Finanzas y Precios, para comprobar el grado de adaptación a las Normas Cubanas de Contabilidad.

Las técnicas empleadas se aplican en etapas pactadas con los clientes. Estas consisten en:

- Revisión de documentos.
- Visitas a entidades que utilizan el sistema.
- Entrevistas.
- Observación directa de actividades.

Se analizó una muestra del Informe final del servicio de certificación de sistemas informáticos para la contabilidad, el cual sintetiza los resultados de la inspección:

- **Dictamen:** declara la culminación del servicio y la conformidad del producto con las normas vigentes.
- **Introducción:** ofrece información contractual y una breve descripción del trabajo realizado en sus etapas.
- **Datos generales del sistema:** caracteriza las funcionalidades evaluadas en el *software*.
- **Conclusiones:** resume la conformidad del producto mencionando las resoluciones vigentes para ello.
- **Recomendaciones:** opcional.
- **Contenido del informe:** descripción de las características evaluadas en el sistema y los fundamentos utilizados para ello.
- **Dictamen e Informe gerencial:** consiste en la entrega por escrito del informe y dictamen al cliente que solicitó el servicio de auditoría.

Se analizaron los procedimientos utilizados para evaluar las conformidades del sistema para ser certificado [30]. Estos se reducen a las capacidades que tiene el *software* de ejecutar las operaciones en correspondencia con lo estipulado en las normas y regulaciones para la contabilidad. No hacen uso de estándares ni modelos especializados en la ingeniería de *software*. Debido a esto la usabilidad no es un objetivo en la evaluación, y con ello la UX tampoco.

Si la evaluación culmina satisfactoriamente, se enuncia en el dictamen que “el producto reúne los requerimientos indispensables para su explotación con eficiencia”. Este argumento resulta ambiguo e insuficiente cuando se contrastan los aspectos evaluados, con los requerimientos mínimos estipulados para certificar sistemas informáticos [9]. Tampoco garantiza

el grado de satisfacción del usuario y se conforma con los requisitos mínimos asociados a la actividad contable financiera [30]. En la evidencia documental no se reflejan los resultados de las entrevistas realizadas, ni se mencionan métodos de evaluación asociados a la UX.

La actividad contable financiera ejerce gran presión sobre los profesionales del sector [31]. Esto se debe al requerimiento de altos niveles de concentración, motivación y juicio. Por esta razón, la evaluación de la UX resulta muy conveniente, para reducir la carga cognitiva producida por la complejidad de las operaciones. Situación que puede contribuir al rendimiento y consecuentemente al éxito en la utilización del *software*. Estos aspectos fundamentales no son objetivos de análisis en las auditorías que realiza la CANEC a productos de *software*.

2.4.4 Agencia Certificadora de Protección (ACERPROT)

ACERPROT es una agencia subordinada al Ministerio del Interior (MININT). Su objetivo consiste en la certificación y homologación de productos de seguridad con el empleo de laboratorios de referencia, y de personas vinculadas a labores de protección.

Los sistemas informáticos forman parte de los productos evaluados por la agencia. Para ello se basa en lo establecido en la Resolución 128/2011 del MINCOM [32]. Esta legislación establece, regula y controla las normas técnicas y operacionales de todas las redes informáticas y sistemas de comunicaciones en general que funcionan en el país.

La metodología de evaluación de ACERPROT contiene una exhaustiva lista de chequeos que verifica 34 requisitos y ocho subrequisitos desglosados en incisos:

- Lista de chequeo.
- Contraseñas y cifrado.
- Niveles de acceso.
- Menús personalizables.
- Perfiles, roles de usuario y grupos de restricción.
- Auditoría y control de datos.
- Integridad de los sistemas, ficheros y datos.
- Trabajo en red y sistemas multiusuarios.
- Procedimientos de salva de los ficheros de datos y el sistema.

Se tomó una muestra de auditoría a un producto donde se utilizaron herramientas para la búsqueda de vulnerabilidades en diferentes entornos:

- **Openvas-scanner y armitage:** búsqueda de vulnerabilidades a través de los puertos usados por la aplicación.
- **Edb-debugger:** para intentar modificar el código del instalador y crear una instalación del sistema con una puerta trasera en Linux.
- **OllyDbg:** para intentar modificar el código del instalador y crear una instalación del sistema con una puerta trasera en Windows.
- **SQLdict y DBPwAudit:** comprobación de la calidad de las contraseñas del motor de base de datos utilizado.

La agencia juega un papel importante para el avance seguro y sostenible de la informatización del país. Su objetivo radica en la satisfacción de las directivas de seguridad según lo regulado para la seguridad informática [32], pero no se toma en cuenta el impacto de la experiencia de usuario como contribuyente en la estabilidad y fortaleza del desempeño del producto.

ACERPROT dictamina y certifica los sistemas evaluados. En este contexto se repite la situación analizada en el epígrafe anterior, respecto a la omisión de elementos regulatorios de la calidad en *software* y la utilización de UXEMs.

2.5 Investigación e intención sobre la evaluación de la experiencia de usuario en el contexto cubano

En el entorno académico cubano cuenta con espacios de intercambio entre profesionales de la ingeniería de *software*. Estos permiten la difusión de investigaciones que se han dirigido al aseguramiento y evaluación de la Usabilidad. Iliannis Pupo en su tesis “Procedimiento para el aseguramiento y evaluación de la usabilidad basado en patrones arquitectónicamente sensibles para los sistemas de gestión del Centro de Informatización de la Gestión de Entidades”, 2012 [33], elaboró un procedimiento dividido en tres fases vinculadas a la Ingeniería de la Usabilidad. Según el estudio, la propuesta tiene un aporte práctico importante, para la detección de problemas de usabilidad en fases tempranas del ciclo de desarrollo. En ellas se utiliza la satisfacción como un atributo elusivo y completamente dependiente de las opiniones subjetivas de los usuarios. Destaca el problema que representa la insuficiencia en la especificación de requisitos de Usabilidad, así como las limitaciones en las técnicas de la ingeniería para la captura de esta información.

Para contribuir en la solución de los problemas planteados en la investigación anterior, Yenly Pérez

Nuñez propone soluciones en su tesis “Procedimiento para evaluar la Usabilidad con la intervención del usuario”, 2014 [10]. Esta investigación ofrece una guía para realizar evaluaciones de usabilidad con el usuario a un producto de *software* en el proceso de pruebas de aceptación. Para ello se revisaron los entornos de prueba en entidades cubanas donde se desarrolla y/o prueban *softwares*, en escenarios diferentes. Se extrajeron y compararon los métodos existentes, buscando la existencia de la satisfacción como uno de los objetivos. La propuesta de solución tiene lugar en los subprocesos de planificación de pruebas de aceptación y en el de ejecución de pruebas de aceptación.

El estudio sugiere que, para solucionar la necesidad de organizar las evaluaciones de usabilidad, es importante incluir la intervención de los usuarios en las pruebas.

Otro conjunto de soluciones propuestas en la tesis de Yanetsi Millet Lombida en “Procedimiento para incorporar la ingeniería de usabilidad en el proceso de desarrollo del *software*”, 2015 [11], están encaminadas en la reducción de las No Conformidades detectadas en las evaluaciones. También coincide con la necesidad de incorporar estos procedimientos desde las primeras etapas del proceso y durante el ciclo de vida del desarrollo del *software*.

3. Resultados

La diversidad de los productos y servicios informáticos y su acelerado desarrollo, han acentuado la necesidad de la gestión de su calidad y a la vez de profundizar en los métodos utilizados para ello.

En esta investigación se revisaron 17 artículos relacionados con la UX, así como tres tesis de procedimientos (figura 2). Sus textos demuestran que la existencia de los UXEM ha dejado de ser una realidad peculiar y experimental, para insertarse seriamente en las prácticas de las metodologías de desarrollo. Su impacto es reconocido por organizaciones y corporaciones que se encuentran en la búsqueda constante de la adecuación de estos paradigmas a la realidad del estado que plantean las ciencias informáticas.

La ergonomía y el tiempo de aprendizaje influyen en la percepción del cliente hacia los productos y servicios. Las aplicaciones de los UXEM contribuyen a perfilar el tratamiento de estos aspectos. Su desarrollo tiene más de tres décadas de evolución, aunque se limita a regiones de

marcada diferencia en aspectos de desarrollo económico, tecnológico y social.

En el caso de Cuba, los procesos encaminados a la informatización requieren la actualización y adaptación de legislaciones y normas, para la inclusión de los UXEM en el contexto nacional.

Se estudiaron los procedimientos de comprobación de la calidad en cuatro entidades evaluadoras, de las cuales 2 certifican los resultados de las evaluaciones (tabla 5). CALISOFT se destaca por ofrecer la mayor cantidad de aspectos y herramientas utilizados en el análisis de los productos.

Tabla 5. Entidades evaluadoras analizadas

Entidad	Año	Objetivos	Bases	Certifica
Canec	1979	Aplicación de técnicas modernas de gestión económica a partir de la experiencia de consultores y auditores.	Resolución núm. 60/2009	Sí
Acerprot	1997	Certificación y homologación de productos de seguridad.	Decreto Ley 168 de 1998	Sí
Desoft	2004	Servicios de desarrollo, distribución y soporte de <i>software</i> .	Grupo de calidad de <i>software</i> de Desoft	No
Calisoft	2012	Promover buenas prácticas y gestionar la calidad de <i>software</i> .	NC ISO/IEC 12119:2005	No

Aunque existen mecanismos para la regulación, planificación, control y mantenimiento de la calidad, continúan siendo insuficientes en cuestiones de alcance. Las organizaciones destinadas a la evaluación de estos aspectos carecen en sus fundamentos, de la actualización en la práctica de sus procedimientos.

En el caso de la industria, los productos que se comercializan son analizados tomando en cuenta el cumplimiento de las tareas para las cuales fueron diseñados. Para ello no se toman en cuenta los beneficios que ofrece la participación de los usuarios, cuya actuación resulta clave en el éxito de los sistemas.

4. Conclusiones

La adopción de los procedimientos propuestos por los UXEMs, contribuye al acercamiento del desarrollador y evaluador a los intereses del cliente, y de esta forma, a elevar el nivel de aceptación de los usuarios. Estos métodos proporcionan herramientas que facilitan el establecimiento de metas según condiciones más realistas, y contribuyen a la reducción del tiempo y los costos durante el proceso.

El éxito de los productos y servicios tiene relación directa con la evaluación de la satisfacción del usuario. Las expectativas e impresiones de los clientes son importantes y deben ser tomadas en cuenta, incluso antes de iniciar el desarrollo o la implementación de las soluciones informáticas.

En Cuba se toman medidas para potenciar la calidad en la industria, y la compatibilidad con los estándares internacionales para impulsar el mercado nacional y la exportación. Estas políticas se han propuesto y evaluado en congresos, legislaciones y normas. Sin embargo, las inflexibilidades de las prácticas utilizadas persisten y afectan la aplicación de técnicas de medición efectivas para distintos escenarios y tipos de productos. Las entidades desarrolladoras, evaluadoras y certificadoras se hacen eco de estas disposiciones, aplicando de forma fragmentada las indicaciones.

Investigaciones como la presente, están dirigidas al contexto cubano y proponen la inclusión de buenas prácticas y la apertura al convulso pero evolutivo ritmo de la ingeniería de la usabilidad y la UX.

5. Agradecimiento

La inspiración y desarrollo de este trabajo se debe a la colaboración de colegas y amigos a quienes agradezco:

Maité Basulto Socorro, Axel Castro Campos, Yaimí Trujillo Casañola y Alionuska Velázquez Cintra.

6. Referencias

- [1] N. Bevan, J. Carter, and S. Harker, "ISO 9241-11 revised: What have we learnt about usability since 1998?," *Human Computer Interaction*, p. 11, 2015.
- [2] N. Bevan, "The evaluation of accessibility, usability and user experience," *The Universal Access Handbook*, C Stepanidis (ed), CRC Press, 2009.
- [3] P. G. Zimmermann, "Beyond Usability – Measuring Aspects of User Experience," *SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH*, p. 113, 2008.
- [4] C. Lallemand, G. Gronier, and V. Koenig, "User experience: A concept without consensus? Exploring practitioners' perspectives through an international survey," *Computers in Human Behavior*, vol. 43, pp. 35-48, 2015.
- [5] T. Øvad and L. B. Larsen, "How to reduce the UX bottleneck – train your software developers," *Behaviour & Information Technology*, vol. 35, no. 12, pp. 1080-1090, 2016.
- [6] P. C. d. Cuba, "Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución," *VI Congreso del Partido Comunista de Cuba*, p. 41, 2011.
- [7] M. d. C. d. Cuba, "Política Integral para el perfeccionamiento de la Informatización de la sociedad en Cuba," 2017.
- [8] Granma, "Cuba sin pausas en el propósito de la informatización," *Órgano Oficial del Partido Comunista de Cuba*, vol. 237, 2018.
- [9] M. d. Comunicaciones, "Resolución No. 166/2017," *Gaceta Oficial*, vol. 2017, no. 40, p. 9, 2017.
- [10] Y. P. Nuñez, "Procedimiento para evaluar la usabilidad con la intervención del usuario," *UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS*, p. 99, 2014.
- [11] Y. M. Lombida, "Procedimiento para incorporar la Ingeniería de Usabilidad en el proceso de desarrollo del software," *Universidad de las Ciencias Informáticas*, p. 103, 2015.
- [12] C. Rusu, "Usability versus User Experience: Theory and Practice," *Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile)*, p. 12, 2014.
- [13] N. N. Group (2018, Feb), "Donald Norman." [Online]. Available: <https://www.nngroup.com/people/don-norman/> [Feb. 11, 2018].
- [14] ISO, "INTERNATIONAL STANDARD ISO 9241-210, Ergonomics of human–system interaction. Part 210: Human-centred design for interactive systems," *ISO 2010*, 2010.
- [15] Z. Hasan and R. C. Gope, "Dynamics of User Experience (UX)," *International Journal of Computer Applications*, vol. 81, no. 16, 2013.
- [16] N. Bevan, "What is the difference between the purpose of usability and user experience evaluation methods," *UXEM'09 Workshop, INTERACT 2009, Uppsala, Sweden*, p. 4, 2009.
- [17] J. R. Lewis, "IBM computer usability satisfaction questionnaires Psychometric evaluation and instructions for use," *International Journal of Human-Computer Interaction*, vol. 7, no. 1, p. 23, 1995.
- [18] G. Bilen, "Experience Design and Measuring User Experiences for Single Page Application," *Helsinki Metropolia University of Applied Sciences*, p. 52, 2016.
- [19] C. Rico-Olarte, D. M. López, and S. Kepplinger, "Towards a Conceptual Framework for the Objective Evaluation of User Experience," vol. 10918, pp. 546-559, 2018.
- [20] M. Schrepp, A. Hinderks, and J. r. Thomaschewski, "Design and Evaluation of a Short Version of the User Experience Questionnaire (UEQ-S)," *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 6, p. 103, 2017.
- [21] C. Lallemand, V. Koenig, and G. Gronier, "How relevant is an expert evaluation of user experience based on a psychological needs-driven approach?," pp. 11-20, 2014.
- [22] S. Rajeshkumar, R. Omar, and M. Mahmud, "Taxonomies of User Experience (UX) Evaluation Methods," *3rd International Conference on Research and Innovation in Information Systems - 2013 (ICRIIS'13)*, p. 6, 2013.
- [23] R. Alves, P. Valente, and N. J. Nunes, "The state of user experience evaluation practice," *NordiCHI '14*, pp. 93-102, 2014.
- [24] UXQB (2018, Feb.). "Certified Professional for Usability and User Experience-Foundation Level." [Online]. Available: <https://uxqb.org/en/about-uxqb/> [Feb. 11, 2018].
- [25] A. N. d. P. Popular, "Documentos del 7mo. Congreso del Partido aprobados por el III Pleno del Comité Central del PCC el 18 de mayo de 2017 y respaldados por la Asamblea Nacional del Poder Popular el 1 de junio de 2017," *Pleno del Comité Central del PCC*, vol. 7, 2017.
- [26] T. D. Fernández, "Cibersociedad: un concepto emergente desde la Unión de Informáticos de Cuba," *Unión de Informáticos de Cuba*, 2018.
- [27] ISO/IEC, "Norma Cubana 12207_2007," *ISO*, 2006.
- [28] Calisoft, "REQUISITOS DE LA CALIDAD PARA SISTEMAS INFORMÁTICOS Y PRODUCTOS DE SOFTWARE," no. 01:03/2017, 2017.
- [29] CANEC (2018, Feb.), "CANEC." [Online]. Available: www.canec.cu [Feb 11, 2018].
- [30] M. d. F. y. Precios and MFP, "Resolución No. 340/2004, Procedimiento para dictaminar sobre el grado de adaptación a las Normas Contables Cubanas de los Sistemas Contables Financieros soportados sobre las tecnologías de la información," *Gaceta Oficial*, 2004.
- [31] A. Ozkana, M. Ozdevecioglu, Y. Kayac, and F. Ö. Koc, "Effects of mental workloads on depression–anger symptoms and interpersonal sensitivities of accounting professionals," *Elsevier España*, 2014.
- [32] M. d. I. C. d. Cuba, "RESOLUCIÓN No. 128/2011, Reglamento redes privadas de datos," *Gaceta Oficial*, 2011.
- [33] I. P. Leyva, "Procedimiento para el aseguramiento y evaluación de la usabilidad basado en patrones arquitectónicamente sensibles para los sistemas de gestión del Centro de Informatización de la Gestión de Entidades," *Universidad de las Ciencias Informáticas*, 2012.

Pruebas de mutación, control sobre variaciones en el código fuente

Mutation tests, control of variations in the source code

Nelson Sánchez Álvarez^{1*}, Neybis Lago Clara¹

¹ Centro de Soporte, Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba

*Autor de correspondencia: nalvarez@uci.cu

RESUMEN— Las pruebas de *software*, como complemento fundamental dentro del proceso de calidad, se han convertido en un factor importante para las empresas. La calidad es el resultado de una serie de pruebas y revisiones que se le realiza a un programa en específico para comprobar que se cumpla con los requisitos definidos en las primeras etapas de su diseño. En la rama de las ciencias informáticas la calidad se rige por métricas y modelos específicos que brindan un apoyo importante para validar el *software*. La manera de lograr un nivel mayor de calidad requiere de esfuerzo y técnicas que ayuden a este proceso. La presente investigación apoya el proceso de pruebas que se realiza en los productos *software* que se crean en el Departamento de Señales Digitales de la CITEC. Tiene como objetivo principal el desarrollo de pruebas de mutación para de esta manera obtener resultados a través de más de una técnica de prueba de Caja Blanca. Se utilizaron tecnologías de gran potencia para el desarrollo de la herramienta entre las que se mencionan C++ como lenguaje de programación y Qt como *framework* de desarrollo. El *Visual Paradigm* fue la herramienta seleccionada para el modelado de los principales diagramas y representaciones del sistema y la construcción de la solución fue guiada por la metodología ágil SXP. Además, se aplicaron los patrones de diseño y de arquitectura para brindar mayor organización a la estructura de la aplicación.

Palabras clave— Prueba, mutación, técnicas de pruebas de caja Blanca.

ABSTRACT— Software testing as an essential complement in the quality process, have become an important factor for companies. Quality is the result of a series of tests and inspections to be performed at a specific program to check compliance with the requirements defined in the early stages of design. In the branch of computer science, the quality is governed by metrics and specific models that provides important support to validate the software. The way to achieve a higher level of quality requires effort and techniques to help this process. This research contributes to raising the quality of the tests performed to software products that are created in the Digital Signals Department of the CITEC. It has as main goal the development of testing structure of control and testing mutation so as to obtain results through more than one technique of White Box testing. Powerful technologies were used for the development of the tool between the mentioned C++ programming language and development framework Qt, The Visual Paradigm tool was selected for modeling the main diagrams and representations of the system and the construction of the solution was guided by the agile methodology SXP. Further references to architecture and design patterns were applied to provide greater organization to the structure of the application.

Keywords— Test, mutation, technical white box testing.

1. Introducción

La creación e introducción paulatina de productos informáticos, con el paso de los años, ha ocasionado gran dependencia de los mismos al estar ligados a la mayoría de los procesos sociales. Estos productos, aunque son creados para eliminar en gran medida los errores del trabajo manual, no están exentos de ellos y en muchas ocasiones no corresponden a las reglas establecidas para su elaboración. Las empresas o instituciones que demandan la utilización de este tipo de recursos exigen, por demás, un funcionamiento correcto de los mismos.

Es bajo estas condiciones que la palabra calidad también llega a las ciencias informáticas como una de

las disímiles formas de entregar productos con el mínimo de errores posibles, tanto desde el punto de vista sintáctico como desde la lógica que guía su desarrollo. La calidad como un ente individual “es ambiguamente definido y pocas veces comprendido debido a que la calidad no es una sola idea, es un concepto multidimensional. La dimensión de calidad incluye el interés, el punto de vista y los atributos de la entidad y varía según cada persona en particular [1].”

En el mundo del *software*, se puede decir que la calidad, es el resultado de una serie de pruebas y revisiones que se le realizan a un programa en específico, para comprobar que se cumpla con los requisitos definidos en las primeras etapas de su diseño.

En la rama de las Ciencias Informáticas la calidad se rige por métricas y modelos específicos que brindan un apoyo paso a paso de que es importante validar en dicho *software*.

Alguno de los métodos más utilizados es la realización de pruebas de *software* para mejorar la calidad de los productos informáticos. Según la IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, por sus siglas en inglés) las pruebas se definen como “una actividad en la cual un sistema o componente es ejecutado bajo condiciones específicas, se observan o almacenan los resultados y se realiza una evaluación de algún aspecto del sistema o componente” [16]. Son varias los métodos de pruebas que existen y con ellos es posible probar el *software* en diferentes aspectos. Desde el punto de vista funcional se pueden mencionar las pruebas de caja blanca y las de caja negra.

Las pruebas de caja negra “también conocidas como Pruebas de Comportamiento, son pruebas que se basan en la especificación del programa o componente a ser probado para elaborar los casos de prueba” [2]. Las pruebas de caja blanca, por su parte, son “un tipo de prueba de *software* que se realiza sobre las funciones internas de un módulo” [2]. Su utilización tiene gran importancia debido a que los métodos de caja blanca “permiten derivar casos de prueba que garanticen que todas las rutas independientes dentro del módulo se ejecuten al menos una vez. Ejecuta los lados verdadero y falso de todas las decisiones lógicas dentro del código. Posibilita ejecutar todos los ciclos dentro y en sus límites operacionales y ejercita las estructuras de datos internas para asegurar su validez” [3].

De acuerdo con la importancia de la calidad en desarrollo de *software*, durante cada una de sus etapas y en el producto final, se determinó evaluar el proceso de pruebas que se realiza en el Facultad de Ciencias y Tecnologías Computacionales. Se tomó como muestra el departamento Señales Digitales, encargado del desarrollo de sistemas para el control de cámaras y procesamiento de imágenes, entre otras actividades.

Al analizar el modo en que se ejecutaba el proceso de pruebas, se observó que solamente se realizan pruebas de Caja Negra y se manifestó que no existía una herramienta que posibilitara la realización de técnicas de prueba de Caja Blanca. La ausencia de este tipo de pruebas provoca que los desarrolladores y probadores de *software* deban realizar estas técnicas de forma

manual, lo que ocasiona que ni siquiera se realicen. El hecho de que este tipo de pruebas no sea realizado de manera correcta influye en que los productos que se desarrollan en el departamento no sean lo suficientemente correctos desde el punto de vista del código fuente.

Luego de varios encuentros con los equipos de desarrollo del Departamento Señales Digitales se comprobó que muchos de los productos *software* que se desarrollan en el centro muestran errores luego de desplegados. Además, la modificación de cualquier operador dentro del código fuente muestra resultados que difieren, en gran medida, de los obtenidos con la versión anterior del código ejecutado.

Todo esto influye en la satisfacción del cliente, pues en algunos casos los resultados que obtienen a través del *software* no son certeros o de confianza y provoca que tengan que recurrir a los antiguos métodos no automatizados para realizar su trabajo. Por lo tanto, se afecta su trabajo y el de los desarrolladores al tener que realizar cambios al producto durante la fase de soporte para mejorar su funcionamiento.

A partir de la problemática detectada, en el desarrollo de productos de *software*, surge la necesidad de realizar pruebas de mutación que permitan detectar las variaciones en el código fuente, para evitar errores posteriores en su ejecución, o incumplimiento de los requisitos funcionales solicitados por el cliente. Se propone en la presente investigación automatizar las pruebas de mutación, garantizando mayor fiabilidad en los resultados y disminuir el tiempo en que se realizan las pruebas antes mencionadas.

2. Conceptos fundamentales

Pruebas de *software*

Las pruebas de *software*, desde un enfoque general, pueden definirse como “una etapa del desarrollo de *software* que incluye procesos que permiten verificar y revelar la calidad de un *software*. Básicamente es una fase en el desarrollo de *software* que consiste en probar las aplicaciones construidas [4].”

Al decir de Pressman, los principales objetivos de las pruebas de *software* son:

- ✓ La prueba es el proceso de ejecución de un programa con la intención de descubrir un error.

- ✓ Un buen caso de prueba es aquel que tiene una alta probabilidad de mostrar un error no descubierto hasta entonces.
- ✓ Una prueba tiene éxito si descubre un error no detectado [5].

El proceso de verificación del *software* es de carácter destructivo y describe que un caso de prueba se considera exitoso si detecta defectos no descubiertos aún. La prueba demuestra hasta qué punto el programa tiene un buen funcionamiento, pero sin embargo no garantiza la ausencia de defectos en un *software*. Es por este motivo que la calidad de un *software* no depende solamente de un plan de pruebas bien estructurado, puesto que de esta forma no se asegura que el producto se encuentre libre de defectos, aunque es considerado como un factor importante y que influye en gran medida que este parámetro sea cumplido exitosamente.

2.1 Métodos de pruebas

Entre los métodos de pruebas las más utilizadas por ser más generales y poder aplicarse a cualquier *software* son [6]:

Pruebas de caja negra

Se centran en los requisitos funcionales del *software* y los casos de prueba diseñados pretenden demostrar que las funciones del *software* son operativas, que la entrada se acepta de forma adecuada y que se produce una salida correcta.

Pruebas de caja blanca

Es un método de diseño de casos de prueba que usa la estructura de control del diseño procedimental para derivar los casos de prueba.

Pruebas de estructuras de control

“La estructura de control es un bloque de código que permite tomar decisiones de manera dinámica, sobre un código existente. Existen diferentes variantes de las pruebas de estructura de control donde cada una de ellas amplía la cobertura de la prueba y mejora la calidad del resultado obtenido. Dentro de las pruebas de estructura de control se encuentran” [13]

- ✓ Pruebas de condición.
- ✓ Prueba de flujo de datos.
- ✓ Pruebas de bucles.

2.2 Pruebas de mutación

Las técnicas de mutación se basan en la modelización de las faltas típicas que se comenten al hacer un programa, mediante lo que se conocen como

operadores de mutación (dependientes del lenguaje de programación). Cada operador de mutación se aplica sobre el programa, dando lugar a una serie de mutantes. Una vez que se tiene generado el conjunto de mutantes, se generan casos de pruebas que ejerciten la parte mutada del mismo. Tras generar casos de pruebas para cubrir todos los mutantes, teóricamente se tienen cubiertas todas las posibles faltas cometidas (en la práctica, solo las faltas modeladas por los operadores de mutación) [7]. La eficiencia de esta técnica depende de la cantidad de mutantes que se construyan en busca de abarcar la mayor cantidad de código posible.

Tipos de pruebas de mutación

Mutación (Standard o fuerte): Se basa en operadores básicos dependiendo del lenguaje de programación que se utilice.

Mutación *abs/ror*: Utiliza solamente los operadores *abs* y *ror* para generar los mutantes. El operador *abs* reemplaza el valor de cada variable *xporabs(x)*, *-abs(x)* y *zpush(x)*. El operador *zpush* hace que el mutante muera inmediatamente si su argumento es cero, lo que requiere que los datos de prueba fueren a que toda expresión adquiera el valor cero. El operador *ror* genera mutantes reemplazando cada operador relacional por otros operadores relacionales.

Mutación 10%: En este caso, se seleccionan aleatoriamente el diez por ciento de los mutantes generados para cada tipo de mutación.

Mutación selectiva: En la mutación selectiva se descartan los mutantes que fueron generados con los operadores de mutación que generan más mutantes.

Mutación débil: En la mutación débil, los mutantes son evaluados antes de finalizar la ejecución del programa mutante. Es decir que la comparación entre el programa original y el mutante se realiza en un estado intermedio del mismo, lo que permite que se reduzcan los tiempos de prueba.

Los pasos principales para elaborar las pruebas de mutación son [7]:

1. Análisis del programa: operadores de mutación.
2. Generación de mutantes.
3. Ejecución contra casos de prueba.

Las pruebas de mutación cuentan con una gran diversificación de lenguajes y un aumento dentro del paradigma orientado a objetos. Desde otro punto de vista y como parte de sus desventajas se encuentra la

necesidad de la aparición de nuevos operadores de prueba.

2.3 Herramientas para la realización de pruebas. Estudio del arte

La necesidad de realizar pruebas de calidad converge hacia el aseguramiento de la eficiencia del producto antes de salir al mercado. Es por ello que es imprescindible evaluar desde todos los ámbitos posibles un *software* y realizar todo tipo de pruebas, ya sean las pruebas de caja blanca o pruebas de caja negra. Las primeras posibilitan medir la eficiencia de los códigos convirtiendo la automatización de las mismas en un reto actual para las empresas de *software* en el mundo.

Program Exploration

Se trata de una herramienta desarrollada por un equipo de *Microsoft Research*¹, cuya última actualización data de febrero del 2015. Tiene la capacidad de explorar el código fuente de las aplicaciones, encontrar los grafos de caminos, seleccionar el subconjunto mínimo suficiente de caminos para probar todas las sentencias de código y, finalmente, genera las entradas representativas necesarias al programa para recorrer todos estos caminos.

Durante el estudio de la herramienta se observó que se especializa solamente en pruebas del camino básico y no posee ninguna funcionalidad para pruebas de mutación. Además, la herramienta no ha sido actualizada por lo que no incluye nuevas técnicas de pruebas o mejoras en las que realiza, por lo que sería necesario utilizar más de una herramienta. De esta forma el proceso de pruebas sería más costoso, llevaría más tiempo y esfuerzo por parte del equipo de desarrollo.

JTest

Es una herramienta que permite realizar análisis de código, pruebas unitarias automáticas y cobertura de código, así como generación dinámica de pruebas funcionales. “El uso de *JTest* es realmente sencillo, y se centra en una potente interfaz de usuario. Para comenzar el proceso de test, tan solo es necesario seleccionar la clase deseada y pulsar un botón. Los resultados del test se presentan de forma clara y organizada, utilizando una estructura tipo árbol. Dicha estructura incluye todos los detalles del test (datos de

entrada, salidas generadas, errores encontrados, líneas del código fuente, entre otros) y facilita enlaces directos con el código fuente para su edición. Hay cuatro tipos de procesos de test disponibles: Caja Blanca, Caja Negra, Regresión y Cobertura [8]”.

La herramienta *JTest* no posee ningún método para realizar pruebas de mutación, por lo que no es viable su utilización como solución a la problemática detectada. Tampoco puede ser ajustada a dichas pruebas pues es *software* privativo, por lo que su código fuente no está disponible para su modificación.

Bullseye Coverage

“Es un analizador de código de cobertura para C++ y C que indica cómo gran parte del código fuente se pone a prueba. Puede usar esta información para rápidamente centrar su esfuerzo de ensayo y determinar las áreas que necesitan ser revisadas. El código cobertura de análisis es útil durante la unidad de verificación, integración de pruebas y la liberación final. Permite crear código más fiable y ahorrar tiempo [14].

Confirma la bibliografía consultada, la licencia del *software* debe ser renovada cada cierto tiempo, según la necesidad del cliente, oscilando de 500 euros a 1000, euros. Además de costoso, es un *software* privativo por lo que sus funcionalidades no pueden ser adaptadas para solucionar la problemática de la investigación.

En Cuba se aboga por la soberanía tecnológica y el desarrollo de *software* libre, logrando disminuir costos en materia de automatización de procesos y evitando la dependencia de terceros. El estudio del arte realizado demostró que las herramientas estudiadas no cumplían con las necesidades planteadas o, en algunos casos, son distribuidas bajo licencia privativa, por lo que se propone realizar una herramienta propia del país, que ajuste la realización de pruebas de mutación a las características de la industria de desarrollo de *software* en Cuba.

2.4 Propuesta de solución

Se propone como objetivo de la investigación, en primer orden, implementar una herramienta de pruebas de mutación de acuerdo a las tecnologías definidas para el Departamento Señales Digitales. Además, se automatizará esta técnica, posibilitando probar un *software* desde distintas perspectivas, generando tantos mutantes como sean necesarios para evaluar la modificación de los operadores del código, según los

¹ Es una división de Microsoft para investigar los diversos temas de ciencia de equipo y problemas.

diferentes escenarios en los que pueda utilizarse el producto desarrollado.

Todo esto permitirá que el trabajo del grupo calidad, a través del uso de la herramienta, sea más fácil y organizado.

Diagrama de componentes

La herramienta está compuesta por dos paquetes principales, que representan a su vez cada una de las capas en que está estructurada. La capa de presentación incluye el componente llamado principal, a través del cual se maneja la entrada y salida de los datos necesarios para el funcionamiento del sistema.

La capa de lógica del negocio, por su parte, contiene el componente mutación, en el cual se define lo necesario para realizar la técnica de pruebas de mutación. Además, se representa el componente controlador, que realiza las principales funcionalidades de la herramienta y se relaciona con mutación.

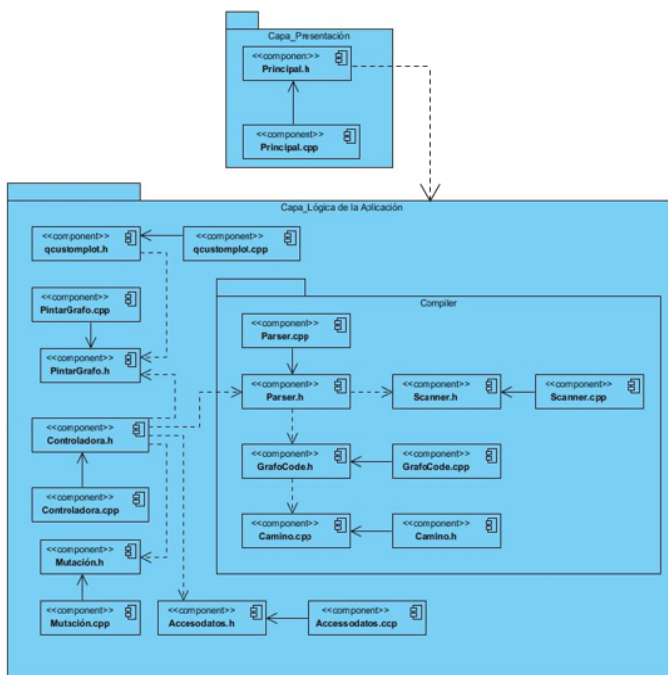


Figura 1. Diagrama de componentes. Imagen propia.

2.5 Lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado

Los lenguajes de programación son idiomas artificiales compuestos por reglas semánticas y sintácticas, escritas mediante símbolos. El objetivo de estos lenguajes es lograr un entendimiento entre

el lenguaje natural y el código que entienden las computadoras para implementar programas y sistemas que faciliten el uso de estas últimas [9].

2.5.1 Lenguaje de programación C++

C++ surge como una extensión del lenguaje C. En sus inicios incluía gran parte del lenguaje original agregando, por demás, muchas características sofisticadas como el paradigma de Programación Orientada a Objetos, excepciones, sobrecarga de operadores, templates o plantillas. Al igual que C, C++ es un lenguaje que proporciona gran fortaleza a las aplicaciones que se desarrollan con él y permite la construcción de complejos productos de *software*.

La llegada de C++ al mundo del *software* ocasionó un salto de avance en la comunidad de los programadores, pues este último conservaba la potencia estructural del lenguaje C, mejorando muchas de las desventajas que este poseía. Los desarrolladores encontraron entonces un lenguaje potente con una curva de aprendizaje más alta que C, de mayor entendimiento y sobre todo que fuera multiplataforma.

Ventajas de C++ [10]

1. Es un lenguaje muy flexible que permite programar con múltiples estilos. Uno de los más empleados es el estructurado "no llevado al extremo" (permitiendo ciertas licencias de ruptura).
2. Un sistema de tipos que impide operaciones sin sentido.
3. Posee un conjunto reducido de palabras clave.
4. Usa un lenguaje procesado para tareas como definir macros e incluir múltiples archivos de código fuente.
5. Tipos de datos agregados que permiten que datos relacionados se combinen y se manipulen como un todo.
6. Acceso a memoria de bajo nivel mediante el uso de punteros.

2.5.2 QtCreator

Ofrece gran compatibilidad con varios sistemas operativos, posee riquezas en sus funciones y librerías permitiendo el desarrollo de interfaces amigables y con un alto rendimiento con C++. *Qt* tiene la característica

de presentar el código fuente disponible, posee gran documentación y calidad en cuanto a soporte técnico y una comunidad de desarrollo que le da mantenimiento, ha sido adaptado a las características de los entornos de desarrollo actuales y está pensado para sistemas operativos recientes.

Características principales de QtCreator

Permite desarrollar aplicaciones *Qt* de forma rápida y fácilmente con asistentes de proyectos, así como acceder rápidamente a los últimos proyectos y sesiones.

Cuenta con dos editores visuales, *QtDesigner* para diseñar interfaces de usuario a partir de *QtWidgets*, y *Qt Quick Designer* para el desarrollo de interfaces de usuario animadas con el lenguaje *JavaScript*.

Contiene un sofisticado editor de código que proporciona completamiento de código y ayuda de contexto para el lenguaje *C++* y *JavaScript*.

Permite generar, ejecutar e implementar proyectos de *Qt* dirigidos a plataformas móviles y de escritorio, tales como Microsoft Windows, Mac OS X, Linux, Symbian, Android y Maemo.

Posibilita acceder fácilmente a la documentación mediante el uso de la ayuda contextual integrada de *Qt*.

Este se encuentra bajo licencia libre, además de presentar la gran ventaja de ser multiplataforma [11].

3. Pruebas al sistema

Las **pruebas de aceptación** se han asociado con muchas definiciones diferentes. “A grandes rasgos se puede decir que están basadas más en cómo comprobar que el sistema en desarrollo cumple los requisitos del cliente y menos en reducir el número de errores en el código. En otras palabras, las pruebas de aceptación no son acerca de las pruebas de código, sino sobre lo que desea el cliente con el sistema o de su negocio” [12].

Se realizaron 13 pruebas de aceptación, de acuerdo a la cantidad de historias de usuarios definidas. Para ello el cliente ejecutó los pasos de acuerdo a lo establecido en la fase de negocio para cada una de las funcionalidades, evaluando los resultados, aceptando los mismos cuando el requisito asociado a la historia de usuario.

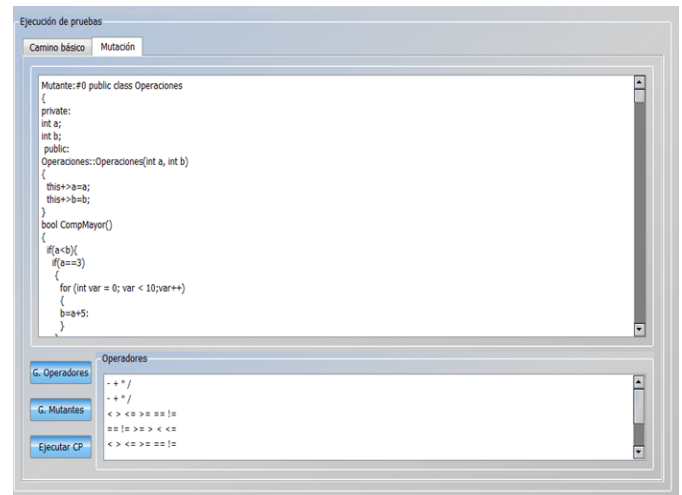


Figura 2. Vista de la solución. Imagen propia.

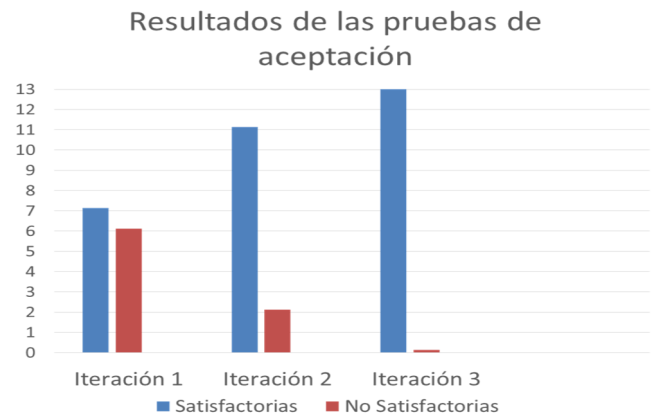


Figura 3. Gráfico con el resultado de pruebas de aceptación. Imagen propia.

En la **primera iteración** resultaron satisfactorias siete de las pruebas realizadas representando el 53, 84 % y seis no satisfactorias representando el 46, 16 %. Las no conformidades encontradas fueron:

La funcionalidad generar mutantes: No generaba la cantidad de mutantes en correspondencia a los operadores identificados en el código evaluado.

En la **segunda iteración** resultaron 11 pruebas evaluadas de bien, lo que representó el 84,62 % y de mal dos pruebas, representando el 15,38% del total. Las no conformidades encontradas fueron:

La funcionalidad generar mutantes: Generaba una cantidad de mutantes sin correspondencia a los operadores identificados en el código evaluado.

Las deficiencias encontradas se continuaron corrigiéndose, resultando en una **tercera iteración** el 100 % de las pruebas satisfactorias.

Pruebas unitarias

Cuando los desarrolladores o probadores ejecutan casos de pruebas sobre un sistema completo, puede ocurrir que los errores detectados no puedan localizarse fácilmente, haciendo complicado este proceso. En específico, cuando se utiliza una metodología ágil, el desarrollo se realiza en menos tiempo, lo que, en ocasiones, puede traer como consecuencia mayor cantidad de fallos. Por estos motivos es que la metodología SXP sugiere que se realicen pruebas a fragmentos de código aislados para descartar posibles errores en áreas más pequeñas. De esta manera la integración de esos bloques de código será más fácil y el proceso de pruebas del sistema más satisfactorio.

El tipo de prueba recomendada, en este caso por la metodología utilizada, son las pruebas unitarias descritas como: “Un procedimiento usado para probar que un módulo o método funciona apropiadamente y en forma independiente. A través de ellas se verifica si el bloque de código probado se ejecuta dentro de los parámetros y especificaciones concretas. Permiten, además, detectar efectivamente la inyección de defectos durante fases sucesivas de desarrollo o mantenimiento” [12].

