

INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Volumen 18 N° 1 Enero-Junio 2018

ISSN 1900-771X (Impreso)
E-ISSN 2422-4324 (En Línea)



Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Sogamoso- Boyacá, Colombia
Vol. 18 N°. 1 Enero-Junio 2018



Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo

Rector:

Alfonso López Díaz

Vicerrector Académico:

Sonia Esperanza Díaz Márquez

Vicerrector de Investigación y Extensión (VIE):

Enrique Vera López

Decano Facultad:

Luis Alejandro Fonseca Páez

Director-Editor:

Oscar Iván Higuera Martínez

Asistente Editorial:

Olga Lucía Chaparro Barrera

Diseño:

Lorena María Alarcón Aranguren

Comité Editorial

Andrés Fernando Jiménez López

Ph.D. En Ingeniería Mecánica-Mecatrónica.
Universidad de los Llanos. Villavicencio, Colombia.

Gabriel Peña Rodríguez

Ph.D. En Ciencias y Tecnologías Avanzadas.
Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta,
Colombia.

Pedro Fabián Cárdenas Herrera

PhD. En Automática y Robótica.
Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Mercedes Díaz Lagos

Ph.D. En Física de la Materia Condensada y Nanotecnología.
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
Tunja, Colombia.

Juan María Menendez Aguado

En Mining Engineer.
Universidad de Oviedo. Madrid. Mieres, España.

Comité Arbitral:

José Manuel Aller Castro,

Ph.D. En Sistemas de Energía Eléctrica.
Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador

Rúben González Crespo,

PhD. En Ingeniería Informática.
Universidad Internacional de la Rioja. Madrid, España.

Luis Gabriel Agudelo Viana.

MSc. En Estadística.
Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

María Teresa Castañeda Galvis,

Ph.D. En Administración de Empresas.
Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga,
Colombia.

Martha Patricia Caro Gutierrez,

Ph.D. (c) En Ingeniería.
Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

Juan Carlos Osorio Gómez,

PhD. En Ingeniería.
Universidad del Valle. Cali, Colombia.

Oscar Fernando Gómez Sandoval,

MSc. En Ingeniería.
Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga,
Colombia.

María Alexandra Espinos Carreño,

Ph.D. En Ingeniería
Universidad Autónoma de Bucaramanga. Bucaramanga,
Colombia.

Ferley Medina Rojas,

Ph.D. (c) En Ingeniería.
Universidad Cooperativa de Colombia, Neiva,
Colombia.

Lidy Osorio Carreño,

MSc. En Geología
Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga,
Colombia.

Jaime Alberto Páez Páez,

MSc. En Educación.
Universidad Cooperativa de Colombia. Bogotá,
Colombia.

Germán Edmundo Narváez Bravo,

MSc. En Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.

Fernando Fernández Méndez,

Ph.D. En Scientiae em Botánica
Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia.

Roberto Vargas Cuervo,

MSc. En Ciencias-Geología
Universidad Surcolombiana. Huila, Colombia.

Alvaro Joffre Uribe Quevedo,

Ph.D. En Ingeniería Mecánica.
University of Ontario Institute of Technology. Oshawa,
Canada.

Erika María Sandoval Valero,
Ph.D. En Ciencias de la Educación
Universidad de Boyacá. Tunja, Colombia.

Nestor Darío Duque Méndez,
Ph.D. En Ingeniería
Universidad Nacional de Colombia, Manizales,
Colombia.

Dino Carmelo Manco Jaraba,
MSc. En Geociencia
Universidad de la Guajira. Rioacha, Colombia.

Edwin Eduardo Millan Rojas,
Ph.D. En Ingeniería.
Universidad de la Amazonia, Caquetá, Colombia.

Jaime Leonardo Barbosa Perez,
MSc. En Ingeniería
Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.

Humberto Arturo Gómez Vega,
Ph.D. En Ingeniería Mecánica.
Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.

Darwin Mena Rentería,
MSc. En Ciencias de la Geoinformación y Observación
de la Tierra
Universidad Santo Tomas de Aquino. Bogotá, Colombia.

José Joaquín Bocanegra García,
Ph.D. En Tecnología
Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

Edgar Alirio Restrepo Castillo,
MSc. En Informática.
Universidad Santiago de Calí. Palmira, Colombia.

Julián Alberto Monsalve Púlido,
Ph.D.(c) En Ingeniería
Universidad Santo Tomas. Boyacá, Colombia.

Jairo Armando Riaño Herrera,
MSc. En Tecnología Informática
Universidad Pedagógica de Colombia, Tunja, Colombia.

Yimmer Camilo Vargas Fonseca,
MSc. En Matemáticas Aplicadas.
Universidad Pedagógica de Colombia, Tunja, Colombia.

Pedro Nel Lopez Castellanos,
Esp. En Gerencia Financiera.
Universidad Pedagógica de Colombia, Boyacá,
Colombia.

Sandy Enrique Avella Cely,
Esp. En Telecomunicaciones.
Universidad Pedagógica de Colombia, Boyacá,
Colombia.

Marco Javier Suarez Barón,
Ph.D. En Planeación Estrategica Y Direccion de
Tecnología.

Universidad Pedagógica de Colombia, Boyacá,
Colombia.

Jorge Julián Moreno Rubio,
Ph.D. En Dispositivos Electronicos
Universidad Pedagógica de Colombia, Boyacá,
Colombia

INSTITUCIÓN EDITORA

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Sogamoso - UPTC
Facultad Seccional Sogamoso
Calle 4 Sur N° 15-134
CIFAS Edificio Administrativo-Tercer Piso
Tel. (57+8) 770 5450 Ext. 2606
Sogamoso-Boyacá, Colombia

DIAGRAMACIÓN E IMPRESIÓN

Búhos Editores Ltda.

Los artículos publicados incorporan contenidos derivados de procesos de investigación, revisión y reflexión académica, que cumplen una función social, sin embargo no representan los principios de la Institución. Los conceptos expresados en los artículos son de exclusiva responsabilidad de los autores y no comprometen la publicación.

SITIO WEB

https://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/ingenieria_sogamoso/index

CORREO

revistaid@uptc.edu.co

Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo
(Rev. Ing. Investig. Desarro).

Categoría C Índice Bibliográfico Nacional Publindex –
COLCIENCIAS
II Actualización del IBN- Publindex 2014

TABLA DE CONTENIDO

EDITORIAL

DISEÑO DE UN BANCO PARA LA DETERMINACIÓN PRÁCTICA DEL COEFICIENTE DE VÁLVULAS, NORMA VDI/VDE 2173

Training bench design for practical valve coefficient determination, standard VDI/VDE 2173

César Zambrano Miranda, José Alonso González, Luis Campo Escudero, Ricardo Araújo Segura,
Javier Roldán Mckinley 6

INFLUENCIA DEL FENÓMENO DE OSCILACIÓN CUASI-BIENAL EN LAS AFLUENCIAS DEL SISTEMA SUR DE ABASTECIMIENTO DE BOGOTÁ

Influence of the Quasi-Biennial Oscillation phenomenon in the affluences of the Bogotá supply system

Angie Daniela Aguirre Cardenas, Sebastian Almanza Velasco , Yulia Ivanova 17

DISEÑO DE UNA RED ÓPTICA PASIVA BIDIRECCIONAL CON PARTICIONAMIENTO ESPECTRAL DE UNA FUENTE DE BANDA ANCHA

A passive optical bidirectional network design with Spectral partitioning of a wide band Font

Juan Sebastián Castellanos-Casas, Carlos Sebastián Rojas-Piña, Gustavo Adolfo Puerto-Leguizamón 26

RECHAS EN EL USO DE INTERNET: UN FRENTE DE ACCIÓN A LA ZAGA EN COLOMBIA

Gaps in the use of the Internet: A front of action far behind in Colombia

Patricia Eugenia Martínez-Coral 34

PULSOS Y PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE INUNDACIÓN DE LA LAGUNA DE FÚQUENE

Pulses and likelihood of Fúquene Lagoon flood occurrence

Jimmy Villamizar Martin , Juan David Jiménez Sánchez , Eduardo Zamudio Huertas 46

PROTOTIPO DE MONITOREO Y ALARMA PARA LA DETECCIÓN DE HELADAS BLANCAS EN SECTORES RURALES DE SOGAMOSO

Prototype of Monitoring and Alarm for the Detection of White Frosts in Rural Sectors of Sogamoso

Fabián Andrés Salamanca-Figueroa, Christian Camilo Cárdenas-Gamboá, Willmar Arbey Suarez-Rodríguez 57

MODELO DE COORDINACIÓN DE INVENTARIOS COLABORATIVOS SOPORTADO EN UN ENFOQUE SOCIOTÉCNICO DE SISTEMAS

Collaborative inventory coordination model supported in a sociotechnical approach of systems

Oscar Palacio-León, Marianna Barrios-León, Wilson Adarme Jaimes 64

EDITORIAL

La Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo I2+D, como publicación semestral de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Seccional Sogamoso, creada en el año 2005; instituida como un espacio para divulgar trabajos académicos e investigativos sobre temas relacionados con el área de ingeniería y tecnología, presenta en esta ocasión artículos de diferentes universidades, como contribución en las temáticas de investigación, entre los cuales se tienen: “Diseño de un banco para la determinación práctica del coeficiente de válvulas norma VDI/VDE 2173”, “Influencia del fenómeno de oscilación cuasi-bienal en las afluencias del sistema sur de abastecimiento de Bogotá”, “Diseño de una red óptica pasiva bidireccional con particionamiento espectral de una fuente de banda ancha”, “Brechas emergentes en el uso de Internet: un frente de acción a la zaga en Colombia”, “Pulsos y probabilidad de ocurrencia de inundación de la laguna de Fúquene”, “Prototipo de monitoreo y alarma para la detección de heladas blancas en sectores rurales de Sogamoso”, y “Modelo de Coordinación de Inventarios Colaborativos Soportado en un Enfoque Sociotécnico de Sistemas”

La trayectoria y experiencia de la publicación I2+D, es el resultado de un compromiso con la calidad y pertinencia de sus artículos y el cumplir su objetivo de ser reconocida por los ámbitos académicos por su calidad académica, donde el trabajo de nuestros revisores y personal editorial contribuyen al éxito de esta publicación, en el año 2015 me fue encomendada la dirección de esta revista, donde se logró continuar por un buen rumbo con el fin de lograr su visibilidad y donde también tuve un crecimiento personal y profesional, finalmente agradezco a todos los autores y evaluadores por sus contribuciones y trabajo dedicado en este arduo labor durante estos más de 3 años al frente de la revista.