Pruebas del camino básico

Las pruebas unitarias pueden ser aplicadas por varias técnicas de prueba y a través de diferentes vías. En el caso de la presente investigación se realizan las pruebas del camino básico de manera manual, por ser un *software* pequeño. Este tipo de pruebas tiene como característica esencial que genera un grafo de flujo a través del cual se puede calcular la complejidad ciclomática que posee la función analizada, certificando la calidad que posee el código. Este factor puede ser evaluado a través de la existencia de un rango numérico para el valor de la complejidad ciclomática que determina la evaluación de riesgo del código en cuestión para su ejecución. El valor de la complejidad de un grafo de flujo se calcula mediante la fórmula matemática $CC = A - V + 2$, donde:

- ✓ CC significa complejidad ciclomática.
- ✓ A se refiere al conjunto de arista del grafo.
- ✓ V se refiere al conjunto de vértices del grafo.

La siguiente tabla muestra el análisis de la complejidad ciclomática en un *software* [15]:

Tabla 1. Análisis de riesgo de la complejidad ciclomática

Complejidad ciclomática	Evaluación del riesgo
1 – 10	Programa simple, sin mucho riesgo.
11 – 20	Más complejo, riesgo moderado.
21 – 50	Complejo, programa de alto riesgo.
50 en adelante.	Programa no testeable, muy alto riesgo.

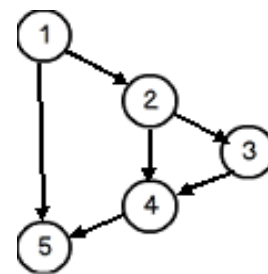


Figura 1. Grafo de flujo del método cargar clase.

- ✓ Complejidad ciclomática del método Cargar clase:

$$\begin{aligned}
 CC &= A - V + 2 \\
 &= 6 - 5 + 2 \\
 &= 3
 \end{aligned}$$

- ✓ Evaluación de riesgo: Sin mucho riesgo.

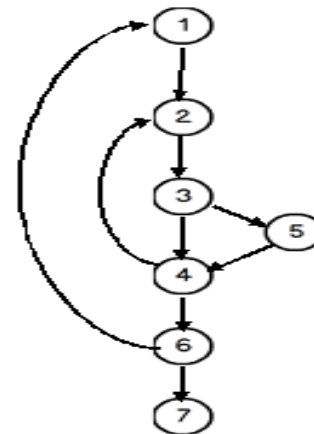


Figura 2. Grafo de flujo del método generar mutantes.

- ✓ Complejidad ciclomática del método generar mutantes:

$$CC = A - V + 2$$

$$= 9 - 7 + 2$$

$$= 4$$

- ✓ Evaluación de riesgo: Sin mucho riesgo.

Se analizaron dos métodos, correspondientes a las clases o funcionalidades de mayor importancia para el desempeño de la herramienta de pruebas, de acuerdo a lo establecido durante el análisis de requisitos. En una primera iteración resultaron en un rango de testeo posible un método representando el 50 % de pruebas satisfactorias. El método Generar operadores resultó no testeables debido a que se encontraron errores en algunas de las estructuras *if* que contenían, lo que representó el 50 % de pruebas no satisfactorias. En una segunda iteración, los códigos no testeables fueron corregidos, encontrándose todos los métodos evaluados sin mucho riesgo o con riesgo moderado, lo que representa el 100% de las pruebas satisfactorias.

4. Conclusiones

Con el objetivo de solucionar la problemática detectada en el departamento señales digitales se desarrolló una herramienta que automatizó las pruebas de mutación en el código fuente. En la elaboración del *software* se tuvieron en cuenta los requisitos planteados por los desarrolladores y líderes de proyecto. El producto final fue probado siguiendo la técnica del camino básico y, algunas clases fueron sometidas al proceso de prueba realizando la técnica de mutación. Esta última fue realizada en dos formas diferentes: de manera manual y utilizando la propia herramienta desarrollada como solución a la problemática de la investigación. Los resultados fueron comparados y repetidos hasta lograr su homogenización, comprobándose la fiabilidad de la herramienta. La herramienta para realizar pruebas de mutación desarrollada se utiliza en el departamento señales digitales para la comprobación del código fuente de las aplicaciones que se desarrollan para varios clientes del país. Con su utilización ha sido posible detectar en más de 25% los fallos en los sistemas y reducir los tiempos de pruebas.

5. Referencias

- [1] G, Msc. Alejandro Bedini. 2013. Calidad de Software. Calidad Tradicional y de Software. Chile: s.n., 2013.
- [2] Mora, Ing. Jhon Freddy Montes. 2012. Pruebas del software "Caja Blanca y Caja Negra". Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, 2012.
- [3] Rodríguez, Dr. Eduardo. 2011. Importancia de las pruebas de software. México: CINVESTAV, 2011.
- [4] Tenorio, Roberto Ruiz. 2010. Las pruebas de software y su importancia en las organizaciones. Xalapa, Veracruz: Universidad Veracruzana., 2010.
- [5] Pressman, Roger S. 2002. Ingeniería de Software, un enfoque práctico. 2002.
- [6] Oliveros, Juan Gabriel Romeros. 2008. Pruebas de Software - Calidad de Software. s.l.: UNAD, 2008.
- [7] Guerini, Ing. Mario Luís. 2007. Revisión de resultados experimentales en Técnicas de Prueba y de Educación de Conocimientos. Argentina: s.n., 2007
- [8] Torán., Félix. 2014. Entorno para la depuración avanzada de código Java. España: s.n., 2014.
- [9] Clara, Neybis Lago. 2012. Módulo Seguridad Social - Prevención y Atención - Asistencia Social de la Dirección de Trabajo de la Administración Provincial de Artemisa. Artemisa: Universidad de las Ciencias Informáticas, 2012.
- [10] Yerovi, Ximena y Poz, Ing. Alejandra. 2013. Ventajas de C++. Ecuador: s.n., 2013.
- [11] Vega, Yosami González y Valdés, Yasmani Ledesma. 2013. Sistema para la gestión de la información en el estudio neuroinmunológico de proteínas del líquido cefalorraquídeo. La Habana: Universidad de las Ciencias Informáticas, 2013.
- [12] Hall, Ben. 2009. MSDN Magazine. [En línea] marzo de 2009. [Citado el: 28 de abril de 2016.] <http://msdn.microsoft.com/es-es/magazine>
- [13] Moreno, Ing Pilar Alexandra. 2012. Modulo Ingenieria de Software. Programa Ingenieria de Sistemas. s.l. : Escuela de Ciencias Basicas, tecnologias e ingenieria., 2012.
- [14] Claramunt, Javier Lambert. 2012. Implementación de un prototipo funcional para automatizar el proceso de pruebas de Caja Blanca del departamento Señales Digitales del Centro GEySED. La Habana : s.n., 2012.
- [15] Martínez, Ing. Eduardo Salazar. 2012. Propuesta de procedimiento para realizar pruebas de Caja Blanca a la aplicaciones que se desarrollan en el lenguaje Python. Cuba : Facultad regional de Granma., 2012.
- [16] Institute of Electrical and Electronics Engineers. [Online]. Available: <https://www.ieee.org/>

Gobernanza de datos públicos en Honduras Governance of public data in Honduras

Fredis Dubal Medina Escoto ^{1*}, Armando Jipsion ²

¹ Programa del Doctorado en Ingeniería de Proyectos, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

² Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

*Autor de correspondencia: fredismedina@yahoo.com

RESUMEN— La gobernanza de datos públicos utilizados por los gobiernos para brindar servicios a los ciudadanos, debe estar definida en un marco de referencia que garantice su gestión de forma transparente, ágil, accesible y segura, considerando la declaración universal de los derechos humanos [14], el principio de salvaguardia de la seguridad de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) [15] y el Reglamento General de Protección de Datos de la Unión Europea [13]. Para tal fin, en este escrito se propone un modelo de gestión organizacional compuesto por cinco habilitadores: 1. Marco de interoperabilidad, 2. Priorización de la digitalización de procesos de negocio, 3. Protección de datos personales y seguridad de la información, 4. Identificación digital de los ciudadanos y 5. Mejora continua de la calidad de los servicios. La implementación de dicho modelo dinamizará la gobernanza de los datos; con mayor relevancia cuando los servicios son prestados a los ciudadanos utilizando las tecnologías de información y comunicación (TIC) como parte de iniciativas de gobierno electrónico; la correcta gobernanza y gestión de los datos públicos permitirá la sostenibilidad de operaciones electrónicas, permitiendo contar con servicios efectivos, seguros, ágiles, modernos, competitivos, ubicuos y transparentes; permitiendo el ahorro de tiempo y dinero a los ciudadanos y a los gobiernos. Este escrito utiliza de ejemplo la situación de Honduras y propone el modelo de gestión organizacional con los cinco componentes antes descritos, los mismos se presentan en su etapa de diseño.

Palabras clave— *Gobernanza, datos públicos, modelo, gestión organizacional.*

ABSTRACT— The governance of public data used by governments to provide services to citizens must be defined in a frame of reference that guarantees their management in a transparent, agile, accessible and safe way, considering the universal declaration of human rights [14], the principle of safeguarding the security of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) [15] and the General Regulation of Data Protection of the European Union [13]. For this purpose, this paper proposes an organizational management model composed of five enablers: 1. Interoperability framework, 2. Prioritization of the digitalization of business processes, 3. Protection of personal data and information security, 4. Digital identification of citizens and 5. Continuous improvement of the quality of services. The implementation of this model will boost the governance of the data; with greater relevance when services are provided to citizens using information and communication technologies (ICT) as part of e-government initiatives; the correct governance and management of public data will allow the sustainability of electronic operations, allowing for effective, safe, agile, modern, competitive, ubiquitous and transparent services; allowing saving time and money to citizens and governments. This document uses the situation of Honduras as an example and proposes the organizational management model with the five components described above, which are presented in their design stage.

Keywords— *Governance, public data, model, organizational management.*

1. Introducción

Las instituciones públicas deben ejecutar sus procesos de negocio para brindar servicios a los ciudadanos dentro de un marco de gobierno que garantice que los datos colectados, procesados, almacenados, transferidos o publicados sean gestionados de forma transparente, ágil, accesible y segura.

Este escrito propone un modelo de gestión organizacional compuesto por cinco habilitadores: 1. Marco de interoperabilidad (e-Mihn), 2. Priorización para digitalizar los procesos de negocios, 3. Protección

de datos personales y seguridad de la información, 4. Identificación digital de los ciudadanos, y 5. Mejora continua de la calidad de los servicios; presentados en su etapa de diseño; su implementación dinamizará la gobernanza de datos públicos, tomando de ejemplo a Honduras; el modelo de gestión organizacional propuesto podrá ser el marco de referencia para desarrollar el objetivo 4: “Un Estado moderno, transparente, responsable, eficiente y competitivo”; meta 4.4: “Desarrollar los principales procesos de atención al ciudadano en las Instituciones del Estado por medios

electrónicos” de la “Ley para el Establecimiento de una Visión de País y la Adopción de un Plan de Nación para Honduras”; con el fin de ejecutar procesos de negocios estándares para brindar servicios de forma electrónica a los ciudadanos y el uso transparente de los recursos con que cuenta este país.

Para contextualizar el modelo de gestión organizacional propuesto, se presenta la situación de Honduras respecto a su voluntad y capacidad de utilizar las TIC para prestar servicios públicos a los ciudadanos; lo que prevé que ayudará a dinamizar la economía del país, ofreciendo mejores oportunidades para brindar servicios a las instituciones del Estado.

Según estudios realizados actualmente Honduras no cuenta con servicios a los ciudadanos ofrecidos integralmente por el Estado bajo una estrategia de gobierno electrónico; solo existen servicios ofrecidos por instituciones de forma aislada [3].

El modelo de gestión organizacional propuesto como estrategia para dinamizar la gobernanza de los datos públicos, posibilitará desarrollar gradualmente y de forma sostenible iniciativas de gobierno electrónico en Honduras; permitiendo adoptar y adaptar una gobernanza y gestión de los datos conforme mejores prácticas de la industria, como la descrita según COBIT 5 y el ISO/IEC 38500 [16]. A su vez enfocará la calidad de los servicios TI, según ITIL [V3]; recorriendo el ciclo de vida del servicio: estrategia, diseño, transición, operación y mejoramiento continuo.

2. Antecedentes de situación de Honduras

Según la “Agenda Digital de Honduras 2014-2018”, por más de treinta años Honduras ha realizado diversos esfuerzos relacionados con la implementación de una estructura organizativa que gobierne y gestione lo relativo a iniciativas de gobierno electrónico [11].

Para tal fin, han sido creadas a lo largo de las últimas tres décadas, diversas entidades gubernamentales para implementar proyectos de automatización de procesos públicos mediante el uso de las TIC, sin que se visualice a la fecha la consolidación y sostenibilidad de sistemas y servicios integrados en línea por parte del Gobierno de Honduras; tal y como lo describe la agenda digital, como se muestra en la tabla 1.

Posteriormente, el gobierno de la República de Honduras para el período 2014 al 2018 realizó otra reorganización de instituciones del Estado, definiendo

para esta materia la Unidad de Gobierno Digital, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 1. Esfuerzos de Honduras en estructurar gobierno electrónico

Año	Entidad creada	Observación
1979	Centro Nacional de Informática (CENI)	Cerró operaciones en 1995.
1989	Unidad Presidencial en Organización e Informática	Operó con un ministro asesor presidencial, en el 1994 se suprimió la figura del ministro.
1991	Comisión Presidencial de Modernización del Estado (CPME)	Preparó varias iniciativas, entre otras: Portal de compras y contratación del Estado, fue absorbido por la SEPLAN en el 2009.
1993	Consejo Hondureño de Ciencia y Tecnología (COHCIT)	Influenciado por programa regional de ciencia y tecnología promovido por la OEA, fue absorbido por la SEPLAN en el 2009.
2004	Gabinete de Telecomunicaciones	Creado para asesorar a la Presidencia en temas de telecomunicaciones, ha quedado disuelto.
2007	Comisión Hondureña de Gobierno Electrónico	Órgano superior para asesorar a la Presidencia en iniciativas de tal campo; al terminar el gobierno en el 2014 quedó disuelta.
2009	Secretaría Técnica de Planificación y Cooperación Externa (SEPLAN).	Absorbió a la CPME y a COHCIT.

Tabla 2. Creación de Unidad de Gobierno Digital

Año	Entidad creada	Observación
2014	Unidad de Gobierno Digital/ Dirección Presidencial de Transparencia, Modernización y Reforma del Estado/ Secretaría de Coordinación General de Gobierno.	Absorbió a la SEPLAN, Secretaría que operó desde 2009 al 2013.

Como tema relacionado, en el año [2011] el gobierno de Honduras se adhirió a la iniciativa internacional denominada Alianza para el Gobierno Abierto¹ (Open Government Partnership, OGP; por sus siglas en inglés) el 10 de agosto del 2011, mediante la suscripción de la carta de intenciones con el compromiso de combatir la corrupción y fortalecer las políticas de transparencia y rendición de cuentas y el fomento a la participación ciudadana, ese mismo año presentó su primer plan de acción de gobierno abierto (PAGAH) para el periodo 2012-2014; desde sus inicios a la fecha Honduras ha desarrollado cuatro planes de acción, publicándose recientemente el último PAGAH 2018-2020 que incluye veinte compromisos, siendo los relacionados con el uso de las TIC los siguientes: “3. Datos abiertos para uso y beneficio de la ciudadanía”, “4. Apertura de datos en proyectos de obra pública”, “7. Catálogos electrónicos municipales y plataforma de compras del Estado con modelo de participación ciudadana”, y “12. Simplificación administrativa, con trámites en línea y denuncia ciudadana”.

Adicionalmente, en términos de iniciativas de gobierno electrónico, Honduras ha realizado algunos esfuerzos aislados mostrando cierto grado de interés en implementar algunos proyectos o servicios, aunque su funcionalidad no muestra que exista interoperabilidad entre sistemas y operaciones integrales de las instituciones del Estado, ejemplos: Sistema Nacional de Trámites de Honduras; <http://tramites.gob.hn/>, suscripción de convenio de cooperación del gobierno con Amazon Web Service.

Como parte del apoyo que Honduras ha recibido del gobierno de la República de Corea del Sur; a través de

sus organizaciones KDI, KPU, KEPKO KDN y KSP en conjunto con funcionarios del Gobierno de Honduras fue desarrollado el “Plan Maestro de Tecnologías de Información y Comunicación”, como se muestra en la figura 1 [1].



Figura 1. Plan maestro TIC, Honduras.

El detalle de las dos tablas y figura antes descritas, muestran que han pasado varias décadas sin que en Honduras se logre una operación sostenible e integral de servicios a los ciudadanos mediante las TIC como parte de iniciativas de gobierno electrónico; por tanto, con el fin de apoyar con dicho propósito se propone el modelo de gestión organizacional para dinamizar la gobernanza de datos públicos de Honduras, gestionados a través de iniciativas de gobierno electrónico.

3. Situación actual de Honduras

3.1 Estudio por NIPA Corea del Sur [2014-2015]

Según el estudio realizado por NIPA, Honduras cuenta con diversas instituciones públicas del Estado que poseen una relativa fortaleza en los servicios en línea que presta a los ciudadanos y a las empresas, infraestructura de telecomunicaciones actualizada y capital humano capacitado, mismas que en los últimos años se han ido informatizándose de forma sistemática, no obstante, su nivel de operación integral con el resto de instituciones del Estado es bajo [3].

El estudio indica que las instituciones públicas de Honduras requieren:

1. Mejorar procesos de negocio basados en TIC.
2. Presupuesto para las TIC.
3. Comprender las TIC y gobierno electrónico.
4. Formar recursos humanos en TIC.

¹ <http://www.gobiernoabierto honduras.org>,
<https://www.opengovpartnership.org/>

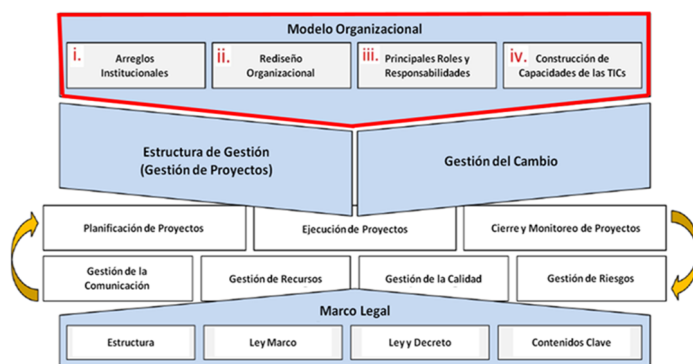
5. Planificación a medio y largo plazo.

Estas instituciones, en su mayoría operan de forma independiente y sus esfuerzos por la sostenibilidad de los servicios ofrecidos a los ciudadanos son aislados; quedando evidenciado que existe necesidad de contar con un ente rector del Estado para la gobernanza entre instituciones con el fin de poder implementar iniciativas de gobierno electrónico (GE), entendiendo el GE como modelo de administración pública utilizando TIC para mejorar la entrega de servicios e información a los ciudadanos; mejorando así la eficiencia, eficacia y transparencia del sector público.

El estudio por NIPA propuso un modelo organizacional que fue diseñado partiendo del diagnóstico obtenido por una encuesta y entrevistas realizadas a funcionarios de veintisiete (27) instituciones del Estado de Honduras a finales del [2014] e inicios del [2015], mismo que fue comparado con otros modelos de gestión como son el de Corea del Sur, México y Colombia.

El modelo organizacional propuesto por NIPA, es parte integral del Plan Maestro de Gobierno Electrónico de la República de Honduras; mismo que también contiene otros componentes claves y habilitadores como son: Gestión del Cambio, Gestión de Proyectos y el Marco Legal.

Sobre el esquema 1 que se muestra a continuación, se marcaron en rojo los componentes del modelo organizacional propuesto por NIPA y que para propósitos de este escrito han sido evaluados y sirven de referencia para el diseño del modelo de gestión organizacional propuesto para dinamizar la gobernanza de datos públicos en Honduras; el cual puede servir como estrategia para la implementación sostenible de iniciativas de gobierno electrónico.



Esquema 1. Modelo organizacional propuesto por NIPA.

3.2 Evaluación EGDÍ por Naciones Unidas

El índice E-Government Development Index, EGDÍ² [2018] “Gearing e-government to support transformation towards sustainable and resilient societies”; mide la voluntad y capacidad de países utilizando TIC para prestar servicios públicos, basado en la ponderación de tres (3) variables, como se muestra en la figura 2.

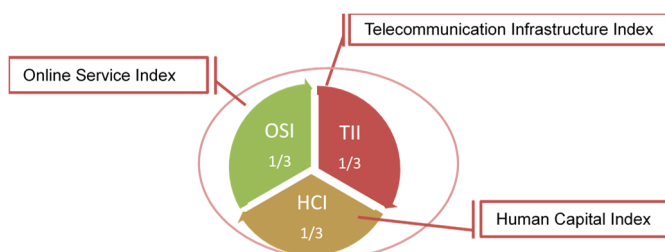


Figura 2. Conformación del EGDÍ.

Conforme la evaluación del EGDÍ, Honduras no está bien posicionada en términos del uso de las TIC para brindar servicios a los ciudadanos en el marco internacional, en comparación con los cientos noventa y tres (193) estados miembros de las Naciones Unidas [6].

Según el EGDÍ [2018], Honduras se ubicó en la posición 123 de los 193 Estados miembros de las Naciones Unidas, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. EGDÍ Honduras 2018

Rango	País	EGDI	OSI	TII	HCI
123	HN	0.4474	0.5139	0.2268	0.6015

² <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Reports/UN-E-Government-Survey-2018>

El Índice de Servicios en línea (Online Service Index, OSI; por sus siglas en inglés); como se muestra en el gráfico 1, incluye:

1. Servicios y sistemas integrados de todo el Gobierno.
2. Disminuir brecha digital con los menos favorecidos.
3. Contratación electrónica.
4. Participación electrónica del ciudadano.
5. Gobierno móvil.
6. Entrega de servicio multicanal:
 - a. Servicio cara a cara.
 - b. Servicio vía teléfono (call center).
 - c. Portal web.
 - d. Correo electrónico.
 - e. Mensajes de texto (SMS).
 - f. Aplicaciones y portales para móviles.
 - g. Quioscos públicos.
 - h. Redes sociales.

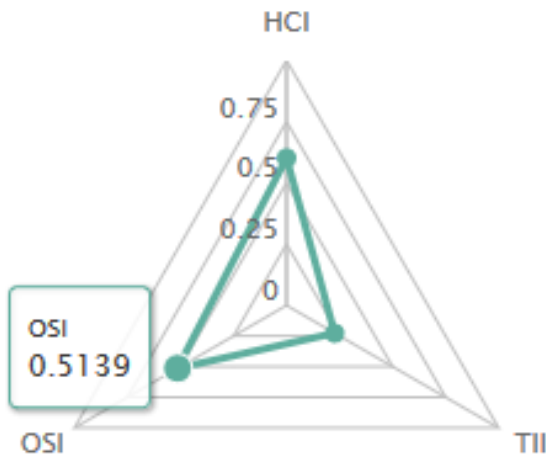


Gráfico 1. OSI Honduras 2018.

Este componente del índice EGDI, en la encuesta del [2018] refleja un alza en comparación al evaluado en el [2016], años atrás tuvo fluctuaciones a la alza y baja, siendo su mejor evaluación para Honduras la del año [2018] y la peor la del año [2003], como se muestra en el gráfico 2.

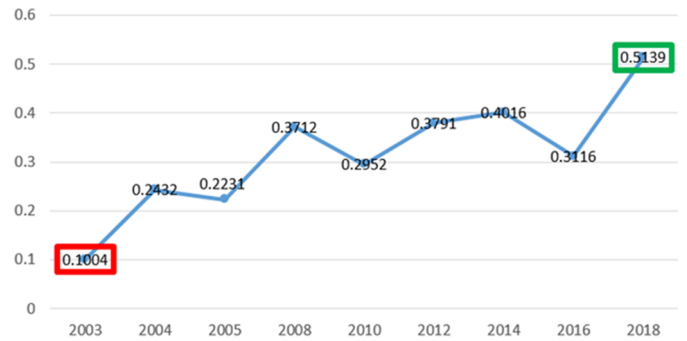


Gráfico 2. Trayectoria del OSI en Honduras 2003-2018.

El Índice de Infraestructura de Telecomunicaciones (Telecommunication Infrastructure Index, TII; por sus siglas en inglés); como se muestra en el gráfico 3, incluye la valuación por cada 100 habitantes de:

1. Usuarios de internet.
2. Suscriptores de banda ancha fija
3. Suscriptores de banda ancha inalámbrica.
4. Suscriptores de telefonía fija.
5. Suscriptores de telefonía móvil.

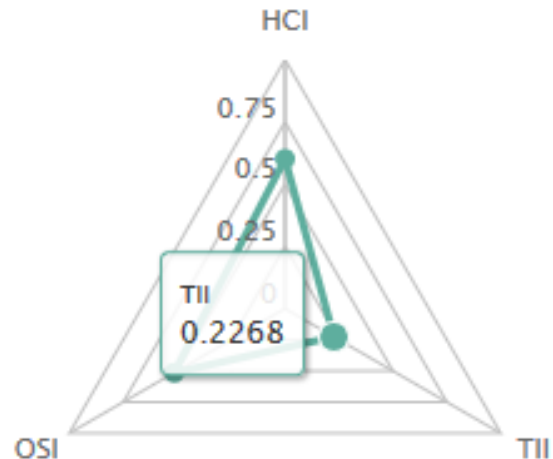


Gráfico 3. TII Honduras 2018.

Este componente del índice EGDI, en la encuesta del [2018] refleja un alza en comparación al evaluado en el [2016], años atrás tuvo fluctuaciones a la alza y baja, siendo su mejor evaluación para Honduras la del año [2018] y la peor la del año [2004], como se muestra en el gráfico 4.

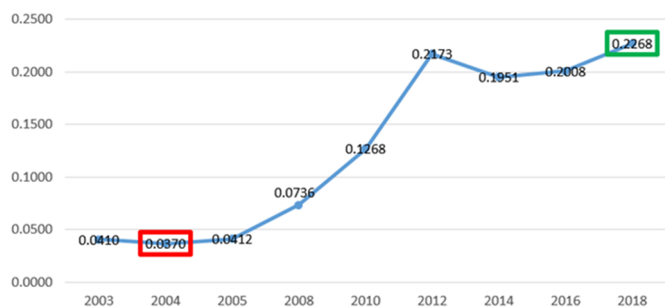


Gráfico 4. Trayectoria del TII en Honduras 2003-2018.

El Índice de Capital Humano (Human Capital Index, HCI; por sus siglas en inglés); como se muestra en el gráfico 5, se refiere a:

1. Personas con más de 15 años que entienden, leen y escriben frases del diario vivir.
2. Total, de alumnos matriculados en primaria, secundaria y nivel superior.
3. Años esperados de escolaridad de un niño.
4. Años de educación alcanzada promedio de personas de 25 años y superior.

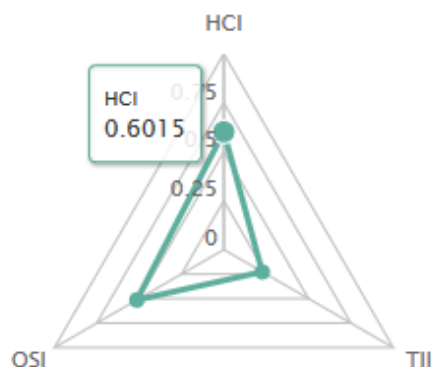


Gráfico 5. HCI Honduras 2018.

Este componente del índice EGDI, en la encuesta del [2018] refleja un alza en comparación al evaluado en el [2016], años atrás tuvo fluctuaciones a la alza y baja, siendo su mejor evaluación para Honduras la del año [2010] y la peor la del año [2016], como se muestra en el gráfico 6.

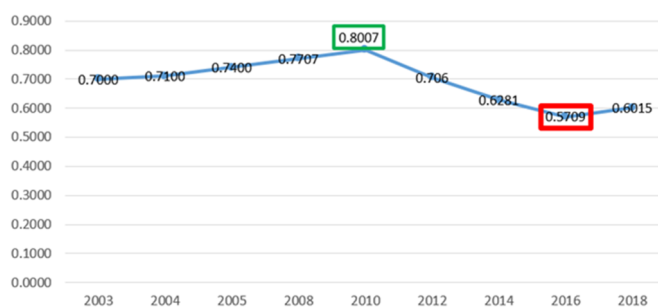


Gráfico 6. Trayectoria del HCI en Honduras 2003-2018.

La última medición [2018] de Honduras, muestra que el año [2016] fue obtenido el EGDI más bajo de su historia, manteniendo la medición del [2010] como la mejor hasta la fecha, como se muestra en el gráfico 7.

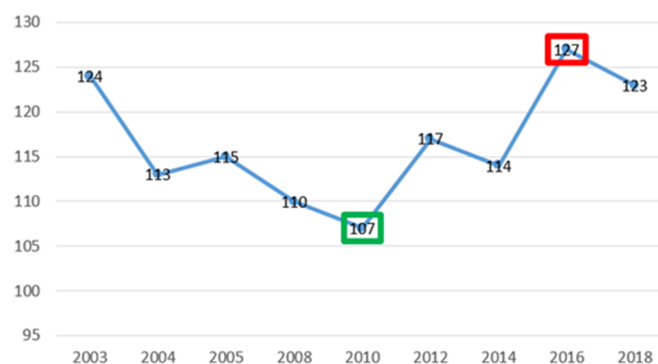


Gráfico 7. Trayectoria del EGDI en Honduras 2003-2018.

La comparación del EGDI [2018 y 2016] de Honduras con los líderes: mundial, de América y de Centro América, muestra el poco avance en dicha materia, como se muestra en los gráficos 8 y 9.

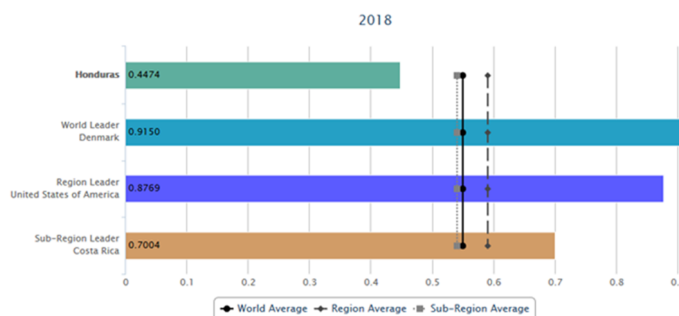


Gráfico 8. Comparación de Honduras 2018.

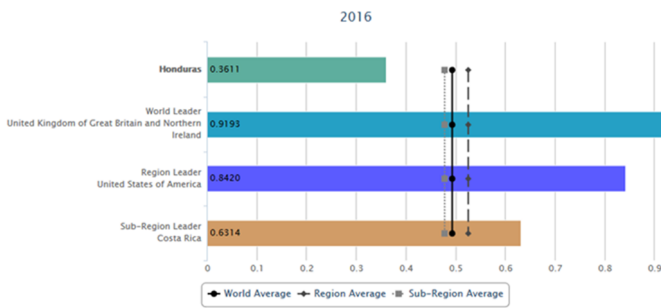


Gráfico 9. Comparación de Honduras 2016.

Los resultados de las mediciones no tan favorables de Honduras en comparación con el resto de Estados miembros de las Naciones Unidas, brinda la oportunidad para proponer cambios al gobierno con el fin de mejorar; con ese propósito se propone un modelo de gestión organizacional para dinamizar la gobernanza de datos públicos en Honduras.

4. Propuesta de modelo de gestión organizacional

En este escrito se propone un modelo de gestión organizacional compuesto por cinco habilitadores presentados en su etapa de diseño, con el fin de brindar la ruta a seguir para contar con una gobernanza de los datos públicos en Honduras, confiando que su ejecución permitirá dinamizar la implementación sostenible de iniciativas de gobierno electrónico, siendo los habilitadores los siguientes:

1. Marco de Interoperabilidad de Honduras (e- Mihn), que incluye las siguientes dimensiones:
 - a. Organizacional.
 - b. Semántica.
 - c. Técnica.
2. Priorizar la digitalización de procesos de negocios.
3. Protección de datos personales y seguridad de la información.
4. Identificación digital de los ciudadanos.
5. Mejora continua de la calidad de los servicios.

El modelo propuesto se presenta en su etapa de diseño, detallando en cada habilitador sus componentes que lo conforman, las actividades a realizar para su operación y los resultados esperados producto de su implementación.

El gráfico 10 muestra los cinco habilitadores del modelo propuesto:



Gráfico 10. Modelo de gestión organizacional propuesto.

1. Marco de Interoperabilidad de Honduras (e- Mihn): Componente que se convierte en el eslabón principal para la gobernanza de datos públicos de Honduras, incluye las dimensiones y componentes siguientes:

- a. Organizacional:
 1. Definición de objetivos para la gestión de datos públicos.
 2. Establecimiento de políticas para la gestión de datos públicos.
 3. Definición de la estructura gubernamental para la gobernanza de los datos.
 4. Identificar las entidades del Estado que producen, coleccionan, procesan, transmiten y publican los datos públicos.
 5. Estandarización de los procesos de las instituciones del Estado.
 6. Facilitar la colaboración entre instituciones del Estado para intercambiar información a pesar de contar con diferentes estructuras organizacionales y procesos internos.
- b. Semántica:
 1. Validar la calidad de los datos producidos o coleccionados por las instituciones del Estado.
 2. Establecer estandarización para asegurar que el significado de la información que fluya entre las instituciones del Estado sea de fácil uso por cualquier sistema que se interconecte para procesar los datos de forma integrada (establecer un lenguaje común sin ambigüedades).

3. Integrar los conceptos de metadatos, ontología, formatos, reglas, normas para la gestión de los datos.
 4. Establecer unidad centralizada para la gestión de la metada del gobierno.
- c. Técnica:
1. Disponibilidad de servicio de internet de alta velocidad.
 2. Identificación de los sistemas de información que operan las instituciones del Estado mediante las cuales se entregan los servicios.
 3. Interconexión estándar de sistemas y servicios entre instituciones del Estado para transferencia de datos e información.
 4. Accesibilidad a los sistemas por parte de los ciudadanos.
 5. Servicios de seguridad para garantizar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de los datos públicos.
 6. Colocación o co-colocación o integración de sistemas de información de las instituciones del Estado.

La implementación y gobernanza del e-Mihn basado en mejores prácticas de la industria de las TIC como lo es el modelo de gobierno corporativo conforme la ISO/IEC 38500, como se muestra en el gráfico 11, lo habilita para que su implementación pueda ser comprobada y de esa manera puedan existir ajustes producto de evaluaciones y alcanzar la madurez.

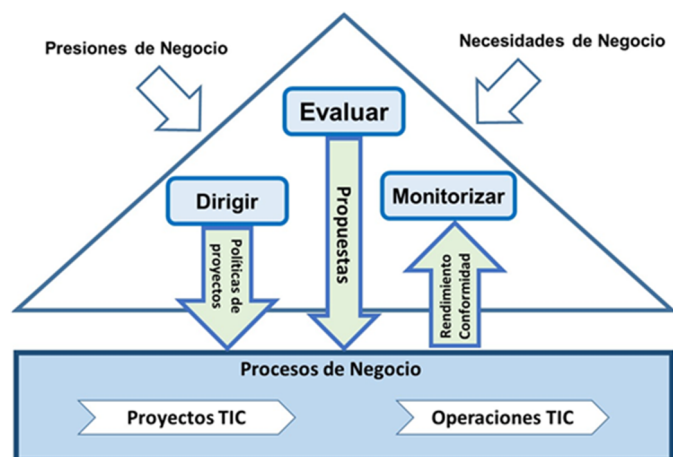


Gráfico 11. Modelo ISO38500.

2. Priorizar la digitalización de procesos de negocios: En función de las demandas actuales de implementar procesos de negocios en línea por parte del gobierno es necesario priorizar los mismos, considerando las

necesidades urgentes de los diferentes sectores del país, la capacidad instalada de las instituciones del Estado, la innovación, garantizar la sostenibilidad de los servicios a ofrecer, el *frontoffice* (la forma de la entrega de servicios) y el *backoffice* (rediseño de procedimientos administrativos, modernización de estructuras, acuerdos con entidades externas al gobierno y funciones, entre otros).

3. Protección de datos personales y seguridad de la información: Al implementar iniciativas de gobierno electrónico, las entidades del Estado colectarán, producirán, procesarán, transferirán o publicarán los datos de los ciudadanos por los trámites en línea; por tanto, se vuelve imprescindible contar con un marco de trabajo para la protección de dichos datos personales; más cuando estos se procesaran a través de medios electrónicos; en tal sentido se propone implementar los controles establecidos en el ISO/ IEC 29100 que trata lo relacionado a la protección de datos personales (PII: Personally Identifiable Information) operados con las TIC.

Considerando que Honduras al igual que muchos países latinoamericanos comercializan bienes y servicios con países de la Unión Europea; existe la obligación de cumplir el Reglamento General de Protección de Datos de la Unión Europea (RGPD) por ser “responsables y los encargados del tratamiento” –artículos de referencia: 27, 40, 42, 57 y 70- o realizar “transferencia de datos personales” –artículos de referencia: 40, 45, 85, 96 y 97- de personas físicas ciudadanos de los estados miembros de la Unión Europea; quienes participan en el intercambio comercial; dicho reglamento entró en vigencia a partir del 25 de mayo de 2018; el cual incluye entre otros lo siguiente:

- Derechos de los ciudadanos a: información, acceso, rectificación, al olvido, retirar el consentimiento, oposición, oposición al tratamiento automático, portabilidad de los datos y limitación del tratamiento.
- Consentimiento: solicitud al ciudadano de su consentimiento explícito para el uso de sus datos para el fin que han sido colectados.
- Delegado de Protección de Datos: las empresas deben designar un delegado, quien a su vez se convierte en el asesor para el cumplimiento del RGPD.

Siendo que la seguridad de la información es muy importante para la gobernanza y gestión de las iniciativas del gobierno electrónico; además, considerando que se intercambiarán datos e información entre instituciones del Estado, con los ciudadanos o con otras instituciones

dentro y fuera del país; por tanto, se deben aplicar las mejores prácticas de seguridad de la información basada en la serie de las normas ISO/IEC 27001 con su código de prácticas ISO/IEC 27002, con lo cual también se puede dar cumplimiento al RGPD.

4. Identificación digital de los ciudadanos: Incluidos los recursos legales para lograr firmar electrónicamente, recursos organizacionales e infraestructura tecnológica para la operación electrónica en el uso de servicios en línea de los procesos del negocio que digitalice el gobierno, debe contener al menos lo siguiente:

- a. Gobernanza de la identificación digital del ciudadano, mediante la implementación de la Infraestructura de Llave Pública (PKI) que el país utilizará, aplicando competencias técnicas y administrativas basadas en: ISO 21188 e ISO-17021 respectivamente.
- b. Firma electrónica avanzada o firma digital.
- c. Estrategia, gestión de costos y accesibilidad del servicio para los usuarios finales (ciudadanos).

5. Mejora continua de la calidad de los servicios: “La implementación del *e-government* en un país viene acompañada, además de las iniciativas tecnológicas, por un rediseño de los procesos que soportan los nuevos esquemas de provisión de servicios” [12]; por tanto, es fundamental que los servicios brindados cuenten con la debida calidad.

La mejor práctica recomendada a utilizar para lograr la mejora continua de los servicios que recibirán los ciudadanos al hacer uso de estos en línea será ITIL V3.

Su implementación requiere ejecutar todas las fases de ITIL, debiendo realizar una evaluación previa en todas las instituciones del Estado para conocer la madurez en esta temática y priorizar los procesos de gestión y funciones a implementar.

- i. Estrategia del servicio: Consiste en definir la perspectiva, posición, planes y patrones que como proveedores de servicio necesitamos ser capaz de ejecutar para cumplir los resultados de negocio de una organización.
- ii. Diseño del servicio: Diseñar servicios de TI, junto con las prácticas de gobierno de TI, procesos y políticas, para realizar la estrategia del proveedor de servicios y facilitar la introducción del servicio garantizando la entrega de servicios de calidad, satisfacción del cliente y la provisión del servicio efectiva en costo.
- iii. Transición del servicio: Su fin es garantizar que los servicios nuevos, modificados o retirados, cumplan las expectativas del negocio, como está documentado

en las etapas de Estrategia del Servicio y Diseño del Servicio, del Ciclo de Vida del mismo.

- iv. Operación del servicio: Consiste en coordinar y ejecutar las actividades y procesos necesarios para entregar y gestionar servicios en los niveles acordados con los usuarios y clientes de negocio.
- v. Mejora continua del servicio: Tiene que ver con alinear los servicios de TI con las necesidades cambiantes del negocio, identificando e implementando mejoras a los servicios de TI que soportan los procesos de negocio.

5. Conclusiones

La gobernanza de los datos que son procesados a través de las TIC, requiere contar con la voluntad política de los gobernantes y de marcos de trabajo basados en mejores prácticas de la industria para viabilizar su ejecución.

La gestión organizacional es fundamental para establecer las estructuras que permitan desarrollar estrategias, definición de normativas, gestión de metadatos, definición semántica y especificaciones técnicas de las TIC para brindar servicios en línea a los ciudadanos; obteniendo así la gobernanza de los datos públicos.

6. Referencias

- [1] Development Institute (KDI), Korea Polytechnic University (KPU), Ministry of Strategy and Finance, KEPCO KDN; Honduras National ICT Master Plan -Final Report-; Government Publications Registration Number 11-1051000-000268-01, ISBN 978-89-8063-633-4 94320, 978-89-8063-657-0 (set); KSP-Knowledge Sharing Program- 2012.
- [2] Samsung SDS, Korea IT Consulting Co., Ltd, Ministry of Strategy and Finance (MOSF), Republic of Korea, Korea Development Institute (KDI); Feasibility Study/Research for the Implementation of the Honduras National ICT Master Plan -Final Report-; Government Publications Registration Number 11-1051000-000327-01, ISBN 978-89-8063-764-5 94320, 978-89-8063-739-3 (set); KSP-Knowledge Sharing Program- 2013.
- [3] National IT Industry Promotion Agency (NIPA); e-Government Master Plan for the Republic of Honduras; febrero 2015.
- [4] Department of Economic and Social Affairs, E-Government Survey 2014, e-Government for the Future we want; ISBN: 978-92-1-123198-4, e-ISBN: 978-92-1-056425-0; Naciones Unidas; 2014.
- [5] Department of Economic and Social Affairs, E-Government Survey 2016, e-Government in Support of Sustainable Development; ISBN: 978-92-1-123205-9; e-ISBN: 978-92-1-058156-1; Naciones Unidas, 2016.
- [6] Department of Economic and Social Affairs, E-Government Survey 2018, Gearing e-Government to support transformation

- towards sustainable and resilient societies; ISBN: 978-92-1-123205-9; e-ISBN: 978-92-1-058156-1; Naciones Unidas, 2018.
- [7] Poder Legislativo de Honduras, Decreto No. 286-2009, Ley para el establecimiento de una visión de país y la adopción de un plan de nación para Honduras, Gaceta No. 32,129, febrero 2010.
- [8] Libro blanco de interoperabilidad de gobierno electrónico para América Latina y el Caribe, versión 3, LC/R.2143; CEPAL, Naciones Unidas; 2007.
- [9] Naser Alejandra, Concha Gastón; El gobierno electrónico en la gestión pública; ISBN: 978-92-1-121767-4, E-ISBN: 978-92-1-054772-7, CEPAL, Naciones Unidas; 2011.
- [10] Departamento de economía y asuntos Sociales; Estudio de las Naciones Unidas sobre el Gobierno Electrónico 2012, Gobierno electrónico para el pueblo; Naciones Unidas; 2012.
- [11] Mondragón Claudia, Figueroa Héctor, Ramírez Manuel; © Agenda Digital de Honduras, 2014-2018; Versión 1; Secretaría Técnica de Planificación y Cooperación Externa de la República de Honduras; 2013.
- [12] Valdés Gonzalo, Modelo de Madurez y Capacidad de Implementación de Gobierno Electrónico en Instituciones Públicas, Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), Valparaíso, Chile, DOI:10.1016 /j.giq. 2010.04.007, 2011.
- [13] Parlamento Europeo, Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) de la Unión Europea, Diario Oficial la Gaceta 4.5.2016, 2016.
- [14] Asamblea General de las Naciones Unidas, Declaración Universal de Derechos Humanos, resolución 217 A (III), 1948.
- [15] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), Directrices sobre protección de la privacidad y flujos transfronterizos de datos personales, 1980.
- [16] ISACA, COBIT5, USA, ISBN 978-1-60420-282-3, 2012.

Proceso de gestión de la capacidad y disponibilidad para un modelo de desarrollo de sistemas de servicios de tecnología de la información

Capacity management process and availability for an information technology service systems development model

Clariannis Gómez Barroso ^{1*}, Leonardo Valcarcel Martínez ²

¹ Departamento de Consultoría y Evaluación a Procesos (DCEP), Centro Nacional de Calidad del Software (CALISOFT), Cuba

² Departamento de programación facultad 4, Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), Cuba

*Autor de correspondencia: clariannis.gomez@calisoft.cu

RESUMEN—En estudios realizados por el Centro Nacional de Calidad del *software* desde el 2009 al 2016 a las prestaciones de servicios de Tecnología de la información en organizaciones de la Industria cubana del *Software*, han sido diagnosticadas 85 entidades de servicios en base a las buenas prácticas que proponen modelos internacionalmente reconocidos como CMMI-SVC, ITIL, COBIT e ISO 20000. Los datos obtenidos permiten identificar varios de los problemas a los que se enfrenta el proceso productivo en cuanto a la Gestión de la Capacidad y Disponibilidad de los Servicios. Para apoyar el desarrollo y contrarrestar esta situación es aprobado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, el proyecto de investigación “Modelo para el desarrollo de sistemas de servicio de tecnología de la información”. Un área estratégica dentro del modelo es la Gestión de la Capacidad y Disponibilidad de los Servicios, disciplina centrada en asegurar que el proveedor del servicio tenga, en todo momento, la capacidad suficiente para cubrir la demanda acordada, actual y futura, de las necesidades de los clientes y asegurar que los compromisos de continuidad y disponibilidad acordados puedan cumplirse bajo todas las circunstancias. Implica además, establecer y mantener la capacidad y disponibilidad a un costo razonable y utilizar los recursos eficientemente.

Palabras clave—Capacidad, disponibilidad, gestión, servicio.

ABSTRACT— In studies conducted by the National Center for Software Quality from 2009 to 2016 to the services provision of Information Technology in organizations of the Cuban Software Industry, 85 entities of services have been diagnosed based on good practices proposed by internationally recognized models such as CMMI-SVC, ITIL, COBIT and ISO 20000. The data obtained allow us to identify several of the problems faced by the production process in terms of Capacity Management and Availability of Services. To support the development and counteract this situation, the research project "Model for the development of information technology service systems" is approved by the Ministry of Science, Technology and Environment. A strategic area within the model is the Capacity Management and Availability of Services, a discipline focused on ensuring that the service provider has, at all times, the capacity to meet the agreed demand, current and future, of the needs of the clients and ensure that the agreed continuity and availability commitments can be fulfilled under all circumstances. It also implies, capacity and availability at a reasonable cost and using resources efficiently.

Keywords—Capacity, availability, management, service.

1. Introducción

En la Industria cubana del *Software* (INCUSOFT) existe una tendencia al surgimiento de organizaciones de prestación de servicio de Tecnología de la información (TI), dada la necesidad y demanda de este; las cuales se han ido proyectando en el empleo de soluciones basadas en *software* como Servicio (SaaS) y migrando algunas infraestructuras hacia la computación en nube [1]. La INCUSOFT se encuentra representada mayormente por Pequeñas y Medianas Empresas (PyMES), teniendo en cuenta el diagnóstico realizado por Ramos [2] a una gran representación de las organizaciones desarrolladoras de

software en Cuba. Las PyMES cubanas asociadas a la prestación de servicio de TI, a pesar de iniciativas de mejoras de procesos realizadas, se ven afectadas por problemas de productividad. Tienen restricciones financieras y de recursos que se contraponen a los altos costos necesarios para implementar las buenas prácticas de modelos y normas de calidad internacionales [2]. Para apoyar el desarrollo y contrarrestar esta situación es aprobado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), el proyecto de investigación “Modelo para el desarrollo de sistemas de servicio de tecnología de la información” (MDSSTI-SaaS).

Citación: C. Gómez y L. Valcarcel, “Proceso de gestión de la capacidad y disponibilidad para un modelo de desarrollo de sistemas de servicios de tecnología de la información”, *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 2, pp. (56-67), 2019.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 19 de noviembre de 2018. **Recibido con correcciones:** 8 de abril de 2019. **Aceptado:** 26 de julio de 2019.

DOI: <https://doi.org/10.33412/idt.v15.2.2234>

Copyright: 2019 C. Gómez y L. Valcarcel. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Un área estratégica dentro del MDSSTI-SaaS es la Gestión de la Capacidad y Disponibilidad de los Servicios (GCDS), disciplina centrada en asegurar que el proveedor del servicio tenga, en todo momento, la capacidad suficiente para cubrir la demanda acordada, actual y futura, de las necesidades de los clientes y asegurar que los compromisos de continuidad y disponibilidad acordados puedan cumplirse bajo todas las circunstancias [3].

La GCDS implica establecer y mantener la capacidad y disponibilidad a un costo razonable y utilizar los recursos eficientemente. La producción del servicio y su consumo simultáneo es una de las características únicas de los servicios. Esta característica supone algunos retos para la gestión de su capacidad y disponibilidad, si se presenta una demanda y no hay capacidad ni disponibilidad para proporcionar el servicio, atenta directamente contra la satisfacción del cliente, la pérdida del negocio y pérdidas económicas para la organización [4].

En la XVI Convención y Feria Internacional Informática 2016 se realizó un diagnóstico, con el objetivo de determinar el estado de las organizaciones con relación al uso de los servicios TI en la nube [5]. Los datos obtenidos permiten identificar varios de los problemas a los que se enfrenta el proceso productivo en la INCUSOFT en cuanto a la GCDS:

- De un total de diecisiete organizaciones encuestadas diez no miden los niveles de capacidad de los servicios ofrecidos para un período determinado.
- De un total de diecisiete organizaciones encuestadas nueve no miden los niveles de demanda de los servicios.
- De un total de diecisiete organizaciones encuestadas siete no planifica y monitorean la disponibilidad de los servicios.
- De un total de diecisiete organizaciones encuestadas siete no miden el uso de los recursos.
- De un total de diecisiete organizaciones encuestadas once no conocen la carga de trabajo de sus recursos humanos y materiales.
- De un total de diecisiete organizaciones encuestadas ocho no conocen los tiempos planificados y reales de respuestas de los servicios.

Una vez analizada la problemática se plantea como problema científico: ¿Cómo asegurar que el rendimiento del Sistema de Servicio TI (SSTI) centrado en el SaaS

sea eficaz y que los recursos se provean y utilicen eficazmente para dar soporte a los requisitos del servicio?

En la presente investigación se realizó una comparación de criterios de interés para la solución relacionados con la gestión de la capacidad y disponibilidad en modelos y normas internacionalmente reconocidos como: Biblioteca de Infraestructura de la Tecnología de la Información (ITIL, del inglés Information Technology Infrastructure Library) [6], Modelo de Capacidad y Madurez Integrado para Servicio (CMMI-SVC, del inglés Capability Maturity Model Integration for Services) [4], Objetivos de Control para la Información y Tecnologías Relacionadas (COBIT, del inglés Control Objectives for Information and related Technology) [7], la norma ISO/IEC 20000 Tecnología de la información-Gestión del servicio [3] y la norma ISO 12207:20017 [12]. Al ser tratados en la mayoría de los modelos y normas, estos criterios, se convierten en buenas prácticas que pueden servir de guía para las organizaciones de prestación de servicios de TI. Las buenas prácticas identificadas se relacionan en la Tabla 1, así como el nivel de incidencia en las normas y modelos abordados, la leyenda es la siguiente:

- NI: No incide sobre este aspecto.
- II: Incide indirectamente sobre este aspecto.
- ID: Incide directamente sobre este aspecto.

Tabla 1. Buenas prácticas para la gestión de la capacidad y disponibilidad del servicio. Fuente: Elaboración propia

Buenas prácticas	Normas y modelos				
	ISO 12207	COBIT	ISO/IEC 20000	ITIL	CMMI-SVC
BP1. Identificar los requisitos de capacidad y disponibilidad del servicio	II	II	ID	ID	ID
BP2. Desarrollar los planes de capacidad y disponibilidad del servicio	ID	II	ID	ID	ID
BP3. Monitorear los planes de	II	II	II	ID	ID

capacidad y disponibilidad del servicio.					
BP4. Medir y registrar la capacidad y disponibilidad del servicio	NI	ID	ID	ID	ID
BP5. Analizar la no-disponibilidad no planeada	NI	NI	ID	ID	II
BP5. Analizar la no-disponibilidad no planeada	NI	II	ID	ID	ID
BP6. Supervisar y registrar la capacidad y disponibilidad del servicio.	NI	NI	NI	II	ID
BP7. Establecer y mantener una estrategia de gestión de capacidad y disponibilidad del servicio.	II	II	ID	ID	ID

Para el análisis y caracterización de estos modelos y normas estudiados, se conformó un mapa de compatibilidad donde se tuvieron en cuenta, además de los resultados mostrados en la tabla 1, los siguientes elementos:

- Propuesta de ciclo de vida.
- Propuesta de roles.
- Propuesta de productos de trabajo.
- Enfoque basado en PyMES.
- Propuesta grafica de procesos.
- Propuesta de indicadores.
- Elementos para conformar una base de conocimiento.
- Asequible económicamente.
- Fácil entendimiento.

Partiendo de los resultados de la comparación establecida, los autores, deciden combinar estas buenas

prácticas con el fin de determinar las directrices que guiaran el proceso y tomar como punto de partida la descripción gráfica del proceso definido en ITIL, así como los productos de trabajo que propone CMMI-SVC V.3 y las métricas definidas en COBIT 5. Mediante el análisis de los modelos se pudo concluir además que ninguno de ellos, es factible para la INCUSOFT, debido a que la adquisición, implementación y evaluación de cada uno representa un gasto muy elevado para las PyMES.

2. Materiales y métodos

Debido a las características de la investigación se aplicaron métodos cuantitativos y cualitativos, y posteriormente fueron comparados sus resultados para lograr una mayor precisión y objetividad de las comprobaciones.

2.1 Analítico-sintético

Este método se empleó para analizar la bibliografía relacionada con la GCDS en los SSTI, llegar a las características comunes existentes entre ellas, y elaborar un mapa de compatibilidad con modelos y estándares internacionalmente reconocidos.

2.2 Histórico-lógico

En la investigación se realizó un estudio sobre la evolución, desarrollo y estado actual de la temática abordada, los resultados obtenidos fueron utilizados como punto de referencia para compararlo con los resultados alcanzados.

2.3 Hipotético-deductivo

Con la utilización de este método fue elaborada la hipótesis de la investigación suponiendo que la definición de un proceso para la GCDS en los SSTI, contribuirá a lograr la eficacia en el rendimiento y gestión de los recursos para dar soporte a los requisitos del servicio en las PyMES de INCUSOFT.

2.4 Modelación

Es empleado para la representación explícita de la propuesta de solución a través de la modelación del proceso para la GCDS.

2.5 Criterio de expertos

En la investigación se abordó este método para conocer la valoración de los expertos sobre el proceso

elaborado y apoyar el valor científico de la investigación con la validación de que la propuesta de solución se adecua a las PyMES de la INCUSOFT.

2.6 Técnica de Likert

Este método se empleó para definir la escala de Likert fundamentada en la opinión de los expertos.

2.7 Encuesta

La encuesta se utilizó para validar que el proceso propuesto sea adecuado a las PYMES de la INCUSOFT y para conocer la satisfacción de los usuarios.

2.8 Técnica de Iadov

Este método fue aplicado para conocer el grado de satisfacción de usuarios con el proceso propuesto para gestionar la capacidad y disponibilidad del servicio.

2.9 Triangulación metodológica

La triangulación metodológica fue empleada para garantizar la confiabilidad de los resultados de la investigación.

2.10 Cuasi experimento

En la investigación se realizó un cuasi experimento para comprobar la influencia de la propuesta durante la prestación del servicio. Se ejecutó en un entorno controlado y a partir de un caso práctico se observó la influencia en las variables: eficacia en el rendimiento y gestión de los recursos y soporte a los requisitos del servicio.

3. Validación

Para validar el proceso propuesto en la presente investigación, se utilizó el criterio de los expertos para conocer su nivel de acuerdo o desacuerdo con respecto al proceso elaborado, se aplicó la escala psicométrica creada por Rensis Likert, la cual se ha utilizado para la validación de diversas tesis de doctorado como en Febles, 2012 y Arias, 2013. Con el empleo de este método se utilizó la opinión de los expertos para validar la hipótesis planteada y valorar la utilidad de la solución.

Se definieron seis planteamientos, para valorar los siguientes aspectos del proceso:

1. Mejora del rendimiento y gestión de los recursos.
2. Soporte a los requisitos del servicio.
3. Roles.
4. Utilidad.

5. Facilidad de uso.

6. Fácil entendimiento.

Cada planteamiento se podía responder como: Muy Adecuado (MA), Adecuado (A), ni de acuerdo ni en desacuerdo (Sí-No), Poco Adecuado (PA) y Completamente Inadecuado (CI).

En función de determinar la cantidad de expertos se tuvo en cuenta lo planteado por Febles en 2003 [8], donde a través de la utilización del método presentado por Cyret y March en 1965, se obtuvo como resultado que la cantidad adecuada eran siete expertos. En aras de determinar los posibles expertos se contactaron profesionales de CALISOFT, la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI), y de las empresas Xetid y Softel.

En la definición y validación del método se elaboró una encuesta con un total de seis preguntas, teniendo en cuenta cada una de las dimensiones que se desea medir en la variable planteada en la hipótesis. Validar la confiabilidad de la encuesta conllevó a su aplicación de forma piloto a un grupo de cinco miembros del equipo del MDSSTI-SaaS. Luego de procesados los datos se calculó el Coeficiente del Alfa de Cronbach como se muestra en la figura 1 y se interpretó según los rangos de valores que establece Aveleira [9]. El valor obtenido fue de 0,78 demostrando que la encuesta elaborada tiene excelente confiabilidad.

Preguntas	I	II	III	IV	V	VI	VII	Suma de Items
Experto (1)	5	5	5	5	5	5	5	35
Experto (2)	5	4	5	5	5	4	5	33
Experto (3)	4	5	5	4	5	4	5	32
Experto (4)	5	5	3	4	5	5	5	32
Experto (5)	5	5	5	5	3	4	3	30
VARP (Varianza de	0,20	1,26	0,64	0,24	0,80	0,50	0,64	12,33
K: El número de ítems								
Σ S ² : Sumatoria de las Varianzas de los ítems								
S _T ² : La Varianza de la suma de los ítems								
α: Coeficiente de Alfa de Cronbach								
$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right] = \frac{7}{7-1} \left[1 - \frac{272}{264} \right] = 0,87$								

Valor	Criterio
0,53 a menos	Confiabilidad nula
0,54 a 0,59	Confiabilidad baja
0,60 a 0,65	Confiable
0,66 a 0,71	Muy confiable
0,72 a 0,89	Excelente confiabilidad
1,00	Confiabilidad perfecta

Figura 1. Confiabilidad de la encuesta de los expertos. Fuente: Elaboración propia.

Luego de validada la encuesta se procedió a su aplicación, entregándose el proceso con todos sus componentes para su valoración. Se realizó de manera individual y anónima, con el objetivo de que ningún experto se fuera ver influenciado por la reputación de otro o por el peso que supone la opinión de la mayoría.

Se aplicó Iadov para medir la satisfacción de los usuarios del proceso, para ello se aplicó una encuesta a los especialistas de CALISOFT seleccionados para el cuasi-experimento, que participaron durante la implantación del proceso en los servicios brindados por CALISOFT. De los trece especialistas encuestados seis resultaron ser Máster en Ciencias y los siete restantes Ingenieros en Ciencias Informáticas, todos con más de cinco años de experiencia en la definición e implantación de procesos. El Índice de Satisfacción Grupal (ISG) fue de un 0,84, lo que indica una clara satisfacción de los usuarios con el uso del proceso propuesto.

4. Resultados

La arquitectura del MDSSTI-SaaS, sienta sus bases en las buenas prácticas de gestión de los servicios que brindan los modelos y normas internacionales [10]. Está orientado a fortalecer la prestación de servicios informáticos y promover la inserción de infraestructura y plataformas para la nube computacional. La definición de procesos cuenta con una propuesta de descripciones gráfica y textual que guían el cumplimiento de las directrices, productos de trabajo como resultado de la ejecución de las actividades y los roles asociados con sus responsabilidades. Otros de los componentes que conforman los procesos son los indicadores para su evaluación y un mapa de compatibilidad con los modelos y normas utilizados como referencia. Transversalmente a los procesos se encuentra la gestión de conocimiento del modelo [11].

El proceso de GCDS se encuentra dentro de la arquitectura del MDSSTI-SaaS y define qué y cómo hacer para gestionar la capacidad y disponibilidad durante la prestación del servicio de TI. La arquitectura propuesta está conformada por los involucrados internos y externos que intervienen en el proceso, elementos de entrada y salida, así como un conjunto de subprocesos que se encuentran interrelacionados entre sí.

Las directrices son requisitos de obligatorio cumplimiento para las PyMES que pretendan cumplir con el MDSSTI-SaaS. En la tabla 2, se muestran las directrices que componen el proceso de GCDS distribuidas por los niveles establecidos en el modelo según el criterio de los autores, así como su trazabilidad con las buenas prácticas definidas.

Tabla 2. Directrices del proceso de GCDS. Fuente: Elaboración Propia.

Nivel	Directrices	Relación con BP
Básico	D1-Identificar, evaluar y documentar los requisitos de capacidad y disponibilidad del servicio.	BP1
	D2-Identificar capacidad y disponibilidad actual del servicio.	BP1
	D3-Elaborar Plan de capacidad y disponibilidad del servicio.	BP2
	D4-Monitorear, medir, analizar y registrar la capacidad y disponibilidad de la infraestructura del servicio.	PB3-BP4- BP5-BP6
	D5-Identificar y reportar riesgos relacionados con la capacidad y disponibilidad del servicio.	BP6
	D6-Establecer acciones correctivas contra la falta de Capacidad y Disponibilidad.	BP5
	D7- Mejoras a la capacidad y disponibilidad del servicio.	BP5
Intermedio	D8-Establecer y mantener una estrategia de gestión de capacidad y disponibilidad del servicio.	PB7
Avanzado	D9-Estimar los futuros requisitos de capacidad y disponibilidad del servicio.	BP4

4.1 Directrices del proceso para el nivel básico

Con el objetivo de lograr una mayor comprensión de las directrices propuestas se realizó una descripción textual que explica lo que se debe hacer para darle cumplimiento. En cada una de las directrices se propone la evidencia recomendada para demostrar su ejecución. A continuación, se detallan las directrices del proceso GCDS.

- **Identificar, evaluar y documentar los requisitos de capacidad y disponibilidad del servicio**

Se deben identificar, evaluar y documentar los requisitos de capacidad y disponibilidad del servicio

debido a que son la base para estimar la capacidad del diseño de la infraestructura de TI y el soporte que la organización debe proporcionar para satisfacer las necesidades de disponibilidad del negocio.

Evidencia recomendada: requisitos de capacidad y disponibilidad.

- **Identificar capacidad y disponibilidad actual del servicio**

Se debe identificar la capacidad y disponibilidad actual del servicio, realizando un estudio de las operaciones actuales del negocio y sus requerimientos, mediante patrones de actividades de negocio. La capacidad y disponibilidad actual, debe estar alineada y sincronizada con la cartera o portafolio de servicios, esto permite que la organización conozca la información sobre los recursos actuales que se manejan para saber qué componentes se deben renovar.

Evidencia recomendada: capacidad y disponibilidad actual.

- **Elaborar plan de capacidad y disponibilidad del servicio**

Se debe elaborar un Plan de capacidad y disponibilidad del servicio basado en pronósticos futuros de los requerimientos del negocio. El plan permitirá que los servicios continúen brindándose y que la demanda pueda ser cumplida según lo pactado con los clientes.

Evidencia recomendada: plan de capacidad y disponibilidad.

- **Monitorear, medir, analizar y registrar la capacidad y disponibilidad de la infraestructura del servicio**

Se debe monitorear, medir, analizar y registrar la capacidad y disponibilidad de la infraestructura del servicio tomando en cuenta aspectos, como: tiempo de respuesta, capacidad de procesamiento, capacidad de almacenamiento y ancho de banda; para asegurar que se cumplan todos los requisitos y procedimientos establecidos, asegurar el cumplimiento de la capacidad y disponibilidad, la mejora continua del servicio y reportar a la dirección el estado de la infraestructura del servicio.

Evidencia recomendada: análisis de la capacidad y disponibilidad.

- **Identificar y reportar riesgos relacionados con la capacidad y disponibilidad del servicio**

Se deben identificar y reportar riesgos relacionados con la capacidad y disponibilidad del servicio. Analizar tendencias y estadísticas de uso y carga sobre el sistema. Evaluar las cargas y consumos de los elementos de capacidad y disponibilidad que definen los niveles de servicio, como: capacidad de procesamiento, almacenamiento, ancho de banda, etc.

Evidencia recomendada: registro de incidencias.

- **Establecer acciones correctivas contra la falta de capacidad y disponibilidad**

Se deben establecer acciones correctivas para controlar y corregir la falta de capacidad y disponibilidad y hacer frente a las consecuencias. Se deben identificar las causas que las propiciaron para que las acciones tomadas las eliminen y evitar que vuelvan a ocurrir; se debe revisar la eficacia de las acciones tomadas.

Evidencia recomendada: registro de acciones.

- **Mejoras a la capacidad y disponibilidad del servicio**

Se deben realizar mejoras de servicio preventivas y correctivas en aspectos relacionados con la gestión de la capacidad y disponibilidad, y realizar seguimiento de las mejoras de servicio formuladas, las mismas deben ser evaluadas para asegurar que cumplen su objetividad.

Evidencia recomendada: registro de mejoras.

4.2 Descripciones gráficas y textuales del proceso de GCDS y subprocesos del nivel básico

1. Gestionar requisitos de capacidad y disponibilidad: Se gestionan los requisitos según lo establece el subproceso Gestionar requisitos de capacidad y disponibilidad.
2. Medir capacidad y disponibilidad actual del servicio: Se mide la capacidad y disponibilidad actual según lo establece el subproceso Medir capacidad y disponibilidad actual del servicio.
3. Establecer plan de capacidad y disponibilidad del servicio: Se establece el plan de capacidad y disponibilidad según el subproceso Establecer plan de capacidad y disponibilidad del servicio.
4. Monitorizar la capacidad y disponibilidad del servicio: Se realiza la monitorización de la capacidad y disponibilidad según lo establece el sub

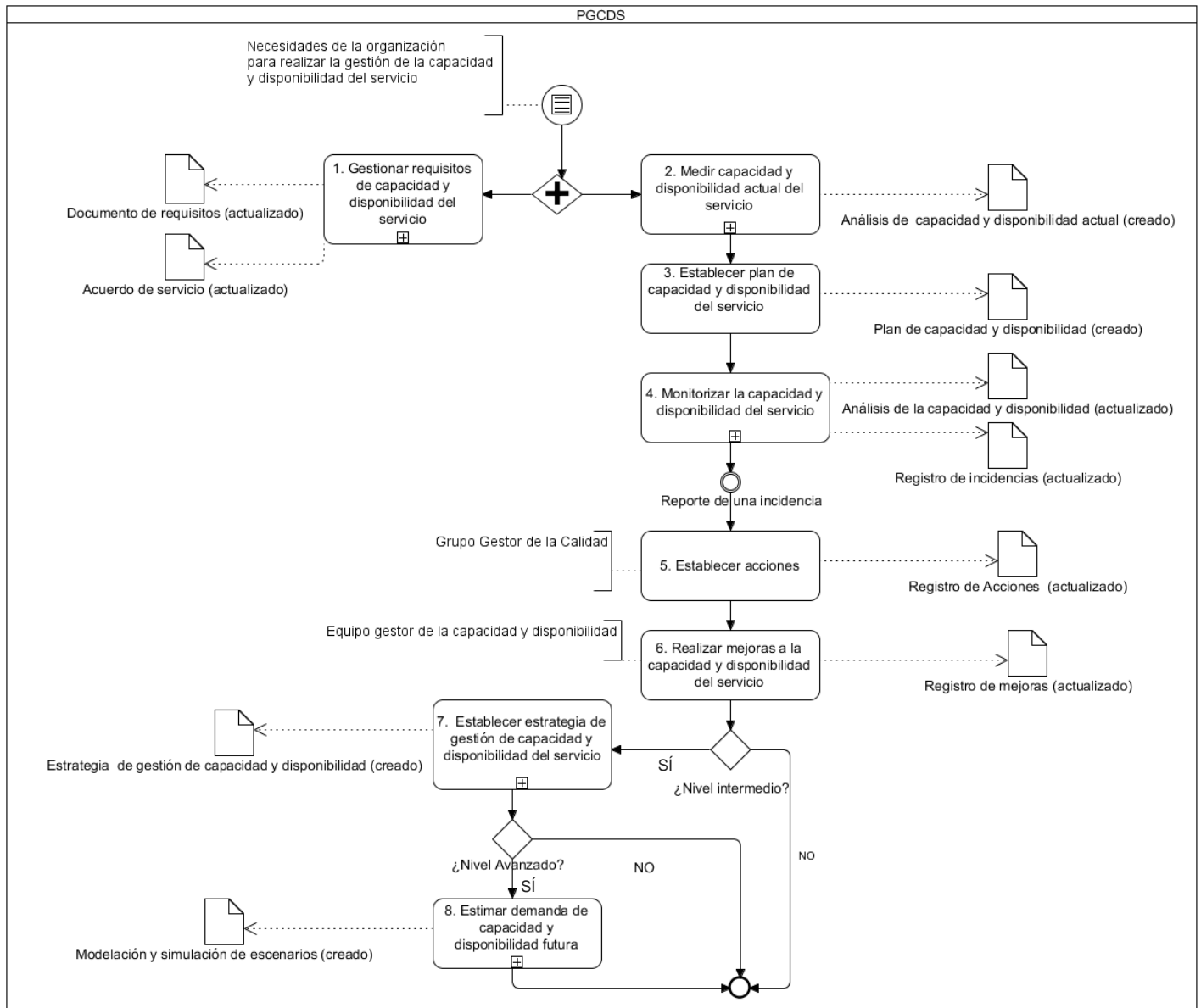


Figura 2. Descripción gráfica del proceso gestión de la capacidad y disponibilidad del servicio. Fuente: Elaboración propia.

- proceso Monitorizar la capacidad y disponibilidad del servicio.
5. Establecer acciones: El grupo gestor de la calidad, establece las acciones necesarias para resolver las incidencias. A estas, se les asigna el responsable de ejecutarla y la fecha de cumplimiento. Las acciones pueden ser:
 - Correctivas, cuando eliminan la causa que le dio origen al problema y lo resuelve.
 - De mejora, cuando se obtiene una mejora del servicio para prevenir nuevas incidencias.

- De corrección, cuando solamente resuelven el problema, sin tener en cuenta la causa que le dio origen al mismo.
6. Realizar mejoras a la capacidad y disponibilidad del servicio: El equipo gestor de la capacidad y disponibilidad teniendo en cuenta los resultados del monitoreo, el registro de incidencias y acciones, realiza un análisis de los problemas y riesgos detectados, y propone acciones de mejora para perfeccionar la capacidad y disponibilidad del servicio. El equipo gestor de la calidad, realiza el

seguimiento de las mejoras al servicio formuladas y las evalúa para asegurar que cumplen su objetividad.

Nivel intermedio: Si es nivel intermedio se ejecuta la actividad siete. Si no es nivel intermedio, se ejecuta la actividad ocho.

7. Establecer estrategia de gestión de capacidad y disponibilidad del servicio: se establece la estrategia de gestión de capacidad y disponibilidad según lo establece el subproceso Establecer estrategia de gestión de capacidad y disponibilidad del servicio.

Nivel avanzado: Si es nivel avanzado se ejecuta la actividad ocho. Si no es nivel avanzado finaliza el proceso.

8. Estimar demanda de capacidad y disponibilidad futura: Se estima la demanda de capacidad y disponibilidad futura según lo establece el subproceso Estimar demanda de capacidad y disponibilidad futura y finaliza el proceso.

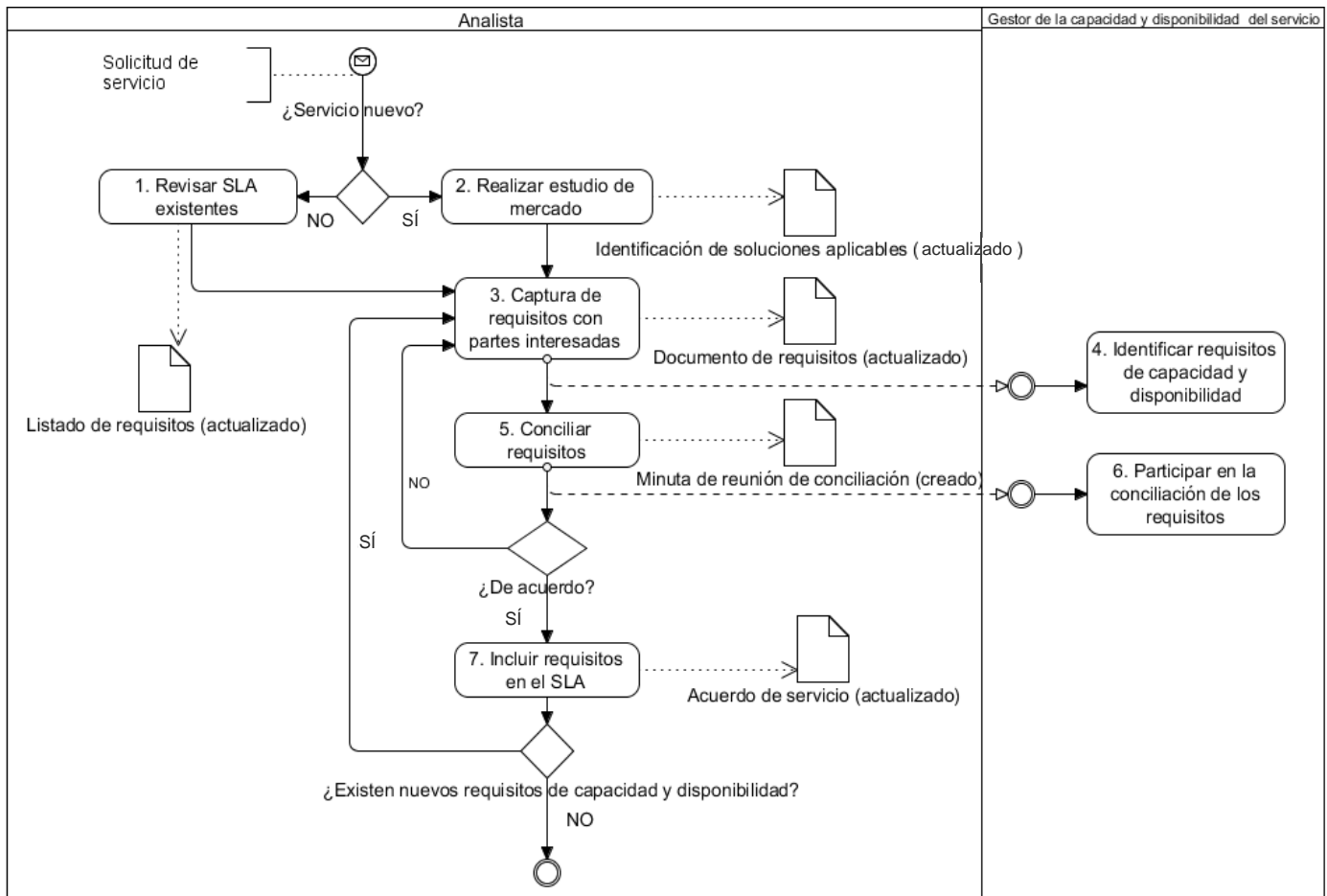


Figura 3. Descripción gráfica del subproceso gestionar requisitos de la capacidad y disponibilidad del servicio. Fuente: Elaboración propia.

¿Servicio nuevo?: Si es un nuevo servicio que el cliente desea contratar, se ejecuta la actividad dos. Si es un servicio ya existente se ejecuta la actividad uno.

1. Revisar SLA existentes: el analista revisa los acuerdos de servicios existentes y extrae los

requisitos de capacidad y disponibilidad y ejecuta la actividad tres.

2. Realizar estudio de mercado: el analista realiza un estudio de mercado sobre las prestaciones de servicios con características similares para

- homologar los requisitos de capacidad y disponibilidad.
3. Captura de requisitos con partes interesadas: el analista participa en las reuniones donde intervienen las partes interesadas para obtener los requisitos de capacidad y disponibilidad deseados por los clientes.
 4. Identificar requisitos de capacidad y disponibilidad: el gestor de capacidad y disponibilidad, ayuda a identificar requisitos de capacidad y disponibilidad entre las partes interesadas.
 5. Conciliar los requisitos: el analista presenta a las partes interesadas la especificación de los requisitos de capacidad y disponibilidad obtenidos.
 6. Participar en la conciliación de los requisitos: el gestor de capacidad y disponibilidad participa como apoyo durante la conciliación de los requisitos de

capacidad y disponibilidad con las partes interesadas.

¿De acuerdo?: Si las partes interesadas están de acuerdo con la especificación de requisitos presentada ejecutar la actividad siete. Si las partes interesadas no están de acuerdo con la especificación de requisitos presentada, se ejecuta la actividad tres.

7. Incluir requisitos en el SLA: El jefe de proyecto incluye los requisitos de capacidad y disponibilidad en el Acuerdo de servicio y finaliza el subproceso.

¿Existen nuevos requisitos de capacidad y disponibilidad?: Si existen nuevos requisitos de capacidad y disponibilidad del servicio, se ejecuta la actividad tres. Si no existen nuevos requisitos de capacidad y disponibilidad del servicio, finaliza el subproceso.

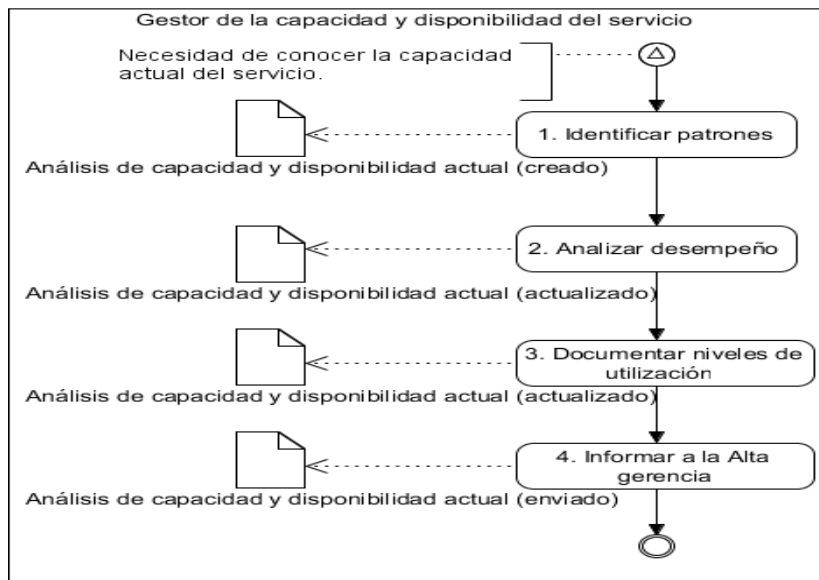


Figura 4. Descripción gráfica del subproceso medir capacidad y disponibilidad actual del servicio. Fuente: Elaboración propia.

1. Identificar patrones: el gestor de capacidad y disponibilidad, consulta el portafolio de servicios y realiza patrones de comportamiento de las actividades de negocio para determinar las operaciones de negocio actuales y sus requisitos.
2. Analizar desempeño: el gestor de capacidad y disponibilidad, analiza el desempeño de TI e infraestructura que sustenta el servicio, la demanda y la utilización de los componentes.
3. Documentar niveles de utilización: el gestor de capacidad y disponibilidad, documenta los niveles

reales de utilización de los componentes de la infraestructura y el desempeño de los servicios de TI.

4. Informar a la alta gerencia: el gestor de capacidad y disponibilidad, informa a la alta gerencia sobre el estado actual de capacidad y disponibilidad del servicio y finaliza el subproceso.

Nota: La alta gerencia es la encargada de decidir acerca de cuáles componentes debe actualizar, cuándo hacerlo y el costo involucrado.

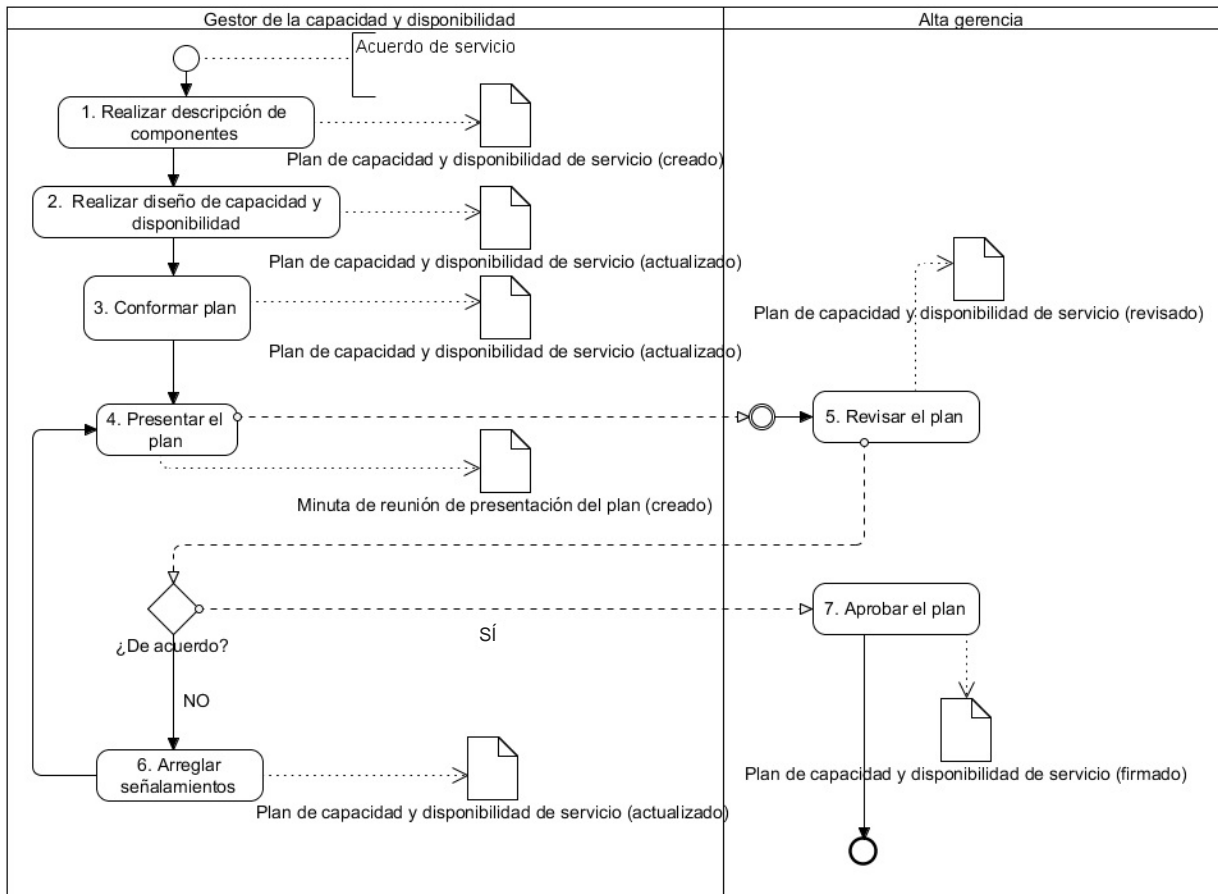


Figura 5. Descripción gráfica del subproceso establecer plan de capacidad y disponibilidad del servicio. Fuente: Elaboración propia.

1. Realizar descripción de componentes: el gestor de la capacidad y disponibilidad del servicio, describe los componentes necesarios para la gestión de la capacidad y disponibilidad del servicio.

Nota: Los componentes pueden ser identificados realizando un mapeo de las actividades fundamentales de la organización, relacionadas con la TI. Pueden ser los elementos de configuración que son aquellos componentes que definen a la infraestructura tecnológica actual de la organización. Los elementos de configuración incluyen: *hardware*, *software* y documentación asociada al servicio.

2. Realizar diseño de capacidad y disponibilidad: El Gestor de capacidad y disponibilidad: diseña la infraestructura de TI que se necesita para sustentar la capacidad y disponibilidad del servicio. Identifica los proveedores internos y externos necesarios para satisfacer las necesidades de capacidad y disponibilidad de un servicio de TI. Analiza los riesgos asociados al fallo de la capacidad y disponibilidad del servicio y analiza la seguridad del

servicio cuando existen cambios en los requerimientos de capacidad y disponibilidad del negocio.