Finalmente el Comité Editorial de la Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Seccional Sogamoso, Invita a toda la Comunidad Académica e Investigativa a consultar sus artículos y participar con artículos científicos para la edición del próximo volumen, disponible en www.uptc.edu.co/enlaces/ringinvedesa.

Oscar Iván Higuera Martínez
Editor

DISEÑO DE UN BANCO PARA LA DETERMINACIÓN PRÁCTICA DEL COEFICIENTE DE VÁLVULAS, NORMA VDI/VDE 2173

Training bench design for practical valve coefficient determination, standard VDI/VDE 2173

César Zambrano Miranda¹, José Alonso González¹, Luis Campo Escudero¹, Ricardo Araújo Segura¹,
Javier Roldán Mckinley²

¹Ing. Universidad del Atlántico (Barranquilla, Colombia). cesarz503@hotmail.com, jose_frag@hotmail.com,
luisfernando.campo@gmail.com, ricardo1924@hotmail.com

²Ph.D. Universidad del Atlántico (Barranquilla, Colombia). javierroldan@mail.uniatlantico.edu.co

(Recibido septiembre 21 de 2017 y aceptado noviembre 08 de 2017)

Resumen

Se presenta el proceso de diseño de un banco de entrenamiento para la determinación del coeficiente de flujo de válvulas de control, usando las indicaciones de la norma VDI/VDE 2173, que establece parámetros para la elaboración de este tipo de ensayos. Se adopta un criterio de ergonomía para el dimensionamiento preliminar del banco con base en datos de la antropometría colombiana. Los elementos estructurales del equipo son posteriormente diseñados mediante la comparación de cálculos de teoría de falla con análisis de elemento finito en SolidWorks.

Palabras clave: Ergonomía; diseño estructural; banco de entrenamiento; coeficiente de flujo; SolidWorks.

Abstract

It is presented the design of a training bench for determining the flow coefficient of control valves, based on standard VDI/VDE 2173 that sets indications for this test. Preliminary sizing of the bench follows ergonomic considerations, taking into account the Colombian population anthropometrics. Structural elements of the device are designed by contrasting both failure analysis equations with finite element analysis results using SolidWorks.

Key words: Ergonomics; structure design; test bench; flow coefficient; SolidWorks.

1. INTRODUCCIÓN

El continuo cambio en las tecnologías y el planteamiento de conceptos requeridos para explicar la aparición de fenómenos, requieren que el Ingeniero Mecánico se prepare un cambiante escenario [1], más allá de la formulación teórica hasta la aplicación de los conocimientos adquiridos, con herramientas tecnológicas en la resolución de los problemas, dentro de las cuales el uso de equipos de laboratorio cada día cobra mayor importancia en la formación académica del futuro profesional. Aunque las primeras propuestas en el uso de herramientas de laboratorio para la enseñanza práctica fueron expuestas por Jhon Locke [2] hace más de tres siglos, hoy resultan casi que indispensables para afianzar la enseñanza de un aprendiz. El desarrollo de prácticas de laboratorio influencia positivamente el

profesionalismo y la competitividad del estudiante, ayuda a optimizar el tiempo en el desarrollo de actividades, afianza su capacidad cognitiva y fortalece su relación con otros individuos logrando mayor eficacia en trabajo grupales [3].

Actualmente, la instrumentación industrial brinda un gran soporte para llevar a cabo tareas de automatización y control, por lo cual se requiere que el Ingeniero Mecánico egrese con conocimiento de la simbología de procesos (P&ID por sus siglas en inglés de Piping and Instrumentation Diagram) y con el conocimiento teórico-práctico de sus elementos: bombas, tuberías, tanques de almacenamiento, válvulas, sensores y circuitos hidráulicos básicos, entre otros [4]. Dentro de esta disciplina, el dimensionamiento y estudio de las válvulas de flujo ocupa un lugar fundamental por

tratarse de los instrumentos primarios o en contacto directo con el proceso, siendo el concepto del coeficiente de flujo mediante el cual se cuantifica el desempeño y requerimientos de este instrumento.

El coeficiente de flujo, K_v , se define como el caudal de agua, entre 5°C y 40°C, en metros cúbicos por hora [m^3/h] que pasa a través de una válvula a una apertura dada y con una pérdida de carga de 1 bar, y se simboliza con las letras K_v [5]. En la industria es muy frecuente encontrar montajes para la determinación del coeficiente de flujo para grandes válvulas en la misma línea de operación donde se encuentran instaladas, lo cual incrementa el costo del análisis del elemento. De otra parte, el uso de estándares para este tipo de estudios resulta beneficioso al momento de obtener buenos resultados en las mediciones, normas como la IEC 60534-2-3 [6] y la VDI/VDE 2173 [7], agrega valor significativo en la determinación del coeficiente de flujo, brindando información tanto en la disposición de elementos para llevar a cabo la prueba como en el proceso analítico de los resultados.

En [8] y [9] se documenta el análisis del coeficiente de flujo en válvulas, donde se obtienen óptimos resultados, aunque resulta evidente que no se han aplicado las normas especializadas en la determinación del coeficiente, sea para el montaje de elementos o para calcular el coeficiente, además se aprecia la carencia del diseño bajo criterios de ergonomía que favorezca la fácil operación del equipo, evitando posiciones de trabajo forzosas e inadecuadas. En el mercado se encuentran compañías especializadas en el desarrollo de equipos de laboratorio con un alto grado de calidad en sus productos. GUNT Hamburg [10] es una empresa reconocida en elaborar equipos para la educación en ingeniería, que dispone de un equipo para la determinación del coeficiente de flujo, con elementos de calidad y software especializado en el análisis, pero también se logra evidenciar la falta de un diseño ergonómico.

En este artículo se presenta el diseño de un banco de pruebas o de entrenamiento para la determinación práctica del coeficiente de válvulas de hasta media pulgada. Se consideran aspectos de ergonomía y seguridad estructural del equipo, principalmente, para crear un diseño que sea de uso cómodo y confiable. Dado el alto costo de estos equipos por parte de las empresas internacionales, se hace pertinente la

aplicación de estos conceptos para generar un producto nacional de bajo costo que puede utilizarse para reforzar la enseñanza en las universidades y para la venta de servicios especializados.

2. ASPECTOS DE DISEÑO

El diseño del banco de pruebas está determinado por tres factores fundamentales: diseño red de tuberías, ergonomía en el diseño y diseño estructural. El primero de estos se considera el más importante y está sujeto a la descripción brindada por los estándares internacionalmente utilizados para la determinación del coeficiente de flujo.

2.1 Diseño de red de tuberías

Las normas IEC 60534-2-3 [6] y VDI/VDE 2173 [7] describen las pautas para la realización del procedimiento de obtención de un valor de coeficiente de flujo de forma experimental, utilizando un conjunto de elementos que permiten controlar las condiciones mencionadas, y proponen un esquema básico para la realización del procedimiento para una válvula de control, como en la figura 1.

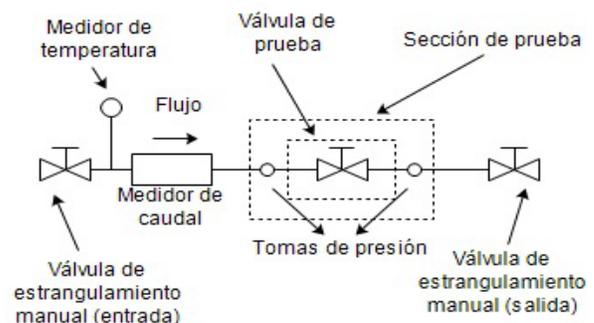


Figura 1. Esquema básico según norma.

La ubicación de las tomas de presión guarda una relación proporcional con el diámetro nominal de la válvula de pruebas, las distancias entre elementos dependerán estrictamente del tamaño de la válvula. En la figura 2 se muestra un esquema para la ubicación de estos elementos, donde L_1 : 2 veces el diámetro nominal de la tubería, L_2 : 6 veces el diámetro nominal de la tubería, L_3 : es por lo menos 18 veces el diámetro nominal de la tubería y L_4 : al menos 1 vez el diámetro nominal de tubería. La longitud del tubo aguas arriba, debe ser por

lo menos 20 veces el diámetro y aguas abajo debe ser por lo menos 7 veces el diámetro nominal del tubo. Para el suministro del fluido, se utiliza una bomba centrífuga seleccionada de acuerdo a los requerimientos del diseño de la red de tuberías.

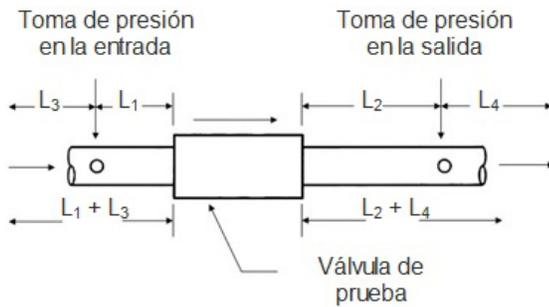


Figura 2. Configuración de toma de presiones.

A partir de la información brindada en [6] y [7] se ha diseñado el P&ID para el banco de pruebas mostrado en la figura 3, formado por un conjunto de tuberías, accesorios y elementos con una configuración en circuito cerrado, que a su vez incluye un tanque de almacenamiento de agua y una bomba que hace circular el fluido. A partir de criterios ergonómicos y el valor de Z se limita a la altura de maniobrabilidad del banco, lo que representa un máximo de 102 cm. De acuerdo a lo anterior, se ha establecido un valor aproximado para Z de 62 cm, dejando espacio suficiente para la correcta instalación de la bomba.

La válvula seleccionada para llevar a cabo la prueba es la válvula Danfoss EV260B-15B [11] que cuenta con un coeficiente de flujo $K_v = 2.1 \text{ m}^3/\text{h}$, conexión de $\frac{1}{2}$ " NPT y accionamiento mediante un actuador solenoide. Se ha optado por utilizar tubería en PVC, ya que este tipo de material reúne ventajas que van desde la resistencia a la corrosión y a ataques químicos, hasta un acabado liso en su interior que reduce considerablemente la pérdida por fricción en el sistema. Se han seleccionado dos diámetros diferentes para la tubería. La entrada de la electrobomba tiene tubería con diámetro nominal de 1 in (25 mm) con resistencia de hasta 500 PSI. Para la salida de la bomba y el resto del circuito, se ha seleccionado una tubería de $\frac{1}{2}$ in (15 mm) de diámetro nominal con resistencia de hasta 500 PSI.

Para la selección de la bomba de suministro de agua es necesario conocer las pérdidas del sistema mostrado

en la figura 3, incluyendo pérdidas principales y por accesorios. Se establecen los puntos a y b en la figura 3 como base para formular la ecuación (1) que describe la ecuación general de la energía [12].

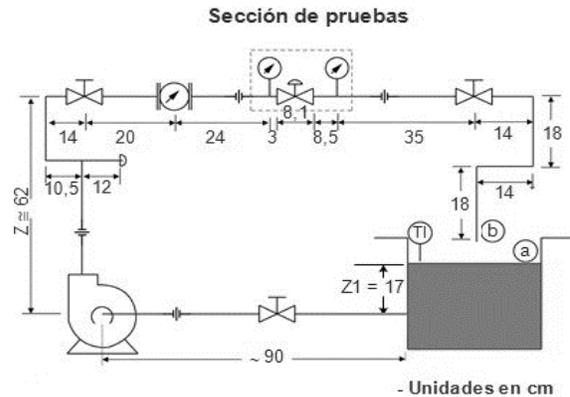


Figura 3. Diagrama P&ID del banco de pruebas.

$$\frac{P_A}{\delta} + Z_1 + \frac{V_A^2}{2g} + h_A - h_R - h_L = \frac{P_B}{\delta} + Z_2 + \frac{V_B^2}{2g} \quad (1)$$

De acuerdo al sistema en la figura 3, algunos términos de la ecuación (1) se cancelan: $P_A=0$, superficie del depósito de agua expuesto a la presión atmosférica; $P_B=0$, corriente en la salida de la tubería expuesta a la presión atmosférica; $V_A=0$, el área de la superficie del depósito es relativamente grande en comparación al área de tubería de succión; $h_R=0$, al no existir un dispositivo mecánico que remueva energía al fluido. Para encontrar la pérdida total de energía del sistema h_A de la ecuación (1); el diámetro de la línea de succión es diferente al diámetro de la línea de descarga, por lo cual las pérdidas de energía en el sistema h_L se calculan separadamente para cada tubería. Se simplifican cálculos al expresar la ecuación (1) en función del caudal, como en la ecuación (2).

Las longitudes equivalentes totales L_{eq} en la línea de succión y la línea de descarga están dados por la suma total de cada L_{eq} por accesorio [13]. Se determinan las longitudes equivalentes L_{EQ1} (línea

de succión) y L_{EQ2} (línea de descarga) para los tramos de tubería según la cantidad determinada de accesorios incluidos en el P&ID de la figura 3. Dentro de los accesorios se destaca la válvula de pruebas como un elemento que, para un K_v de $2.1 \text{ m}^3/\text{h}$ (fabricante), cuenta con una pérdida equivalente de 10.6 m [14].

La bomba se selecciona mediante la intersección dos curvas: una que incluye todos los elementos encontrados en la red de tuberías, y otra donde se excluya solo la válvula de pruebas, encontrando el punto de operación del sistema y un valor estimado de la presión diferencial que hay en la válvula de pruebas. Para encontrar ambas curvas se aplica la ecuación (2), donde solo tendrá la variación del valor de L_{EQ2} . Para la curva del sistema principal (que incluye todos los elementos) se tiene que $L_{EQ2}(\text{total}) = 18.96 \text{ m}$ [13, 14], y para la curva sin la válvula de pruebas una longitud equivalente de $L_{EQ2}(\text{sin válvula}) = 8.36 \text{ m}$ [13], donde esta última está determinada por la diferencia entre $L_{EQ2}(\text{total})$ y $L_{EQ2}(\text{sin válvula})$. En la figura 4 se muestran las curvas del sistema obtenidas a partir de la ecuación (2).

$$h_A = Z_2 - Z_1 + \frac{V_B^2}{2g} + \left(f_1 \frac{L_1}{d_1^5} * \frac{8Q^2}{\pi^2 g} + f_1 \frac{L_{eq1}}{d_1^5} * \frac{8Q^2}{\pi^2 g} \right) + \left(f_2 \frac{L_2}{d_2^5} * \frac{8Q^2}{\pi^2 g} + f_2 \frac{L_{eq2}}{d_2^5} * \frac{8Q^2}{\pi^2 g} \right) \quad (2)$$

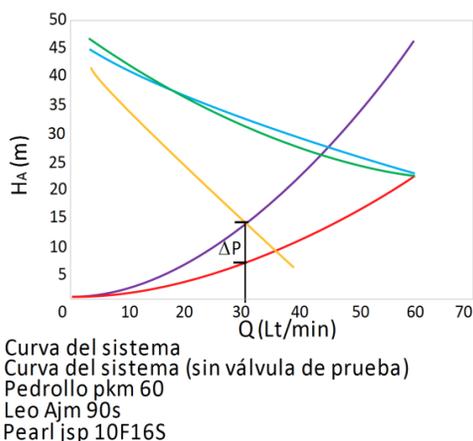


Figura 4. Punto de operación, diferentes bombas.

En el estudio del coeficiente de flujo es conveniente suministrar un caudal superior al valor del coeficiente de flujo de la válvula, y cuya presión diferencial entre la altura manométrica de la curva del sistema y la curva del sistema sin la válvula de prueba, sea superior a 1 bar (10.2 m.c.a.). La válvula de control Danfoss EV260B-15B seleccionada para la prueba tiene un K_v de $2.1 \text{ m}^3/\text{h}$ (35 L/min). Es importante considerar el límite de velocidad del fluido permitido en tuberías para alargar la vida útil de las tuberías. En el caso de tuberías construidas en PVC el límite de velocidad es de 5.0 m/s [15]. Con este valor se calcula el caudal para tuberías de PVC de $\frac{1}{2}$ in, obteniendo $3.18 \text{ m}^3/\text{h}$ (53.1 L/min).

Se selecciona la bomba Leo AJm90s [16] (ver figura 4) que proporciona un caudal aproximado de 44 L/min, con una presión diferencial aproximada de 1.56 bar (15.9 m) cumpliendo con las características para el funcionamiento del sistema. La bomba tiene un peso de 11 kg, cuerpo elaborado en acero inoxidable e impulsor plástico de alta resistencia, que ayuda a evitar la corrosión y el desprendimiento de partículas que puedan afectar y deteriorar los demás elementos del sistema de tuberías. El dimensionamiento del tanque se hace de acuerdo al valor de Z1 dado en la figura 3, diseñado de manera que se mantenga el nivel recomendado. Se estima utilizar para la línea un volumen de agua entre 35 L y 45 L, por lo cual se diseña el depósito con capacidad máxima 50 L, de dimensiones: altura 350 mm, anchura 360 mm y profundidad 400 mm.

2.2 Diseño ergonómico

Siendo un banco de entrenamiento un elemento que tendrá contacto directo con el usuario, la accesibilidad al equipo y sus elementos es un factor muy importante, por lo cual las dimensiones del banco no deben ser ajenas a las dimensiones del cuerpo humano. En este sentido, se deben considerar aspectos ergonómicos en la interacción de los usuarios y el banco, tratando de brindar bienestar y comodidad durante el uso del banco [17]. Además de tener en cuenta la postura de trabajo, se han analizado las medidas antropométricas promedio (percentil 50) para la población colombiana [18], y las diferentes variables para el diseño, que incluyen la importancia de determinar una altura para la operación (plano de trabajo), área de trabajo, y la altura del dispositivo de visualización con respecto al suelo, con el fin de determinar la ubicación de una pantalla. Las medidas antropométricas a comparar son: la altura acromial (de pie), longitud alcance lateral con asimiento, alcance anterior con asimiento, altura radial (altura del codo), altura de ojos y anchura biacromial que, según [18], tienen unas dimensiones de 132.5 cm, 73.5 cm, 68.5 cm, 102.3 cm, 151.5 cm y 37.4 cm, respectivamente.

2.2.1 Altura de plano de trabajo. El tipo de trabajo en el uso de un banco de ensayos se considera trabajo ligero, lo que sugiere que la altura del plano de trabajo esté entre 0 y 10 cm por debajo de la altura del codo. Se ha tomado como referencia la altura del codo, que para una posición cómoda corresponde a brazo y antebrazo separados aproximadamente 90 grados [19]. El diseño del banco se hará para el promedio, teniendo en cuenta

la media aritmética y el percentil 50, que representan una medida de tendencia central para por lo menos el 50% de los usuarios, como resultado se obtiene una altura de plano de trabajo de 102.3 cm [18]. El banco estará soportado por ruedas para facilitar movilidad dentro del laboratorio o aula, estas tienen una altura que oscila entre los 9 y 11 cm, añadiendo altura al plano de trabajo para una altura aproximada de 102 cm como se muestra en la figura 5.

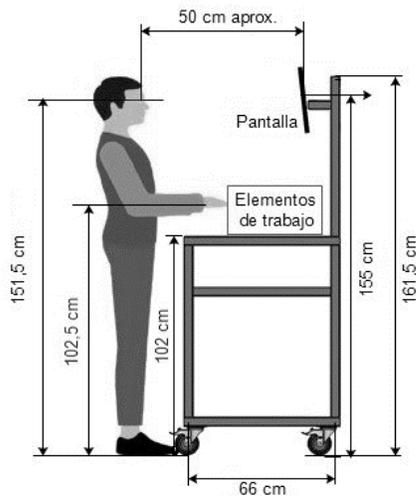


Figura 5. Altura y profundidad del monitor.

2.2.2 Área de trabajo. En el cálculo del área de trabajo se debe tener en cuenta la longitud de alcance lateral con asimiento (agarre) y el alcance anterior, siendo para el P50, de 73.5 cm y 68.5 cm, respectivamente. Simultáneamente, se requiere respetar una serie de medidas para la instalación de elementos que conformarán el sistema, distancias que se encuentran soportadas con la norma VDI/VDE 2173 [7]; el banco debe tener una longitud mínima de 127 cm, como se estableció en el análisis del P&ID. De la diferencia entre la longitud de alcance lateral de asimiento y la anchura biacromial, resulta la longitud promedio del brazo con un valor de 54.8 cm, el mismo alcance máximo de trabajo. Se estableció entonces un ancho total para el banco de 170 cm, de manera que el área restante le sirva al operario para ubicar implementos de estudio: textos, computadora, guías, etc., sin que estos obstaculicen la manipulación del banco. La figura 6 muestra la distribución de longitudes para el área de trabajo.