Nota: El diseño de la infraestructura de TI es la suma de todos los componentes de *hardware*, *software* y servicios necesarios para hacer funcionar las aplicaciones de TI, y que permiten a la organización apoyar y automatizar los procesos del negocio.

Nota: La seguridad puede estar asociada a: seguridad de la información, seguridad física y ambiental, seguridad del *hardware*, seguridad de la red, etc.

3. Conformar plan: el gestor de capacidad y disponibilidad elabora el plan que debe contener además de los aspectos anteriores los siguientes:
 - Capacidad y disponibilidad actual.
 - Herramientas para la monitorización.
 - Métodos y técnicas de análisis.
 - Expectativas futuras.
4. Presentar el plan: el gestor de capacidad y disponibilidad presenta el plan de capacidad y disponibilidad de servicio a la alta gerencia.

5. Revisar el plan: La alta gerencia revisa el plan de capacidad y disponibilidad de servicio.
¿De acuerdo?: Si la alta gerencia está de acuerdo con el plan de capacidad y disponibilidad de servicio se ejecuta la actividad siete. Si la alta gerencia no está de acuerdo con el plan de capacidad y disponibilidad de servicio se ejecuta la actividad seis.
6. Arreglar señalamientos: La alta gerencia envía el documento con los señalamientos al gestor de

capacidad y disponibilidad. El gestor de capacidad y disponibilidad corrige los señalamientos realizados por la alta gerencia al plan de capacidad y disponibilidad de servicio y ejecuta la actividad cuatro.

7. Aprobar el plan: La alta gerencia aprueba y firma el plan de capacidad y disponibilidad de servicio y finaliza el subproceso.

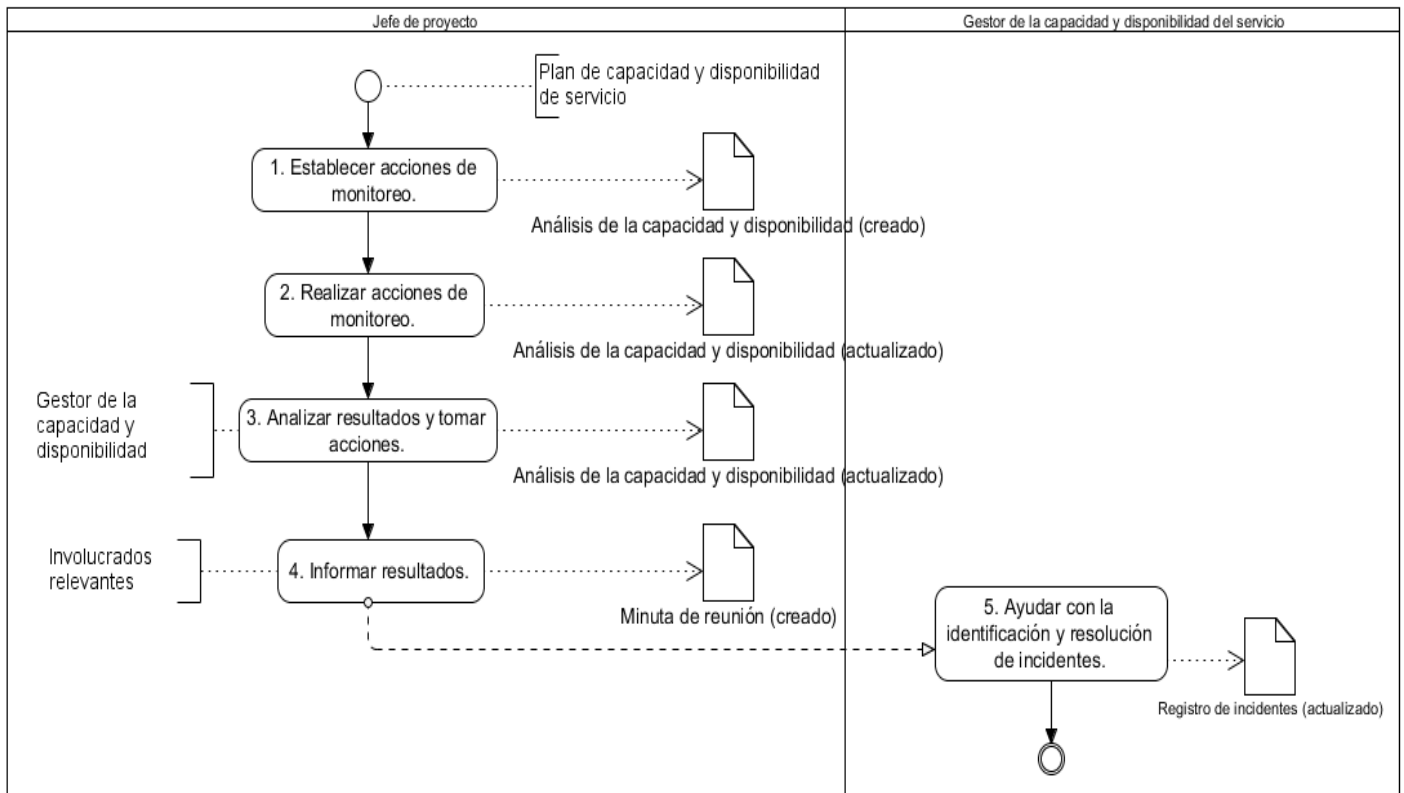


Figura 6. Descripción gráfica del subproceso monitorizar la capacidad y disponibilidad del servicio. Fuente: Elaboración propia.

1. Establecer acciones de monitoreo: el jefe de proyecto determina las acciones de monitoreo a ejecutar para conocer el comportamiento de la capacidad y disponibilidad de servicio.
2. Realizar acciones de monitoreo: el jefe de proyecto realiza las acciones de monitoreo, comparando los valores reales contra lo planificado en el plan de capacidad y disponibilidad del servicio y acuerdo de servicio para identificar nuevos problemas, desviaciones y acciones.
3. Analizar resultados y tomar acciones: el jefe de proyecto en conjunto con el gestor de la capacidad y disponibilidad del servicio realiza un análisis de los

resultados del monitoreo, identificando las causas de los problemas y tomando las acciones necesarias para su resolución.

4. Informar resultados: el jefe de proyecto informa los resultados del monitoreo (problemas, desviaciones y acciones) a los involucrados relevantes para la toma de decisiones.
5. Ayudar con la identificación y resolución de incidentes: el gestor de la capacidad y disponibilidad del servicio es el encargado de solucionar las incidencias que hayan tenido lugar durante las prestaciones de los servicios relacionadas con la capacidad y disponibilidad. En caso de que la

solución no esté en sus manos, debe escalar el problema a las autoridades correspondientes y finaliza el subproceso.

5. Conclusiones

- El proceso propone siete directrices en el nivel básico para Gestionar la capacidad y disponibilidad en los SSTI centrado en el SaaS, definidas a partir de las buenas prácticas de los modelos y normas de calidad analizados. Fueron elaboradas de acuerdo a las características de las entidades de prestación de servicios TI de la INCUSOFT, pero pueden ser cumplidas por cualquier entidad que pretenda cumplir con el MDSSTI-SaaS.
- Se propone un proceso que se implementa por las directrices definidas y cuenta con descripciones gráficas y textuales que permiten una mejor implantación de las actividades de gestión de la capacidad y disponibilidad del servicio.
- Las necesidades de información identificadas sirven de base para la definición de los indicadores que permiten controlar y supervisar la ejecución del proceso. Además, ayudan a la toma de decisiones para la mejora continua del mismo.

6. Agradecimiento

Agradecemos a la Prof. Auxiliar, Ing. Ana Marys García Rodríguez, Dr C. por su asistencia técnica y a los especialistas del Departamento de Consultoría y Evaluación a Procesos (DCEP) del Centro Nacional de Calidad del *Software* (CALISOFT) por la asistencia técnica brindada durante la validación de la solución propuesta.

7. Referencias

- [1] L. A. Espinosa, A.S. Batista. Pruebas en la Nube. In Proceedings of the Taller Horizonte 2020, La Habana, 7 de julio del 2015.
- [2] Ramos, B. K. Proceso Base de Ingeniería de Requisitos para las pequeñas y medianas empresas de desarrollo de software. Tesis de maestría, Universidad de las Ciencias Informáticas, 2013.
- [3] ONN, O. N. D. N.-. NC ISO/IEC 20000 Tecnologías de la Información - Gestión del Servicio - Parte 2: Código de Buenas Prácticas In. La Habana, Cuba, 2011.
- [4] SEI, S. E. I. CMMI para Servicios, Versión 1.3. Edition ed. Pittsburgh: Carnegie Mellon, 2013. ISBN CMMI Institute-2013-TR-001.
- [5] Suárez, B. A. Diagnóstico a las entidades de servicio TI de la Industria Cubana del Software. In. La Habana: Centro Nacional de Calidad de Software (CALISOFT), 2016.
- [6] OSIATIS. ITIL-Gestión de Servicios TI. 2007, Definiciones y Acrónimos.
- [7] IT Governance Institute, Cobit 4.1. 2007, EE.UU.
- [8] Febles, E. A. Un modelo de Referencia para la Gestión de Configuración en la PYME de Software. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, 2003.
- [9] Aveleira, Q. D. Proceso Base de Medición y Mejora para las pequeñas y medianas empresas de desarrollo de software. Tesis de maestría, In. La Habana, Cuba: Universidad de las Ciencias Informáticas, 2016.
- [10] Suárez, B. A., E. A. Febles, C. Y. Trujillo. Modelo para el Desarrollo de Sistemas de Servicio de Tecnología de la Información, Centrado en el Software como Servicio. In.: Centro Nacional de Calidad de Software (CALISOFT), 2015.
- [11] Mariño, Z. Y. Proceso Gestión de Incidencias en Sistemas de Servicios de Tecnología de la Información centrado en el Software como Servicio. Tesis de maestría, In. La Habana, Cuba: Universidad de las Ciencias Informáticas, 2017.
- [12] INTERNATIONAL STANDARD ISO/IEC/ IEEE 12207. Systems and software engineering — Software life cycle processes Ingénierie des systèmes et du logiciel — Processus du cycle de vie du logiciel. ISO/IEC/IEEE 12207:2017(E)

Despliegue óptimo georreferenciado de estaciones de carga vehicular pública considerando capacidad de flujo y distancias máximas habilitantes

Georeferenced optimal deployment for public vehicle charge station considering restrictions of capacity flow and maximal enablers distance

Miguel Campaña^{1*}, Esteban Inga¹

¹ Grupo de Investigación GIREI, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

*Autor de correspondencia: mcampana@ups.edu.ec

RESUMEN— Los desafíos modernos están orientados a la reducción significativa de gases de efecto invernadero, los cuales, deterioran la calidad del aire. El parque automotor, suministros de energía (gas, vapor, aire acondicionado, agua para uso industrial y energía eléctrica) son fuentes de CO_2 que se liberan en la atmósfera. Es por ello que, el presente artículo propone un modelo heurístico orientado a la reducción significativa de la dependencia de vehículos de combustión interna. El éxito o desacierto de la penetración masiva de vehículos eléctricos enchufables (VEE) no solo dependerá de la capacidad instalada en los sistemas eléctricos de distribución, sino que, además, de la autonomía y confort que los VEE logren brindar al usuario final. Por lo tanto, con el algoritmo Mínimo Emplazamiento de Estaciones de Carga Geolocalizadas (MEECG) se propone un modelo capaz de emplazar infraestructuras de estaciones de carga pública (IECP) considerando flujo vehicular y distancias máximas habilitantes. De tal manera que, se seleccione el mínimo número de estaciones de carga pública (ECP) garantizando la posibilidad de que un VEE pueda conectarse a una ECP reduciendo al máximo la ansiedad de alcance de parte del operador del VEE.

Palabras clave—Flujo de tráfico equilibrado, modelo heurístico, múltiples instalaciones de carga, redes públicas de estaciones de carga, teoría de grafos, ubicación óptima, vehículos eléctricos enchufables.

ABSTRACT— Modern challenges are aimed at the significant reduction of greenhouse gases, which deteriorate air quality. The automotive fleet, energy supplies (gas, steam, air conditioning, water for industrial use and electricity) are sources of CO_2 that are released into the atmosphere. That is why; this article proposes a heuristic model aimed at significantly reducing dependence on internal combustion vehicles. The success or failure of the massive penetration of plug-in electric vehicles (PEV) will not only depend on the installed capacity in the electrical distribution systems, but also on the autonomy and comfort that the PEV can provide to the end user. Therefore, with the Geolocalised Minimum Station Staging Algorithm (GMSSA), a model capable of deploying infrastructure of public charging stations (IPCE) considering vehicular flow and maximum enabling distances is proposed. In such a way that, the minimum number of public charging stations (PCE) is selected, guaranteeing the possibility that a PEV can connect to a PCE, reducing to the maximum the anxiety of reach of the operator of the PEV.

Keywords—Balanced traffic flow, heuristic model, multiple loading facilities, public networks of cargo stations, graphic schema theory, optimal location, plug-in electric vehicles.

1. Introducción

El agotamiento de los recursos fósiles y la degradación del medio ambiente por emisiones de CO_2 son causales de la reducción en la calidad de aire. La inclusión de VEEs ayudará sin lugar a duda a reducir la liberación de gases de efecto invernadero he inclusive la contaminación auditiva [1]. Por lo tanto, el presente artículo pretende abordar el problema relacionado con la movilidad. Para la difusión he introducción de VEEs es necesario implementar IECP, puesto que, se debe garantizar la operatividad del VEE en el tiempo. En [2]–[4] se puede evidenciar la importancia de la ubicación óptima de estaciones de carga (EC) como uno de los ejes

fundamentales para el desarrollo en la industria del VEE, garantizando así, la adecuada operatividad y ciclo óptimo de vida de las IECP [5]. En consecuencia, se pretende establecer directrices fundamentales para el desarrollo sostenible de IECP para VEEs reduciendo al máximo, no solo costos de infraestructura, sino que además, el costo social [6]. La sostenibilidad se refiere al desarrollo a largo plazo que incluye tres pilares: crecimiento económico, desarrollo social y protección ambiental. En la dimensión social, se consideran factores como la armonización de EC para VEEs mediante la planificación del desarrollo de la red vial urbana y de la red eléctrica,

Citación: M. Campaña y E. Inga, “Despliegue óptimo georreferenciado de estaciones de carga vehicular pública considerando capacidad de flujo y distancias máximas habilitantes,” *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 2, pp. (68-78), 2019.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 30 de enero de 2019. **Recibido con correcciones:** 10 de junio de 2019. **Aceptado:** 26 de julio de 2019.

DOI: 10.33412/idt.v15.2.224810.33412/idt.v15.2.2248

Copyright: 2019 M. Campaña. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

la convergencia de tráfico, la capacidad de servicio y el impacto en la vida de las personas [7], [8].

Varios métodos a nivel mundial se han propuesto para ubicar y dimensionar EC. Por ejemplo, se ha incorporado algoritmos como enjambre de abejas con sus siglas en inglés (PSO), algoritmos genéticos, diagramas de voronoi, teoría de juegos. Lo cierto es que, en aquellos esfuerzos no se consideran factores de mucha importancia como lo son: flujo de tráfico, redes viales, estructuras, constantes de capacidad y consideraciones geográficas [9]. Además, estos métodos consideran zonas óptimas sin considerar espacios públicos existentes o candidatos para iniciar procesos de planeación coordinados. Es por ello que partimos, para el proceso de optimización, de sitios candidatos los cuales pueden ser, estaciones de servicio convencionales (gasolina, diésel), paradas de autobuses, supermercados, estacionamientos, parques, etc. Consecuentemente, el modelo propuesto no parte de escenarios donde se considera arbitrariamente sitios candidatos, como sucedería con voronoi al segmentar el área de análisis, sino que parte de un conocimiento íntegro del área de estudio. Es decir, el modelo propuesto conoce el área de estudio partiendo de su realidad cartográfica. Dicha información se la obtiene desde la aplicación OpenStreetMap desde su versión gratuita.

Por lo tanto, el presente artículo es capaz de dar solución al problema de emplazamiento de ECP, considerando restricciones de flujo vehicular y distancias máximas habilitantes. Se empleará los *softwares* Matlab y LpSolve para obtener la mejor topología y el menor número de ECP a emplazarse en el área de estudio. La solución estará dada en dos momentos: el *software* Matlab habilitará a todos aquellos nodos que por la restricción de distancia máxima permitida alcanzaron a formar parte de un posible conjunto solución. Con el *software* LpSolve se da solución al despliegue de ECPs considerando en sus inecuaciones la restricción de flujos que hará posible el identificar el vector solución resultante.

Finalmente, el artículo se organiza de la siguiente manera. La creación de IECP sostenibles y los impactos por inserción masiva de VEEs se discute en la sección II. En la sección III presentaremos de manera formal la metodología aplicada para resolver el problema, al igual que su formulación matemática. Los análisis de resultados serán expuestos en la sección IV. Finalmente, en la sección V concluimos el presente artículo advirtiendo los trabajos futuros que serán complementarios a la presente investigación.

2. Sostenibilidad de infraestructuras de centros de carga para VEEs

Las diferentes tecnologías aplicadas a los VEE sugieren diferentes comportamientos de carga en el sistema eléctrico. Existe dos tipos comunes de carga: i) carga convencional (lenta en corriente alterna) y ii) carga rápida en corriente directa. Los cargadores AC (carga lenta) de VEEs tienen un pequeño o incluso insignificante impacto en la red eléctrica, pero el escenario es totalmente diferente para una carga rápida en DC. En [10] se advierte la importancia de considerar los diferentes tipos de formas de carga (carga rápida, carga lenta e intercambio de batería) en procesos de planeación, de tal manera que, se pueda reducir al máximo la demanda de uso de EC rápida en la red eléctrica convencional durante el periodo de carga de los VEEs [11]. Sin embargo, los sitios de carga rápida desempeñan un papel crucial para la aceptación pública de VEEs. Por lo tanto, se puede pensar en la posibilidad de combinar el modo de carga de acuerdo a los requerimientos del usuario, es decir, modo de carga rápida y métodos de carga normal que responderán a los requerimientos del usuario en lugares de instalaciones rígidas de estaciones de carga como por ejemplo hogares y puestos de trabajo, ya que, este tipo de cargadores solo son factibles en tecnología de carga lenta. En consecuencia, se introduce el concepto de estaciones de carga de múltiples instalaciones (ECMI) para minimizar el costo total de potencia entregada para satisfacer la demanda total [12]. Por lo tanto, los esfuerzos de la comunidad científica están dirigidos a procesos de carga inteligente, de tal manera que, los VEEs sean cargas activas para la red inteligente en lugar de cargas meramente tradicionales [13].

En la figura 1 se advierte la necesidad de diseñar IECP que no solo permita la operatividad del VEE en zonas urbanas, sino que, brinde la posibilidad de cubrir rutas de mayor longitud minimizando cuadros de ansiedad por parte del operador del VEE por alcance. Adicionalmente, con la figura 1 se destaca la importancia del conocimiento del área en que el VEE se desplaza; dicho de otra manera, es fundamental establecer comunicaciones inalámbricas móviles (WiFi, GSM, etc.) con la finalidad de poder elegir la mejor opción para la carga del vehículo eléctrico. Al referirnos a la mejor opción, hacemos mención a la selección de aquella estación de carga que esté ubicada a la menor distancia desde cualquier punto en el que el vehículo eléctrico se encuentre y que además, la tasa de flujo vehicular sea la

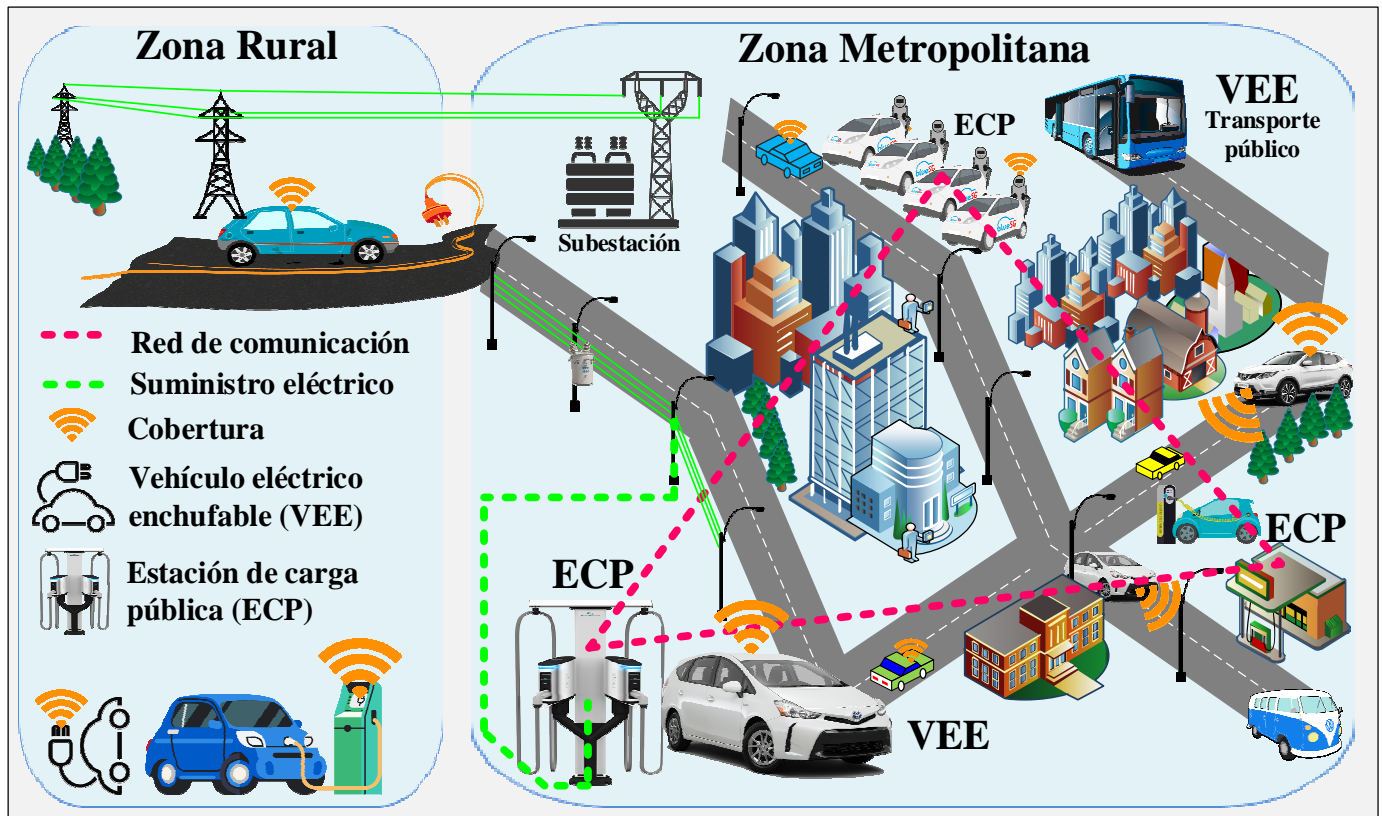


Figura 1. Infraestructura de estaciones de carga para vehículos eléctricos enchufables. Fuente Autor.

máxima, considerando las capacidades de las vías, de tal manera que, no se genere aumentos en la tasa de coincidencia de recarga vehicular en las ECPs.

Otro detalle y, no menos importante, que se desvela mediante la figura 1 es la selección adecuada del número de ECP a ser emplazadas geográficamente. Al minimizar el número de ECP garantizando máxima cobertura al consumidor, nos permitirá reducir algunas variables de costos, tales como: social, tasas de coincidencia vehicular, impactos desfavorables en la red eléctrica de distribución por la cantidad de energía demandada en periodos cortos de tiempo, mismos que, comprometerán a la calidad del suministro eléctrico por parte de las empresas de distribución de energía eléctrica convencional.

Hasta este punto hemos podido apreciar la importancia de la ubicación [14]–[17] óptima de EC para VEEs. En [18]–[21] se manifiesta que la solución puede darse mediante múltiples capas (multígrafos) aplicando varias técnicas de optimización apoyándose en teoría de grafos y análisis probabilístico para el dimensionamiento de estaciones de carga pública. El presente artículo centrará su atención en la ubicación óptima de estaciones de carga pública para dar origen a IECP. La ubicación de

ECP no solo debe contemplar interconexión local, sino que, además, debe contemplar la interconexión entre regiones geográficas. Para lo cual, en [22] se exponen restricciones fundamentales, tales como: restricciones basadas en la demanda de viajes, flujo de tráfico, además, consideran necesario asumir algunas variables con la finalidad de relajar el problema, tales como: asumir que tanto los VEE como los usuarios son homogéneos, y el modelo propuesto es más aplicable para los días de trabajo [23].

Finalmente, en [24]–[25] se sugiere considerar, en el despliegue de ECP, la tecnología del vehículo (autonomía), tecnología de la estación de carga y el flujo vehicular en dependencia del área geográfica. Sin embargo, en el presente artículo prestaremos especial atención a las variables de flujo y distancias máximas habilitantes.

Cuando nos referimos a máximas distancias habilitantes se sugiere que para la selección del conjunto candidato de ECPs solo podrán ser tomadas en cuenta aquellas estaciones de carga vehicular que se encuentren dentro de la distancia máxima permitida habilitante.

Tabla 1. Características de los tipos de carga de baterías para VEE. Fuente [26], [27]

Tipos de carga batería	Voltaje (V)	Corriente (Amp)	Potencia (kW)	Tiempo (min)	% Recarga	Estándar IEC	Propiedad	Tipo de corriente
Lenta	230	16	4 - 8	300 - 480	100	–	Público Privado	AC
Semi rápida	400	32	22	69	50 – 80	61851	Público	AC
Rápida	500	63	50	30	50 – 80		Público	AC
Ultra rápida	600	250 - 400	350	10	50 – 80		Público	DC
Cambio de batería	–	–	–	2	100		Privado	AC – DC

Dicho de otra manera, las estaciones de carga candidatos que cumplan con el criterio de una longitud máxima habilitante, que les relacione entre sí podrán ser candidatos del vector solución. La solución final surgirá del vector proporcionado como solución del *software* LpSolve, mismo que, en función del máximo flujo permitido a una u otra estación de carga candidato seleccionará únicamente las ECPs idóneas que garanticen la máxima cobertura de carga eléctrica con el menor número de sitios candidatos a emplazar múltiples tecnologías de carga para VEEs.

2.1 Impactos por integración masiva de VEE

En este apartado se realizará un análisis sobre el impacto generado en las redes eléctricas de distribución debido a la penetración masiva de VEEs. En [26], [27] se puede apreciar, a breves rasgos, los diferentes tipos de carga y mediante la tabla 1 se hace una breve caracterización de ellas.

Los operadores del sistema garantizan la continuidad del suministro eléctrico al igual que su correcta coordinación en la producción y transporte de energía eléctrica. Otra temática de mucha importancia tiene que ver con la sostenibilidad del sistema, puesto que, la integración masiva de VEEs causaría un incremento significativo de demanda energética en redes eléctricas de distribución introduciendo perturbaciones al sistema, por lo tanto, se requiere de previos estudios que nos permitan integrar VEEs de forma ordenada y planificada garantizando alta calidad y seguridad de abastecimiento. Si analizamos a detalle, el comportamiento de la carga en función del tiempo, es variable, lo que, provoca que la curva de carga diaria de un día laborable sea distinta a

fin de semana y feriados, obteniendo como resultados picos altos de consumo en determinados periodos de tiempo. Por lo tanto, un aspecto fundamental para la penetración masiva de VEEs es la curva de operación en sus picos máximos y mínimos.

Esto genera que las centrales de generación estén dispuestas a producir y operar de forma variable adecuándose a los requerimientos del sistema eléctrico de potencia (SEP). Un criterio de gestión conveniente es la introducción de cargas en horas valle, las cuales, se dan en horas de la noche; con esto se consigue aplanar la curva de la demanda proporcionando una ventaja importante para la introducción de VEEs. Se debe tener presente que la carga es uno de los factores más importantes sobre el cual se decide la introducción de nuevas unidades de generación. Por lo tanto, mantener el equilibrio entre lo generado y consumido garantiza el correcto funcionamiento del sistema y contribuye a reducir al máximo el índice de energía no suministrada.

En los últimos años la penetración de energía renovable ha generado aportes significativos de potencia al sistema eléctrico convencional. En trabajos previos [28]-[30] advertimos la importancia de adecuados sistemas de comunicación para que su operación con los sistemas convencionales sea óptima y segura, de tal manera que, se garantice la calidad y continuidad del servicio eléctrico desde la empresa distribuidora hacia los consumidores finales.

Por lo tanto, para la integración de VEEs es de vital importancia garantizar el fortalecimiento de los sistemas de transporte de la energía. Consecuentemente, los impactos de los VEEs en las redes eléctricas de distribución dependen directamente de: i) factores de

simultaneidad y ii) la tecnología de las baterías que están estrechamente relacionados con el tiempo y tipo de carga. Si nos fijamos a detalle en la tabla 1, podemos verificar que a medida que se reduce el tiempo de carga, que es un factor decisivo en procesos de aceptación pública, aumenta la corriente reduciendo el porcentaje del nivel de carga a excepción de la opción del cambio de batería. Por lo tanto, en función de la tecnología de las ECPs es más o menos complejo el impacto en redes convencionales de distribución eléctrica. Sin embargo, la aceptación pública demanda VEEs que garanticen la disponibilidad operativa permanente, de no ser así, la inclusión de esta nueva era de movilidad se verá comprometida y sujeta a rechazos por parte de los usuarios terminales. De ahí la importancia del presente artículo, es fundamental garantizar un óptimo emplazamiento de estaciones de carga que, al relacionarse entre sí, formarán IECP advirtiendo considerar como fundamental la integración de múltiples instalaciones para recarga de VEEs como se sugiere en la tabla 1.

3. Metodología y formulación del problema

La presente investigación es de categoría básica debido a su naturaleza experimental empleando procesos de simulación. Tiene un enfoque cuantitativo, puesto que, se busca determinar el mínimo número de estaciones de carga pública requerida para IECP que garanticen la operatividad de vehículos eléctricos enchufables, minimizando impactos económicos y social debido a las distancias máximas permitidas por alcance que ofrecerá cada vehículo eléctrico. Para ello, el modelo propone un proceso exploratorio, en el cual, se aplica procesos iterativos proporcionando información útil para decidir sobre un conjunto resultante óptimo. Finalmente, al ser exploratorio, el modelo sugiere analizar diferentes casos de estudio.

Por lo tanto, la metodología propuesta en el presente artículo advierte la necesidad de generar un algoritmo iterativo sujeto a condiciones iniciales mediante la observación de restricciones particulares en cada caso de estudio, dando origen así, a procesos heurísticos como medio para la búsqueda de la solución óptima al problema exploratorio que tiene como fin último lograr emplazar el mínimo número de estaciones de carga pública requerida para la adecuada operatividad por inserción masiva de vehículos eléctricos en zonas urbanas y rurales.

A continuación, presentamos la descripción formal del problema que se pretende resolver. La heurística

propuesta empleará dos algoritmos que se encargarán de determinar la ubicación y el número óptimo de ECP y de determinar la mínima ruta que permita interconectarlos entre sí. Se advierte que dicha ruta de mínima podrá ser útil para el tendido eléctrico y tendido de fibra óptica logrando con ello determinar con exactitud los materiales y dispositivos requeridos para montar la IECP capaz de garantizar la operatividad inteligente masiva de vehículos eléctricos enchufables.

Tabla 2. Notaciones y variables

Nomenclatura	Descripción
X_{ij}	Coordenadas de sitios candidatos
$A_{(n)}$	Área de estudio
n	Número de ECP emplazadas en áreas públicas
δ	Distancia máxima habilitante
α	Vector flujo
ψ	Malla habilitante
$flag$	Número binario de verificación
Δ_{int}	Vector temporal de intersección vial
Δ_p	Opciones de búsqueda en cada intersección
β	Vector de EC exploradas
Δ_{dv}	Distancias de verificación
ξ	Vector de EC seleccionados
d_f	Distancia total de vía habilitada
σ	Vector solución

Existe n estaciones de carga X distribuidas en lugares de acceso público dentro de un área A , A_n . Con el Algoritmo 1, Mínimo Emplazamiento de Estaciones de Carga Geolocalizadas (MEECG), se ejecuta un proceso de búsqueda, de tal manera que, se pueda establecer la relación existente entre cada ECP observando restricción de distancia máxima habilitante δ . Una vez establecida dicha relación se da origen a la formación de una malla habilitante ψ , con la cual, se procederá a insertar los pesos del flujo α en cada opción habilitada desde una ECP X_i a una X_j . El algoritmo 2, Búsqueda de Camino Restringido (BCR), es un método con el cual se hace posible buscar todas las opciones posibles en una intersección Δ_p verificando constantemente los valores de δ hasta encontrar al menos una ECP disponible. Este

proceso se ejecuta para cada sitio candidato, obteniendo un vector solución ξ por cada caso. Finalmente, mediante la tabla 2 presentamos un resumen de las variables usadas en el artículo propuesto.

Algoritmo 1. MEECG – Mínimo Emplazamiento de Estaciones de Carga Geolocalizadas

Paso 1: Variables

$$X_{ij}, Z_{ij}, \delta, \alpha$$

Paso 2: Leer OSM

openstreetmap

Paso 3: Mínima distancia habilitante

For $k \leftarrow$ longitud (X_{ij})

$$[\sigma_k] = \text{BCR}(\delta, X_{ij})$$

endfor

Paso 4: Escritura Función Objetivo

Paso 5: Escritura Restricciones

Paso 6: LpSolve

Algoritmo 2. BCR - Búsqueda de Camino Restringido: recibe (δ, X_{ij})

Paso 1: Variables

$$\Delta_{int}, \delta, X_{ij}, \beta, \xi$$

Paso 2: Encontrar Ruta

while flag == 1

$$\Delta_{dv} = \text{haversine}(X_{ij})$$

$\Delta_p \leftarrow$ Opciones de búsqueda en cada intersección

$$\Delta_{dv} = \Delta_{dv} + \Delta_{dv}$$

$$\xi = \text{encontrar_rutas}(\beta, \Delta_p)$$

$$d_f = \text{haversine}(\xi)$$

$$\sigma = [\xi \ d_f]$$

if $\Delta_{dv} \geq \delta$

flag = 0; retorna(σ)

endif

endwhile

Con la ecuación 1 se presenta la función objetivo del problema. Donde, σ_{ij} corresponde a la relación existente desde una ECP X_i hacia una X_j , mismas que, al multiplicarle por un vector de pesos (costos) α el modelo buscará identificar el mínimo número de ECPs que

garanticen el máximo flujo vehicular considerando la capacidad de las vías y que la cantidad de vehículos eléctricos enchufables que entran son los mismos que salen de cada estación de carga.

Para ello, un concepto fundamental es la distribución uniforme de ECP en el área de estudio. Por lo tanto, mediante la distribución uniforme de ECPs se buscará mitigar el posible tráfico generado al tener un alto índice de coincidencia de carga de vehículos. Con la ecuación 2 se garantiza la pertenencia de los sitios candidatos al área sujeta a estudio y se advierte que para poder encontrar relaciones entre ECPs se debe emplazar más de un sitio candidato.

$$\min \sum_{i,j}^n \sigma_{ij} * \alpha \quad (1)$$

Sujeto a:

$$X_{ij} \in A_{(n)}, \forall n > 1 \in \mathfrak{R}^+ \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{i,j} \leq \alpha_{i,j}, \forall n \in \mathfrak{R}^+ \neq 0 \quad (3)$$

$$d_f \leq \delta, \forall d_f, \delta \in \mathfrak{R}^+ \neq 0 \quad (4)$$

$$d = 2R \operatorname{asin} \sqrt{\begin{matrix} \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) \\ + \cos(lat1) \cos(lat2) \\ + \sin^2\left(\frac{\Delta lon}{2}\right) \end{matrix}} \quad (5)$$

Mediante la ecuación 3 se expresa que la sumatoria del flujo acumulado de cada relación entre ECPs debe ser menor o igual a los flujos considerados para la optimización y sobre los cuales se obtendrá el vector resultante σ . Con la ecuación 4 se advierte que la distancia final habilitante debe ser exclusivamente igual o menor a la distancia habilitante δ . Adicionalmente, con la ecuación 5 se establece las condiciones necesarias para reducir la distancia máxima de alcance que un operador de un VEE deberá conducir hasta encontrar un punto de carga. Finalmente, con la ecuación 5 se calcula la distancia de *haversine*. Donde d es la distancia en kilómetros de una ECP X_i a X_j , lat y lon representan la latitud y longitud respectivamente, $lat1$ y $lon1$ son las coordenadas de un sitio candidato inicial y $lat2$, $lon2$ corresponden a las coordenadas de un sitio candidato final, Δlat es la diferencia entre las coordenadas de latitud del punto i y Δlon es la diferencia entre las

longitudes del punto j y, finalmente R es el radio de la tierra, con un valor de 6372.7955 km.

4. Análisis de resultados

En esta sección se presenta los resultados obtenidos de las simulaciones ejecutadas bajo las consideraciones expuestas en la tabla 3. En la figura 2 se puede apreciar el rendimiento del algoritmo en función de la variación de la longitud máxima habilitante permitida para seleccionar al potencial vector solución resultante. Este vector solución contendrá las posiciones en latitud y longitud de cada ECP candidato; esta distancia máxima habilitante es verificada mediante el *software Matlab* aplicando la ecuación 5 y establece la relación entre todos aquellos sitios candidatos que cumplen el criterio de distancia, cuya longitud sea menor o igual a δ . En la figura 2a, la métrica de color azul, representa el número de enlaces entre aquellos sitios candidatos para emplazar estaciones de carga que alcanzaron a satisfacer la restricción de distancia habilitante, los cuales, mediante la función objetivo seleccionará el vector óptimo maximizando el flujo vehicular bajo distribuciones uniformes geolocalizadas de las ECP. Entiéndase por flujo la cantidad de vehículos, en circulación bidireccional, sobre la vía pública. En este sentido, se maximiza el flujo vehicular reduciendo al máximo la necesidad de emplazar ECP.

Además, se puede verificar que existe una mínima longitud que permitirá al modelo poder establecer.

Tabla 3. Parámetros de simulación

Despliegue	Densidad de ECP	105 ECP/ km^2
	Área de estudio	0.124 km^2
	Área geográfica	Urbano
	Ubicación de ECP	Georreferenciado
Aplicación	Distancia habilitante	Variable km^2
	Pesos por flujo	Variable
	Tipo de carga	AC – DC
	Niveles de voltaje	230, 400, 500 y 600 V

relaciones longitudinales entre cada sitio candidato, es decir, no puede existir longitudes inferiores, que para el caso es de 0.165 km, puesto que, no existirá la posibilidad

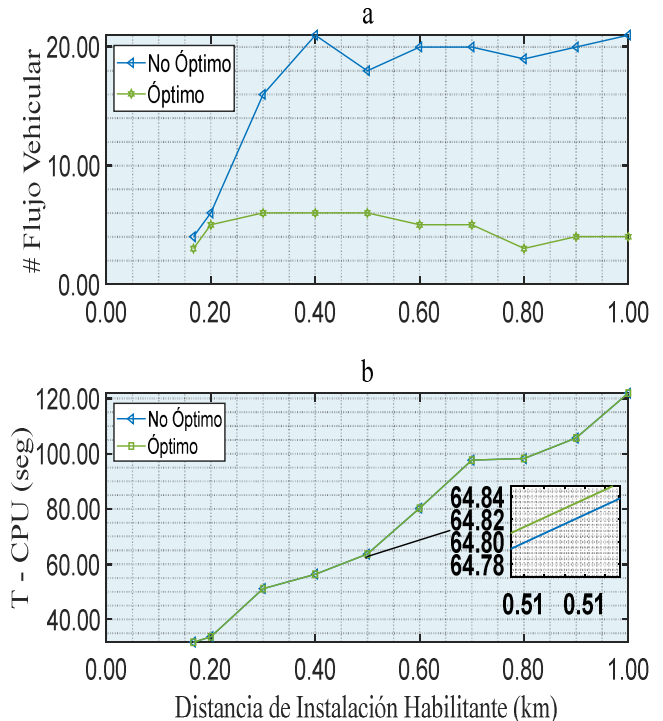


Figura 2. a) Número de rutas habilitadas en función de la distancia habilitante y b) tiempo de máquina (CPU - time) empleado para encontrar la solución en función de la distancia. Fuente Autor.

de relacionar las ECP entre si anulando la posibilidad de encontrar un *mesh* pre-factible. Es de mucha importancia citar que, el *mesh* factible se lo consigue con el cúmulo de distancias medidas por las rutas de las vías que asocian a cada ECP durante la exploración.

Las distancias son calculadas mediante la ecuación de *haversine* (ver ecuación 5) considerando latitud y longitud de las posiciones individuales de cada ECP, arrojando como resultado longitudes reales en kilómetros. Además, en la figura 2a se puede apreciar que de 0.165 a 0.4 km existe un incremento considerable de enlaces geolocalizadas que relacionan al conjunto candidato inicial de ECPs. En consecuencia, inicialmente se selecciona sitios candidatos, posteriormente, mediante el *software Matlab*, se establece la relación entre cada ECP observando la restricción máxima distancia habilitante y finalmente aquellos nodos habilitados como posibles soluciones son ingresados en el *software LpSolve* con sus respectivos pesos de flujos de enlace, otorgándonos como resultado la línea de color verde (ver figura 2); esta métrica representa el conjunto solución en función de la variación de la distancia habilitante y, es notorio que, se ha logrado prescindir de relaciones con

algunas ECPs innecesarias. Estas relaciones son proporcionales al número de ECPs a emplazarse.

Adicionalmente, a medida que la distancia se acerca a un máximo, se reduce el número de relaciones reduciendo paralelamente la necesidad de emplazar ECPs en el área de análisis. Finalmente, mediante la figura 2b se vislumbra que a medida que aumenta la restricción de distancia habilitante aumenta proporcionalmente el tiempo en el que el ordenador logra encontrar una solución, esto sucede porque a medida que aumenta las distancias el número de exploraciones también lo hace, permitiéndonos así, aumentar el número de exploraciones que deberá ejecutar el algoritmo. La diferencia entre la tendencia no óptima y óptima (ver figura 2b) representa el tiempo de máquina empleado por el *software LpSolve* para encontrar la solución óptima.

La solución proporcionada por dicho *software* se lo lleva nuevamente al entorno de Matlab con la finalidad de reconstruir, en el mapa georreferenciado, la solución proporcionada por el optimizador.