2.2.3 Altura del monitor. Se ha incluido una pantalla para la adecuada visualización del proceso de operación

del banco de pruebas. La altura y ubicación correcta de la pantalla se determina con la variable antropométrica altura de los ojos, la cual, mirando a 0° y para el P50, se tiene un valor

de 151.5 cm. Se estableció una altura máxima para la estructura de 161.5 cm, altura suficiente para la ubicación de una pantalla, donde la posición central de esta última, estará a una altura de 155 cm con respecto a la superficie del piso. La distancia entre la vista del operario y la pantalla se recomienda en 50 cm [20]; a partir de este valor e incluyendo el soporte de fijación de la pantalla, se ha estimado una longitud de profundidad para el banco de pruebas de 66 cm. En la figura 5 se muestran la altura máxima del banco de pruebas y la posición ideal para la pantalla de visualización.

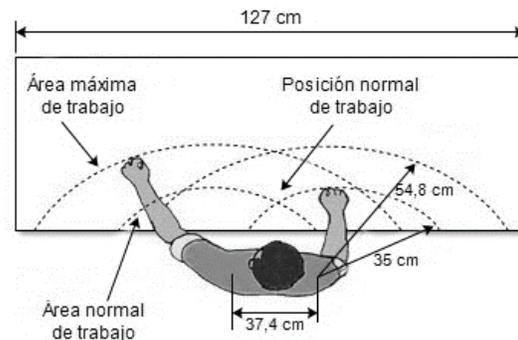


Figura 6. Área de trabajo.

2.3 Diseño Estructural

El diseño estructural del banco de pruebas se basa en el esquema mostrado en la figura 3, en combinación con las dimensiones anteriormente establecidas. La estructura debe ajustarse de tal forma que facilite la maniobrabilidad y ser capaz de soportar el peso de los elementos y fuerzas externas. Es necesario realizar un análisis estructural con el fin de comprobar que la estructura no presente fallos en sus elementos. Para el análisis se toma como cargas el peso de los elementos descritos en el diseño de red y, adicionalmente se aplica una carga hipotética con el fin de garantizar un factor de seguridad confiable. Se ha escogido una estructura tubular cuadrada como se ilustra en la figura 7.

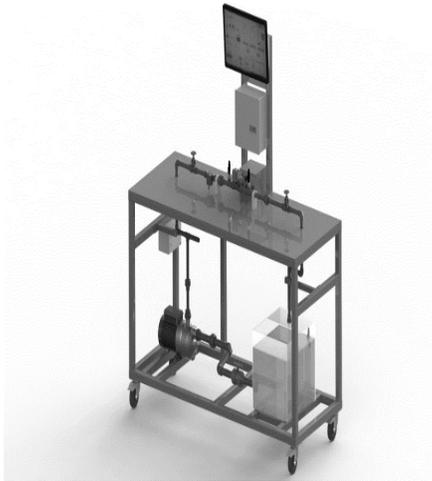


Figura 7. Estructura y elementos del banco, CAD.

El análisis estructural para el caso estático combina cálculos de teoría de falla y análisis de elementos finitos en SolidWorks. Para el cálculo se tienen las siguientes cargas: bomba (11 kg) 107.91 N, depósito de agua (40 kg) 382.4 N, tubería, accesorios y elementos electrónicos (7.67 kg aprox.) 75.24 N, y una carga hipotética (230 kg) 2256.3 N. Estas cargas se distribuyen como se observa en la figura 8, donde la carga que actúa en la parte superior del banco será la suma de la carga hipotética más la carga por accesorios (2331.54 N). Para efectos de diseño, la carga aplicada en la cara superior, se considerará como distribuida. El valor de la carga distribuida se obtiene dividiendo la carga puntual total aplicada en la parte superior entre la longitud equivalente (5.8 m) de los elementos de la cara superior de la estructura, resultando en una carga distribuida $P_h=402\text{N/m}$. En la figura 9 se muestran las dimensiones de la estructura del banco de pruebas.

2.3.1 Análisis estático de la estructura. Del diseño de la estructura se asume que el elemento viga IM en la figura 8 es crítico, por soportar las cargas procedentes de las 4 columnas posteriores, y las cargas aplicadas en los soportes de la bomba y del depósito de agua. Con esta conjetura, se omite el cálculo de los momentos flectores para los otros elementos estructurales. Se procede con el análisis estático para cada elemento y determinar las cargas en cada nodo. A partir de las dimensiones mostradas en la figura 9, se construye el diagrama de cuerpo libre para el elemento AB, figura 10, el cual soporta una carga distribuida de 402 N/m. Aplicando análisis estático se obtienen los valores para las reacciones en los apoyos, donde $R_{A1}=R_{B1}=124.62\text{ N}$.

Por simetría de la estructura, los elementos CD, EF Y GH, figura 8, están sometidos a la misma carga de AB con un valor de 402 N/m, obteniendo para las reacciones: $R_{A1}=R_{B1}=R_{C1}=R_{D1}=R_{E1}=R_{F1}=R_{G1}=R_{H1}=124.62\text{ N}$. La figura 11 muestra la distribución de cargas para el elemento BH. Las cargas están distribuidas simétricamente por lo tanto el valor de las reacciones será la carga total dividida entre 2, por lo cual $R_{U1}=R_{L1}=458.28$

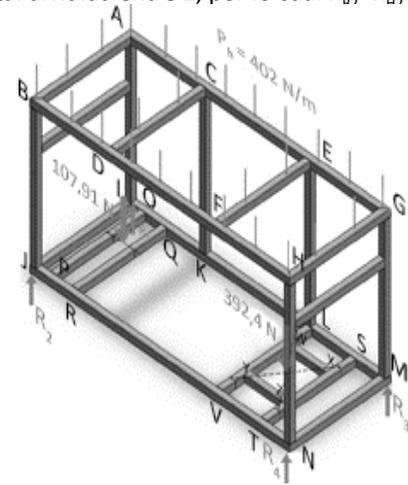


Figura 8. Distribución de carga y reacciones.

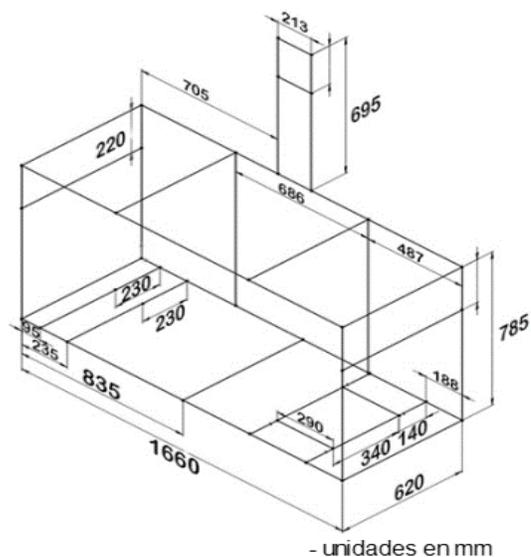


Figura 9. Dimensiones estructura banco de pruebas.

El elemento AG, figura 8, se analiza como un pórtico plano debido a que las columnas CK y EL están apoyadas en el elemento IM y no en el suelo. La figura 12 muestra la distribución de cargas en el pórtico. Con la ayuda de un software para análisis estructural, se haya el valor de las

reacciones en las columnas AI, CK, EL Y GM, resultando el diagrama de cortantes de la figura 13, mostrando $R_{A2}=224.9 \text{ N}$, $R_{C2}=118.57 \text{ N}$, $R_{E2}=81.8 \text{ N}$ y $R_{G2}=24.91 \text{ N}$.

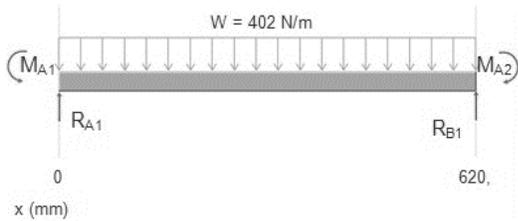


Figura 10. Diagrama de cuerpo libre elemento AB.

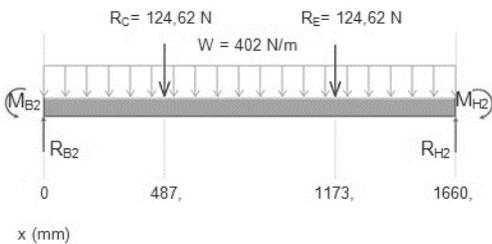


Figura 11. Diagrama de cuerpo libre elemento BH.

Se conocen los valores de todas las reacciones en los nodos de la parte superior, por lo cual es posible conocer cuál de las columnas está sometida a la mayor carga. Se tiene $R_A = R_{A1} + R_{A2} = 349.61 \text{ N}$, $R_B = R_{B1} + R_{B2} = 582.9 \text{ N}$, $R_C = R_{C1} + R_{C2} = 243.19 \text{ N}$, $R_E = R_{E1} + R_{E2} = 206.42 \text{ N}$, $R_G = R_{G1} + R_{G2} = 366.53 \text{ N}$ y $R_H = R_{H1} + R_{H2} = 582.9 \text{ N}$. Se observa que las cargas más altas corresponden a R_B y R_H . Se escoge la carga RB actuante sobre la columna BJ para hacer un análisis de columna, con el fin de establecer si la estructura presentará fallo por pandeo o puede llegar a colapsar.

La carga RB actúa verticalmente sobre la columna BJ, figura 14. La estructura presentará fallo por pandeo si la carga en la columna supera la carga crítica, la cual depende del tipo de columna: corta o larga. Para identificar el caso del tipo de columna, se compara la relación de esbeltez y la relación de esbeltez de transición. Se aplica la ecuación (3) para calcular la relación de esbeltez [21] R_{ee} , para la columna BJ, donde K es el factor de longitud efectiva, L es la longitud del elemento, y r_{min} es el radio de giro mínimo de la sección transversal de la columna calculada mediante la ecuación (4) [21], donde I es el momento de inercia de la sección y A es su área.

$$R_{ee} = \frac{KL}{r_{min}} \quad (3)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (4)$$

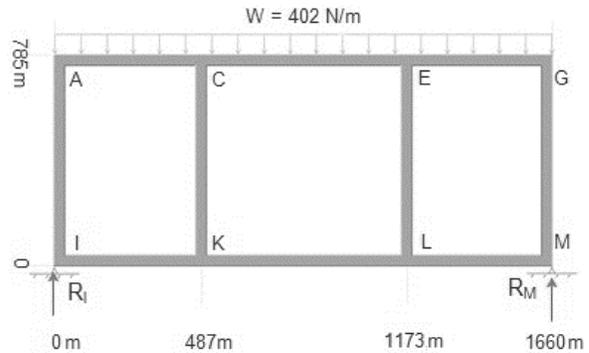


Figura 12. Diagrama de cuerpo libre elemento AG.

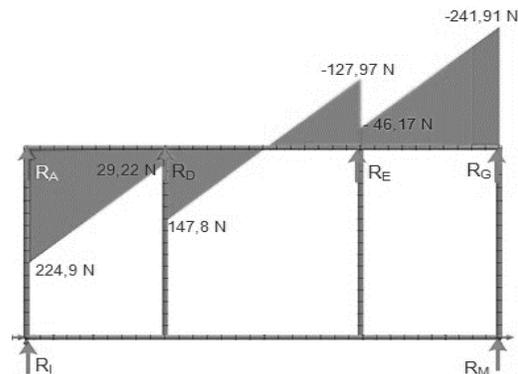


Figura 13. Diagrama de fuerzas cortantes elemento AG.

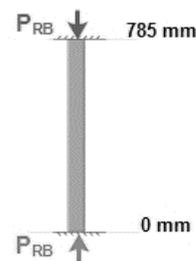


Figura 14. Diagrama de cuerpo libre elemento BJ.

El banco se evalúa con tubo cuadrado de 40 mm, espesor de pared de 2.5 mm ($I=88281.2 \text{ mm}^4$, $A=375 \text{ mm}^2$) material A36. Para la condición de carga $K=0.65$ [21] se obtiene un valor de $r=15.34 \text{ mm}$ y una relación de esbeltez $R_{ee}=33.86$. A continuación, se calcula el valor de la relación de esbeltez de transición C_c [17] con la ecuación

(5), donde S_y es el módulo de fluencia y E es el módulo de elasticidad.

$$C_c = \sqrt{\frac{2E\pi^2}{S_y}} \quad (5)$$

Para el acero A36 se tiene $E=200$ GPa [22] y $S_y=250$ MPa [21], obteniendo un valor $C_c=125.6$. En este caso la elación de esbeltez es menor a la relación de esbeltez de transición ($R_{ee} < C_c$), clasificando el elemento BJ como columna corta [21]. A continuación se calcula la carga crítica P_{cr} (o carga que la hará fallar por pandeo) mediante (6) [21], obteniendo $P_{cr}=90346.7$ N.

$$P_{cr} = AS_y \left[1 - \frac{S_y(KL/r_{min})^2}{4\pi^2 E} \right] \quad (6)$$

Utilizando un factor de diseño, n , se puede calcular una carga admisible, P_{adm} , a partir de (7) [17]. Con un factor de diseño $n=8$, la carga admisible sería $P_{adm}=11293.3$ N, por lo cual la columna BL no fallaría por pandeo, dado que la carga actuante es de 582.9 N. A partir de esto también se infiere que ningún elemento estructural presentará falla asociada a compresión o por el efecto de pandeo.

$$P_{adm} = \frac{P_{cr}}{n} \quad (7)$$

A continuación se analizan los elementos de la parte inferior de la estructura, elementos OP y QR, encargados de soportar la carga ejercida por la bomba centrífuga. Para efectos de diseño se tomará la carga total generada por la bomba y se aplicará como una carga puntual en cada elemento como se indica en la figura 15. Realizando un análisis estático, se han obtenido los valores para las reacciones en los apoyos, $R_o=74$ N y $R_p=33.91$ N. Al ser el elemento QR similar al elemento OP, tanto en la distribución de la carga como en el valor de la carga, se tiene que $R_o=R_q=74$ N y $R_p=R_r=33.91$ N.

Los elementos LV y ST soportan la carga ejercida por el depósito de agua con un valor de 392.4N, para simplificar el cálculo se aproximará la anterior carga a 400 N, y se omitirán las vigas WX y YZ. El depósito de agua tiene una longitud de profundidad de 0.4 m, para una longitud de contacto de 0.8 m en ambas vigas. La carga generada por el depósito de agua se tomará como distribuida, para una carga total de 400 N, resultando

una carga distribuida de 500 N/m. La figura 16 muestra el diagrama de cuerpo libre del elemento LV. Aplicando un análisis estático, se han obtenido los valores para las reacciones en los apoyos, $R_L=100$ N y $R_V=100$ N, al ser el elemento ST similar al elemento LV, tanto en la distribución de la carga como en el valor de la carga, se tiene que $R_L=R_s=R_t=R_v=100$ N.

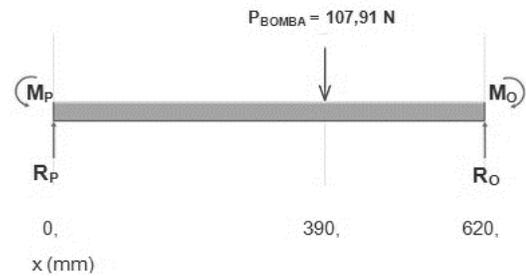


Figura 15. Diagrama de cuerpo libre elemento OP.

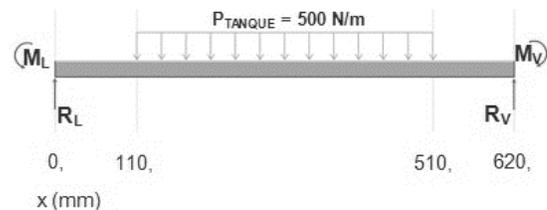


Figura 16. Diagrama de cuerpo libre elemento LV.

Dado que la viga del elemento IM soportará la mayor carga, en esta se encontrará el punto más crítico para toda la estructura. Esta viga es un caso especial por ser una viga doblemente empotrada. Se utilizará el método de doble integración para calcular los momentos en los apoyos. La figura

17(a) muestra el diagrama de cuerpo libre para el elemento IM. Las fuerzas que actúan directamente en los apoyos (R_A y R_G) se han omitido, debido a que no producen efecto directo sobre la viga. Para la suma total de momentos en $M_I=0$ (punto I) y aplicando el método de doble integración en vigas empotradas, se obtiene que $R_I=399.52$ N, $R_M=398.09$ N, $M_I=113.84$ Nm y $M_M=118.15$ Nm. En la figura 17(b) se observa el diagrama de cortantes y en la figura 17(c) el diagrama de momento flector para el elemento IM, construidos a partir de los valores de las cargas y los obtenidos en el análisis estático de dicho elemento. El momento flector máximo para la viga IM es de 118.15 Nm en el apoyo M. A partir de este valor se calcula el mínimo factor de seguridad de la estructura, para determinar si la estructura soportará

las cargas aplicadas. Para las vigas se utilizará el mismo perfil en tubo cuadrado de acero A36 de 40 mm con espesor de 2.5 mm.

El esfuerzo, σ , se determina mediante (8) [21], para el tubo cuadrado se tiene un módulo de sección $S=4.1 \text{ mm}^3$ [23], y el momento máximo, M_{max} , fue determinado $M_{\text{max}}=118.15 \text{ Nm}$ (figura 17), obteniendo un esfuerzo $\sigma=28.82 \text{ MPa}$. A partir de la ecuación (9) se calcula el factor de seguridad, N , [21], donde S_u es límite elástico

($S_u=250 \text{ MPa}$ para acero A36), y σ fue calculado con la ecuación (8); se obtiene un factor de seguridad $N=8.8$, concluyendo que este elemento (ni la estructura) fallará bajo las cargas establecidas.

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{S} \quad (8)$$

$$N_s = \frac{S_u}{\sigma_d} \quad (9)$$

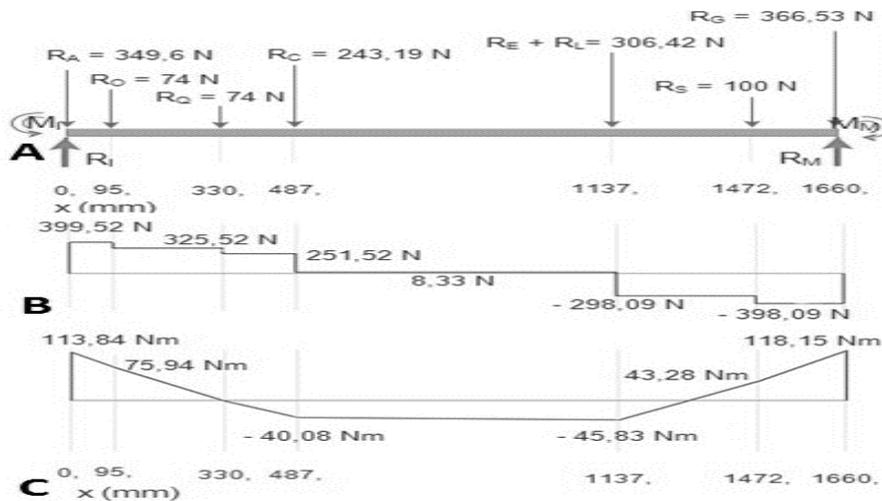


Figura 17. Diagramas elemento IM: (A) Cuerpo libre. (B) Fuerza cortante. (C) Momento flector.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La verificación de los resultados se realiza con un análisis por elementos finitos usando SolidWorks, considerando las cargas y condiciones antes mencionadas. La figura 18(a) muestra el resultado obtenido en el análisis del esfuerzo, y la figura 18(b) muestra lo propio para el factor de seguridad. La simulación arroja un esfuerzo máximo de 25.87 MPa, un esfuerzo inclusive menor al obtenido con la ecuación (8). Similarmente para el factor de seguridad se obtiene 9.66 en la simulación, valor mayor al calculado mediante la ecuación (9), lo cual es favorable. Para el análisis de elementos finitos, el software incluye la mayor cantidad de variables y características reales del material como la geometría exacta de la estructura; caso contrario al cálculo estático donde se busca evaluar el diseño de una forma simplificada. Sin embargo, ambos resultados se asemejan, considerando entonces que el diseño es adecuado para el banco de pruebas y este no fallará así se apliquen cargas externas no con-

vencionales. En la figura 19 se muestra el aspecto final del banco de pruebas.