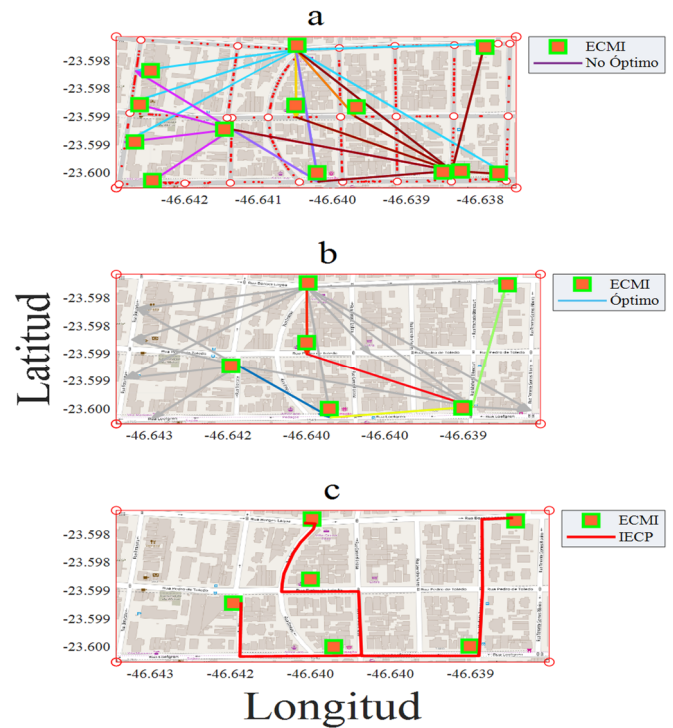


Figura 4. a) rutas alcanzadas bajo restricción de distancia de habilitación 0.6 km, b) rutas cercanas al óptimo y c) vía habilitada. Fuente Autor.

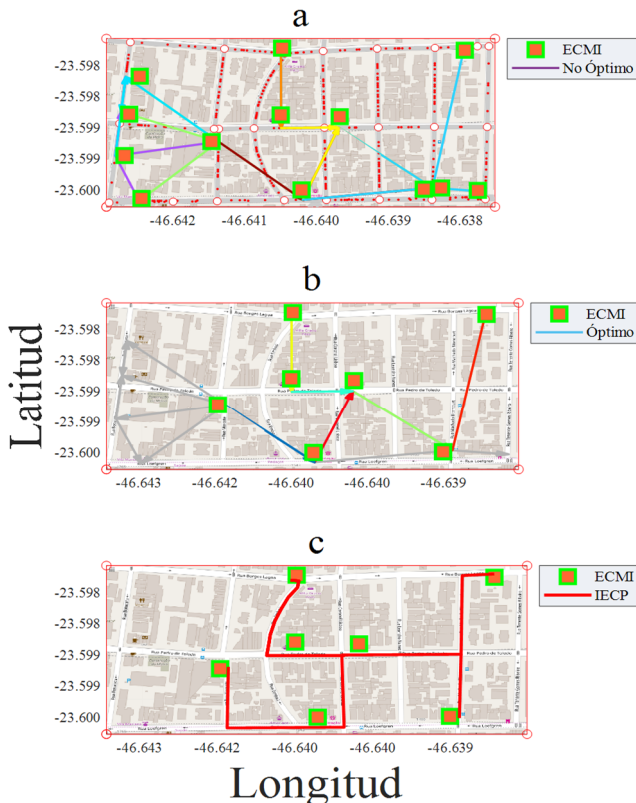


Figura 3. a) rutas alcanzadas bajo restricción de distancia de habilitación 0.4 km, b) rutas cercanas al óptimo y c) vía habilitada. Fuente Autor.

A continuación, presentamos las soluciones gráficas en función de la variación de la longitud habilitante considerando flujo vehicular. Es muy importante mencionar que las figuras 3, 4, 5 y 6 en sus tres casos de estudio (a, b y c) expresan la variación topológica que experimenta el emplazamiento de las ECPs a medida que varía la longitud habilitante, además, se fija (vector de pesos único en cada análisis) la tasa de flujo para todos los casos.

En las figuras 3a, 4a, 5a y 6a se presenta los escenarios alcanzados, en el que el *software Matlab*, encuentra las relaciones y direcciones habilitadas que potencialmente podrán formar parte del vector solución definitivo, el cual, será determinado por el *software LpSolve* observando los pesos de cada flujo. De la misma manera, las figuras 3b, 4b, 5b y 6b representan al conjunto solución definitivo obtenido por el solver de optimización. Es de mucha importancia citar que en estos casos (3b, 4b, 5b y 6b) las flechas representan las direcciones de los flujos necesarios, por lo que, de ahí no se puede obtener las distancias reales que un operador de VEEs debe desplazarse hasta alcanzar un punto de carga.

Tabla 2. Caracterización del comportamiento del modelo propuesto. Fuente Autor

Escenario	# ECP Emplazados	Distancia habilitante (km)	# ECP Activos	% ECP requeridas del número total desplegado	Distancia Promedio (km)
1	13	0.165	5	38.46	0.0408
2		0.2	8	61.54	0.0645
3		0.3	7	53.85	0.1356
4		0.4	7	53.85	0.1356
5		0.5	7	53.85	0.1356
6		0.6	6	46.15	0.1587
7		0.7	6	46.15	0.1587
8		0.8	4	30.78	0.1536
9		0.9	5	38.46	0.1943
10		1	5	38.46	0.1943

Finalmente, en las figuras 3c, 4c, 5c y 6c se presenta, a más de los sitios óptimos observando restricciones para el emplazamiento de las EC, las rutas mínimas por las que el operador del vehículo podría optar para su desplazamiento. Adicionalmente, al ser una ruta de costo mínimo se podría aprovechar para la inclusión de la ruta del tendido eléctrico, el cual, puede ser soterrado y a su vez se podría considerar el tendido de fibra óptica, formando así IECP inteligentes; recordemos que a mayor adquisición de datos o información de cualquiera que sea la infraestructura, mejor gestión podemos ejercer sobre el mismo, logrando predecir comportamientos en función de patrones de comportamiento de la infraestructura.

Otro dato de interés que se puede apreciar es que a medida que aumenta la restricción δ , la distribución de las EC, tienden a distribuirse de manera uniforme en el área ensayada y el número requerido de ECPs se reduce; esto se debe ya que existe relación directa con la distancia de alcance del vehículo eléctrico, es decir, a mayor libertad de desplazamiento mayor será las longitudes promedio a las que se debe emplazar las ECPs, de tal manera que minimice el impacto social (ansiedad) por alcance que puede generar en el conductor. De la misma manera, las figuras 3, 4, 5 y 6 sugieren que, si las distancias de alcance de los vehículos son reducidas, se debe emplazar un mayor número de ECPs.

Por lo tanto, estas métricas desvelan la importancia y el papel fundamental que juega el diseño de las baterías, puesto que son las responsables de la autonomía de los VEEs. Paralelamente a nivel social, el modelo presentado se configura como un elemento importante para incentivar a los potenciales consumidores para la adquisición de estas nuevas alternativas de movilidad,

puesto que, mediante esta investigación se puede satisfacer de cobertura de recarga vehicular mediante el uso de múltiples instalaciones de carga, las mismas que, se ajustan a las necesidades variantes de los operadores de los VEEs.

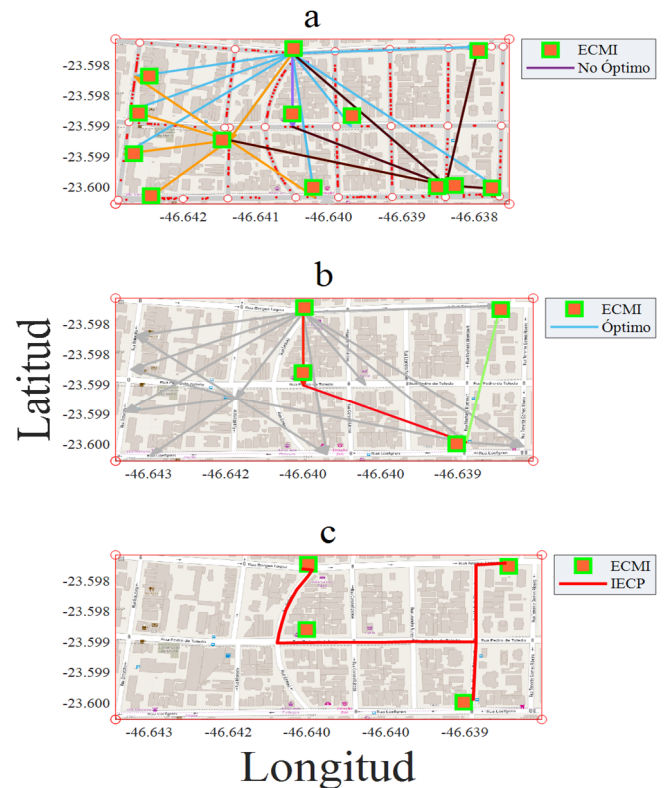


Figura 5. a) rutas alcanzadas bajo restricción de distancia de habilitación 0.8 km, b) rutas cercanas al óptimo y c) vía habilitada. Fuente Autor.

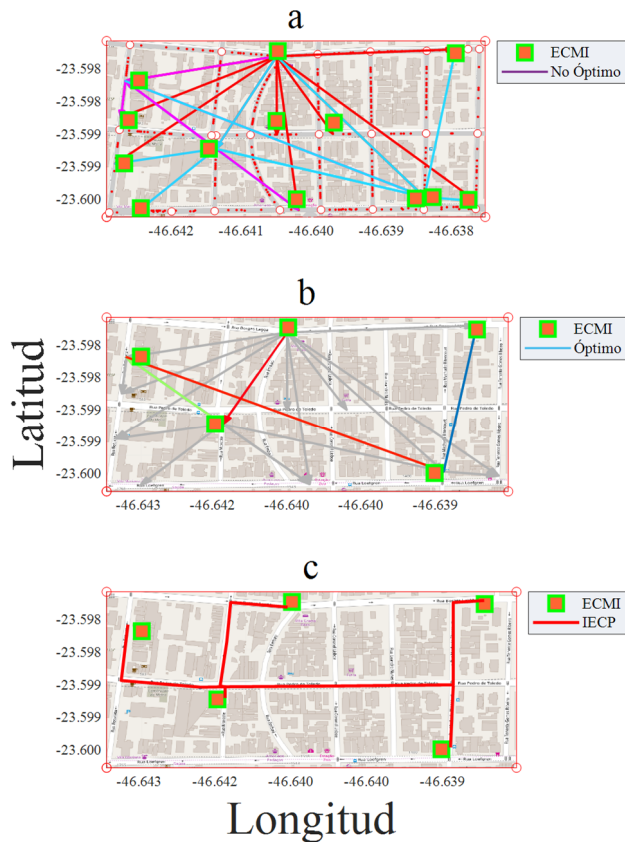


Figura 6. a) rutas alcanzadas bajo restricción de distancia de habilitación 1 km, b) rutas cercanas al óptimo y c) vía habilitada. Fuente Autor.

Mediante la tabla 4 se evalúa la capacidad del algoritmo para generar escenarios sujetos a condiciones iniciales que nos permita evaluar el comportamiento de la IIECP. Se han ensayado 10 casos diferentes fijando el número de ECPs, así como también se fija los pesos del flujo que relaciona a todas las ECPs entre sí. El número de ECPs activos (que son parte del conjunto solución) son notablemente inferiores al número de sitios candidatos emplazados como condición inicial. Por lo tanto, mediante la heurística propuesta se ha logrado reducir la necesidad de emplazar ECPs observando restricciones de distancias habilitantes y flujo vehicular. En la columna 5 de la tabla 4 se pone de manifiesto el porcentaje máximo necesario para emplazar y formar IIECPs en referencia al número de sitios candidatos desplegados inicialmente. Por lo tanto, es evidente la capacidad del modelo propuesto para seleccionar el conjunto solución idóneo de un subconjunto de sitios candidatos distribuidos en el área de estudio.

Finalmente, en la columna 6 se presenta la distancia promedio en el que un VEE deberá desplazarse en función de su autonomía hasta encontrar una ECP disponible.

Por lo tanto, queda demostrado la potencialidad del modelo propuesto y su flexibilidad ante la generación de casos de estudio variando parámetros iniciales reales tales como: i) distancia máxima habilitante y ii) tasas de flujo. Adicionalmente, empleando los *softwares Matlab* y *LpSolve* hemos logrado alcanzar el objetivo planteado en la presente investigación.

5. Conclusiones

Con la presente investigación se ha demostrado que mediante una adecuada planificación y la observación de restricciones puntuales se puede ensayar el despliegue de centros de carga, de tal manera que, se logre no solo ubicar en posiciones óptimas, sino que, permita dimensionar su capacidad y el número mínimo a desplegarse en función del flujo que deberá atender cada estación de carga. Otras variables de suma importancia a ser considerado es el análisis de las diferentes tecnologías de carga disponibles para el emplazamiento óptimo de las ECP, puesto que, las IIECP comprometen al sistema eléctrico tradicional debido a la magnitud de energía demandada en intervalos relativamente pequeños durante el periodo de recarga.

En futuros trabajos se evaluará la topología resultante, empleando estudios probabilísticos y teoría de colas para lograr determinar la capacidad y tipos de terminales de carga a emplazarse en cada ECP, con la finalidad de reducir al máximo el tiempo de estacionamiento del VEE.

6. Agradecimiento

Este trabajo ha sido producido gracias al apoyo de GIREI - Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes de la Universidad Politécnica Salesiana Ecuador, bajo el proyecto Despliegue óptimo de electrolineras basado en flujo vehicular requerido para ciudades inteligentes.

7. Referencias

- [1] M. M. Islam, H. Shareef, and A. Mohamed, "Optimal siting and sizing of rapid charging station for electric vehicles considering Bangi city road network in Malaysia," *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 24, no. 5, pp. 3933–3948, 2016.
- [2] S. Guo and H. Zhao, "Optimal site selection of electric vehicle charging station by using fuzzy TOPSIS based on

- sustainability perspective,” *Appl. Energy*, vol. 158, pp. 390–402, 2015.
- [3] Z. H. Zhu, Z. Y. Gao, J. F. Zheng, and H. M. Du, “Charging station location problem of plug-in electric vehicles,” *J. Transp. Geogr.*, vol. 52, pp. 11–22, 2016.
- [4] Z. Lu, Tianqi; Ma, Qiang; Gu, “EV Charging Station Placement Considering Traffic Flow,” 2016, no. Icimm, pp. 186–192.
- [5] T. Chen, K. Kockelman, and M. Khan, “Locating Electric Vehicle Charging Stations,” *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2385, no. December 2013, pp. 28–36, 2013.
- [6] M. C. Catalbas, M. Yildirim, A. Gulen, and H. Kurum, “Estimation of optimal locations for electric vehicle charging stations,” *Conf. Proc. - 2017 17th IEEE Int. Conf. Environ. Electr. Eng. 2017 1st IEEE Ind. Commer. Power Syst. Eur. EEEIC / I CPS Eur. 2017*, pp. 1–4, 2017.
- [7] C. Lee and J. Han, “Benders-and-Price approach for electric vehicle charging station location problem under probabilistic travel range,” *Transp. Res. Part B Methodol.*, vol. 106, no. November, pp. 130–152, 2017.
- [8] C. Kong, R. Jovanovic, I. S. Bayram, and M. Devetsikiotis, “A hierarchical optimization model for a network of electric vehicle charging stations,” *Energies*, vol. 10, no. 5, pp. 1–20, 2017.
- [9] M. M. Islam, A. Mohamed, and H. Shareef, “Optimal allocation of rapid charging stations for electric vehicles,” *2015 IEEE Student Conf. Res. Dev. SCOReD 2015*, no. March 2017, pp. 378–383, 2015.
- [10] S. Hosseini and M. D. Sarder, “Development of a Bayesian network model for optimal site selection of electric vehicle charging station,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 105, no. April 2018, pp. 110–122, 2019.
- [11] Y. Yan, J. Jiang, W. Zhang, M. Huang, Q. Chen, and H. Wang, “Research on Power Demand Suppression Based on Charging Optimization and BESS Configuration for Fast-Charging Stations in Beijing,” *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 8, p. 1212, 2018.
- [12] C. C. Lin, D. J. Deng, C. C. Kuo, and Y. L. Liang, “Optimal Charging Control of Energy Storage and Electric Vehicle of an Individual in the Internet of Energy With Energy Trading,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 14, no. 6, pp. 2570–2578, 2018.
- [13] J. Hu, H. Morais, T. Sousa, and M. Lind, “Electric vehicle fleet management in smart grids: A review of services, optimization and control aspects,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 56, pp. 1207–1226, 2016.
- [14] Q. Zhang, W. Xu, W. Liang, J. Peng, T. Liu, and T. Wang, “An improved algorithm for dispatching the minimum number of electric charging vehicles for wireless sensor networks,” *Wirel. Networks*, no. May, 2018.
- [15] N. Leeprechanon, P. Phonrattanasak, and M. K. Sharma, “Optimal planning of public fast charging station on residential power distribution system,” *2016 IEEE Transp. Electr. Conf. Expo, Asia-Pacific, ITEC Asia-Pacific 2016*, no. November 2017, pp. 519–524, 2016.
- [16] H. Zhang, Z. Hu, Z. Xu, and Y. Song, “An Integrated Planning Framework for Different Types of PEV Charging Facilities in Urban Area,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, no. 5, pp. 2273–2284, 2016.
- [17] L. Gong, Y. Fu, and Z. Li, “Integrated planning of BEV public fast-charging stations,” *Electr. J.*, vol. 29, no. 10, pp. 62–77, 2016.
- [18] H. Zheng and S. Peeta, “Routing and charging locations for electric vehicles for intercity trips,” *Transp. Plan. Technol.*, vol. 40, no. 4, pp. 393–419, 2017.
- [19] X. Wang, C. Yuen, N. U. Hassan, N. An, and W. Wu, “Electric Vehicle Charging Station Placement for Urban Public Bus Systems,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 18, no. 1, pp. 128–139, 2017.
- [20] M. Akbari, M. Brenna, and M. Longo, “Optimal locating of electric vehicle charging stations by application of Genetic Algorithm,” *Sustain.*, vol. 10, no. 4, 2018.
- [21] C. Luo, Y. F. Huang, and V. Gupta, “Placement of EV Charging Stations-Balancing Benefits among Multiple Entities,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 8, no. 2, pp. 759–768, 2017.
- [22] B. Do Chung, S. Park, and C. Kwon, “Equitable distribution of recharging stations for electric vehicles,” *Socioecon. Plann. Sci.*, vol. 63, pp. 1–11, 2018.
- [23] J. Yang, L. He, and S. Fu, “An improved PSO-based charging strategy of electric vehicles in electrical distribution grid,” *Appl. Energy*, vol. 128, pp. 82–92, 2014.
- [24] H. Zang *et al.*, “Bi-Level Planning Model of Charging Stations Considering the Coupling Relationship between Charging Stations and Travel Route,” *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 7, p. 1130, 2018.
- [25] H. Sun, J. Yang, and C. Yang, “A robust optimization approach to multi-interval location-inventory and recharging planning for electric vehicles,” *Omega (United Kingdom)*, vol. 0, pp. 1–17, 2018.
- [26] G. Cuesta Capellan, “Caracterización del tren de potencia de un vehículo eléctrico de categoría L7 tipo Smart.” ETSEIB, Barcelona, 2017.
- [27] A. Martín Pérez, “Guía del Vehículo Eléctrico,” *Fund. la Energía la Comunidad Madrid. Conserjería Econ. y Hacienda la Comunidad Madrid, Espana.*, pp. 70–95, 2009.
- [28] E. Inga, M. Campaña, R. Hincapié, and O. Moscoso-Zea, “Optimal deployment of FiWi networks using heuristic method for integration microgrids with smart metering,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 8, Aug. 2018.
- [29] M. Campaña, E. Inga, and R. Hincapié, “Optimal placement of universal data aggregation points for smart electric metering based on hybrid wireless,” in *CEUR Workshop Proceedings*, 2017, vol. 1950, pp. 6–9.
- [30] E. Inga, M. Campana, R. Hincapie, and S. Cespedes, “Optimal placement of data aggregation points for smart metering using wireless heterogeneous networks,” *2018 IEEE Colomb. Conf. Commun. Comput. COLCOM 2018 - Proc.*, no. Mi, 2018.

Despliegue óptimo de redes ópticas para comunicaciones en redes eléctricas inteligentes

Optimal deployment of optical networks for smart grids communications

Milton Ruiz ^{1*}, Esteban Inga ²

^{1,2}Grupo de Investigación Redes Eléctricas Inteligentes, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

*Autor de correspondencia: mruizm@ups.edu.ec

RESUMEN– El presente artículo muestra el diseño óptimo de la red óptica de comunicaciones en redes eléctricas inteligentes. Para analizar el problema de cobertura se define cada una de las subestaciones con sus respectivas coordenadas georreferenciadas, por medio del algoritmo planteado es posible crear el árbol de mínima expansión que comunica a todos los actores del sector eléctrico. Se toma en cuenta una serie de restricciones, tales como rendimiento de cada etapa en términos de requisitos de tasa de bits de datos, potencia, tasa de bits errados (Bit Error Rate) y *jitter*. El objetivo es limitar las distancias entre las subestaciones con la finalidad de evitar equipos adicionales intermedios como los amplificadores de la señal óptica. Las fibras ópticas analizadas son tipo G.652, G.652b y G.655 implementada en el interior del cable de guarda OPGW desplegado sobre las torres de transmisión en el sistema eléctrico. Los parámetros que debe cumplir el diseño de la red de transporte óptico están sujetos al estándar ITU-T G.959.1 para aplicaciones multicanal de corta distancia.

Palabras clave– *Comunicaciones por fibra óptica, optimización, redes inteligentes, redes ópticas pasivas, WDM-PON.*

ABSTRACT–This paper presents the optimal design of an optical communications network in smart grids. To analyze the coverage problem, each substation must be defined with their respective georeferenced coordinates. A number of constraints are taken into account, such as performance of each stage in terms of data bit rate requirements, power, bit error rate (BER) and jitter. The purpose of this work is to limit the distances between the substations in order to avoid additional intermediate equipment such as optical signal amplifiers. The optical fibers analyzed are type G.652, G.652b and G.655 implemented inside the OPGW guard cable deployed on the transmission towers in the electrical system. The design of the optical transport network meets to the ITU-T G.959.1 standard for multi-channel short distance applications.

Keywords– *Fiber optics communications, optimization, smart grid, passive optical networks, WDM-PON.*

1. Introducción

La transformación de la red eléctrica actual, en una red inteligente dinámica, resistente y adaptable, es uno de los mayores desafíos tecnológicos a nivel mundial. Las nuevas redes eléctricas inteligentes permiten a los consumidores controlar el uso de la energía eléctrica, integra la próxima generación de vehículos eléctricos, aumentando la eficiencia y aprovechando mejor las energías renovables combinando el flujo de electricidad y de información de forma bidireccional. Por lo tanto, se debe aprovechar las capacidades informáticas modernas para procesar y transportar grandes volúmenes de información y por esta razón el dimensionamiento de las redes de comunicaciones es de suma importancia.

En la presente investigación se realiza el diseño óptimo de la red de comunicaciones por fibra óptica, utilizada como medio para la transmisión de información por las redes eléctricas inteligentes, tomando en cuenta las siguientes investigaciones.

En [1] se presenta los dispositivos implementados en los hogares inteligentes tomando en cuenta las tasas de transmisión y las tecnologías utilizadas. La investigación brinda un panorama de la data generada en los hogares inteligentes. La gran cantidad de datos debe ser almacenada, gestionada y posteriormente transportada hacia los sistemas de gestión utilizando diferentes medios de comunicación.

Las investigaciones [2][3], optimizan el uso de los canales de radio celular para la transmisión de datos desde los medidores inteligentes hacia las empresas eléctricas, permitiendo la gestión de energía en tiempo real.

En [4] se plantea la infraestructura de red de alta disponibilidad para comunicar a los diferentes actores de las redes eléctricas inteligentes. La investigación brinda un panorama de la topología de red desplegada para comunicaciones WAN en redes eléctricas inteligentes, pero no se describe las características del medio físico por el cual se transmiten los datos.

La literatura descrita en [5] se proporciona una descripción de las comunicaciones en redes eléctricas inteligentes. Se detallada las redes ópticas implementadas para comunicaciones WAN desplegadas por empresas públicas, usando cables tipo OPGW.

En [6] se plantean los beneficios de contar con sistemas de comunicaciones implementados en las redes de transporte de energía eléctrica, pero no se plantean las características de los tipos de fibras que se pueden desplegar.

En [7] se describen todos los sistemas y servicios que brinda la red eléctrica inteligente y, características como tasas de transmisión, latencias y payload necesarios para gestión de energía en tiempo real.

En [8] se presenta el diseño de redes WDM-PON, basado en el árbol de expansión mínima apoyándose en la triangulación Delaunay. Este trabajo brinda una primera perspectiva de optimización mediante la creación de clúster, utilizando nodos distribuidos aleatoriamente no georreferenciados.

En [9] se presenta un algoritmo de optimización para el despliegue de redes PON aplicado a ciudades reales con datos de OpenStreetMap tomando en cuenta edificaciones, distancias y números de usuarios.

Los sistemas de comunicación por fibra óptica permiten el transporte de información a través de largas distancias con altas velocidades para aplicaciones fiables, seguras, eficientes y con altos niveles de disponibilidad.

Los factores que se analizan en comunicaciones por fibra óptica desplegados en cables de guarda en redes eléctricas son: capacidad, atenuación, interferencia, seguridad y costos los mismos se presentan en [10].

La arquitectura de comunicaciones totalmente distribuida en redes eléctricas inteligentes, presentan múltiples sistemas distribuidos de gestión (Distribution Management System) desplegados a nivel nacional. Cada DMS se encarga del almacenamiento y procesamiento de la información proporcionada por los diferentes gestores de la red eléctrica inteligente. Al implementar arquitecturas distribuidas, se optimiza el ancho de banda en las comunicaciones, reduciendo la cantidad de datos a transmitir en su centro de control, debido a que la información que se transmite por cada región son datos depurados que han sido procesados por cada uno de los DMS, ya que solo una pequeña parte de los datos son necesarios para los servicios de operación y gestión.

Por ejemplo, el servicio de gestión de apagones (Outage Management Systems), solo necesita obtener datos de calidad de la energía en situaciones normales.

La figura 1 presenta la red de gestión de información

totalmente distribuida con el despliegue de la red de fibra óptica desde el centro de gestión principal hasta los nodos sucursales.

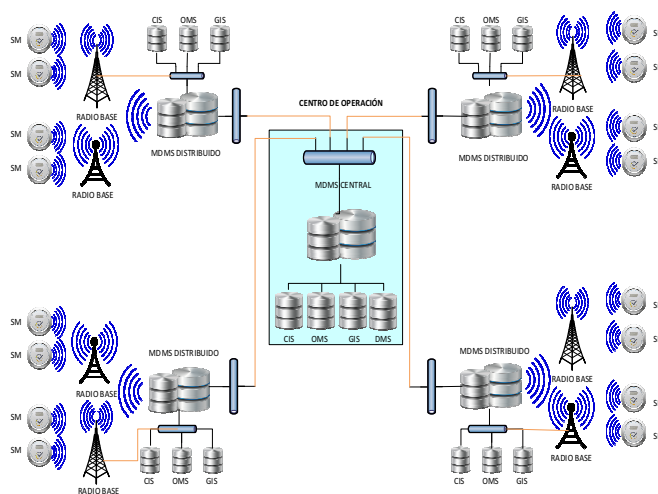


Figura 1. DMS totalmente distribuido.

El diseño se basa en el despliegue de centros de gestión locales, por ejemplo, los datos de lecturas de los medidores inteligentes que son almacenadas y procesadas por sus empresas de distribución. Una vez procesados los datos, son enviados al sistema de gestión central que es el centro nacional de control de energía.

2. Diseño de red óptica

El diseño de la red óptica debe ser modelado en base a los tipos de fibras ópticas que se encuentran en los cables OPGW, los mismos que son desplegados por las redes de transmisión eléctrica como cable de guarda, las distancias entre las subestaciones eléctricas dependen de la ubicación geográfica de cada una. Las fibras ópticas más utilizados, son tipo G.652, G.652b y G.655. El cable óptico implementado es tipo ADSS y el cable de guarda es de tipo OPWG[10].

Los fenómenos físicos de degradación de las señales ópticas a tomar en cuenta en el diseño de la red óptica son, dispersión, atenuación, efectos Kerr y efectos Scattering. Los parámetros que deben cumplir la red de transporte óptico están sujetos al estándar ITU-T G.959.1 para aplicaciones multicanal de corta distancia con señal NRZ 10G para fibras tipo G.652 y G.655.

ITU-T G.959.1 establece que en la práctica a 1550 nm vanos de 40 km presentan una atenuación de 11 dB, vanos de 80 km presentan una atenuación de 22 dB. A 1310 nm vanos de 20 km presentan una atenuación de 11 dB y vanos de 40 km presentan una atenuación de 22 dB.

La tabla 1 presenta los parámetros que debe cumplir la

red de transporte óptico, bajo el estándar ITU-T G.959.1 para aplicaciones multicanal de larga distancia hacia fibras tipo G.652 y G.655.

Tabla 1. Parámetros de la red de transporte óptico larga distancia a 10 Gbps [11]

Parámetro	Unidad	Valores
Información general		
Máximo número de canales	--	16
Velocidad binaria codificación de línea	--	NRZ 10G
Máxima tasa de errores	--	10^{-12}
Tipo de fibra	--	G.652 – G.655
Interfaz en el punto MPI-SM		
Máxima potencia media de salida	dBm	+5
Mínima potencia media de salida	dBm	0
Máxima potencia media total de salida	dBm	+17
Frecuencia central	THz	192,1 + 0,2 m m = 0 a 15
Separación de canales	GHz	200
Trayecto óptico del punto MPI-SM al MPI-RM		
Atenuación máxima	dB	22
Atenuación mínima	dB	11
Máxima dispersión cromática	ps/nm	1600 G.652 840 G.655
Interfaz en el punto MPI-RM		
Máxima potencia media de entrada	dBm	-6
Mínima potencia media de entrada	dBm	-22
Máxima potencia media de total	dBm	+6

La tabla 2 presenta los parámetros que debe cumplir la red de transporte óptico bajo el estándar ITU-T G.959.1 para aplicaciones multicanal de corta distancia hacia fibras tipo G.652 y G.655.

Tabla 2. Parámetros de la red de transporte óptico corta distancia a 10 Gbps. [11]

Parámetro	Unidad	Valores
Información general		
Máximo número de canales	--	16
Velocidad binaria codificación de línea	--	NRZ 10G
Máxima tasa de errores bits	--	10^{-12}
Tipo de fibra	--	G.652 – G.655

Interfaz en el punto MPI-SM		
Máxima potencia media de salida	dBm	+3
Mínima potencia media de salida	dBm	0
Máxima potencia media total de salida	dBm	+15
Frecuencia central	THz	192,1 + 0,2 m m = 0 a 15
Separación de canales	GHz	200
Trayecto óptico del punto MPI-SM al MPI-RM		
Atenuación máxima	dB	11
Atenuación mínima	dB	0
Máxima dispersión cromática	ps/nm	800 G.652 420 G.655
Interfaz en el punto MPI-RM		
Máxima potencia media de entrada	dBm	+3
Mínima potencia media de entrada	dBm	-11
Máxima potencia media de total	dBm	+15

La ecuación 1 permite calcular el presupuesto de potencias.

$$P_T - \alpha_c \times N - \alpha \times D - \alpha_e \times N_e - M_c - M_e \geq P_R \quad (1)$$

La ecuación 2 permite realizar el cálculo del ancho de banda tomando en cuenta la distancia, coeficiente de dispersión y ancho espectral del láser.

$$AB = \frac{0.5}{D \times W_c \times \Delta\lambda} \quad (2)$$

La ecuación 3 permite determinar la capacidad del canal utilizando el teorema de Nyquist para un canal ideal.

$$C = 2 \times AB \times \log_2 n \quad (3)$$

Donde:

N_e : Número de empalmes

AB : Ancho de Banda [Hz]

C : Capacidad del canal [Mbps]

α_c : Atenuación Conectores [dB]

n : Número de niveles de la señal

α_e : Atenuación de empalmes [dB]

D : Longitud de la fibra óptica [km]

P_T : Potencia de Transmisión [dBm]

- $\Delta\lambda$: Ancho espectral del láser 1 a 5 [nm]
- P_R : Potencia de recepción Mínima [dBm]
- M_c : Margen de seguridad de la fibra óptica [dB]
- α : Atenuación de longitud de fibra óptica [dB/km]
- M_e : Margen de interfaz óptico de transmisión [dB]
- N : Número de conectores del enlace
- W_C : Coeficiente dispersión cromática [ps/km-nm]

El problema a resolver es la comunicación entre todos los actores del sector eléctrico desplegados en una región y el centro nacional de control de energía. La figura 2 muestra en cuadrados la ubicación de cada una de las subestaciones eléctricas o las centrales de generación. El centro de control es representado por una estrella inscrita en un cuadrado.



Figura 2. Sector eléctrico.

El algoritmo 1 comprende la ejecución de los siguientes pasos: Paso 1: Adquirir datos desde un sistema de información geográfica GIS. Paso 2: Calcular distancias entre subestaciones. Paso 3: Generar el árbol de mínima expansión utilizando el algoritmo Dijkstra con la ubicación de las subestaciones y el centro nacional de control de energía. Paso 4: Retornar al paso 3.

Algoritmo 1. Despliegue óptimo de redes óptimas

- 1: Paso 1: Insertar:
- 2: n número de subestaciones
- 3: dm máxima distancia entre subestaciones
- 4: G_{CC} ubicación georeferenciada centros de control
- 5: w máximo número de saltos
- 6: m máximo número de nodos en clúster
- 7: N_{hop} matriz de coordenadas(X_s, Y_s)
- 8: Paso 2: *forall* i = 1 : n
- 9: *Calcular* dist_{i,j} usando n
- 10: *endforall*
- 11: Paso 3: *while* w ≤ m && N_{hop} ≤ w *do*
- 12: *Delaunay*(X_s, Y_s)
- 13: *forall* i = 1 : n
- 14: [*costo*, *enlace*] = *dijkstra*(G_{CC}, X_sY_s, i, n+1)
- 15: *If* *costo* < d_m && *enlace* > 2
- 16: *Nodo* ∈ *red*
- 17: *endif*
- 18: *endforall*
- 19: *endwhile*
- 20: Paso 4: *retornar al paso 3*

La formación de la red de *backbone* de fibra óptica se realiza calculando las distancias entre todos los actores de la red de energía eléctrica. La triangulación *Delaunay-Voronoi* crea un grafo con todos los nodos de la red permitiendo al algoritmo de *Dijkstra* encontrar las rutas con menores distancias y costos de los enlaces.

La figura 3 presenta el despliegue de la red de fibra óptica sobre torres de transmisión eléctrica con sus respectivos nodos, distancias y los tipos de fibras ópticas implementadas.

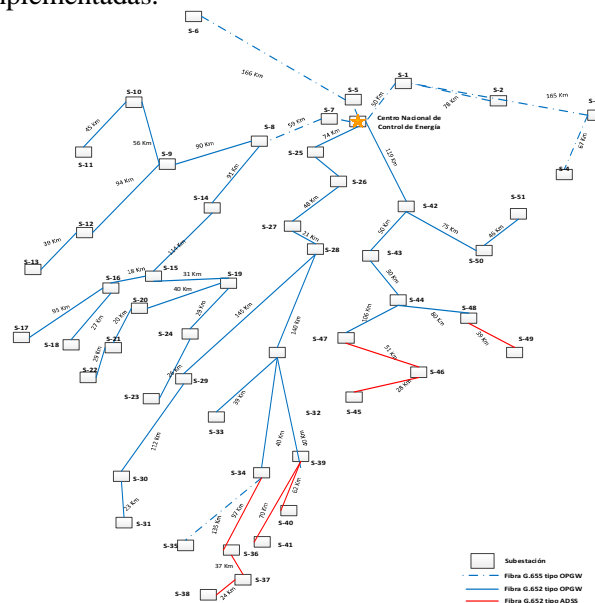


Figura 3. Backbone de fibra óptica.

3. Simulación

El presente diseño es analizado utilizando el *software* de simulación de redes ópticas *OptSim* versión 2015. Se usa modulación externa por lo tanto los dispositivos que intervienen en la transmisión son: generador de datos, driver NRZ, laser y modulador.

El canal óptico está constituido por: fibra óptica, amplificador óptico y compensador de dispersión.

El receptor está constituido por un filtro óptico, transductor óptico-eléctrico y un filtro eléctrico. A la salida se ubican los dispositivos de medición y análisis como el estimador de ruido, osciloscopio eléctrico y analizador de espectro. La simulación ha sido realizada bajo WDM estableciendo cinco frecuencias en la banda de 193.3 THz y separadas 0.05 THz una de otra. La codificación de los pulsos son NRZ (Non Return to Zero), con modulación externa tipo OOK (On-Off Keying), potencia máxima de salida es de 5 dBm, máxima dispersión cromática 1600 [ps/nm] para fibra G652 y la potencia mínima en el canal de recepción es de -22dBm. La tasa de errores por sus siglas en inglés BER no debe superar valor de 10E-12, por lo tanto el BER esperado en los diseños de los sistemas de transmisión ópticos debe cumplir con la norma establecida por la ITU-T G.959.1.

Dependiendo de la distancia de los enlaces de fibra óptica se debe regular la potencia de salida del canal, permitiendo una potencia de recepción adecuada.

La figura 4 presenta el diseño de la red óptica propuesta, vista desde la capa física en la cual consta del equipo de transmisión, el mismo que envía la señal óptica modulada y a una potencia establecida, permitiendo que la recepción de la señal sea superior a la tasa de señal ruido necesaria para recuperar la información sin errores.

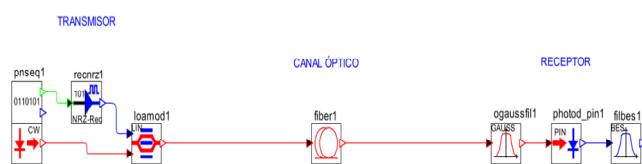


Figura 4. Red óptica propuesta.

En la tabla 3 se presenta la potencia de salida y la sensibilidad del receptor, con estos parámetros se determinan las máximas distancias que se puede transmitir información con comunicaciones ópticas sin amplificación, los parámetros que son tomados en cuenta son establecidos en la norma ITU-T G.959.1.

Tabla 3. Distancia de transmisión máxima sin amplificación

Descripción	Ecuación	Resultado
Corta distancia	$0dBm - 0.275dBm * D \geq 11dBm$	40 km
Corta distancia	$3dBm - 0.275dBm * D \geq 11dBm$	90 km
Larga distancia	$0dBm - 0.275dBm * D \geq 22dBm$	80 km
Larga distancia	$5dBm - 0.275dBm * D \geq 22dBm$	98 km

La tabla 4 presenta los resultados del cálculo del ancho de banda en las comunicaciones por fibra óptica en corta y larga distancia.

Tabla 4. Ancho de banda en MHz

Descripción	Ecuación	Resultado
Corta distancia	$AB = \frac{0.5}{40 * 17 * 1}$	735 MHz
Larga distancia	$AB = \frac{0.5}{98 * 17 * 1}$	300 MHz

La tabla 5 presenta los resultados del cálculo de la capacidad del canal tomando en cuenta la codificación de la señal NRZ.

Tabla 5. Capacidad del canal en Mbps

Descripción	Ecuación	Resultado
Corta distancia	$C = 2 * 735 * \log_2 2$	1470 Mbps
Larga distancia	$C = 2 * 300 * \log_2 2$	600 Mbps

Se deben tomar en cuenta los parámetros de ganancia y compensación, los mismos son regulados de acuerdo a las distancias de transmisión. Estos dos parámetros influyen directamente en la relación de la señal respecto al ruido.

La tabla 6 presenta los resultados de la simulación tomando como valor típico de 17 [ps/km/nm] a la dispersión. La compensación es realizada tomando en cuenta la distancia del canal óptico. La máxima compensación para la fibra G.652 es de 1600 [ps/nm] establecida en la norma ITU-T G.959.1.

La tabla 7 presenta los resultados de la simulación tomando en cuenta la distancia, potencia de salida y potencia de recepción del canal. Los valores obtenidos cumplen con las regulaciones establecidas en la norma ITU-T G.959.1, por lo tanto, las comunicaciones son seguras y fiables.

Tabla 6. Compensación de la señal óptica

Distancia [km]	Dispersión ps/km/nm	Ganancia [dB]	Compensación [ps/nm]
100	17	0	-710
200	17	9	-1250

Tabla 7. Tasa de bits erróneos

Distancia [km]	Potencia transmisión [dbm]	Potencia recepción [dbm]	Tasa de bits erróneos
100	1.123	-12.069	$0.30342 \cdot 10^{-12}$
200	2.123	-13.018	$0.11255 \cdot 10^{-12}$

La figura 5 presenta el diagrama del ojo en el receptor a 200[km] de distancia de la fuente, siendo la distancia más larga que se obtuvo mediante el algoritmo de optimización.

Es posible observar una mayor varianza en los valores de “unos” en comparación con los “ceros” debido a las no linealidades.

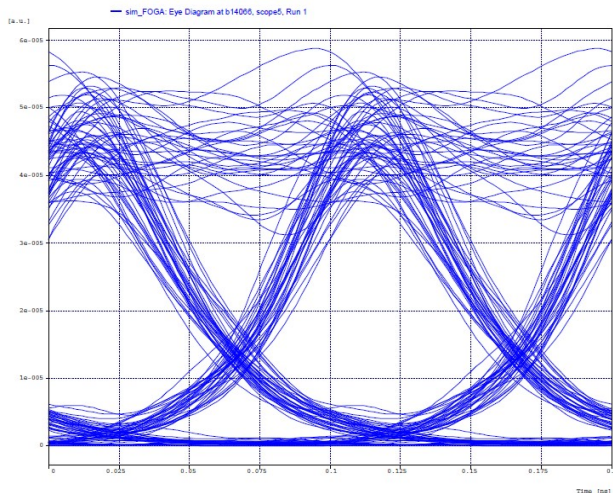


Figura 5. Diagrama del ojo a 200[km] de la fuente.

La figura 6 presenta la potencia del espectro óptico en las diferentes frecuencias de transmisión que van desde 193.2 THz hasta la 193.45 THz con anchos de banda de 5 MHz por canal.

4. Conclusiones

El algoritmo presentado optimiza la infraestructura de comunicación entre todas las subestaciones, centrales de generación y sistemas de gestión de energía dando respuesta a las nuevas necesidades determinadas por las redes eléctricas inteligentes.