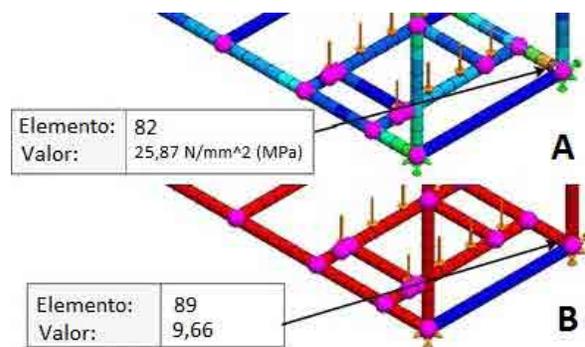


Figura 18. Análisis de elementos finitos. (A) Esfuerzo de diseño. (B) Factor de seguridad.



Figura 19. Aspecto final del banco de pruebas.

CONCLUSIONES

Mediante la combinación de diseño de producto bajo ergonomía fue posible el dimensionamiento de un equipo de entrenamiento, considerando también normativa de disposición de elementos de flujo. Tales criterios de ergonomía permitieron establecer dimensiones, alturas y áreas de trabajo, de acuerdo con un percentil de la población colombiana, tratando de proponer un producto que brinde comodidad a los usuarios finales. En cuanto al diseño estructural, se obtuvieron resultados satisfactorios al comparar resultados de simulación de elemento finito en SolidWorks, con los resultantes de teoría de falla. Se comparte de esta manera, en este artículo, una integración de conceptos para diseño de bancos de entrenamiento en ingeniería y profesiones afines.

REFERENCIAS

- [1] P. Grech, *Introducción a la Ingeniería. Un Enfoque a Través del Diseño*. 2nd ed. Pearson Education, Colombia, 2013.
- [2] G. Urrea, J. Niño, J. García, J. Alvarado, G. Barragán y O. Hazbón, "Del aula a la realidad. La importancia de los laboratorios en la formación del ingeniero" en *WEF World Engineering Education Forum Conf. Innovación en investigación y educación en ingeniería: factores clave para la competitividad local*. pp. 2 [en línea]. Disponible en: <https://www.acofipapers.org/index.php/acofipapers/2013/paper/viewFile/502/145> [Accedido: 27-ene-2016]

- [3] G. Lugo, "La importancia de los laboratorios", *Construcción y Tecnología*, vol. 223, pp. 20-21, dic. 2006.
- [4] Asociación Colombiana de Ingenieros Eléctricos, Mecánicos y Afines ACIEM, "Áreas de formación de los ingenieros", *ACIEM*, vol. 1, no. 106, sep. 2006.
- [5] A. Creus. *Instrumentación Industrial*, 8va. ed. México: Alfaomega grupo editor S.A, 2011.
- [6] *Industrial-Process Control Valves*, IS/IEC 60534-2-3:1997.
- [7] *Verein Deutscher Ingenieure, "Fluidic Characteristics Quantities of Control Valves and Their Determination"*, *Verband Der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik, Deutschland*, VDI/VDE 2173, 2007.
- [8] V. L. Karade, A. B. Shinde and P. V. Pol, "Control valve coefficient testing", *International Journal Of Innovative Research In Technology, IJIRT*, vol. 2, pp. 199-203. nov. 2015.
- [9] G. Aragón-Camarasa, G. Aragón-González, A. Canales and A. León, "Test bench for process control valves", in *Fourth congress of electronics robotics and automotive mechanics*, 2007, pp. 139-144. DOI 10.1109/CERMA.2007.31
- [10] GUNT Hamburg, RT 390 Test Stand for Control Valves, 2016. [Online]. Available: <http://www.gunt.de/en/products/test-stand-for-control-valves/080.39000/rt390/glct-1:pa-148:pr-1115?sccsf=1>. [Accessed: Jan 10, 2016]
- [11] "Válvulas solenoides servoaccionadas de 2/2 vías, tipo EV260B", DANFOSS, Nordborg, Dinamarca, 2013 [en línea]. Disponible en: <http://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/04/IC.PD.200.O1.05.pdf> [Accedido: 23-mar-2016]
- [12] R. Mott. *Mecánica de Fluidos*. 6ta. ed. México: Pearson Educación, 2006.
- [13] A. Luczszewski, *Redes industriales de tubería, bombas para agua, ventiladores y compresores: diseño y construcción*, México: Reverté ediciones S.A de C.V., 1999.
- [14] CRANE Co, *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. México: McGraw-Hill, 1992.
- [15] E. Valdez. *Abastecimiento de Agua Potable*. 4ta. ed. México: Universidad nacional autónoma de México, 1994.
- [16] "Bombas eléctricas", EDARVICO Eduardo Arango V. & Cía. S. A., Cali, Colombia, 2016 [en línea]. Disponible en: <http://puntodeventa.co/#/Bomba-Elctrica-3/productos> [Accedido: 05-abr-2016]
- [17] International Ergonomics Association IEA, "Definition and Domains of ergonomics", 2016. [Online].

- Available: <http://www.iea.cc/whats/index.html>.
[Accessed: 02-feb-2016]
- [18] J. Estrada, J. Camacho, M. Restrepo y C. Parra, "Parámetros antropométricos de la población laboral colombiana", *Revista Facultad Nacional De Salud Pública*, vol. 15, no. 2, p. 112-139. 1998.
- [19] Universidad De Valencia. Prevención: "Diseño de Puestos de Trabajo. Curso online de Seguridad y Salud en el Trabajo,". Módulo 2, apartado 2.6.4, 2016, [en línea]. Disponible en: <http://www.uv.es/sfpenlinia/cas/index.html>. [Accedido: 03-feb-2016]
- [20] A. Rodríguez. Sistemas SCADA. 2da. ed. Barcelona: Marcombo S.A., 2007.
- [21] R. Mott, Diseño de Elementos de Máquinas. 4ta. ed. México: Pearson Educación, 2006.
- [22] F. P. Beer, E. R. Jhonston y J. T. Dewolf. Mecánica de Materiales, 3ra. ed, México: McGraw Hill interamericana S.A. de C.V, 2004.
- [23] Tubos Colmena, "Perfil Estructural Tubular". 2016. [en línea]. Disponible en: http://www.tuboscolmena.com/web/fichas/Estructural_Cerrado.pdf. [Accedido: 25-abr-2016].

Cómo citar este artículo:

A.D. Aguirre-Cárdenas, S. Almanza-Velazco, and Yulia Ivanova, "Influencia del fenómeno de oscilación cuasi-bienal en las afluencias del sistema sur de abastecimiento de Bogotá", *Rev. Ing. Investig. Desarro.*, vol. 18 (1), pp. 17-25, Enero. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.19053/1900771X.v18.n1.2018.7822>

INFLUENCIA DEL FENÓMENO DE OSCILACIÓN CUASI-BIENAL EN LAS AFLUENCIAS DEL SISTEMA SUR DE ABASTECIMIENTO DE BOGOTÁ

Influence of the Quasi-Biennial Oscillation phenomenon in the affluences of the Bogotá supply system

Angie Daniela Aguirre Cardenas¹, Sebastian Almanza Velasco¹, Yulia Ivanova²

¹ Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá, Colombia). u1101959@unimilitar.edu.co, u1101960@unimilitar.edu.co

²M.Sc. Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá, Colombia). yulia.ivanova@unimilitar.edu.co

(Recibido septiembre 25 de 2017 y aceptado noviembre 20 de 2017)

Resumen

Colombia es uno de los países cuyo régimen hidrológico se encuentra altamente influenciado por diferentes fenómenos macro climáticos. Se ha demostrado que el fenómeno ENSO en algunas regiones del país afecta en un 30% la escorrentía superficial, esto repercute directamente en las actividades de los sectores sociales, económicos y en las condiciones ambientales de estas zonas. Existen otros fenómenos cuya incidencia sobre la variabilidad hidrológica no se ha estudiado a profundidad, uno de estos es el evento de la Oscilación Cuasi Bienal (OCB). En este estudio se examinó la influencia de este fenómeno sobre las afluencias del sistema de abastecimiento hídrico sur de Bogotá, conformado por los embalses Chisacá y la Regadera, cuya importancia radica en permitir el abastecimiento de agua potable para los habitantes de localidad de Usme, en la cual residen 250.000 personas aproximadamente. Haciendo uso de series de caudales promedios mensuales de estaciones ubicadas aguas arriba de los embalses estudiados y del índice histórico de OCB a 50 hPa, se diseñó una metodología basada en el análisis correlativo entre las afluencias mensuales a los embalses y el índice macro climático que caracteriza el fenómeno OCB, y se demostró que este fenómeno se manifiesta con un retardo de 11 a 12 meses en la zona de estudio y que el régimen hídrico en un 10 a 14 % depende de la aparición de este evento climático. Los resultados obtenidos demuestran que la variabilidad hidrológica en la zona del estudio no solo depende del fenómeno del ENSO sino también de la OCB, aunque un menor grado, y debe ser tomada en cuenta en los estudios de la variabilidad hidrológica y modelos predictivos de los fenómenos macroclimáticos debido a su relevancia sobre las actividades productivas dependientes del agua.

Palabras clave: Afluencias; embalses; fenómeno Oscilación Cuasi bienal – OCB; variabilidad recurso hídrico.

Abstract

Colombia is one of the countries whose hydrological regime is highly influenced by different macro-climatic phenomena. It has been shown that the ENSO phenomenon in some regions of the country affects surface runoff by 30%, which has a direct impact on socio-economic activities. There are other phenomena whose incidence on hydrological variability has not been studied in depth. One of these is the event of the Quasi Biennial Oscillation (QBO). The study analyzed the influence of this phenomenon on the influx of the south Bogota system that supplies drinking water to 250,000 people living in the town of Usme. Using a series of monthly average results of stations located upstream of the reservoirs studied and of the historical OCB index at 50 hPa, a methodology based on correlative analysis between the monthly inflows to the reservoirs and the macro-climatic index that characterizes the OCB phenomenon. It was shown that this phenomenon manifests itself with a delay of 11 to 12 months and that the water regime in 10 to 14% depends on the phenomenon of OCB. This demonstrates that hydrological variability depends not only on the ENSO phenomenon but also on the OCB, but to a lesser degree, and must be taken into account in studies of hydrological variability and its incidence on the development of productive activities dependent of water.