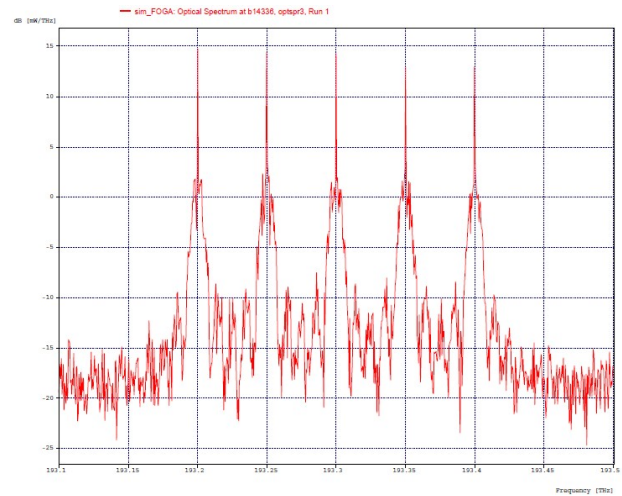


Figura 6. Espectro óptico.

Es necesario modificar la compensación de dispersión tomando en cuenta la distancia del canal óptico, ya que afecta de forma directa a la señal en recepción.

La máxima distancia en transmisión depende de la potencia a la salida en el transmisor, el coeficiente de atenuación, la dispersión cromática y la sensibilidad del receptor, por lo tanto, es necesario modificar la ganancia de los amplificadores ópticos y regular la compensación a medida que la distancia del canal óptico aumenta, permitiendo la recepción de datos fiables.

El ancho de banda y la capacidad del canal disponible en un enlace dependen de la distancia y el tipo de fibra óptica, a menor distancia es mayor el ancho de banda, mientras que a mayor distancia el ancho de banda se reduce y por ende la capacidad del canal.

5. Referencias

- [1] M. G. R. Maldonado, “Wireless Sensor Network for Smart Home Services Using Optimal Communications,” 2017 Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci., pp. 27–32, 2017.
- [2] M. Ruiz, P. Masache, and E. Inga, “Optimal Communications for Smart Measurement of Electric Energy Reusing Cellular Networks,” in 2018 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS), 2018, pp. 198–204.
- [3] M. G. Ruiz Maldonado and E. Inga, “Asignación óptima de recursos de comunicaciones para sistemas de gestión de energía,” Enfoque UTE, vol. 10, no. 1, pp. 141–152, 2019.
- [4] M. Ruiz, P. Masache, and J. Dominguez, “High Availability Network for Critical Communications on Smart Grids,” no. Ssn, pp. 1–5, 2018.
- [5] M. Budka, K., Deshpande, J. and Thottan, Communication Networks for Smart Grids: Making Smart Grid Real. London, 2014.
- [6] D. E. Nordgard, K. Sand, R. H. Kyte, E. Bjerkan, T. B. Solvang, and K. Samdal, “Solutions from a national Smart grids

- demonstration site exploring a fiber-optic communication infrastructure,” IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet., pp. 1–5, 2012.
- [7] A. Ghassemi, T. A. Gulliver, J. M. Cioff, and G. K. Karagiannidis, “Radio over Fiber Based Networks for the Smart Grid,” 2014, pp. 2646–2652.
- [8] G. V. Arévalo, R. C. Hincapié, and J. E. Sierra, “WDM-PON Design Model Based on the Minimum Spanning Tree Search over Delaunay Triangulations,” Proc. - 2015 Asia-Pacific Conf. Comput. Syst. Eng. APCASE 2015, pp. 68–71, 2015.
- [9] G. V. Arévalo, J. E. Sierra, R. C. Hincapié, and R. Gaudino, “A novel algorithm for PON optimal deployment over real city maps and large number of users,” pp. 07 (4 .)-07 (4 .), 2017.
- [10] M. Kuch and C. Rehtanz, “Transformation of Electric Power System Models into Information and Communication System Models,” 2017, pp. 1–6.
- [11] ITU-T Recommendation G.959.1, “Optical Transport Network Physical Layer Interfaces,” pp. 1–74, 2012.

Modelo resiliente de redes de distribución considerando flujos de potencia basado en teoría de grafos

Resilient model for distribution networks regarding power flow based on graph theory

Darwin López V.^{1*}, Wilson Pavón¹

¹ Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

*Autor de correspondencia: darwinlbp@msn.com

RESUMEN— El concepto de resiliencia en redes de distribución es un tema emergente como una solución factible para afrontar condiciones climáticas extremas, debido a su naturaleza estocástica y su alto grado de afectación a la estructura topológica de la red, como factores claves dentro de la estrategia de desarrollo de energía sostenible. Por lo tanto, este documento ofrece un enrutamiento y despliegue resiliente de la red de distribución, basado en un modelo matemático meta-heurístico, para el óptimo emplazamiento de los transformadores y, *minimum spanning tree* (MST) basado en la variante del algoritmo PRIM para encontrar el óptimo enrutamiento del sistema de distribución antes, durante y después de un evento catastrófico extremo, minimizando la distancia asociada a cada vano como función objetivo. Cabe destacar que el modelo se probó en un escenario real georreferenciado con cargas estáticas usando el sistema algebraico MATLAB. Para solventar la factibilidad eléctrica el flujo de potencia se simuló con el *software* Cymdist, tomando en cuenta las distancias de las cargas.

Palabras clave— Algoritmo PRIM, flujos de potencia, resiliencia, teoría de grafos.

ABSTRACT— The resilience concept of distribution networks is an emerging issue, which is proposed as a solution against extreme weather conditions and can be a key factor in the strategy of development of sustainable energy. The infrastructure of the electrical network installed in the tropical region suffers a high degree of affectation due to the stochastic nature of weather. Therefore, this paper offers a routing resilient and deployment of the distribution network based on some meta-heuristic optimization algorithms, approach on the optimal location of the transformers and, *minimum spanning tree* (MST) based on the PRIM algorithm variant has been applied to find the optimum distribution network routing before, during and after an extreme weather condition, minimizing the distance associated to each bay as an objective function. It should be noted that the model was tested in a real geo-referenced scenario with static loads during the event, using algebraic system MATLAB. To solve the electrical feasibility, the power flow was simulated with the Cymdist software, taking into account the distances of the loads.

Keywords— PRIM algorithm, power flow, resilience, Graph theory.

1. Introducción

Mejorar las redes de distribución y adecuarlas para que presenten el menor daño posible en condiciones fuera de lo normal, siendo estas circunstancias severas y rápidamente cambiantes, posiblemente nunca antes experimentadas, es un reto que en los últimos años ha tenido un papel fundamental en temas de investigación, por la constante innovación de los sistemas eléctricos y al cambio climático, lo que conlleva a una evolución de la definición de confiabilidad. Esta visión tradicional no considera las afectaciones que producen las condiciones climáticas extremas, con la cual los sistemas de distribución han sido tradicionalmente diseñados y operados bajo los principios tradicionales de la confiabilidad [1], [2], es decir, seguridad y adecuación, que permite a la infraestructura eléctrica lidiar con

amenazas conocidas y creíbles para garantizar un continuo suministro de energía, reduciendo el número de interrupciones durante un período de tiempo prolongado[3].

Es evidente que la infraestructura del sistema eléctrico también debe ser resistente a los eventos de alto impacto y de baja probabilidad, ya sean condiciones climáticas extremas o eventos catastróficos extremos, que pueden causar la desconexión de varias partes de la red eléctrica [4], dependiendo de la magnitud del desastre. Por lo tanto, una infraestructura de energía que pueda mantener altos niveles de rendimiento en cualquier condición debe ser confiable para los cortes de energía más comunes, pero también resistente a desastres mucho menos frecuentes. Por su sensibilidad ante eventos extremos, las redes de distribución aéreas presentan un nivel de



Figura 1. Modelo resiliente de red de distribución.

resiliencia más bajo que su homólogo redes de distribución subterráneas [5], siendo estas una alternativa apropiada para zonas urbanas en las cuales los consumidores presentan un crecimiento ordenado y su dispersión geográfica no es alta, a diferencia de las zonas rurales que presentan un alto nivel de dispersión geográfica, en la que generar un enrutamiento de tendido de cable se torna en extremo complejo [6], [7].

Para tener una visión global de los sistemas de distribución, ya sean estos aéreos o subterráneos, antes, durante y después de un evento catastrófico, es pertinente el estudio de los flujos de potencia, utilizados para resolver las condiciones de funcionamiento en estado estacionario [8]. El estudio se enfoca en modelar el sistema de energía eléctrica formulando un problema de flujo de potencia tradicional, modelo AC, basado en las leyes de circuitos de Kirchhoff en redes de energía eléctrica [9], [10]. El problema se modela mediante un conjunto de ecuaciones algebraicas no lineales que simboliza la inyección de potencia activa y reactiva en cada nodo.

El presente documento, toma los temas antes mencionados y los condensa en la figura 1, donde se

ilustra un posible modelo de red de distribución resiliente que mezcla ambas variantes (aérea y subterránea), en la cual se dispone de dos zonas de despliegue de red de distribución, una zona urbana y una zona rural, debidamente identificadas.

Para la zona urbana el enrutamiento de cable se lo realiza a través de una red subterránea, por facilidad de terreno y las cortas distancias que existen entre cada usuario, dando un nivel de robustez alto y garantizando el nivel de confiabilidad en condiciones normales, sin embargo, para la zona rural el enrutamiento es muy distinto, debido a la topología del terreno y las variaciones poblacionales entre asentamientos rurales con relación a la distancia geográfica que existe entre estos, es por esta razón que el tipo de infraestructura usada, en dicho caso, se refiere a postes o torres de distribución capaz de resistir las condiciones climáticas más extremas, por lo tanto, ante tal evento, el modelo de red de distribución está dotado de una red resiliente capaz de absorber y mitigar los efectos causados por el evento climático extremo disminuyendo la cantidad de energía no suministrada y aumentando la confiabilidad del sistema.

2. Reseña histórica

Las interrupciones de energía en largos periodos de tiempo, provocan afectaciones en las actividades económicas de la sociedad [11], por el alto nivel de dependencia energética. Esto se evidencia por varias catástrofes que ocurrieron en la última década. Por ejemplo, los estados del noreste de EE. UU. fueron golpeados por el huracán Sandy en 2012, que destruyó más de 100,000 cables eléctricos primarios; además, varios transformadores de subestaciones explotaron y se inundaron numerosas subestaciones. Esto llevó a la desconexión de aproximadamente 7 millones de personas.

En 2008, China se vio afectada por una severa tormenta de hielo, que provocó el fallo de 2.000 subestaciones y el colapso de 8.500 torres de transmisión, que provocaron interrupciones en el suministro eléctrico en 13 provincias y 170 ciudades [12], [13], por mencionar algunos ejemplos del efecto de las condiciones climáticas de alto impacto y baja probabilidad. A pesar de su baja probabilidad, los eventos climáticos severos tienen consecuencias dramáticas ya que las redes de distribución eléctrica son, por definición, sistemas de sistemas, y al afectar la operación y confiabilidad de algunos componentes, principalmente los exteriores, por ejemplo, torres y líneas aéreas pueden causar efectos en cascada en toda la infraestructura [14]–[16].

En este sentido la resiliencia es un concepto emergente que se centra en la capacidad de anticiparse, absorber y recuperarse rápidamente de un evento externo de alto impacto y de baja probabilidad [17].

2.1 Resiliencia

La resiliencia a corto plazo de un sistema de distribución cambia durante un evento perturbador, dependiendo de su flexibilidad para hacer frente de manera eficaz y de forma rápida o gradual durante el evento. Los autores [18], [19], discuten los posibles estados del sistema de distribución basados en márgenes de seguridad y redundancia de la red. La transición entre cada estado va ligada a la gravedad del evento y los planes de mantenimiento preventivo y correctivo que se le dé a la red.

Durante el estado normal, los niveles de resistencia son altos, ya que cumple con las restricciones operativas y técnicas del sistema cuando está operando; debido a

esto, la robustez o resistencia del sistema es la adecuada para hacer frente a una interrupción eléctrica repentina y creíble [20], [21]. Sin embargo, cuando el sistema entra en alerta, la robustez del sistema baja y los márgenes de seguridad tienden a valores inadecuados para el sistema; durante este estado, los operadores del sistema aplican acciones de control preventivo para que el sistema vuelva al estado normal; si durante este tiempo se produce una perturbación, el sistema entra en emergencia o en estado extremo dependiendo de la gravedad de la perturbación, por ejemplo, los eventos climáticos extremos pueden llegar a ocasionar la interrupción simultánea de varios componentes de la red, lo que obliga al sistema a cambiar de estado de alerta a extremo, reduciendo la resistencia del sistema ya que es menos resistente a nuevas interrupciones [22], [23].

2.2 Modelo resiliente de redes de distribución

En la literatura el modelo y diseño de redes de distribución recae en costos de operación y costos de implementación del proyecto, considerando localización geográfica y topología del terreno para desplegar el tipo de red adecuada para el entorno, de hecho, las redes de distribución diseñadas de forma radial presentan numerosas ventajas en su implementación, ya que tienen un único camino entre la subestación y el consumidor, niveles de corriente de corto circuito bajos y equipos de protección y conmutación más sencillos [24].

Para solventar la solución de resiliencia multivariante de las redes de distribución rurales de manera integral, predecir la resiliencia del sistema bajo varios regímenes de perturbación estocástica e identificar estrategias efectivas para mejorar la resiliencia general del sistema [23], usa los avances estadísticos de las máquinas para caracterizar la inoperatividad multivariable de un sistema de distribución de energía eléctrica como una función no lineal de la topología del sistema.

Amraee y Saberi [25], utilizan un modelo entero mixto que resuelve mediante la descomposición de Benders en la que se propone dos algoritmos de flujo de carga de corriente continua artificial para modelar las restricciones de agrupación y conectividad. Una propuesta de mayor visión. Es una división controlada antes de que ocurra una transición crítica en un sistema de energía interconectado, que divide el sistema de energía en subsistemas, colocando a cada grupo de consumidores en islas individuales, considerando

restricciones de capacidad de carga, límite de estabilidad de frecuencia.

2.3 El árbol mínimo de expansión y óptima ubicación de transformadores

El árbol mínimo de expansión, MST por sus siglas en inglés, es empleado como base en la resolución de algoritmos de minimización debido a su facilidad en encontrar el camino más corto dentro de un conjunto de nodos de un grafo, de esta manera se forman subgrafos, incluyendo todos los nodos de la red de tal manera que minimiza el peso total de todas las líneas en el árbol [26]. Su existencia está ligada dado que el número de enlaces E es igual a número de vértices V menos uno.

El árbol de expansión del gráfico G no es único y la suma de peso del árbol se llama árbol de expansión mínimo, por lo tanto, el algoritmo de árbol mínimo de expansión es importante en la teoría de grafos [27], [28] único e irreplicable.

Para determinar la ruta mínima entre cada vértice V y de esta manera encontrar el enlace E del grafo G , los MST se enfocan en dos tipos de agrupaciones: agrupación de nodos y agrupación de líneas, la solución a estos dos tipos de problemas se basa en establecer un esquema de árbol con una longitud mínima de la red investigada; este esquema corresponde al grafo parcial determinado según el algoritmo PRIM [29]. Con el aporte de este algoritmo hemos logrado determinar la ruta óptima para el despliegue de la red de distribución.

Además del algoritmo PRIM, también es necesario destacar la participación del algoritmo de Dijkstra, por su versatilidad de encontrar la ruta más corta entre nodos próximos al nodo de enlace, usando como base la matriz de conectividad o matriz adyacente, basados en su teoría de óptimo local para encontrar un óptimo global [30], [31]. Estos algoritmos son muy utilizados en la planeación de redes de distribución, por su sencillez de enrutamiento, sin embargo, la red puede contener vértices distintos de los terminales, a estos vértices extra se los conoce como puntos de Steiner [32], [33].

La creación de puntos Steiner adicionales da como resultado un nuevo árbol de Steiner, que reduce la distancia entre los puntos existentes, minimizando el tiempo de cómputo y optimizando el algoritmo. Su resolución se puede llevar a cabo de dos maneras dependiendo del problema planteado: usando heurística determinista que se basa en la distancia más larga, o procesos aleatorios evolutivos que basan sus análisis en

una planificación jerárquica analizando la topología de red [34]–[36].

3. Planteamiento del problema

Al modelar una red de distribución nueva, se debe determinar el costo mínimo de instalación, que para el caso en particular viene asociado a la distancia recorrida de los alimentadores, cumpliendo con restricciones de capacidad, óptimo enrutamiento y caída de tensión.

Tabla 1. Parámetros y variables

Nomenclatura	Descripción
XY	Punto o puntos de coordenadas de latitud y longitud
i, j	Variables de búsqueda punto a punto
XY_s	Ubicación del cliente residencial
XY_{np}	Punto de la calle más cercano a un cliente
XY_{be}	Ubicación de la subestación
XY_{ir}	Intersección o ubicación de sitios candidatos
XY_{st}	MV a ubicación final del transformador LV
N	Puntos de miembro de L intersecciones
M	Número de clientes residenciales
S	Número de transformadores LV
$demN_N$	Número de subestaciones
$demM_M$	Demanda individual del cliente
G	Demanda individual del transformador LV
$dist$	Matriz de conectividad PxP
$dist_N$	Matriz de distancia PxP
Cap	La distancia desde el cliente N al transformador correspondiente
R	Restricción de capacidad de número para todos los transformadores de LV
$Path$	Restricción de distancia (m) para todas las conexiones de LV
$Pred$	Ruta de conectividad de red
$costMV$	Costo asociado del enlace al cliente final
PV_s	PV cantidad en la red
PVC	PV Ubicación de centros
PVP	Asignación de energía PV
C	Conectividad total del cliente en porcentaje
$CostMV$	Costo total de la distancia (m) de la red de LV diseñada
$CostLV_M$	Distancia (m) costo de M transformador
$CostLV$	Costo total de la distancia (m) de la red de baja tensión diseñada
$Comp_E$	Costo computacional (seg) para cada experimento
i, j, k	Variables de contador para los bucles de control
$flag, z$	Variables temporales
V_{low}	Voltaje mínimo línea-línea, kV

La problemática asociada con el modelo a resolver se fundamenta en un modelo matemático el cual tiene como bases métodos meta-heurísticos que minimizan los costos de implementación de los recursos en un escenario georreferenciado.

3.1 Modelo matemático y algoritmos de optimización de redes de distribución aérea y soterrada

El planteamiento del problema se focaliza en maximizar el flujo de potencia, ubicando transformadores de MV/LV acordes con la topología del área de concesión y zona de emplazamiento, con el fin de minimizar las pérdidas técnicas del sistema, garantizando niveles de voltaje en por unidad de cada nodo dentro de los niveles aceptados que respeten la normativa de la Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi S.A. (ELEPCO S.A.). En la ecuación (1) se calcula la caída de voltaje del sistema, por índices de confiabilidad, la red de media y baja tensión no debe superar el 3% y 2.5% de caída de tensión respectivamente.

$$\% \Delta V = \left[\frac{S}{V_{mon}^2 \sqrt{3}} \right] l (R \cos \phi + X \sin \phi) 100 \quad (1)$$

Donde:

S , demanda del sistema en MVA.

V_{mon}^2 , voltaje nominal del sistema en kV.

l , longitud total entre la subestación y el consumidor en el punto más lejano de la red de distribución en km.

R , resistencia del conductor en Ω/km .

X , reactancia del conductor en Ω/km .

$\cos \phi$, factor de potencia activa.

$\sin \phi$, factor de potencia reactiva.

El modelo resiliente de red de distribución eléctrica urbana considera un sistema de distribución subterráneo reduciendo el periodo de mantenimiento de la red y protegiendo los conductores ante un evento catastrófico, el despliegue de la ubicación real y planificada de los transformadores de media tensión está determinada por los puntos de carga y su posición georreferenciada, de tal manera que cada transformador abarque el mayor número de consumidores, respetando los límites de carga; para el caso en particular la potencia de diseño de los transformadores para la zona rural y urbana, se considera la demanda máxima diversificada, la cual está asociada al número de consumidores que se conecten

simultáneamente al transformador; en este estudio, el número máximo de usuarios conectados al transformador es de 13 consumidores, que toma los valores de 38.73 kW para consumidores de tipo A y 16.63 kW para consumidores de tipo E de acuerdo con las normativas de la ELEPCO S.A., minimizando la necesidad de nuevas líneas.

Las siguientes expresiones matemáticas expresan el árbol mínimo de expansión MST, modelo matemático usado para llegar a la solución del problema planteado. La función objetivo, ecuación (2), denota la formulación matemática para optimizar el enrutamiento de la red de distribución eléctrica aérea y subterránea, en la cual se considera el costo asociado con la distancia existente entre nodos y la distancia calculada entre el nodo i y el nodo j .

$$\text{Min} \sum_{ij \in E} C_{ij} X_{ij} \quad (2)$$

Donde:

C_{ij} , es el costo asociado a la distancia de enrutamiento entre los nodos i, j de la red de distribución.

X_{ij} , distancia de enlace entre los nodos i, j .

E , número total de nodos.

Para llegar a una solución viable, el modelo matemático se somete a restricciones que garantizan la radialidad de la red, evitando los lazos redundantes en el sistema, como se expone en la ecuación (3).

$$\text{st} \sum_{ij \in E} x_{ij} = n - 1 \quad (3)$$

Donde:

x_{ij} , representa el número total de enlaces existentes.

n , número total de nodos.

La ecuación (4) contempla la obtención de la conexión radial de todos los nodos con el menor costo posible sin la formación de lazos redundantes. La ecuación (5), es una variable binaria, 1 si es factible la ruta entre los nodos i, j de la línea, 0 caso contrario, que define el enrutamiento de la red de media tensión.

$$\sum_{ij \in E: i \in S, j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq V \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall ij \in E \quad (5)$$

Donde:

S , representa el total de transformadores conectados al sistema de forma óptima.

La ecuación (6) verifica el voltaje línea-línea mínimo requerido por el sistema, debido a que durante el evento cada nodo j aún tiene una demanda asociada a cada nodo i .

$$V_{low} \leq (V_i)_{eve} \leq V_{nom} \quad (6)$$

Donde:

V_{low} , Voltaje línea-líneas mínimo en kV.

En la tabla 1 se puede observar los parámetros y variables usadas en los algoritmos para el modelo resiliente de redes de distribución eléctrica. En la tabla 2 se observa el algoritmo usado en el documento para llegar a una solución óptima y flexible en el despliegue de la red de distribución eléctrica. Adicional al algoritmo de la tabla 2 se considera la construcción de un algoritmo adicional, para determinar la resiliencia de la red de distribución, el cual se expone en la tabla 3.

Tabla 2. Algoritmo de enrutamiento red de distribución urbano rural

Algoritmo 1. Enrutamiento óptimo red LV	
1	<i>Inicia proceso</i>
2	Paso 1: Variables
3	XY_s, XY_{st}, XY_{tr}
4	Paso 3: calculando la distancia del cliente a la calle
5	<i>for</i> $i:1 \rightarrow length(XY_s)$ <i>do</i>
6	$dist_{ij} \leftarrow haversine[XY_s(i)YX_{st}]$
7	$z(i) \leftarrow \min(dist_{ij})$
8	<i>end for</i>
9	$XY_{np} \leftarrow XY_{st}(z)$
10	$CLV_{ij} \leftarrow dist_{ij}(z)$
11	Paso 4: calculando la distancia del cliente a la calle
12	<i>for</i> $i:1 \rightarrow length(XY_{np})$ <i>do</i>
13	$dist_{ij} \leftarrow haversine[XY_{np}(i)YX_{tr}]$
14	$z(i) \leftarrow \min(dist_{ij})$
15	<i>end for</i>
16	$CLV_{ij} \leftarrow CLV_{ij} + dist_{ij}(z)$
17	Paso 5: ruta optima de la red LV
18	$G(CL V_{ij} \leq R) \leftarrow 1$
19	$XLV_{ij} \leftarrow Prim(sparce(G))$
20	<i>Fin proceso</i>

Tabla 3. Algoritmo para red resiliente

Algoritmo 2. Resiliencia red MV	
1	<i>Inicia proceso</i>
2	Paso 1: Extrae matriz enlaces existentes
3	$V_{low}, XY_{st}, XY_{tr}$
4	<i>for</i> $i:1 \rightarrow length(XY_{st})$ <i>do</i>
5	$dist_{ij} \leftarrow haversine[XY_{st}(i)YX_{tr}]$
6	$z(i) \leftarrow \min(dist_{ij})$
7	<i>end for</i>
8	Paso 2: seleccionar el nodo con la mejor posibilidad de conexión
9	$(V_{low})(h_{ij,eve}) \leq 0$
10	Paso 3: ruta optima de resiliencia
11	$G(CL V_{ij} \leq R) \leftarrow 1$
12	$XLV_{ij} \leftarrow Prim(sparce(G))$
13	$Y_{ij,eve} = 1$
14	$X_{ij} = n - 1$
15	<i>Fin proceso</i>

4. Análisis de resultados

Para el análisis de resultados se ha tomado una ciudad de la provincia de Cotopaxi. Como consideraciones para diseño de la red de distribución eléctrica resiliente, se enfocó en la máxima cobertura de los consumidores, desplegando una red de distribución subterránea en la zona urbana del mapa, y red de distribución aérea para la zona rural.

En la figura 2 se presenta el despliegue de una red de distribución Urbano, Rural georreferenciada bajo el modelo de optimización de recursos, con una población de 433 usuarios, conectados a 33 transformadores de forma óptima; cabe destacar que cada transformador alimenta a 13 usuarios con una carga instalada de 5.61 kW en la zona urbana y de 3.21 kW en la zona rural acorde con la normativa de diseño de redes de distribución de la ELEPCO S.A.

Cabe destacar que dentro del modelo de red de distribución se consideró la ubicación aleatoria de generación distribuida (GD) como aporte a la red de distribución en forma de paneles fotovoltaicos, los nodos en los cuales se ha instalado GD son los nodos 5, 10, 15, 20, 25, 30, con una potencia de 35 kW, respectivamente

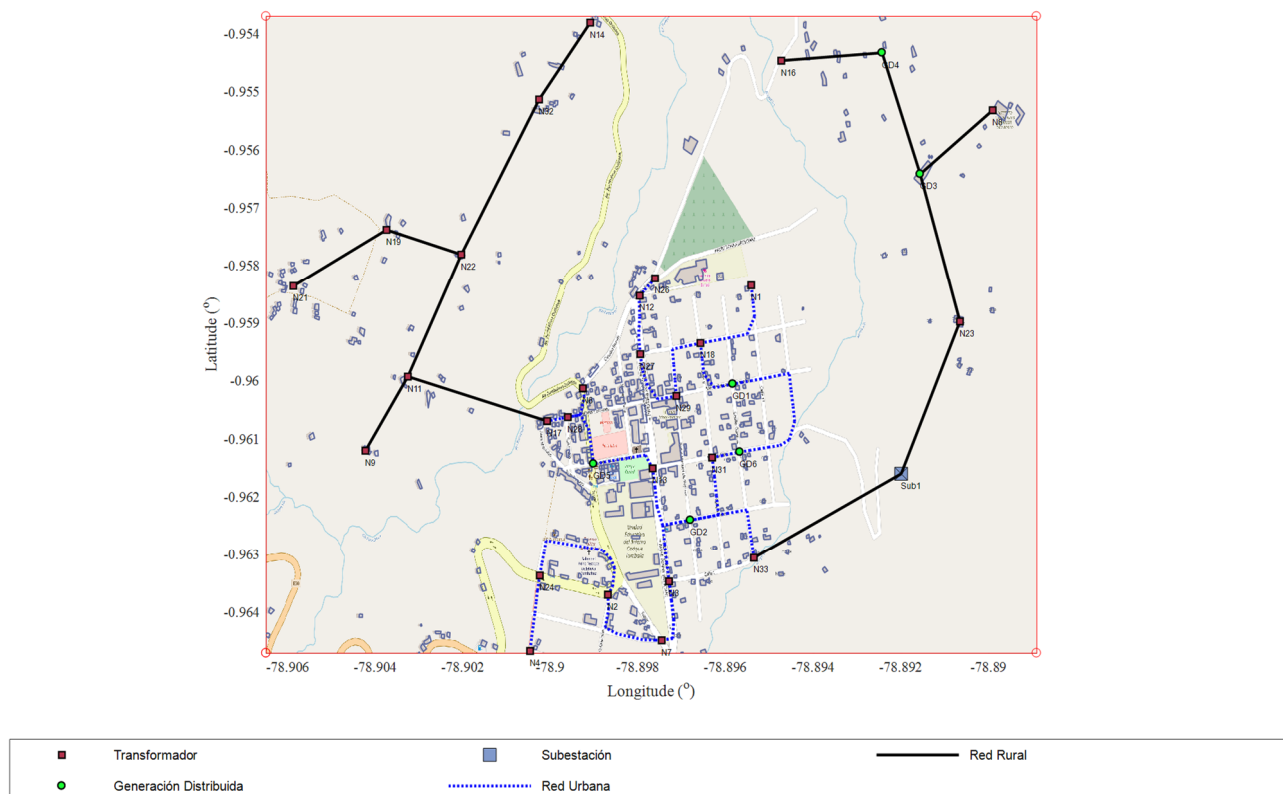


Figura 2. Modelo y despliegue de una red de distribución urbano – rural.

ubicados en los tejados y terrazas de los usuarios para consumo propio y aporte a la red frente un evento catastrófico.

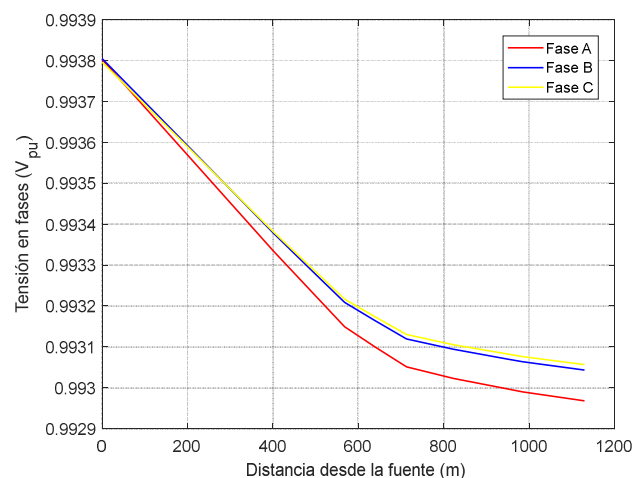


Figura 3. Perfil de tensión de una red de distribución sin resiliencia.

En la figura 3 se observa el perfil de tensión de la red de distribución urbano-rural, la cual representa la caída de voltaje del sistema existente entre fases en relación a la distancia de la fuente, en el eje de las abscisas se representa la distancia en metros que existe entre la subestación y el nodo más alejado del sistema, en el eje de las ordenadas se gráfica el nivel de voltaje en por unidad del sistema, la caída de tensión en la gráfica no varía significativamente debido a que las cargas consideradas en el modelo son estáticas y el nivel de voltaje de la red es de 22,8 kV.

Los algoritmos han sido implementados en el sistema algebraico computacional MATLAB obteniendo las condiciones iniciales y el despliegue de la red de distribución urbano-rural optimizando el enrutamiento del cable y con la ayuda del *Software Cymdist V5.01* se realizó el análisis de flujo de potencia de la red de distribución eléctrica, como se observa en la figura 4, considerando la ubicación de los transformadores y el enrutamiento de las líneas de distribución obtenidas en MATLAB.

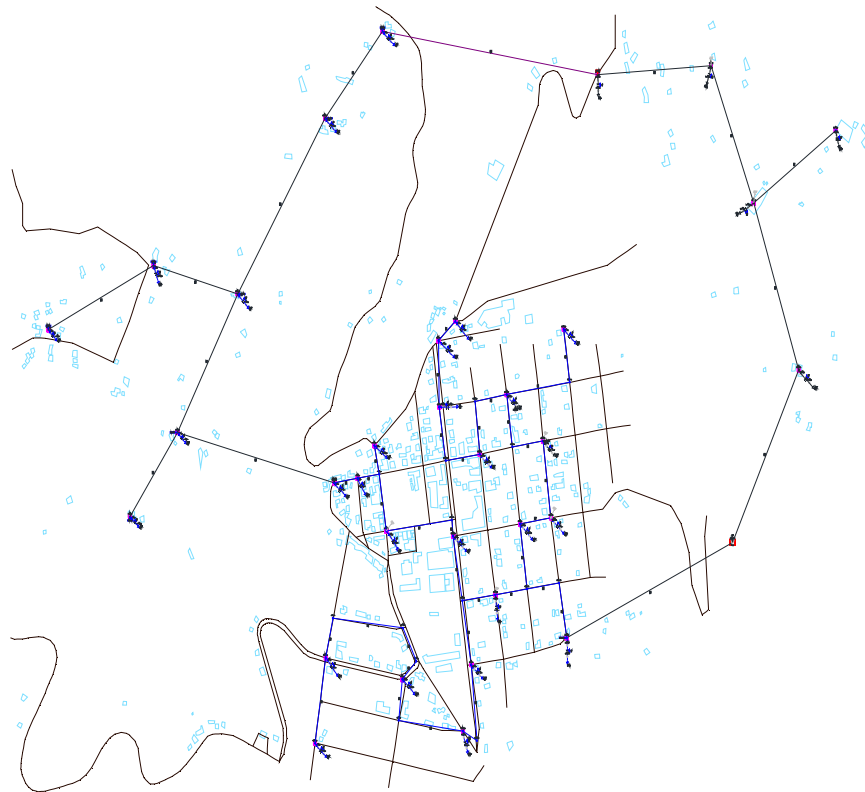


Figura 4. Despliegue de una red de distribución urbano - rural Cymdist.

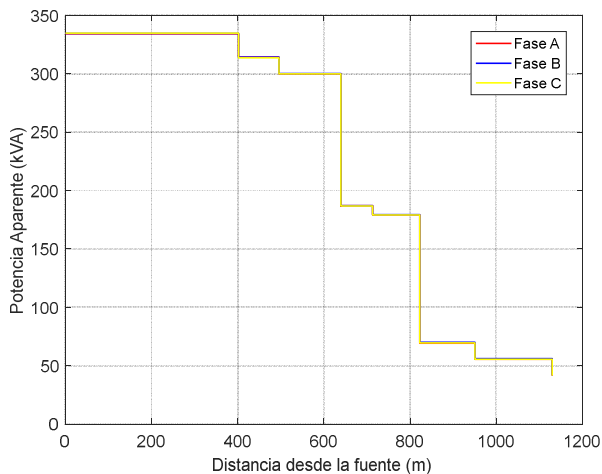


Figura 5. Perfil de potencia aparente de la red de distribución sin resiliencia.

En la figura 5, se aprecia el perfil de potencia aparente presente en cada fase a lo largo de todo el recorrido del sistema; debido a que el sistema está compuesto por una

Zona Urbana y una periférica Rural es común observar la pérdida de potencia en los puntos más alejado de la subestación. Esta gráfica es de importancia a la hora de elegir la capacidad de cada transformador y considerar la expansión de la red de distribución eléctrica.

El modelo resiliente de red de distribución eléctrica se aplica a una red desplegada, debido a la consideración del perfil de voltaje existente en la red. En el análisis resiliente de la red de distribución no solo se piensa en el perfil de tensión del nodo candidato, también se asigna un peso a la menor distancia de conexión. De tal manera que el sistema se vuelve a desplegar con los nodos que no han sido afectados por el evento catastrófico y con los nodos afectados, generando un único enlace de conexión.

La resiliencia de la red se la realiza bajo la misma función objetivo del planteamiento del problema, ya que se considera un problema de óptimo enrutamiento de la línea resiliente como se observa de la figura 6. Una vez analizado el perfil de voltaje en el nodo más alejado del sistema y por condiciones topográficas del mapa, se

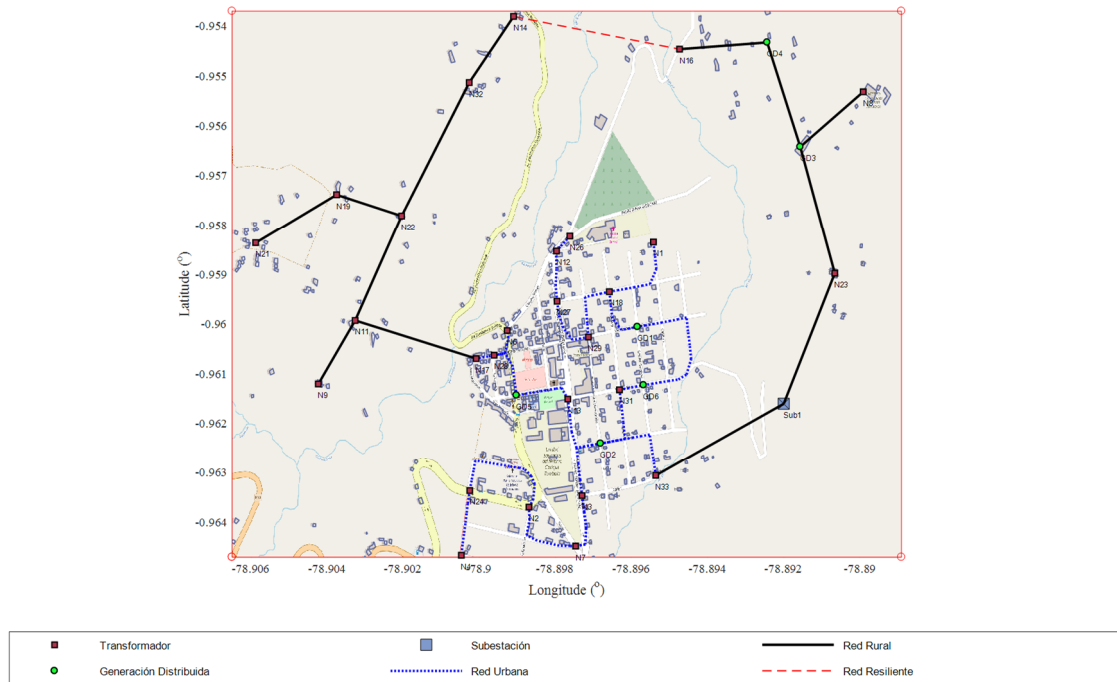


Figura 6. Despliegue de la red de distribución urbano - rural posterior al evento.

determinó la interconexión entre el nodo 14 y el nodo 16 como media resiliente del sistema en caso de la existencia de un evento climático extremo.

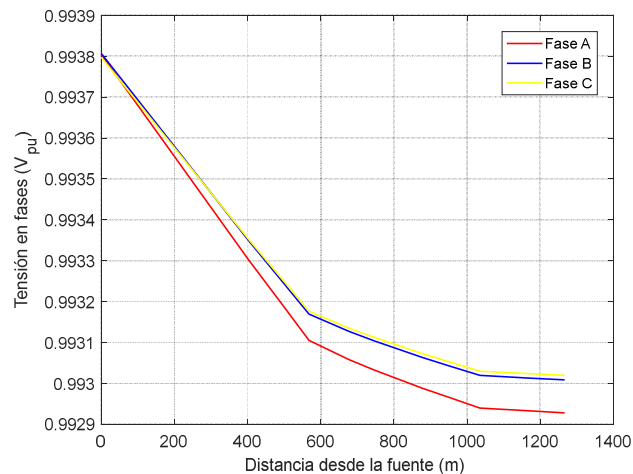


Figura 7. Perfil de tensión de la red de distribución con resiliencia.

Como se aprecia en la figura 8, de existir tal eventualidad, dejaría sin conexión al nodo 23, dejando sin servicio a los usuarios del tramo comprendido entre

el nodo 23 hasta el nodo 16. Cabe destacar que el modelo de subestación presentada en este documento es un nodo infinito representativo de la red existente. El perfil de voltaje del nuevo sistema de distribución que se observa en la figura 7, se extiende en distancia con relación a la fuente por la reconfiguración del sistema de distribución por la presencia de la línea resiliente que conecta el nodo 14 con el nodo 16, siendo ahora el nodo 23 el punto más alejado de la red pues se ubica a una distancia de 1266 m y su nivel de tensión es de 22,8 kV.

Con el aumento de carga en uno de los tramos del sistema y la adición de una línea resiliente, que garantiza el continuo abastecimiento de energía a todos los usuarios del escenario, se puede observar que los niveles de potencia aparente disminuyen a los 678 metro de la fuente, y cae de 320 kVA a 113 kVA, como se ve en la figura 9. Debido a que la red de distribución se abastece por un único alimentador desde la subestación hacia el usuario final ubicado en el punto más alejado de la red, que en este caso es el nodo 23 como se contempla en la figura 8, durante el evento el sistema cambia de estado rápidamente, pasando de normal a emergente y extremo sucesivamente; para garantizar el continuo abastecimiento de suministro de energía.

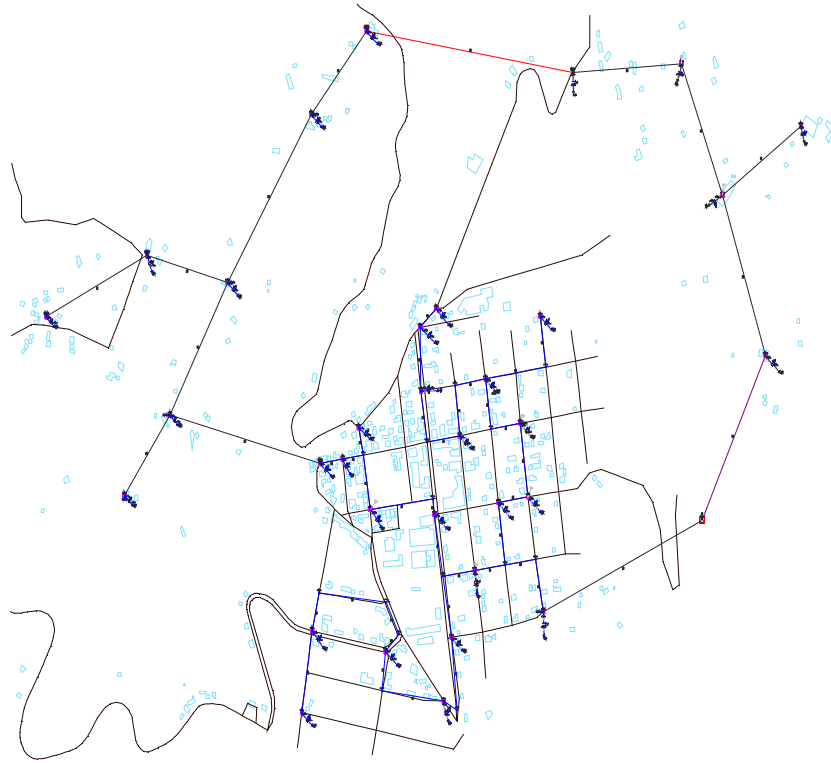


Figura 8. Despliegue de la red de distribución urbano - rural posterior al evento en Cymdist.