Keywords: Affluences; reservoirs; Quasi-Biennial Oscillation phenomenon; variability water resource.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia está situada sobre el ecuador geográfico, cuenta con una variabilidad climática influenciada por la cuenca Amazónica y la Cordillera de los Andes. La interacción de ambas formaciones y de otros factores de carácter físico – geográfico, inducen la aparición de climas de carácter local y regional de alta complejidad, los cuales dificultan la predicción climática a distintas escalas temporales [1]. Se ha demostrado mediante diferentes investigaciones que los fenómenos macro climáticos como: El Niño y La Niña-Oscilación del Sur (ENOS), la Oscilación del Sur (OS), la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y la Oscilación Cuasi Biental (OCB), exhiben una alta influencia en la hidroclimatología colombiana [2]. Sin embargo, gran parte de las investigaciones sobre el tema se han enfocado en las fases extremas del ENOS, dejando atrás el estudio de la influencia de otros fenómenos como la OCB. Por esto se hace necesario estudiar el efecto de otros eventos macro climáticos sobre la hidroclimatología colombiana.

La Oscilación Cuasi Biental (OCB) domina la variabilidad interanual del viento zonal en la estratosfera tropical. El primero en reconocer el fenómeno de OCB fue Ebdon en 1960. Este fenómeno consiste en regímenes de viento zonal alternativos hacia el este y hacia el oeste [3]. Este viento zonal también coincide con el ciclo anual de calentamiento y enfriamiento global en los vientos. El viento proviene del oriente en verano y del occidente en invierno de latitudes polares a tropicales; es así como se observa en la alta troposfera y la estratosfera un vórtice polar estratosférico más frío y más estable durante su fase occidente y un vórtice polar más caliente y más perturbado durante su fase oriente [4].

En 1979, después de estudiar la OCB se establecieron el conjunto de características presentadas por este fenómeno, estas se presentan a continuación: muestra simetría con respecto al ecuador, con regímenes de viento del oriente y occidente alternados regularmente con un periodo aproximado de 27 a 30 meses, se manifiesta primero cerca de los 30 km de altura y se propaga hacia abajo con una tasa de 1 km/mes, por lo cual, la magnitud y dirección del viento en la tropopausa está fuera de fase con la magnitud y dirección del viento en la estratosfera media, su amplitud es de aproximadamente 20 ms^{-1} en el ecuador y decae a la mitad de ese valor cerca de los 12° de latitud. Su máxima amplitud se encuentra entre los niveles de

23-30 km y desaparece hacia la tropopausa y hacia la estratosfera alta (50-60 km). Por otra parte, se destaca como los máximos asociados a vientos del oriente son mayores comparados con los del occidente (de 20 a 30 ms^{-1} , comparado con 10 a 15 ms^{-1}) [3].

La OCB influye en la precipitación independientemente de las fases extremas del ENOS, cuando se presentan velocidades altas hacia el occidente se producen excesos de precipitación en todo el territorio colombiano, no obstante, las altas velocidades hacia el oriente generan anomalías de precipitación irregulares y pequeñas, por otro lado, las bajas velocidades en ambas direcciones generan déficit de precipitación para todas las regiones del país. Cuando un evento ENOS ocurre, la OCB interactúa con él generando durante la fase del Niño aumento de las temperaturas mínimas y máximas y durante la fase de la Niña disminución de las mismas [5-6].

De este modo, la predicción de la incidencia de la OCB sobre la hidroclimatología puede llegar a tener importantes implicaciones, porque se ha demostrado en diferentes partes del mundo como la aparición de este evento tiene influencia en los sectores sociales, económicos y en las condiciones ambientales. Un ejemplo, es el efecto presentado en los cultivos de maíz en Sur África, donde la OCB estratosférica actúa para reforzar el aumento de los rendimientos de maíz durante la fase oeste [7]. Otro caso es, la influencia directa de la dirección de los vientos asociados a la OCB, sobre la formación de huracanes en el Atlántico. Esto debido a la manifestación de la OCB en latitudes cerca de los 10° N como una disminución del flujo de viento proveniente de la dirección oriente en su fase occidente y un fortalecimiento del flujo de viento del occidente cuando se encuentra en fase oriente. En contraste, cuando se tiene viento débil del este en la estratosfera baja, las condiciones favorecen la convección y por consiguiente la formación de huracanes [3].

En el año 1995, Pérez Suárez buscó establecer con sus estudios, la presencia de una conexión entre la incursión del mar en las costas y la manifestación de distintos fenómenos macro climáticos vinculados con la variabilidad climática. Establecieron que, si existe una relación entre los ciclones tropicales y la actuación de la OCB y el ENOS, el comportamiento de las inundaciones costeras producidas por estos eventos también debe estar dominado por las diferentes fases de estos. El flujo

del oriente de OCB (fase negativa) y la fase positiva del ENOS impiden la aparición de ciclones en el Atlántico, por lo cual la generación de inundaciones en las costas al paso de ciclones se reduce, sin embargo, con el flujo del occidente de la OCB (fase positiva) y la fase neutral o positiva del ENOS, en los mares interamericanos y el Atlántico la actividad de los ciclones aumenta, fomentada por las corrientes de circulación atmosférica [8].

Igualmente, se cuenta con trabajos donde se demuestran que las condiciones atmosféricas y oceánicas a gran escala, como el fenómeno de OCB, ejercen una influencia considerable en los patrones de frecuencia baja de la variabilidad climática e hidrológica de América del Norte [4]. También hay estudios desarrollados en San Petersburgo, Rusia; enfocados en la predicción estadística de las precipitaciones de África oriental utilizando información de fases de Oscilación Cuasi Bienal. [9]

A nivel nacional las investigaciones en el tema son escasas, pero se cuenta con el de trabajo de Germán Poveda, quién estudió como se ve influenciada la hidroclimatología colombiana y la zona norte de sur América por el fenómeno ENOS, dentro de su investigación también se estudian otros fenómenos macro climáticos de carácter atmosférico y oceánico que tienen influencia sobre esta zona ,como la NAO, OCB y las ondas de Madden-Julian, y como estos se relacionan con el ENOS generando irregularidades hidrológicas [10].

El fenómeno de OCB ha sido estudiado en Colombia, en zonas como el Amazonas y el Pacífico, se cuenta con un estudio donde se evaluó la influencia de la OCB en los eventos cálidos y fríos en el Pacífico colombiano, y se concluyó que la OCB presenta una ciclicidad que al parecer tiene una influencia relacionada con la intensidad y magnitud de la fase cálidas (El Niño) y su opuesta (La Niña) en el Océano Pacífico tropical [8].

Según todo lo mencionado anteriormente, es demostrada la incidencia de la OCB sobre la hidroclimatología en diferentes partes del mundo y parcialmente en Colombia. De la misma forma, la alta variabilidad hidrológica es producto de la variabilidad

climática, de la cual una de las componentes es el fenómeno de la OCB.

Por consiguiente, se hace necesario el estudio de la incidencia de este evento climático sobre el régimen hidrológico, esta investigación considera como caso de estudio el sistema de abastecimiento Sur de la ciudad de Bogotá, este corresponde a la cuenca del Río Tunjuelo.

La cuenca río Tunjuelo, está conformado por la laguna de los Tunjos, el embalse de Chisacá, el cual regula los caudales de los ríos Chisacá y Mugroso, y por último, el embalse La Regadera, el cual regula los tributarios y además permite la derivación del agua captada hacia la Planta de Tratamiento El Dorado, conformándose de esta manera el Sistema de Abastecimiento Sur de la EAAB, encargado de la potabilización de una porción del agua cruda captada del sistema del río Tunjuelito así como del abastecimiento de agua potable para la localidad de Usme, en la cual residen 250.000 personas aproximadamente [11].

El embalse Chisacá tiene una capacidad de almacenamiento de 6,7 millones de metros cúbicos, con un área aproximada de 85 km², esta cuenca hidrográfica está compuesta por las subcuencas de los ríos Chisacá, Mugroso y Curibital. El embalse La Regadera está ubicado a 5,5 Km de Usme, tiene un volumen de almacenamiento de 3,8 millones de metros cúbicos en un área aproximada de 167 km². Estos embalses se encuentran en la parte alta del río Tunjuelo, y su importancia radica en su posición geoestratégica privilegiada para un abastecimiento por gravedad a la zona sur de Bogotá [12].

En la Figura 1, se presenta un esquema de la zona de estudio, donde se destacan los afluentes de ambos embalses y la ubicación de las estaciones limnimétricas empleadas para la recolección de datos.

Conociendo la influencia de la OCB en la hidroclimatología, se podrán establecer a futuro, modelos predictivos de los fenómenos macro climáticos estructurados para usar este fenómeno como variable predictora de las condiciones que se presentarán a largo plazo.

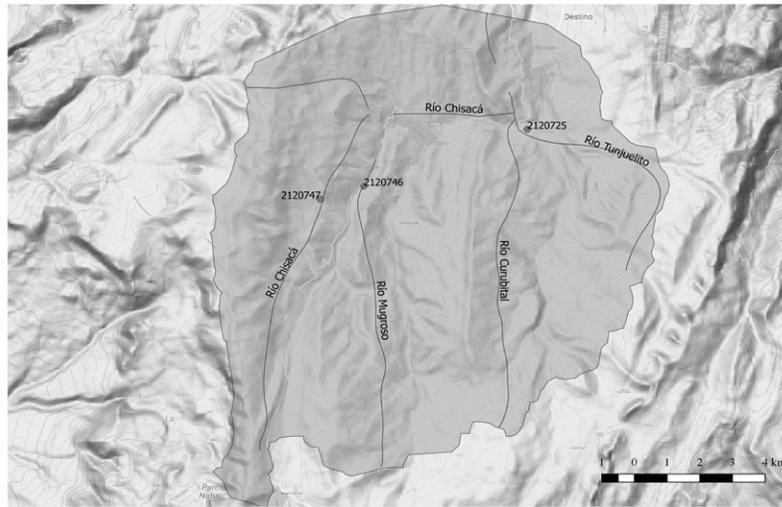


Figura 1. Esquema de la zona de estudio

2. METODOLOGÍA

En la Figura 2, se presenta gráficamente la metodología empleada para identificar la incidencia del fenómeno de la OCB sobre el régimen hídrico en el sistema sur de abastecimiento de Bogotá.