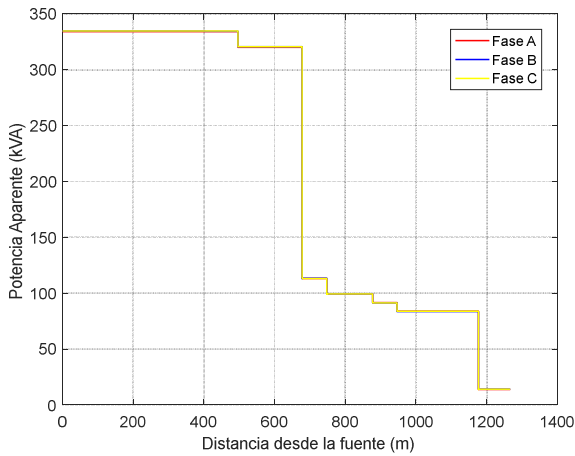


Figura 9. Perfil de potencia aparente de la red de distribución con resiliencia.

En la tabla 4, se pone a consideración los valores de la carga tanto rural como urbana vistos desde la subestación, para el posterior análisis de las pérdidas del sistema, debido a que la red resiliente es temporal estos valores no afectan al diseño del sistema.

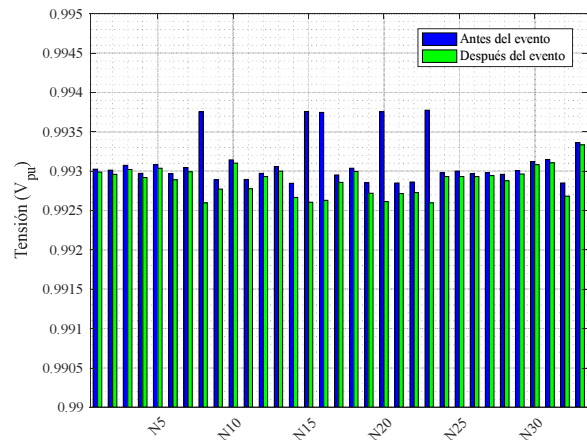


Figura 10. Perfil de voltaje por cada nodo de la red de distribución.

Como punto final, se realiza un análisis comparativo del perfil de voltaje existente en cada nodo antes y después del evento catastrófico, con la finalidad de garantizar la eficiente resiliencia de la red de distribución eléctrica, reduciendo el porcentaje de energía no suministrada durante el evento y el continuo suministro

de energía, de tal manera que cada usuario no se vea afectado con cortes de energía en largos periodos de tiempo. El tramo que comprende los nodos 23, 15, 8, 20, 16, antes del evento, presenta voltajes superiores al resto de los nodos como se aprecia en la figura 10, debido a su cercanía con la subestación y la existencia de un alimentador individual que suministra energía a estos nodos; posterior al evento catastrófico, el perfil de voltaje de dichos nodos presenta una reducción del 0.00116 % respecto a la condición normal del sistema, demostrando la eficiencia y robustez del modelo planteado en el presente trabajo.

Tabla 4. Potencia aparente, activa y pérdidas del sistema

	Carga total		Pérdidas totales	
	kVA	kW	kVA	kW
Estado normal	1003,41	932,31	46,81	17,03
Estado emergente	942,27	878,64	43,58	15,61
Estado extremo	1003,43	932,4	46,96	17,13

5. Conclusiones

El análisis realizado permitió al modelo implementar los costos de implantación del sistema mejorando la eficiencia y robustez de la red de distribución tomando en cuenta las variables de decisión para el despliegue de la red de distribución urbano y rural. Además, el modelo desarrollado permite la inclusión de restricciones explícitas de radialidad y caída de voltaje en su planteamiento, con líneas individuales cargadas uniformemente. Los resultados demostraron que el modelo resiliente de red de distribución, además de optimizar los costos de implantación, también refuerza el sistema mediante la línea resiliente, garantizando el suministro de energía, reduciendo el nivel de energía no suministrada y su pronta respuesta de recuperación posterior a un evento extremo.

Se determinó que el porcentaje de usuarios afectados por el evento catastrófico es del 6,09%, siendo un porcentaje pequeño en relación al total del sistema. El porcentaje de pérdidas técnicas del sistema no supera el 1,82 %, valor que está dentro de los parámetros expuestos en el planteamiento del problema.

El modelo planteado deja abierto a temas de investigación referidos a la implementación de la arquitectura de una micro red de emergencia a nivel de

distribución que incorpore generación distribuida como bancos de baterías las cuales alimenten a las subestaciones primarias más afectadas a causa de un evento climático extremo con la finalidad de reducir los niveles de energía no suministrada por parte del sistema, además de la afectación aguas arriba, a niveles de sistemas de transmisión.

6. Referencias

- [1] I. T. H. E. Resilience, "The Grid: Stronger, Bigger, Smarter?," no. April, 2015.
- [2] M. Panteli, P. Mancarella, and S. Member, "Modeling and Evaluating the Resilience of Critical Electrical Power Infrastructure to Extreme Weather Events," pp. 1–10, 2015.
- [3] Y. Wang, C. Chen, J. Wang, and R. Baldick, "Research on Resilience of Power Systems under Natural Disasters - A Review," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 31, no. 2, pp. 1604–1613, 2016.
- [4] H. You, V. Vittal, and Z. Yang, "Self-Healing in Power Systems: An Approach Using Islanding and Rate of Frequency Decline Based Load Shedding," *IEEE Power Eng. Rev.*, vol. 22, no. 12, pp. 62–62, 2002.
- [5] D. H. Kim, D. A. Eisenberg, Y. H. Chun, and J. Park, "Network topology and resilience analysis of South Korean power grid," *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 465, pp. 13–24, 2017.
- [6] Y. Tang and R. Ayyanar, "Methodology of Automated Protection Analysis for Large Distribution Feeders With High Penetration of Photovoltaic Systems," *IEEE Power Energy Technol. Syst. J.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–9, 2017.
- [7] S. Huang and V. Dinavahi, "Fast distribution network reconfiguration with graph theory," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 12, no. 13, pp. 3286–3295, 2018.
- [8] C. Zhang, H. Chen, H. Ngan, P. Yang, and D. Hua, "A Mixed Interval Power Flow Analysis under Rectangular and Polar Coordinate System," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 32, no. 2, pp. 1422–1429, 2017.
- [9] S. Kim and T. J. Overbye, "Mixed power flow analysis using AC and DC models," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 6, no. 10, p. 1053, 2012.
- [10] S. Kim and T. J. Overbye, "Hybrid power flow analysis: Combination of AC and DC models," *2011 IEEE Power Energy Conf. Illinois, PECE 2011*, pp. 11–14, 2011.
- [11] J. Najafi, A. Peiravi, and J. M. Guerrero, "Power distribution system improvement planning under hurricanes based on a new resilience index," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 39, no. April, pp. 592–604, 2018.
- [12] M. Mansfield and R. Economist, "Hurricane Sandy Multi-State Outage & Restoration Report," pp. 1–23, 2013.
- [13] D. M. Ward, "The effect of weather on grid systems and the reliability of electricity supply," pp. 103–113, 2013.
- [14] E. Office and P. August, "ECONOMIC BENEFITS OF INCREASING ELECTRIC GRID RESILIENCE TO Executive Office of the President," no. August, 2013.

- [15] R. J. Campbell, "Weather-Related Power Outages and Electric System Resiliency," 2012.
- [16] B. Oral and F. Dönmez, "The Impacts of Natural Disasters on Power Systems: Anatomy of The Impacts of Natural Disasters on Power Systems: Anatomy of the Marmara Earthquake Blackout," no. July 2010, 2014.
- [17] C. Henríquez, "Resiliencia Urbana," *Camino a Ciudad. Sustentables. Aportes desde la Investig. a las políticas públicas urbanas en Chile*, pp. 73–79, 2018.
- [18] L. Systems, "Operating under stress and strain," no. March, 1978.
- [19] W. Lu, Y. Bésanger, E. Zamaï, and D. Radu, "Blackouts: Description, Analysis and Classification," pp. 429–434, 2006.
- [20] W. Yuan, J. Wang, S. Member, F. Qiu, C. Chen, C. Kang, S. Member, and B. Zeng, "Robust Optimization-Based Resilient Distribution Network Planning Against Natural Disasters," vol. 7, no. 6, pp. 2817–2826, 2016.
- [21] B. Zeng and L. Zhao, "Solving two-stage robust optimization problems using a column-and-constraint generation method," *Oper. Res. Lett.*, vol. 41, no. 5, pp. 457–461, 2013.
- [22] F. Ren, T. Zhao, J. Jiao, and Y. Hu, "Resilience Optimization for Complex Engineered Systems Based on the Multi-Dimensional Resilience Concept," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 19352–19362, 2017.
- [23] R. Nateghi, "Multi-Dimensional Infrastructure Resilience Modeling: An Application to Hurricane-Prone Electric Power Distribution Systems," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 13478–13489, 2018.
- [24] Z. Bo and E. Hobson, "Urban underground network expansion planning," vol. 144, no. 2, 1997.
- [25] T. Amraee and H. Saberi, "Controlled islanding using transmission switching and load shedding for enhancing power grid resilience," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 91, pp. 135–143, 2017.
- [26] M. Mosbah, S. Arif, R. D. Mohammedi, A. Hellal, and A. O. Function, "Optimum Dynamic Distribution Network Reconfiguration using Minimum Spanning Tree Algorithm," 2017.
- [27] Z. Li, M. Shahidepour, F. Aminifar, A. Alabdulwahab, and Y. Al-Turki, "Networked Microgrids for Enhancing the Power System Resilience," *Proc. IEEE*, vol. 105, no. 7, pp. 1289–1310, 2017.
- [28] W. Pavón, E. Inga, and S. Simani, "Optimal Routing an Ungrounded Electrical Distribution System Based on Heuristic Method with Micro Grids Integration," *Sustainability*, vol. 11, no. 6, 2019.
- [29] V. Dumbrava, C. Lazaroiu, C. Roscia, and D. Zaninelli, "Expansion planning and reliability evaluation of distribution networks by heuristic algorithms," 2011.
- [30] Y. Hu, Z. Chang, and L. Sun, "Analysis of the Shortest Repaired Path of Distribution Network Based on Dijkstra Algorithm," pp. 73–76, 2009.
- [31] G. Celli, E. Ghiani, S. Mocci, and F. Pilo, "A Multiobjective Evolutionary Algorithm for the Sizing and Siting of Distributed Generation," vol. 20, no. 2, pp. 750–757, 2005.
- [32] M. Brazil, M. Volz, M. Zachariassen, C. Ras, and D. Thomas, "Computational Geometry: Theory and Applications New pruning rules for the Steiner tree problem and 2-connected Steiner network problem," *Comput. Geom. Theory Appl.*, vol. 78, pp. 37–49, 2019.
- [33] X. Han, J. Liu, D. Liu, Q. Liao, J. Hu, Y. Yang, and A. Steiner, "Distribution Network Planning Study with Distributed Generation Based on Steiner Tree Model," vol. 1, pp. 2–6, 2014.
- [34] A. K. Kiefner, "Minimizing path lengths in rectilinear Steiner minimum trees with fixed topology," *Oper. Res. Lett.*, vol. 44, no. 6, pp. 835–838, 2016.
- [35] E. Herrera Cisneros and E. Inga Ortega, "Planeación óptima de redes de distribución eléctrica aérea usando métodos heurísticos y procesos de simulación," 2018.
- [36] M. R. Haghifam and M. Shahabi, "Optimal location and sizing of HV / MV substations in uncertainty load environment using genetic algorithm," vol. 63, 2002.

Estado del Arte de conmutación de líneas de transmisión con análisis de contingencias

State of Art transmission systems switching with contingency analysis

Paúl Andrés Masache Almeida^{1*}, Diego Francisco Carrión Galarza²

^{1, 2} Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador

*Autor de correspondencia: pmasache@ups.edu.ec

RESUMEN– La presente investigación está enfocada en óptima conmutación de líneas de transmisión (OTS) posterior a la presencia de contingencias N-1 en los sistemas de potencia; por medio de OTS se reconfigura la etapa de transmisión tras producirse una falla, de esta manera; se busca disminuir la pérdida o salida de demanda del sistema y de reducir la probabilidad de un apagón masivo. OTS es un método muy flexible que permite solventar varios problemas que se presentan en el sistema eléctrico; principalmente en pérdidas y costos operativos. Se plantean las ecuaciones que rigen al OTS y una aproximación del método; el objetivo del uso de OTS es de mantener en los márgenes mínimos de operación al sistema eléctrico (tensión, frecuencia, el balance de potencias entre la etapa de generación y la demanda), frente a una contingencia N-1 y se evaluará la confiabilidad del SEP tanto en prefalla, como en postfalla por medio de los índices de confiabilidad. OTS es una metodología que permite reestructurar la etapa de transmisión del SEP, para mantener los niveles adecuados al sistema y reducir las pérdidas que pueden producirse.

Palabras clave– *Análisis de contingencias, conmutación de líneas de transmisión, índices de confiabilidad, sistema eléctrico de potencia, sistema de transmisión.*

ABSTRACT– The next investigation is focused in optimal transmission line switching (OTS) after presence of N-1 contingency in electrical power system; OTS chance topology transmission system when in the system is produced a fault, in this manner; this methodology search reduce the losses or demand output of the grid, however the principal idea is reducing the probability of blackout. OTS is a flexible method that permit to solve a lot of problems in the Electrical System. The principal problems are losses and operative costs. In this State of art, we detail the OTS equations and a method approximation. The principal idea is keeping the parameters in the minimum operations in Electrical System (voltage, frequency, generation and demand balance), with N-1 contingency; in SEP evaluate the reliability in prefault and postfault. we use reliability indices to evaluate SEP. OTS method, we permit to do a dynamic restructuring of SEP, and the method permit to keep the parameters and reduce the losses in the system, cause by faults.

Keywords– *Contingency analysis, transmission line switching, reliability indices, electrical power system, transmission system.*

1. Introducción

El sistema eléctrico de potencia (SEP), está conformado por tres etapas: generación, transmisión y distribución; En la etapa de distribución se encuentra conectada toda la demanda que la etapa de generación debe abastecer; pero el punto de enlace entre las etapas de distribución y generación, es la etapa de transmisión; la etapa de transmisión se encarga de transportar la energía eléctrica producida por la etapa de generación para que esta energía sea distribuida por todo los consumidores finales; es decir, transporta la energía desde la etapa de generación hasta la distribución. Para diseñar la etapa de transmisión es necesario conocer la

demanda que requiere el consumidor, de acuerdo a la demanda se establece los límites de potencia que soporta la etapa de transmisión y dependiendo donde se encuentre ubicada la etapa de generación se diseña la topología de la etapa de transmisión para transmitir la energía eléctrica desde etapa de generación hasta la distribución; la topología del sistema, se va expandiendo dependiendo del crecimiento de la etapa de demanda; mientras mayor incremento de cargas, la planificación de la expansión del sistema aumenta, sin embargo, mientras no exista una adecuada expansión del sistema, los estudios que se realizan o las simulaciones son fundamentales para la estabilidad de sistema estático [1].

Citación: P. Masache y D. Carrión, "Estado del Arte de conmutación de líneas de transmisión con análisis de contingencias," *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 2, pp. (97-105), 2019.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 7 de marzo de 2019. **Recibido con correcciones:** 19 de junio de 2019. **Aceptado:** 26 de julio de 2019.

DOI: <https://doi.org/10.33412/idt.v15.2.2252>

Copyright: 2019 P. Masache y D. Carrión. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Pero en la actualidad es necesario considerar al sistema de manera dinámico, es decir, que la etapa de demanda no es una variable constante, y viene a ser una variable dinámica; por la razón, es necesario realizar estudios del comportamiento de la etapa de demanda, en conjunto con el crecimiento de la etapa de generación. La metodología de la óptima conmutación de líneas de transmisión (OTS) que proviene de la terminología inglesa *optimal transmission switching*, permite realizar una planificación de la etapa de transmisión dependiendo del comportamiento de la etapa de la demanda y así optimizar el uso de las fuentes de energía eléctrica [1][2]; también OTS permite realizar la conmutación de las líneas de transmisión en caso de perturbaciones eléctricas y en conjunto con estudios de análisis de contingencias se conoce el nivel de seguridad que posea el sistema; es decir, la confiabilidad.

Se plantea usar la óptima conmutación de líneas de transmisión (OTS) que permite realizar la conmutación de las etapa de transmisión, para mantener los parámetros principales de un sistema eléctrico como son: las caídas de tensión, sobrecarga de líneas, balance de potencia entre demanda que requiere el consumidor y la etapa de generación [3]. Existen diferentes problemas que se pueden resolver con el modelo OTS como por ejemplo: la planeación de la expansión del sistema considerando que tiene un comportamiento dinámico [4], seguridad, confiabilidad del sistema, reducción del costo de producción de energía [5][6], disminución de la sobrecarga de las líneas [7], uno de los puntos fundamentales de OTS es la conmutación de las líneas cuando existen fallas eléctricas, para mantener al sistema bajo los parámetros óptimos de operación (voltaje, frecuencia, satisfacer la demanda) [8][9][10].

En este artículo se hace énfasis en el uso del OTS para la conmutación de las líneas en caso de producirse una falla eléctrica y, por medio de un análisis de contingencias, principalmente un estudio para una contingencia N-1 y verificar la confiabilidad del mismo antes y después de la conmutación; una contingencia es cuando un elemento del sistema sale de operación por una falla [11]; las fallas que pueden afectar al SEP pueden ser; la salida de grandes cargas de manera esporádica y las perturbaciones que se producen en las barras del SEP, este tipo de contingencias afectan directamente a la etapa de generación y distribución.

Existen varios métodos que se pueden usar para realizar un análisis de fallas del sistema, por ejemplo: el flujo de potencia y flujo óptimo de potencia AC y, dependiendo de la complejidad el flujo de potencia y flujo óptimo de potencia DC [12][13][14][15].

La confiabilidad permite comprobar el nivel de seguridad que posee el sistema cuando se produce una falla, las fallas alteran los parámetros de operación, la finalidad de un estudio de confiabilidad es conocer si el sistema es capaz de soportar una contingencia N-1, N-M. También es conocer aquellos elementos vulnerables; para ello se emplean los índices de confiabilidad y así tener una mejor comprensión del comportamiento del sistema. Cuando se habla del uso del método OTS, es reestructurar la transmisión manteniendo los parámetros de operación y principalmente que no afecte el balance de potencia [12][16].

Las principales contribuciones que presenta este artículo son: un enfoque más amplio del uso OTS junto a un análisis de contingencias; OTS como modelo base para el comportamiento de la etapa de transmisión frente a una falla eléctrica y cómo se reestructura; planteamiento de las expresiones matemáticas que representan al OTS; las aproximaciones realizadas con respecto del OTS por [2] y los teoremas fundamentales que gobiernan a estas aproximaciones frente al método OTS original.

En síntesis, el método OTS tiene una gran flexibilidad para la solución de varios problemas; varios autores han propuesto la solución de: estabilidad de voltaje, sobrecarga de las líneas eléctricas, reducción de pérdidas y costos operativos, seguridad en el sistema de potencia, análisis de conmutación de líneas durante una emergencia [17][18][19], protecciones en el sistema eléctrico y la reestructuración dinámica (Topología dinámica) [20][21]. A continuación, se detalla cómo está estructurado el artículo; sección II, Aplicaciones del OTS; sección III, Análisis de contingencias, sección IV, Expresiones matemáticas del OTS; sección V, Índices de Confiabilidad; sección VI, Conclusiones y Futuros Trabajos.

2. Aplicaciones de la conmutación de líneas de transmisión

Existen varios aplicativos de la conmutación de líneas; la principal ventaja es optimizar el uso de los recursos y mantenimiento al sistema operativo frente a

diversas contingencias o frente a una expansión del sistema.

Cuando se habla de la expansión del sistema, existen algunas variables que se debe considerar al momento de planificar una expansión; uno de los puntos principales de interés es el factor económico, ya que se debe equilibrar entre la inversión y la posibilidad de integrar nuevas cargas de demanda al sistema; otro aspecto fundamental es la solución del problema de congestión en las líneas eléctricas [22], cuando se habla de reducir la congestión de las líneas existen dos maneras como solucionar el problema, redefinir al sistema, es decir cambiar la topología del sistema o implementar nuevas estructuras en el sistema; muchos autores proponen realizar la planificación de la expansión por medio de la metodología expuesta OTS; el modelo OTS realiza una expansión del sistema eléctrico a corto y mediano plazo; cuando se realiza un análisis de expansión, OTS reestructura, rediseña la etapa nueva de transmisión de acuerdo a parámetros técnicos eléctricos y como se ha consolidado la etapa de distribución y se verifica la confiabilidad de la nueva topología [23], [24].

También por medio del OTS se realiza la conmutación o desconexión de líneas en caso de alguna emergencia cuando existe una falla en el sistema; como se conoce una falla altera la corriente y el nivel de tensión, esto provoca que el sistema pierda estabilidad y en caso de que la falla persista, puede provocar la pérdida de la etapa de demanda; OTS es una metodología que permite redistribuir el flujo de corriente eléctrica por medio de la desconexión de las líneas y de esta manera minimizar la falla producida en el sistema eléctrico, el punto importante de realizar un OTS cuando se produce una falla eléctrica es mínima la desconexión de carga, con la finalidad de que el consumidor no se vea afectado la consumo habitual de energía eléctrica [1], [2].

El principal aspecto del OTS a tomar en cuenta, es la capacidad que tiene para aportar la etapa de generación, la potencia que necesita la etapa de demanda, una reserva en caso de emergencia; en cambio para la etapa de transmisión se debe tener en cuenta lo generado y la capacidad para transmitir toda la potencia que requiera la etapa de demanda, otro aspecto es la estabilidad que posea con respecto a una perturbación, y que esta perturbación tenga una mínima influencia en el funcionamiento del sistema. La etapa de distribución es

la capacidad de suministrar la energía proporcionada por la etapa de transmisión a cada una de las grandes cargas; para ello el sistema debe estar dividido en circuitos primarios de alimentación, el nivel de seguridad y protección que posea las subestaciones [25], [26].

El modelo OTS es uno de los medios que permite solventar varias problemáticas que se plantean en el sistema de potencias, por tal razón se realiza una profundización en cuanto a la metodología que se plantea y a los 3 principales teoremas que gobiernan a este método planteado por [2]; además existen varios autores que realizan la restructuración del sistema por el OTS aplicando flujo de carga DC [27][7] y un análisis por flujo de carga AC [12][27][5]. El análisis principalmente se lo realiza bajo los parámetros de voltajes del sistema [11][16][28]. El tipo de problema que se plantea es MILP (programación lineal entera mixta), con variables binarias; las variables binarias representarían el estado de operación de las líneas, también es necesario el uso de un Flujo de Potencia óptimo para verificar el comportamiento del SEP antes y después de la perturbación [29], [30], [31]; por medio de un flujo óptimo de carga se obtendrá los niveles de potencia que se genera para abastecer la etapa de demanda, por último con el OTS se obtiene la topología de la etapa de transmisión después de la perturbación [32][33]. La finalidad es mantener la estabilidad del sistema, reduciendo el uso de los recursos; otro factor importante del método OTS es reducir el costo operativo cuando el sistema presenta fallas inesperadas, manteniendo niveles de tensión y frecuencia de manera óptima y satisfaciendo el balance de potencias (la potencia generada será igual a la demanda necesaria más las pérdidas producidas en el sistema) [34][35].

3. Análisis de contingencias

El análisis de contingencias se puede realizar ya sea en la etapa de generación, transmisión o distribución; pero para el estudio planteado se realiza únicamente en la etapa de transmisión; la finalidad de realizar análisis es que después de una perturbación el sistema sea capaz de soportar y pueda mantener su operación bajo condiciones mínimas de operación [6][36][37]. Dicho análisis es una parte fundamental del estudio de la seguridad que puede brindar el sistema eléctrico; una contingencia es cuando un elemento sale de servicio o

deja de operar; el análisis ayuda a conocer el comportamiento del sistema cuando no opera en condiciones normales [7], por ejemplo, cuando un generador no funciona, un cortocircuito eléctrico o una pérdida significativa de demanda eléctrica [16][22]. La principal salida de elementos del sistema es por fallas, y esta falla puede producir salidas de un solo elemento o puede provocar la salida de múltiples elementos.

Un análisis de contingencias se lo efectúa con la finalidad de conocer el estado del sistema antes de que se produzca la falla y después de la falla, para conocer el estado del sistema y tener claro que elementos pueden operar bajo condiciones anormales; además, es un parámetro fundamental cuando se realiza un estudio del sistema eléctrico [6]. Generalmente el estudio se lo efectúa en un análisis del tipo N-1 [27]; una contingencia N-1, hace referencia a la capacidad del SEP de reaccionar frente a un elemento en falla, pero principalmente es la habilidad de los generadores de estabilizar al sistema frente a esta falla [12]. Un análisis de contingencias posee parámetros fundamentales de operación como es la tasa de falla y la tasa de reparación; los dos parámetros son la base del cálculo de los índices de confiabilidad:

La confiabilidad del SEP es verificar si el sistema es capaz de soportar una falla y conocer el nivel de seguridad, manteniendo protegido el sistema; existen índices que permite cuantificar y medir al sistema; pero como el SEP es muy amplio se lo ha dividido en tres etapas: generación, transmisión y distribución [25].

La tasa de falla (TTF), es un valor que se lo calcula a partir del número de interrupciones del servicio que ha sufrido un elemento del sistema; cada elemento del sistema posee un valor de tasa de falla (TTF), a este índice o valor se lo calcula en un tiempo determinado. El valor inverso de la tasa de fallas se lo conoce como tiempo promedio entre fallas (MTTF) y, U es la indisponibilidad anual de un equipo [25].

$$TTF = MTTF * \ln(U) \quad (1)$$

La tasa de reparación (TTR), se le conoce como el tiempo estimado en realizar la reparación del elemento en falla; de manera técnica a este valor se lo conoce también como el tiempo promedio que puede durar una falla; el valor inverso de la tasa de reparación se lo conoce como tiempo promedio de reparación (MTTR) y, U es la indisponibilidad anual de un equipo [25].

$$TTR = MTTR * \ln(U) \quad (2)$$

La confiabilidad del SEP está determinada por las fallas que pueden producirse durante un tiempo determinado, muchos autores mencionan que la confiabilidad se cuantifica en un lapso promedio de 5 minutos; es decir, que durante este tiempo el SEP debe estabilizar sus parámetros de operación (voltaje, frecuencia y el balance de potencias); por ende, la confiabilidad solo estudia la frecuencia y la duración de la falla. Cuando el sistema no se estabiliza durante el tiempo esperado, se produce un colapso general de operación y control del sistema. Se necesita que el sistema sea capaz de recuperarse rápidamente de los fallos, esta capacidad de recuperación se lo conoce como resiliencia [38][39]; la resiliencia posee varias etapas o condiciones para su operación; primero la protección necesaria para operar bajo condición anormal, segundo la redundancia; es decir, una reserva como resguardo en caso de daño mecánico y tercero la recuperación del sistema de manera temprana; por tal razón, un sistema tiene que tener la habilidad de recuperarse y adaptarse frente a fallos [38][40].

En la sección VI se realiza un detalle sobre los índices que se pueden usar en cada una de las etapas descritas.

4. Expresiones matemáticas del OTS

Las expresiones matemáticas que se detallan son desarrolladas por [2], y la base teórica de este desarrollo se realizó en [1]; por tal razón se menciona un detalle matemático expuesto por el autor [2], y todo el análisis del OTS está fundamentado o es una extensión matemática de un flujo óptimo de carga DC.

Nomenclatura.

n	Número de generadores
k	Línea de transmisión
i	Número de bus
C_n	Costo de operación de un generador
D_b	Demanda eléctrica
$F_k^{m\acute{a}x}$	Máxima tasa de la línea de transmisión
Y_k	Susceptancia eléctrica de la línea de transmisión

$G_n^{m\acute{a}x}$	Generación máxima
$G_n^{m\acute{i}n}$	Generación mínima
$\theta^{m\acute{i}n}$	Ángulo mínimo
$\theta^{m\acute{a}x}$	Ángulo máximo
θ_a	Ángulo de origen del bus
θ_b	Ángulo de destino del bus
$Z_k^{m\acute{a}x}$	Número máximo de líneas conmutadas
Z_k	Estado de la línea (0 fuera de servicio; 1 en servicio)
g_n	Potencia del generador
f_k	Flujo de potencia transmitido por la línea
P	Variable para optimizar
M_k	Valor máximo de potencia de las líneas

Las expresiones matemáticas mostradas en las ecuaciones (3–9) son todas las que representan matemáticamente el modelo OTS.

Función objetivo:

$$\text{Min: } P = \sum C_n * g_n \quad (3)$$

s.a.

$$\sum g_n + \sum f_k - \sum f_k = D_i \quad \forall b \quad (4)$$

$$-(1 - z_k)M_k \leq f_k - Y_k(\theta_{a_k} - \theta_{b_k}) \leq (1 - z_k)M_k \quad \forall k \quad (5)$$

$$-F_k^{max} z_k \leq f_k \leq F_k^{max} z_k \quad \forall k \quad (6)$$

$$G_n^{min} \leq g_n \leq G_n^{max} \quad \forall n \quad (7)$$

$$-\theta_k^{max} \leq \theta_{a_k} - \theta_{b_k} \leq \theta_k^{max} \quad \forall k \quad (8)$$

$$\sum (1 - z_k) = Z_k^{max} \quad (9)$$

La ecuación (3), representa la función objetivo, minimizar la función de costos de operación por la potencia que necesita el generador despachar; la ecuaciones de (4–9) representan todas las restricciones a las cuales está sujeto el modelo; la ecuación (4) figura la sumatoria de potencia generada con la diferencia del flujo de potencia del bus y es igual a la potencia que

sale de la misma barra; la ecuación (5) manifiesta la relación que existe entre los parámetros de voltaje y ángulo entre los buses y las líneas que se interconectan a los buses; la ecuación (6) representa los límites de flujo que posee una línea; la ecuación (7) traza la capacidad máxima y mínima de cada generador; la ecuación (8) restringe la diferencia entre los ángulos de los buses, forzándolo entre un valor mínimo y un valor máximo. En las restricciones mostradas, también se incluye la conmutación de las líneas, el termino Z_k , es una variable binaria que representa el estado de operación de la líneas eléctricas [2].

5. Metodología aproximada del OTS

Las expresiones matemáticas de las ecuaciones (3-9), representan las ecuaciones originales del OTS estas ecuaciones son propuestas por [1], pero también se presenta un modelo aproximado del OTS, en donde se incluye una variable de decisión ϵ_k , y una contante en la función objetivo C' ; esta aproximación es propuesto por [2].

Función objetivo:

$$\text{Min: } P = \sum C_n * g_n + C' \sum \frac{\epsilon_k}{M_k} \quad (10)$$

s.a.

$$\sum g_n + \sum f_k - \sum f_k = D_i \quad \forall b \quad (11)$$

$$-\epsilon_k \leq f_k - Y_k(\theta_{a_k} - \theta_{b_k}) \leq \epsilon_k \quad \forall k \quad (12)$$

$$0 \leq \epsilon_k \leq (1 - z_k)M_k \quad \forall k \quad (13)$$

$$-F_k^{max} z_k \leq f_k \leq F_k^{max} z_k \quad \forall k \quad (14)$$

$$G_n^{min} \leq g_n \leq G_n^{max} \quad \forall n \quad (15)$$

$$-\theta_k^{max} \leq \theta_{a_k} - \theta_{b_k} \leq \theta_k^{max} \quad \forall k \quad (16)$$

Al igual que las expresiones del OTS en las ecuaciones (3–9), la formulación matemática presentada en las ecuaciones (10–16), posee una función objetivo la ecuación (10) donde se minimiza la función de costos de operación junto a la potencia adecuada que debe producir cada generador; las ecuaciones (11 – 16) son restricciones, la ecuación (11) representa el flujo entre los buses con la sumatoria de la generación requerida; la ecuación (5) es la relación entre el flujo de potencia junto al ángulo de desfase que va a tener cada bus; las ecuaciones (14-16) representan los valores máximos y mínimos que van a restringir al flujo de potencia, a la producción de potencia de cada generador, la variación

angular permitida en cada bus. En las ecuaciones del (12-16) interviene una variable binaria ϵ_k que puede tomar valores de cero o uno dependiendo del estado de las líneas, y la C' es una constante del sistema. Se plantea tres teoremas que permiten una mejor comprensión a la metodología del OTS [2].

Teorema 1. Las soluciones óptimas encontradas con el OTS original son similares a las soluciones óptimas encontradas con el modelo del OTS aproximado [2].

Teorema 2. Si se asume que “ a_1 ” y “ a_3 ” es número de líneas conmutadas, ya sea por la metodología original del OTS o por la metodología aproximada del OTS; estos valores realizan el remplazo en la (12); entonces se ha obtenido la siguiente relación como resultado [2]:

$$a_1 \leq a_3 \quad (16)$$

Teorema 3. Se asume “ a ” es el número de líneas conmutadas como solución óptima de la metodología del OTS original y también de la metodología del OTS aproximado, por lo tanto, se concluye la siguiente relación entre las dos funciones objetivo [2].

$$\begin{aligned} P_3 - P_1 &\leq a \quad \text{Para la F.O. del OTS original} \\ P_3 - P_1 &\leq C' * a \quad \text{Para la F.O del OTS aproximado} \end{aligned}$$

6. Índices de confiabilidad

Los índices de la calidad del suministro de energía, permite establecer las afectaciones que se tuvieron durante un corte de suministro, cuantas veces se produjeron estos fallos; a estos indicadores se puede evaluar en la etapa de generación, la etapa de transmisión, y la etapa de distribución de electricidad.

ASAI (*Average Service Availability Index*); número de horas disponibles vs el número de horas que se ha brindado el servicio; se usa en la etapa de distribución [41][42].

$$ASAI = \frac{\text{disponibilidad de servicio}}{\text{total de horas de servicio}} \quad (17)$$

ASIDI (*Average System Interruption Duration Index*); tiempo en donde se detuvo en su totalidad el servicio de energía, se usa en la etapa de distribución [41][43].

$$ASADI = \frac{\text{total de KVA no suministrado}}{\text{KVA suministrado}} \quad (18)$$

ASIFI (*Average System Interruption Frequency Index*); número total de interrupciones que se ha

generado por un periodo de tiempo; se relaciona con una interrupción del servicio global o una interrupción del servicio parcial; se usa en la etapa de distribución [41].

$$ASIFI = \frac{\text{KVA no suministrado}}{\text{KVA suministrado}} \quad (19)$$

ASUI (*Average Service Unavailability*); número de desconexiones que ha tenido un elemento del sistema, es decir el número de veces que ha dejado de brindar el servicio eléctrico a los clientes durante un periodo de tiempo determinado; se usa en la etapa de distribución. En síntesis, este índice significa el servicio medio que no está disponible [42].

$$ASUI = 1 - ASAI \quad (20)$$

CAIDI; número total de fallos que ha existido en un año, no son fallos recurrentes o fallos en un solo equipo; representa los fallos globales en el sistema, se utiliza en la etapa de distribución [41][42][43].

$$CAIDI = \frac{\text{minuto sin servicio por cliente}}{\text{total de clientes sin servicio}} \quad (21)$$

CAIFI; se utiliza en la etapa de distribución, permite medir el número de interrupciones en el año de un consumidor [41].

$$CAIFI = \frac{\text{número de veces sin servicio}}{\text{total de clientes sin servicio}} \quad (22)$$

MAIFI; valor medio de las veces que un equipo ha salido de operación, que ha dejado de suministrar energía eléctrica durante un periodo de un año [41].

$$MAIFI = \frac{\text{número total de interrupciones del cliente menos el tiempo definido}}{\text{total de clientes sin servicio}} \quad (23)$$

SAIDI; tiempo de duración de una falla, en donde está localizada la falla y los recursos disponibles para solventar la falla; se utiliza en la etapa de distribución [41][42].

$$SAIDI = \frac{\text{minutos sin servicio por cliente}}{\text{total de clientes}} \quad (24)$$

SAIFI; frecuencia de interrupción de una falla; es decir, cuántas veces se ha producido la falla durante un

periodo indefinido. Se utiliza en la etapa de distribución [41][42].

$$SAIFI = \frac{\text{total clientes sin servicio}}{\text{total de clientes}} \quad (25)$$

LOLE; número de horas que se conoce o se sabe que no se abastecerá la demanda; hace más referencia a mantenimientos ya planificados; se utiliza en etapa de generación, transmisión [44][45].

$$LOLE = \sum T_k * P_k \quad (26)$$

De donde P_k es la probabilidad de la capacidad de suministrar la energía; T_k es la demanda conocida no suministrada.

EENS; es un índice probabilístico, para evaluar la confiabilidad del sistema eléctrico y su evolución; representa a la energía no suministrada, principalmente durante un periodo de un año [44].

$$EENS = \sum E_k * P_k \quad (27)$$

De donde P_k es la probabilidad de la capacidad de suministrar la energía; E_k es la energía no suministrada.

EUE (*Expected Unserved Energy*); este índice es la energía que se espera que no estará disponible en un periodo determinado [42].

$$EUE = \sum L * U \quad (28)$$

Donde L es la carga promedio conectada y la U es la indisponibilidad promedio anual del servicio.

LOEE; se utiliza en la etapa de generación y transmisión, representa la energía que no se suministra por la falta de capacidad de la infraestructura [45][46].

$$LOEE = \sum E_k * p_k \quad (29)$$

De donde p_k es la probabilidad de que la etapa de generación no abastezca la demanda; E_k es la energía que no se puede suministrar.

LOLP (*Loss Of Load Probability*); representa el número de horas en el año, donde no se abasteció la demanda en totalidad; es utilizado en la etapa de generación, transmisión y en distribución en caso de generación distribuida [45].

$$LOLP = \frac{LOLE}{\text{horas no suministradas}} \quad (30)$$

EIU (*Energy Index Unreliability*); tasa de la energía del sistema que no se toma en cuenta cuando existe un

inconveniente en el sistema, es energía no disponible [46].

$$EIU = \frac{LOEE}{E} \quad (31)$$

Los últimos índices no son aplicables cuando existe una reducción o un incremento de la demanda, se utiliza en la etapa de transmisión y a la etapa de generación, aunque, principalmente se utiliza en mantenimientos programados [46][47].

7. Conclusiones

Con la expansión del SEP, es necesario buscar formas de mantener al sistema operativo sin alterar los parámetros óptimos de funcionamiento; por tales razones se encuentra en estudio el método OST, óptima conmutación de la etapa de transmisión, es un método que ha permitido realizar una reestructuración, variando su estructura, dependiendo de los niveles de demanda y de la caída de tensión de cada uno de los nodos del sistema.

OTS es un método que permite realizar diferentes tipos de estudios y mejorar la funcionalidad del SEP como, por ejemplo, el mejoramiento de los parámetros operativos del sistema; reduciendo las pérdidas producidas por la sobrecarga de las líneas.

La reestructura de la etapa de transmisión es la base de la metodología del OTS, los primeros estudios realizados se basan en una reconfiguración, pero a partir de estas bases de la investigación se fundamenta todas las aplicaciones y toda la propuesta; pero para ello es necesario incorporar otros fundamentos matemáticos como son los flujos de óptimo de potencia en DC o en AC y también, es necesario el uso de un despacho óptimo de generación. Por todo lo mencionado se considera que el problema se puede solucionar por medio de MILP.

El análisis de contingencias ayuda a conocer el comportamiento de un sistema cuando se encuentra sometido a una falla inesperada, cómo el sistema puede mantenerse operativo y cuáles son las condiciones de posfalla que se encontrará en el SEP. Por medio del OTS se propone realizar una conmutación de las líneas en caso de una falla, y por medio de esta reestructuración topológica buscar la mejor topología para aislar la falla y mantener el servicio eléctrico en las condiciones óptimas de operación (tensión, frecuencia constante y el balance de potencias, potencia generada sea igual a la demanda y las pérdidas del sistema).

8. Futuros trabajos

El presente artículo es una premisa de una investigación realizada con respecto al modelo OTS expuesto; se pretende utilizar OTS en la etapa de transmisión para realizar una óptima conmutación de las líneas en caso de fallas en el sistema eléctrico, también se verifica el nivel de confiabilidad del SEP antes de la falla y, durante la falla por medio de los índices de confiabilidad (antes y después de la conmutación de las líneas); para concluir, se verifica el comportamiento del sistema durante la falla y se reestablece su operación por la metodología OTS a partir del modelamiento y la simulación, así se comprueba que el sistema eléctrico opere de manera adecuada después de la falla producida en el sistema.

9. Referencias

- [1] E. B. Fisher, R. P. O'Neill, and M. C. Ferris, "Optimal Transmission Switching," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 23, no. 3, pp. 1346–1355, 2008.
- [2] M. Jabarnejad, "Approximate optimal transmission switching," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 161, pp. 1–7, 2018.
- [3] A. S. Korad and K. W. Hedman, "Reliability and stability analysis of corrective topology control actions," *2015 IEEE Eindhoven PowerTech, PowerTech 2015*, 2015.
- [4] A. K. Gupta, D. Kiran, and A. R. Abhyankar, "Flexibility in transmission switching for congestion management," *2016 Natl. Power Syst. Conf. NPSC 2016*, 2017.
- [5] S. Gusev and V. Oboskalov, "Recursion Based Contingency Analysis of an Electrical Power System," *Int. Symp. Ind. Electron.*, pp. 2–5, 2016.
- [6] M. Chen, "Dynamic Contingency Re-definition in Power System Security Analysis," *4th Int. Conf. Electr. Util. Regul. Restruct. Power Technol.*, pp. 63–66, 2011.
- [7] A. Khodaei and M. Shahidehpour, "Transmission switching in security-constrained unit commitment," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 25, no. 4, pp. 1937–1945, 2010.
- [8] M. Flores, R. Romero, and J. F. Franco, "An analysis of the optimal switching problem in transmission systems," *IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. - Lat. Am. ISGT Lat. Am.*, vol. 2017-Janua, pp. 1–5, 2017.
- [9] J. Aghaei, A. Nikoobakht, M. Mardaneh, M. Shafie-khah, and J. P. S. Catalão, "Transmission switching, demand response and energy storage systems in an innovative integrated scheme for managing the uncertainty of wind power generation," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 98, no. August 2017, pp. 72–84, 2018.
- [10] A. Nikoobakht, J. Aghaei, and M. Mardaneh, "Securing highly penetrated wind energy systems using linearized transmission switching mechanism," *Appl. Energy*, vol. 190, pp. 1207–1220, 2017.
- [11] X. Li, P. Balasubramanian, M. Sahraei-Ardakani, M. Abdi-Khorsand, K. W. Hedman, and R. Podmore, "Real-Time Contingency Analysis with Corrective Transmission Switching," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 32, no. 4, pp. 2604–2617, 2017.
- [12] G. Poyrazoglu and H. Oh, "Optimal Topology Control with Physical Power Flow Constraints and N-1 Contingency Criterion," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, no. 6, pp. 3063–3071, 2015.
- [13] P. Escudero and D. Carrión, "Expansión de un sistema de transmisión mediante LOPF-AC," *Inge Cuc*, vol. 14, no. 2, pp. 116–125, 2018.
- [14] M. Khanabadi, Y. Fu, and C. Liu, "Decentralized transmission line switching for congestion management of interconnected power systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 33, no. 6, pp. 5902–5912, 2018.
- [15] D. Carrión, J. W. González, I. A. Issac, and G. J. López, "Optimal fault location in transmission lines using hybrid method," *2017 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Conf. - Lat. Am. ISGT Lat. Am. 2017*, pp. 1–6, 2017.
- [16] S. Robak, J. Machowski, and K. Gryszpanowicz, "Contingency selection for power system stability analysis," *2017 18th Int. Sci. Conf. Electr. Power Eng.*, pp. 0–4, 2017.
- [17] G. Papaefthymiou, J. Verboomen, and P. H. Schavemaker, "impact of Stochastic Generation in Power Systems Contingency Analysis," *Int. Conf. Probabilistic Methods Appl. to Power Syst.*, pp. 1–6, 2006.
- [18] F. Fatehi, M. Rashidinejad, and A. A. Gharaveisi, "Contingency Ranking Based on a Voltage Stability Criteria Index," *2007 Large Eng. Syst. Conf. Power Eng.*, pp. 142–147, 2007.
- [19] M. Lu, H. Nagarajan, E. Yamangil, R. Bent, S. Backhaus, and A. Barnes, "Optimal Transmission Line Switching Under Geomagnetic Disturbances," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 33, no. 3, pp. 2539–2550, 2018.
- [20] M. Peker, A. S. Kocaman, and B. Y. Kara, "Benefits of transmission switching and energy storage in power systems with high renewable energy penetration," *Appl. Energy*, vol. 228, no. June, pp. 1182–1197, 2018.
- [21] Y. Tohidi, M. R. Hesamzadeh, R. Baldick, and D. R. Biggar, "Transmission network switching for reducing market power cost in generation sector: A Nash-equilibrium approach," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 146, pp. 71–79, 2017.
- [22] Q. Wang, J. P. Watson, and Y. Guan, "Two-stage robust optimization for N-k contingency-constrained unit commitment," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 3, pp. 2366–2375, 2013.
- [23] S. K. Agarwal and W. V. Torre, "Development of reliability targets for planning transmission facilities using probabilistic techniques - A utility approach," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 12, no. 2, pp. 704–709, 1997.
- [24] A. Khodaei, M. Shahidehpour, and S. Kamalinia, "Transmission Switching in Expansion Planning," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 25, no. 3, pp. 1–9, 2010.

- [25] A. Gary and A. Mass, "Evaluacion de confiabilidad en sistemas electricos de distribucion," Pontificia Universidad Católica de Chile, 1994.
- [26] P. Dehghanian and M. Kezunovic, "Probabilistic impact of transmission line switching on power system operating states," *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Transm. Distrib. Conf.*, vol. 2016-July, pp. 1–5, 2016.
- [27] M. Khanabadi, H. Ghasemi, and M. Doostizadeh, "Optimal transmission switching considering voltage security and N-1 contingency analysis," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 1, pp. 542–550, 2013.
- [28] R. Caglar and A. Ozdemir, "Composite Electric Power System Adequacy Evaluation via Transmission Losses Based Contingency Selection Algorithm," *PowerTech Budapest 99. Abstr. Rec.*, p. 84, 1999.
- [29] G. Ayala and A. Street, "Energy and reserve scheduling with post-contingency transmission switching," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 111, pp. 133–140, 2014.
- [30] F. Pourahmadi, M. Jooshaki, and S. H. Hosseini, "A dynamic programming-based heuristic approach for optimal transmission switching problem with N-1 reliability criterion," *2016 Int. Conf. Probabilistic Methods Appl. to Power Syst. PMAPS 2016 - Proc.*, 2016.
- [31] S. A. Tabatabaei Khorram, M. Fotuhi-Firuzabad, and A. Safdarian, "Optimal transmission switching as a remedial action to enhance power system reliability," *2016 Smart Grids Conf. SGC 2016*, pp. 7–12, 2017.
- [32] S. Pal, S. Sen, J. Bera, and S. Sengupta, "Network modeling using optimal transmission switching," *IEEE Calcutta Conf. CALCON 2017 - Proc.*, vol. 2018-Janua, pp. 321–324, 2018.
- [33] D. Sun, X. Liu, Y. Wang, B. Yang, and J. Yang, "Robust optimal power flow with transmission switching," *Proc. IECON 2017 - 43rd Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, vol. 2017-Janua, pp. 416–421, 2017.
- [34] K. W. Hedman, R. P. O'Neill, E. B. Fisher, and S. S. Oren, "Optimal Transmission Switching With Contingency Analysis," *IEEE Trans. power Syst.*, vol. 24, no. 3, pp. 1577–1586, 2009.
- [35] M. Abdi-Khorsand, M. Sahraei-Ardakani, and Y. M. Al-Abdullah, "Corrective Transmission Switching for N-1-1 Contingency Analysis," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 32, no. 2, pp. 1606–1615, 2017.
- [36] D. Carrion and J. Gonzalez, "Optimal PMU location in electrical power systems under N-1 contingency," *Proc. - 3rd Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci. INCISCOS 2018*, no. 1, pp. 165–170, 2018.
- [37] D. Carrión and J. González, "Ubicación óptima de una PMU considerando restricciones de contingencias N-1 en los sistemas eléctricos de potencia," *Enfoque UTE*, vol. 10, no. 1, pp. 1–12, 2019.
- [38] F. H. Jufri, V. Widiputra, and J. Jung, "State-of-the-art review on power grid resilience to extreme weather events: Definitions, frameworks, quantitative assessment methodologies, and enhancement strategies," *Appl. Energy*, vol. 239, no. July 2018, pp. 1049–1065, 2019.
- [39] Y. Khalil, R. El-Azab, M. A. Abu Adma, and S. Elmasry, "Transmission Lines Restoration Using Resilience Analysis," *2018 20th Int. Middle East Power Syst. Conf. MEPCON 2018 - Proc.*, pp. 249–253, 2019.
- [40] Y. Lin, Z. Bie, and A. Qiu, "A review of key strategies in realizing power system resilience," *Glob. Energy Interconnect.*, vol. 1, no. 1, pp. 70–78, 2018.
- [41] Ieee, *IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices IEEE*, vol. Std 1366-2. New York: IEEE, 2012.
- [42] a. K. Basu, S. Chowdhury, and S. P. Chowdhury, "Role of switching devices on microgrid reliability," *Univ. Power Eng. Conf. (UPEC), 2010 45th Int.*, no. 1, pp. 1–6, 2010.
- [43] D. L. Johnston and B. K. Johnson, "Comparison of reliability indices with the effect of protection failure for an electrical to hydrogen distribution system," *41st North Am. Power Symp. NAPS 2009*, pp. 1–5, 2009.
- [44] H. Lotfi, M. B. Elmi, and M. Zarif, "Reliability assessment for power grid by adding wind farm," *2nd Int. Congr. Technol. Commun. Knowledge, ICTCK 2015*, no. Ictck, pp. 170–176, 2016.
- [45] A. K. Rajeevan, P. V. Shouri, and U. Nair, "ARIMA modeling of wind speed for wind farm reliability analysis," *2014 Annu. Int. Conf. Emerg. Res. Areas Magn. Mach. Drives*, pp. 3–7, 2014.
- [46] L. Xie, L. Cheng, and Y. Gu, "Reliability assessment at day-ahead operating stage in power systems with wind generation," *Proc. Annu. Hawaii Int. Conf. Syst. Sci.*, pp. 2245–2251, 2013.
- [47] D. A. K., "Reliability Criteria for Power Systems with Inherent Generation and Transmission Deficiencies," *IEEE Trans. Reliab.*, vol. R-30, no. 1, pp. 18–21, 1981.



Instructivo para autores

Guide for authors

Nombre del autor principal ^{1*}, Nombre de cada coautor ^{1...n}

¹ Unidad a la que está adscrito, entidad a la que está afiliado, País

^{1...n} Unidad a la que está adscrito, entidad a la que está afiliado, País

*Autor de correspondencia: ejemplo@ejemplo.com

RESUMEN– Todo trabajo debe presentar un resumen con un aproximado no más de doscientas cincuenta (250) palabras. Esta sección va después de la información de los autores y con su respectiva traducción al inglés. Utilice las palabras “RESUMEN” (español) y “ABSTRACT” (inglés) como títulos, alineados a la izquierda, en letra Times New Roman 12 puntos, tipo negrita y seguido de un guión. Luego, inicie el resumen en letra Times New Roman 9 puntos y espacio sencillo. Finalmente, mantener un espacio en blanco de 8 puntos y empiece a desarrollar el contenido del artículo. No modificar las líneas

Palabras clave– En esta sección se deben utilizar las frases “Palabras Clave” (español) y la palabra “Keywords” (inglés), alineadas a la izquierda, en letra Times New Roman 12 puntos, tipo negrita y seguido de un guion. Finalmente, debe incluir un máximo de siete (7) palabras clave o frases clave en letra Times New Roman 10 puntos, separadas por comas y en orden alfabético.

ABSTRACT– This section provides a sample of an abstract and keywords which conform to the formatting guidelines for Revista de I+D Tecnológico.

Keywords– Abstract, guidelines for authors, keywords, Revista de I+D Tecnológico.

1. Introducción

Este instructivo es una plantilla que el autor puede modificar para estructurar fácilmente su artículo según las disposiciones establecidas por el Comité Editorial (CE) de la Revista de I+D Tecnológico (RIDTEC) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP).

El documento provee reglas de estilo que explican el manejo de ecuaciones, figuras, tablas, abreviaturas y siglas. Además, el autor encontrará secciones para preparar los agradecimientos y referencias.

2. Componentes del artículo

El contenido del documento debe limitarse a un máximo de doce (12) páginas, incluyendo texto, ilustraciones, gráficos y referencias. Por página se entiende una cara de papel tamaño carta ó 21.59 cm x 27.94 cm (8.5" x 11"). El cuerpo del artículo es a dos (2) columnas, cada una con 8.79 cm de ancho y 1.0 cm de espacio entre cada columna.

La configuración de los márgenes es la siguiente: Solo la primera página superior 3 cm, inferior 2.5 cm,

izquierdo 1.5 cm y derecho 1.5 cm. Y la configuración del encabezado de página es de 2 cm y el pie página es a 1.5 cm, ambos solo aplicados en la primera página.

A continuación, se detallan los componentes del artículo y formato de presentación.

2.1 Tipos de letra y estilos

Utilice un procesador de texto con el tipo de letra Times New Roman. Por favor, evite el uso de “bit-mapped fonts”.

2.2 Título

El título debe ser breve e informativo, reflejando el hallazgo contenido en el artículo y debe estar en Times New Roman 16 puntos, negrita y centrada. La primera palabra comenzará con letra mayúscula y de ahí en adelante se utilizará la mayúscula solamente para los nombres propios y símbolos químicos. Se evitará el uso de abreviaciones y siglas en el título, así como palabras innecesarias al principio del título, como por ejemplo: un, una, sobre, el, etc.

Citación: Primera_letra_nombre. Apellido, “Titulo_artículo”, *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 15, no. 1, pp. (no_modificar), 2019.

Tipo de artículo: No_modificar. **Recibido:** No_modificar. **Recibido con correcciones:** No_modificar. **Aceptado:** No_modificar.

DOI:

Copyright: 2019 Primera_letra_nombre. Apellido. This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

El título debe contar con su respectiva traducción al inglés o al español, según el idioma base del artículo y tamaño de fuente a 14 puntos. Ejemplo: si el artículo está redactado en español entonces el título debe aparecer en español y luego en inglés o viceversa si es el caso contrario.

2.3 Nombre de los autores, afiliaciones y correo

Los autores y coautores deben escribir sus nombres de la misma forma como lo hacen en todas sus publicaciones y seguir el formato establecido al inicio del instructivo. Cada autor debe presentar la siguiente información: la unidad a la que está adscrito (departamento, centro de investigación, facultad, etc.); la entidad a la que está afiliado (universidad, empresa privada, etc.); el país al que corresponde y por último el correo del autor de correspondencia el cual debe estar indicado con un (*).

Los autores y coautores de la UTP deben utilizar el nombre completo de la universidad y sin traducirlo a otro idioma. En otras palabras, la entidad de afiliación es “Universidad Tecnológica de Panamá”. Esta medida contribuye positivamente en el conteo por entidad que realiza SCOPUS u otras herramientas, tales como: *Research ID*¹ y *WoS*².

2.4 Encabezado de Página de la primera página

No modificar.

2.5 Pie de página de la primera página

No modificar.

2.6 Cuerpo del manuscrito

Los componentes principales del manuscrito deben dividirse en secciones con un uso apropiado de títulos y subtítulos, según lo requiera la organización y el desarrollo lógico del material.

2.6.1 Texto principal

Escriba el texto principal en Times New Roman 11-puntos y a espacio sencillo. Los párrafos deben iniciar con una sangría de 0.5 cm. Además, el texto debe estar completamente justificado, **no** debe agregar espacios en blanco entre los párrafos de cada sección y los extranjerismos (solo aplica para artículo en español) no adaptados deben escribirse en cursiva.

2.6.2 Cabeceras de primer nivel, cabeceras de segundo nivel y viñetas

Una cabecera de primer nivel debe estar en Times New Roman 12 puntos, negrita, la letra inicial en mayúscula y a la izquierda de la columna. Ejemplo: ver el título de la sección 1 (introducción) del presente instructivo. Recuerde utilizar un punto (.) después de la numeración, no una coma (,). El texto del contenido va en la siguiente línea, recuerde mantener la sangría.

Una cabecera de segundo nivel debe estar en Times New Roman 11 puntos, negrita, la letra inicial en mayúscula y a la izquierda de la columna. Ejemplo: ver el título de la sección 2.3. El texto del contenido va en la siguiente línea, recuerde mantener la sangría.

Es importante indicar que estas especificaciones también aplican para las cabeceras de tercer nivel y su contenido. Además, la numeración de estas cabeceras no culminan con un punto. Las viñetas deben justificarse a la izquierda y a espacio sencillo. La sangría entre la viñeta y el texto es de 0.5 cm.

Nota: las secciones principales y subsecciones deben estar separadas mediante un interlineado sencillo (espacio en blanco) de tamaño 11 puntos. Además, escriba un texto entre el título de una sección y una subsección o entre subsecciones, no deje ese espacio en blanco, ver ejemplo entre las subsecciones 2.4 y 2.4.1.

2.6.3 Enumeración de páginas, encabezados y pies de páginas

Enumere sus páginas en el borde inferior derecho, ejemplo: 1, 2, 3, ..., n páginas. No utilice encabezados ni pies de páginas. Si necesita pie de página, colóquelo en la parte inferior de la columna en la cual se hace referencia con el siguiente formato: Times New Roman de 9 puntos y espacio sencillo. Para facilitar la lectura, se recomienda evitar el uso excesivo de pies de página e incluir observaciones entre paréntesis, ejemplo: (como se ilustra aquí...).

2.6.4 Ecuaciones

Si está utilizando *Microsoft Word*, use *Microsoft Editor de Ecuaciones* o el complemento *MathType* (www.mathtype.com) para ecuaciones en su artículo. Las variables, números y texto deben ser en Times New Roman 11 puntos.

Pasos para insertar ecuaciones:

- *Microsoft* Editor de Ecuaciones: *Insert/Insertar* - *Object/Objeto* - *Create New/Crear Nuevo* - *Microsoft Equation/Microsoft Editor de Ecuaciones*.
- *MathType*: *Insert/Insertar* - *Object/Objeto* - *MathType*.

La ecuación debe estar centrada y con su correspondiente numeración alineada a mano derecha, como se muestra a continuación,

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

Enumere las ecuaciones en forma consecutiva entre paréntesis. Use paréntesis para evitar ambigüedades en los denominadores. Utilice punto al final de la ecuación cuando ellas sean parte de una oración, como

$$\int_0^2 F(r, \varphi) dr d\varphi = [\sigma r_2 / (2\mu_0)] \quad (2)$$

$$\cdot \int_0^\infty \exp(-\lambda |z_j - z_i|) \lambda^{-1} J_1(\lambda r_2) J_0(\lambda r) d\lambda \cdot$$

Los símbolos de las ecuaciones deben ser definidos antes o inmediatamente después de la ecuación; utilice letra cursiva y 11 puntos. Para la definición utilice letra normal y 11 puntos. En cuanto a la referencia de la ecuación dentro del contexto del artículo deben ir en minúscula y sin punto al finalizar el texto. Por ejemplo: “En la ecuación 1 se muestra el resultado estimado” o “En la ecuación (1) se muestra el resultado estimado”.

No se aceptan las abreviaciones de las ecuaciones como: “a ec. (1)”, “eq. #1” o “ecuación N°1”. Además, las ecuaciones extraídas de fuentes externas deberán ser citadas en el texto.

2.6.5 Imágenes y fotografías

Las imágenes y fotografías deben estar centradas en el artículo formando parte del texto. En cuanto a numeración, título y leyenda, ver la siguiente sección.

Si alguno de los elementos mencionados no puede ser ajustado en las columnas, entonces debe centrarlo en la parte superior de la página con su respectivo título y leyenda. Después, deben seguir las columnas del artículo en la parte inferior.

Las fotografías e imágenes (tablas, diagramas, gráficos y ecuaciones) deben tener una resolución mínima de 300 ppp (píxeles por pulgada) o dpi (*dots per*

inch). Procure que la resolución de las imágenes facilite el envío del artículo a través de la plataforma.

No hay un límite en cuanto a la cantidad máxima de imágenes permitidas. Sin embargo, límitese a incluir las imágenes y ecuaciones más esenciales o novedosas.

Si su artículo es aprobado por el Comité Editorial para su publicación, entonces, debe seguir las instrucciones de la sección 4.

2.6.6 Leyendas de figuras y títulos de las tablas

Las leyendas de figuras y títulos de las tablas deben ser en Times New Roman de 10 puntos. La primera palabra de la leyenda debe iniciar con letra mayúscula. Las palabras “Figura” y “Tabla” deben ser en negrita, incluyendo el número de secuencia y el punto.

Las figuras y tablas deben enumerarse separadamente y llevar su respectiva secuencia, ejemplo: “**Figura 1.** Diagrama de control” y “**Tabla 1.** Mediciones en campo”. Las leyendas de las figuras se colocan *justificadas* debajo de la imagen y los títulos de las tablas se colocan *centrados* arriba de las tablas.

2.7 Secciones usuales de un artículo

Las secciones más usuales de un artículo científico, pero NO limitantes, son las siguientes:

2.7.1 Introducción

Debe ubicar al lector en el contexto del trabajo:

- La naturaleza del problema cuya solución o información se describe en el documento.
- El estado del arte en el dominio tratado (con sus respectivas referencias bibliográficas).
- El objetivo del trabajo, su relevancia y su contribución en relación al estado del arte.
- Descripción de la estructura del artículo.

2.7.2 Materiales y métodos

Es importante presentar el diseño y tipo de investigación, pasos de la investigación, materiales y métodos. Además, el autor debe incluir los criterios de la selección del material tratado, los controles, estudios planeados y realizados.

2.7.3 Resultados

Los resultados deben presentarse en orden lógico acorde a la metodología planteada. Usar tablas y figuras cuando sea posible para presentar los resultados de forma clara y resumida. Además, las referencias de

tablas y figuras dentro del contexto del artículo deben ir en minúscula y sin punto al finalizar el texto. Ejemplo: En la figura 2 se muestran las mediciones realizadas en el período de enero a marzo.

Tenga mucho cuidado en el texto del artículo al usar porcentajes o estadísticas con un pequeño número de muestras. Incorrecto: "El 60% (3/5) de las muestras de David y el 20% (1/5) de Santiago han demostrado resistencia a los medicamentos." Correcto: "Tres de cada cinco ejemplares de David y 1 de cada 5 ejemplares de Santiago han demostrado resistencia a los medicamentos."

Cuando un número empieza una oración entonces debe escribirlo en letras. Además, utilice numerales cuando las cifras sean mayores que 10.

Posterior a la presentación de los resultados, se destacarán y discutirán los aspectos más importantes del trabajo. Toda afirmación debe estar avalada por los resultados obtenidos. Y por último, comparar los resultados obtenidos con estudios previos.

Se recomienda extremar el poder de síntesis evitando repeticiones innecesarias. Además, las unidades numéricas con su respectiva magnitud deben estar unidas. Ejemplo: 30°C o 25%.

2.7.4 Conclusiones

Deben ser enunciadas con claridad y deben cubrir:

- Las contribuciones del trabajo y su grado de relevancia.
- Las ventajas y limitaciones de las propuestas presentadas.
- Referencia y aplicaciones de los resultados obtenidos.
- Recomendaciones para futuros trabajos.
- Impacto sobre la comunidad científica.

2.7.5 Agradecimiento

Utilice el término en singular como encabezado, aun cuando sean muchos agradecimientos. En esta sección se recomiendan las siguientes expresiones: "Agradecemos a Juan Pérez por su asistencia técnica" o "Agradecemos también a nuestro colaborador Carlos Pérez de la Dirección de Investigación en la Universidad Tecnológica de Panamá". El reconocimiento a patrocinadores por el apoyo financiero se indica en esta sección, ejemplo: "Este trabajo fue financiado por la Secretaría Nacional bajo contrato...".

2.7.6 Referencias

Las referencias se identificarán en el texto mediante números arábigos entre corchetes, alineados con la escritura. Se enumerarán por orden de aparición en el texto al final del trabajo. Las listas de referencias deben seguir el estilo de la **IEEE**. El autor tiene la libertad de utilizar un administrador de fuentes bibliográficas que incluyen los procesadores de texto o un *software* específico. La letra debe estar en Times New Roman 9 puntos.

El autor es responsable de la exactitud del contenido y citación de todas las referencias. Todas las referencias deben ser citadas en el documento. Los números de las referencias en el texto deben colocarse entre corchetes.

A continuación, se detallan algunos ejemplos de citaciones:

Citación de un artículo

- [1] G. Pevere. "Infrared Nation," *The International Journal of Infrared Design*, vol. 33, pp.56-99, Jan. 1979.

Citación de un libro

- [2] W.K. Chen. *Linear Networks and Systems*. Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123-35.

Citación de un documento electrónico

- [3] A. Paul. (1987, Oct.). "Electrical properties of flying machines." *Flying Machines*. [Online]. 38(1), pp. 778-998. Available: www.flyingmachjourn/properties/fly.edu [Dec. 1, 2003].

2.7.7 Apéndice

El apéndice consiste en la presentación de cualquier otro material que impida el desarrollo continuo del artículo, pero puede ser importante para justificar los resultados del trabajo.

3. Normas para la recepción de los artículos

La RIDTEC es una **revista abierta** de publicación semestral, por lo tanto, extendemos una cordial invitación a todos los autores interesados en publicar artículos científicos (ver definición en la sección 4) sobre los avances y los resultados de sus proyectos de investigación.

Las áreas de investigación de interés, pero no limitantes, han sido definidas por la UTP con la finalidad de abarcar los campos del conocimiento a nivel internacional han identificado en los sectores económico, social, científico y tecnológico:

- Agricultura y Agroindustria
- Astrofísica
- Biotecnología

- Cambio climático y meteorología
- Ciencias físicas y sistemas ambientales
- Geología
- Hidrología tropical
- Infraestructura.
- Instrumentación nuclear
- Logística y Transporte
- Proceso de Manufactura y Ciencia de los Materiales
- Sistema marino costero
- Tecnologías de Energías Renovables e Ingeniería Ambiental
- Tecnologías de la Información y Comunicación.
- Robótica, Automatización e Inteligencia Artificial.

Los autores de artículos pueden ser docentes, investigadores, estudiantes universitarios de pregrado y postgrado con orientación de un profesor tutor. Además, los interesados pueden ser profesionales de entidades públicas (autónomas y semiautónomas) y entidades privadas, ya sean, nacionales e internacionales. Los estudiantes de pregrado con interés de publicar pueden enviar sus trabajos a la Revista de Iniciación Científica de la UTP (<http://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric>).

El autor puede encontrar en el portal de la RIDTEC (<http://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico>) los siguientes ítems:

- Miembros del CE.
- Ediciones anteriores.
- Instructivo para autores.
- Objetivos, alcance, misión y temática.
- Política editorial de la revista.
- Declaración de ética de publicación de la revista.
- Plataforma para la recepción de artículos.
- Fechas de convocatorias para la recepciones de los artículos.

El autor debe enviar una primera versión de su artículo durante el periodo establecido, y cumplir con los siguientes criterios de preselección:

Criterio 1

El autor debe utilizar el formato establecido en el instructivo para estructurar su artículo y enviarlo a través de la plataforma para la recepción de artículos. Los artículos recibidos en la plataforma, pasada la fecha límite de la convocatoria, pasarán al estatus de “espera” para formar parte de la próxima convocatoria. El archivo del artículo debe cumplir con las siguientes

características: formato .doc o .docx y no debe superar los 65MB.

Criterio 2

El artículo emitido debe corresponder a la cobertura temática de la RIDTEC, y abarcar las áreas temáticas orientadas a las ciencias e ingenierías.

Criterio 3

El artículo debe pasar por un proceso de comprobación de originalidad, la RIDTEC hace uso de la herramienta web Paper Rater (acceso libre) y el *software* de detección de plagio, el cual permite garantizar la originalidad del trabajo escrito antes de la publicación.

No existe un límite para el envío de artículos por autor. Sin embargo, si dos o más artículos de un autor son aceptados entonces solo se publicará un artículo por número y los demás artículos en los siguientes números.

Nota: El autor solo puede modificar o retirar el artículo antes de la fecha establecida para el corte de la recepción. Esto implica que el artículo no puede ser reemplazado durante el proceso de evaluación o retirado si es recomendado para su publicación.

4. Evaluación y aceptación de artículos

Cada artículo será evaluado mediante el método de “revisión por pares doble ciego”, para garantizar un proceso de evaluación libre de sesgo o conflictos de intereses. Los criterios de evaluación son los siguientes: Originalidad, Relevancia, Calidad y Presentación (redacción y claridad de las secciones). Cada criterio será calificado como: Muy Alto, Alto, Bueno, Suficiente, Promedio, Débil o Deficiente. Dependiendo de esta calificación, el evaluador elegirá una de las siguientes alternativas: 1) se recomienda con modificaciones menores, 2) se recomienda con modificaciones mayores o, 3) no se recomienda. Además, el evaluador emite sus observaciones y recomendaciones, las cuales van dirigidas al autor y también al comité editorial. Para sustentar la evaluación del manuscrito, al artículo se le asigna un puntaje (0, 1 y 2), donde 0 representa a consideración del evaluador, que el artículo no se recomienda, 1 si el artículo se recomienda con modificaciones mayores y 2 si se recomienda con modificaciones menores. De esta manera el puntaje dado por cada evaluador se suma y divide entre la cantidad de evaluadores asignados al artículo emitido a revisión, así el resultado es un

promedio que podría variar entre 0 y 2. Este promedio determina si un artículo tendrá prioridad para ser publicado. Los artículos que fueron aprobados, pero no publicados en el actual número, pasarán al estatus de “espera” hasta el próximo número. Los dictámenes finales serán emitidos por el Comité Editorial (CE) de la RIDTEC. Esto implica que el artículo no puede ser reemplazado durante el proceso de evaluación o retirado si es recomendado para su publicación, de lo contrario se aplicará un periodo de embargo (no podrá remitir artículos en la revista dentro de seis meses “un semestre”).

Si el dictamen final (opinión de ambos evaluadores y el CE) consiste en no recomendar un artículo para su publicación, se procede con devolverlo al autor con el informe de evaluación notificándole sobre las debilidades de fondo y forma. Un dictamen final de este tipo se sustenta con los siguientes puntos: el trabajo no incorpora el componente de ingeniería, deficiencias en la redacción y claridad de las secciones, no hay una contribución original y significativa al área del conocimiento. Sin embargo, si existe una contradicción entre los evaluadores entonces se recurrirá a un tercer evaluador para definir la evaluación.

En el caso de que el artículo sea recomendado para su publicación, se procede con devolver el artículo y el informe de evaluación. El autor debe mejorar el documento y remitirlo con la información de los autores en un plazo no mayor de **15 días** al correo electrónico revista.idtecnologico@utp.ac.pa

Posterior a la aceptación de los ajustes en el artículo por parte del CE, el autor principal recibirá una certificación sobre la publicación de su artículo en la RIDTEC. Además, el autor debe entregar los archivos al correo electrónico revista.idtecnologico@utp.ac.pa o enviar un disco (CD o DVD) con sus respectivas imágenes o gráficos originales para la diagramación del artículo. En el caso de enviar un disco, este debe incluir los siguientes datos:

- Número de identificación del artículo (ID)
- Título del artículo
- Nombre del autor principal.

¿Qué queremos decir con una "**imagen original**"? Según nuestras experiencias con ediciones anteriores, se recomienda generar un PNG o JPG de la imagen con el *software* utilizado para crear dicha imagen y con una resolución **mínima de 300 ppp**. Ejemplos del concepto

"original": si la imagen es creada en *Autocad* entonces usted debe generar el archivo PNG o JPG de la imagen a partir del *Autocad*.

No se recomienda exportar la imagen a otra aplicación para generar el PDF porque puede afectar considerablemente la calidad de la imagen y complicar la tarea de diagramación. Ejemplo: exportar la imagen del *Autocad* e importarla en *Word* o *power point*.

Cada imagen debe aparecer en un archivo PNG o JPG por separado y debidamente identificada para facilitar el reemplazo en el artículo.

Nota: El autor es responsable de garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos para las imágenes. En caso contrario, el artículo quedará en cola de espera para su publicación.

5. Prioridad de publicación

La prioridad de publicación se va a regir por los siguientes criterios:

- Por impacto.
- Por tiempo de recepción del artículo.
- Enfoque de la temática.

Si un artículo tiene una mayor puntuación en base a estos criterios este tendrá prioridad para ser publicado, los otros artículos que fueron aprobados, pero no publicados en el actual número estarán en el estatus de *espera* hasta el próximo número.

6. Política de acceso y reúso

Los artículos científicos publicados en la RIDTEC son de exclusiva propiedad de sus autores. Todas las opiniones y contenidos expresados en la revista pertenecen a sus autores, siguiendo los lineamientos del documento "**Declaración de ética de publicación**", la UTP declina de toda responsabilidad por los derechos que pudiera derivarse de la lectura, interpretación y uso del contenido de los trabajos publicados.

Los autores deben acatar el principio de libre acceso en revista científicas. Por lo tanto, todos los contenidos deben estar disponibles gratuitamente al público, con el objetivo de fomentar un intercambio de conocimiento científico-académico internacional mediante nuestra plataforma Open Journal System (OJS).

7. Correspondencia o comunicaciones

Para la correspondencia, suscripciones o envío de documentación, sírvase hacerlo a siguiente dirección:

Universidad Tecnológica de Panamá

Editorial Tecnológica

Apartado 0819-07289, El Dorado, Ciudad de Panamá, República de Panamá

Además, para una comunicación directa, usted puede escribirnos al siguiente correo electrónico revista.idtecnologico@utp.ac.pa

8. Conceptos fundamentales de interés

Esta sección tiene el objetivo de ilustrar a nuestros autores y lectores sobre conceptos fundamentales de investigación y desarrollo experimental (I+D)³, y redacción científica⁴.

La I+D comprende el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones.

El término I+D engloba tres actividades: investigación básica, investigación aplicada y desarrollo experimental. A continuación se definen cada una de estas actividades.

- La **investigación básica** consiste en trabajos experimentales o teóricos que se emprenden principalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de los fenómenos y hechos observables, sin pensar en darles ninguna aplicación o utilización determinada.
- La **investigación aplicada** consiste también en trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos y está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico.
- El **desarrollo experimental** consiste en trabajos sistemáticos que aprovechan los conocimientos existentes obtenidos de la investigación y/o la experiencia práctica, y está dirigido a la producción de nuevos materiales, productos o dispositivos; a la puesta en marcha de nuevos procesos, sistemas y servicios, o a la mejora de los ya existentes.

En cuanto a la redacción científica, su característica fundamental es la claridad. El éxito de la experimentación científica es el resultado de una mente clara que aborda un problema claramente formulado y llega a unas conclusiones claramente enunciadas. Idealmente, la claridad debería caracterizar todo tipo de comunicaciones; sin embargo, cuando se dice algo por primera vez, la claridad es esencial.

La mayoría de los artículos científicos publicados en las revistas de investigación primarias se aceptan

precisamente porque aportan realmente conocimientos científicos nuevos. Por ello, debe exigirse una claridad absoluta en la redacción científica. Para una mejor comprensión entre los tipos de trabajos científicos, presentamos las siguientes definiciones:

- **Artículo científico:** informe escrito y publicado que describe resultados originales de una investigación.
- **Artículo de revisión:** no es una publicación original y su estructura es diferente a la de un artículo de investigación. Ofrece una evaluación crítica de los trabajos publicados y llegan a conclusiones importantes.
- **Ensayos cortos:** son el resultado de un examen crítico de artículos de investigación científica publicados, en donde se resaltan los trabajos más importantes o los que han brindado mayor aporte al conocimiento en una área determinada.

Los conceptos fueron extraídos de los siguientes documentos:

¹<http://www.researcherid.com/>, Thomson Reuters

²<https://www.recursoscientificos.fecyt.es/>, FECYT

³"Manual de Frascati", 2003, FECYT y Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE).

⁴"Cómo escribir y publicar trabajos científicos", 2005, Roberto Day

VII International Engineering Science and Technology Conference

*"To complex problems,
multidisciplinary solutions"*

*"Celebrating the 500th
Anniversary of Panama City"*

October 9 - 11, 2019

Wyndham Panama Hotel Albrook Mall

Call for Papers
<http://congreso.utp.ac.pa>

AREAS OF INTEREST:

- ◆ Agroindustry
- ◆ Basic Sciences
- ◆ Economy and Society
- ◆ Engineering Education
- ◆ Energy and Environment
- ◆ Infrastructure
- ◆ Logistic and Transportation
- ◆ Management, Entrepreneurship and Innovation
- ◆ Robotic, Automation and Artificial Intelligence
- ◆ Information Technology and Communication
- ◆ Emerging Technologies

IMPORTANT DATES:

Nov. 1st, 2018

April 1st, 2019

July 1st, 2019

Papers reception opens

Papers reception closes

Notification of acceptance begins

In order to include the accepted papers in the **IESTEC-2019** program, at least one of the authors, must pay by July 31st, 2019.

Patrocinadores del Congreso IESTEC 2019



EXPO POSTGRADOS Y FORMACIÓN CONTINUA

JUE. 10 OCTUBRE

LEARN CHILE es una red conformada por 23 instituciones de educación de superior apoyada por el Estado de Chile (ProChile), con el objetivo de potenciar la internacionalización de la oferta académica del país.



Hotel Wyndham
Panamá Albrook Mall
Ciudad de Panamá



CHILE PAÍS INVITADO:

VII Congreso Internacional de
Ingeniería, Ciencias y Tecnología

1
EN
AMÉRICA
LATINA

INNOVACIÓN Y COMPETITIVIDAD

OMPI, Banco Mundial

SEGURIDAD

Global Peace Index

CALIDAD DE VIDA

PNUD

CONECTIVIDAD

GCI

COMPETITIVIDAD DIGITAL

IMD

www.learnchile.cl
info@learnchile.cl



Chile

20



UNIVERSIDADES CHILENAS DENTRO DE LAS
100 MEJORES DE AMÉRICA LATINA [THE]

CONVOCATORIAS SENACYT

CONVOCATORIA PÚBLICA PROGRAMA DE APOYO A LAS ACTIVIDADES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

GENERACIÓN DE CAPACIDADES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS 2019 RONDA II

RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA DE LA SENACYT NO. 191 DE 31 DE JULIO DE 2017, POR MEDIO DE LA CUAL SE ADOPTA EL REGLAMENTO INTERNO PARA LAS CONTRATACIONES POR MÉRITO, PUBLICADA EN LA GACETA OFICIAL 28344-A DEL 16 DE AGOSTO DE 2017

DIRIGIDA A:

Personas jurídicas con o sin fines de lucro debidamente inscritas en el Registro Público de Panamá o personas naturales de nacionalidad panameña, residentes en el país, dedicadas a realizar actividades que fortalezcan el Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación. Las personas naturales pueden participar individualmente o afiliados a entidades públicas o privadas, universidades, organizaciones no gubernamentales, asociaciones de interés público o centros de investigación en la República de Panamá.

OBJETIVO:

Proporcionar financiamiento o co-financiamiento a actividades que fortalezcan el ambiente de ciencia y tecnología, para incentivar el interés por estas áreas del conocimiento.

CATEGORÍAS DE EVALUACIÓN SEPARADAS Y MONTO MÁXIMO DE ADJUDICACIÓN

1. Traída de expertos científicos o tecnólogos que tengan experiencia comprobada en el tema a desarrollar. Monto de adjudicación de hasta B/. 10,000.00.
2. Apoyo a publicaciones científicas y tecnológicas (artículo científico, libros, revistas, guías metodológicas y guías con contenido o producción audiovisual científica) se excluye a medios con reconocida trayectoria. Monto de adjudicación de hasta B/. 15,000.00.
3. Participación en pasantía en el extranjero, en las áreas temáticas de la presente convocatoria, orientadas a la creación de competencias científicas y tecnológicas. La participación de la pasantía solo podrá ser realizada por panameños residentes en Panamá. Monto de adjudicación de hasta B/. 12,000.00.
4. Participación como expositor en congresos científicos internacionales con proceso de arbitraje por pares de alto nivel, en las áreas temáticas de la presente convocatoria. El expositor deberá ser panameño residentes en Panamá. Monto de adjudicación de hasta B/. 7,000.00.

ÁREAS TEMÁTICAS:

- | | |
|--|----------------------------------|
| A. Biodiversidad y Ecología | E. Ingenierías y Tecnología |
| B. Logística y Transporte | F. Ciencias Naturales y Exactas |
| C. Ciencias Agropecuarias, Forestal y Acuicola | G. Ciencias Sociales y Educación |
| D. Ciencias de la Salud | |

FECHAS Y PLAZOS DE PRESENTACIÓN

FECHA DE APERTURA DE LA CONVOCATORIA: 30 de julio de 2019
PLAZO PARA ENTREGA DE PROPUESTAS: 01 de octubre de 2019 Hasta las 3:00 PM HORA EXACTA



Conoce las bases de la convocatoria en

www.senacyt.gov.pa

Consultas: gencap@senacyt.gov.pa o al 517-0014 ext. 1047 ó 1170



LA AEROLÍNEA
**MÁS PUNTUAL
DEL MUNDO**



Reconocida por la OAG como la aerolínea más puntual del mundo en 2018. Gracias al esfuerzo y dedicación de todos nuestros colaboradores, la excelencia en Copa Airlines es posible.



Nos encargamos de

**MEDIR
AGILIZAR
SISTEMATIZAR**

tus eventos

Síguenos en:

Miesimposio @esimposio

CONTACTANOS:

2636218 Móvil: 6365-9930

contacto@esimposio.com

www.esimposio.com

QLU QUALITY
LEADERSHIP
UNIVERSITY

Estudia nuestros
PRESTIGIOSOS
programas de
maestrías en

UNIVERSITY OF
LOUISVILLE



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

Maestrías

Ingeniería con Especialización en
Ingeniería Gerencial
CTF-21-2011 Extensión Nro. 011-2018
Administración de la Construcción
CTDA-53-2018

100% en Panamá



www.qlu.pa info@qlu.pa (507) 264-0777



El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), en Panamá está conformada por 6 Capítulos Técnicos, 3 Grupos de Afinidad y 3 Ramas Estudiantiles, en la Universidad Tecnológica de Panamá, Universidad de Panamá y Universidad Latina de Panamá.

Dirección
IEEE Sección Panamá
Ave. Manuel Espinosa Batista
Edif. Ateneo de Ciencias y Artes
Segundo Piso, Oficina #3

Contacto
Tel/Fax: (507) 223-7445
Email: sec.panama@ieee.org
www.ieee.org/panama

CENAMEP AIP



**Centro Nacional de Metrología
de Panamá AIP**





**Ciudad
del Saber**

ENSO

Grupo•epm

Naturgy 





Portal de REVISTAS ACADÉMICAS UTP



Bienvenido al Portal de Revistas Académicas (Investigación, Académica, Cultural, Congresos Nacionales e internacionales) de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP). Este sitio nace como una iniciativa del proyecto UTP-Ridda² para mostrar la producción científica e investigativa desarrollado por los docentes, investigadores y estudiantes de la UTP. Este proyecto es desarrollado por la Vicerrectoría de Investigación, Postgrado y Extensión, Editorial Universitaria y la Dirección de Comunicación Estratégica, con el apoyo de las principales autoridades de nuestra Universidad. El objetivo de esta plataforma es visibilizar la producción científica en las revistas científicas en vías de mejorar el alcance de las publicaciones a nivel nacional e internacional a través de la integración en directorios, bases de datos, catálogos e indexaciones.

A partir del 2018 las publicaciones de los volúmenes de las revistas I+D Tecnológico, Prisma Tecnológico y la Revista de Iniciación Científica (RIC) se les asignará un DOI (Digital Object Identifier).

Revista de I+D TECNOLÓGICO. ISSN: 1680-8894, E-ISSN: 2219-6714. Includes Latindex logo.

PRISMA Tecnológico. ISSN: 2076-8133, E-ISSN: 2312-637X. Includes logos for Google Scholar, Scopus, and others.

RIC REVISTA DE INICIACIÓN CIENTÍFICA. ISSN: 2412-0464, E-ISSN: 2413-6786.

REVISTA RETOS XXI. ISSN: 2524-1125, E-ISSN: 2524-1133. Includes UTP logo.

El Tecnológico. ISSN: 1819-9623, E-ISSN: 1819-9623. Includes UTP logo.

Cultural Maga. ISSN: 1018-1563, E-ISSN: 1018-1563. Includes UTP logo.

Memorias de Congresos UTP. Includes UTP logo.

Congresos CLABES. Includes UTP logo.

Visítenos en:

http://www.revistas.utp.ac.pa

No es necesario registrarse para tener acceso a los contenidos de las revistas



Universidad Tecnológica de Panamá
Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso,
Edificio de Postgrado, Planta Baja.
Teléfono: (507) 560-3703 | (507) 560-3442
Correo Electrónico: editorial@utp.ac.pa
Web: www.utp.ac.pa
Apartado Postal 0819-07289 El Dorado,
Panamá, República de Panamá.