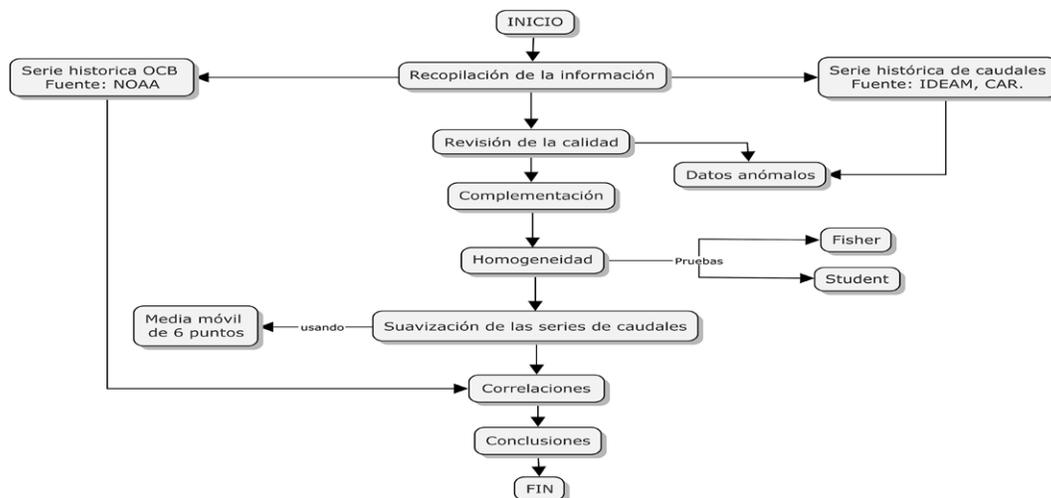


Figura 2. Metodología aplicada en el estudio.

Se recopiló la información de series históricas de caudales promedios mensuales de tres estaciones ubicadas aguas arriba de los embalses estudiados (la ubicación de las estaciones hidrológicas se puede apreciar en la Figura 1). Estas series se obtuvieron de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y

Estudios ambientales (IDEAM). Los registros históricos del índice de la Oscilación Cuasi Bienal a 50 hP se obtuvieron de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).

Generalmente los estudios sobre la variabilidad climática deben realizarse usando series de datos con un periodo de registro mayor de 30 años, sin embargo, las estaciones ubicadas en la zona de estudio no contaban con series de datos con el periodo de tiempo requerido, por esta razón, se trabajaron series con un periodo de registro mayor de 20 años (registro común de 1991 a 2013), buscando que estos reflejaran el comportamiento de la variable en el tiempo y que a su vez fuesen representativos para poder determinar un patrón de comportamiento. Se trabajaron registros de 3 estaciones, la información correspondiente a cada una de estas se encuentra en la Tabla 1.

Tabla 1. Información de las estaciones

Código	Nombre estación	Tipo	Entidad operadora	Período registro
2120725	Rio Curibital	LM	CAR	1991-2013
2120747	Rio Mugroso	LM	CAR	1991-2013
2120746	La Toma	LM	IDEAM	1991-2013

Inicialmente de las series históricas de caudales fueron eliminados los datos anómalos utilizando el criterio estadístico de Grubbs [13]. Posteriormente las series de caudales fueron complementadas usando el análisis regresivo empleando las series completas de caudales de las estaciones geográficamente más cercanas y utilizando el método de correlación lineal [14].

Seguido a esto, se revisó la homogeneidad de las series de datos para verificar que cada una conformara un conjunto estadístico válido. La homogeneidad de una serie temporal de una variable se analiza por medio de pruebas, orientadas a garantizar que las alteraciones presentes en las series son el resultado de procesos meteorológicos y climáticos, y no sean ocasionadas por factores externos; la verificación de homogeneidad se realizó usando los criterios de Student y Fischer, donde el primero revisa la homogeneidad por los promedios de las series temporales y el segundo por la varianza de las series temporales.

Se procede a realizar la suavización de la serie de datos utilizando la media móvil, una técnica empleada para suavizar los picos máximos y mínimos de las series para de este modo lograr obtener mejores correlaciones entre el índice de OCB y las series de caudales [13]. Las series históricas de caudales promedios mensuales de cada una de las estaciones, fueron suavizadas mediante

media móvil en seis puntos, dado que al usar esta media móvil se encontraron mejores correlaciones estadísticamente significativas en comparación con las obtenidas con la media móvil de 3 y 4 puntos.

Por último, se realizó un análisis de correlación entre la serie temporal ya suavizada de cada estación con la serie histórica de OCB 50 hPa. Estas correlaciones fueron construidas con los desfases de 1 hasta 12 meses, considerando que los fenómenos macroclimáticos tardan en manifestarse en función de aspectos como su intensidad y las características de territorio.

Se verificó la correlación y significancia entre las series de caudales suavizadas y el índice de OCB a 50 hPa a partir de una regresión lineal. Se identificó para cada estación el mes donde se encontraba la mayor correlación significativamente estadística y de esta manera con el desfase de tiempo hasta el mes identificado, se logró establecer el desfase de tiempo con el cual se refleja la OCB en los cuerpos hídricos de la zona de estudio.

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el estudio se muestran a continuación. En total se han presentado 21 datos anómalos en las series de caudales medios mensuales estos fueron eliminados de los registros. Una vez se obtuvieron los registros sin datos anómalos, estos fueron complementados a través del análisis regresivo logrando registros continuos de 22 años correspondientes al periodo de 1991 a 2013. Los registros fueron revisados por homogeneidad aplicando ambas pruebas, donde todos los datos fueron encontrados como homogéneos, esto indica que los valores de las series temporales no presentan cambios bruscos en sus valores, su distribución presenta poca variabilidad indicando la existencia de poca dispersión, por lo tanto, los datos son confiables y pueden ser usados para cálculos y predicciones. Los resultados de datos anómalos y homogeneidad por ambas pruebas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos anómalos y homogeneidad

Código Estación	Datos Anómalos	Homogeneidad	
		Prueba Student	Prueba Fisher
2120747	9	Homogénea	Homogénea
2120725	7	Homogénea	Homogénea
2120746	5	Homogénea	Homogénea

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos de la suavización de las series de caudales promedios mensuales de cada una de las estaciones, usando media móvil de 3, 4 y 6 puntos. En conclusión, con los 3 tipos de media móvil se obtenían correlaciones estadísticamente significativas, pero con el uso de la media móvil de 6 puntos estas correlaciones son en promedio 24% más altas de las obtenidas con la media móvil de 3 y 4 puntos.

Tabla 3. Comparación entre medias móviles

Código	Parámetro	Media Móvil		
		MV 3	MV 4	MV 6
2120747	Mes mayor correlación	Enero	Marzo	Febrero
	Correlación	0,08	0,09	0,10
	Significancia estadística	SI	SI	SI
2120725	Mes mayor correlación	Noviembre	Diciembre	Noviembre
	Correlación	0,08	0,08	0,10
	Significancia estadística	SI	SI	SI
2120746	Mes mayor correlación	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Correlación	0,11	0,11	0,14
	Significancia estadística	SI	SI	SI

En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos de las correlaciones lineales entre el índice OCB 50 reportado por la NOAA y las series de datos suavizadas, además se muestran cuales correlaciones son estadísticamente significativas y cuáles no.

Como resultado se obtuvo que el 64% de las correlaciones son significativas estadísticamente. Esto permite evidenciar, la incidencia del fenómeno de OCB sobre la variabilidad hidrológica de las afluencias al sistema sur de abastecimiento de la ciudad de Bogotá.

Se realizó un desfase de doce meses respecto a la fecha de registro del índice de OCB 50 de lo cual se pudo observar como en promedio el fenómeno tiene periodo de manifestación sobre el régimen hídrico de 11 a 12 meses, se concluye esto debido que las mayores correlaciones que presentaron en el mes de noviembre y diciembre (Tabla 4). También se estableció si la correlación entre las series de datos y el índice OCB 50 es

significativa, es decir, que, aunque el coeficiente de correlación no sea numéricamente alto la relación puede resultar significativa entre las dos series.

Tabla 4. Meses donde se obtuvieron las mayores correlaciones

Estación	Mes	Mayor valor coeficiente de correlación
2120747	Febrero	0,101
2120725	Noviembre	0,105
2120746	Diciembre	0,142

En las Figuras 3, 4 y 5, se presenta la relación entre las series de caudales suavizadas, el OCB-50 hPa y el tiempo de registro, para cada una de las series de datos aplicando la media móvil de 6 puntos y teniendo en cuenta el mes donde se produjo la mayor correlación.

De las gráficas presentadas, se puede analizar la forma en la cual durante la fase positiva del fenómeno de OCB 50 hPa hay un incremento en los caudales de los afluentes a los embalses, reflejando de este modo un patrón repetitivo en las tres estaciones, en los caudales de los meses donde se obtuvo la mayor correlación.

CONCLUSIONES

A través de los análisis realizados se puede concluir que el fenómeno de la OCB efectivamente tiene incidencia sobre las afluencias a los embalses de la Regadera y Chisacá. Los resultados de las correlaciones confirman por un lado la significancia de estas y por el otro como el régimen hídrico de los afluentes a los embalses analizados depende en un 10 a 14 % de la OCB.

Con respecto al tiempo de manifestación del fenómeno sobre los cuerpos hídricos, se encontró, que el fenómeno de OCB tarda en manifestarse un periodo de 11 a 12 meses sobre los caudales aportantes al sistema de abastecimiento sur de Bogotá. En la mayor parte de los casos, durante la fase positiva del OCB se produce un incremento en el caudal de los afluentes a los embalses estudiados.

Finalmente, se concluye como la integración del fenómeno OCB a los estudios de la variabilidad hidrológica puede mejorar la eficiencia de los modelos predictivos

de las afluencias a los embalses, que hasta el momento solo consideran la influencia del fenómeno ENSO como la única variable de índole macro climática.

Los resultados obtenidos pueden ser usados para predecir las condiciones de caudal presentes en los embalses en el Sistema Sur de Abastecimiento de Bogotá, usando como una de las variables predictivas el fenómeno de OCB.

Tabla 5. Correlaciones OCB 50 con series de datos suavizados

Rio Mugroso OCB 50 - 2120747												
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Valor coeficiente correlación	0,010	0,101	0,090	0,087	0,089	0,092	0,091	0,082	0,066	0,041	0,009	0,026
Significancia	Si	No	No	No								
Rio Curibital OCB 50 - 2120725												
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Valor coeficiente correlación	0,009	0,002	0,015	0,025	0,034	0,045	0,057	0,071	0,085	0,098	0,105	0,100
Significancia	No	No	No	No	No	Si						
La Toma OCB 50 - 2120746												
Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Valor coeficiente correlación	0,014	0,055	0,082	0,090	0,073	0,035	0,012	0,056	0,094	0,123	0,140	0,142
Significancia	No	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	Si

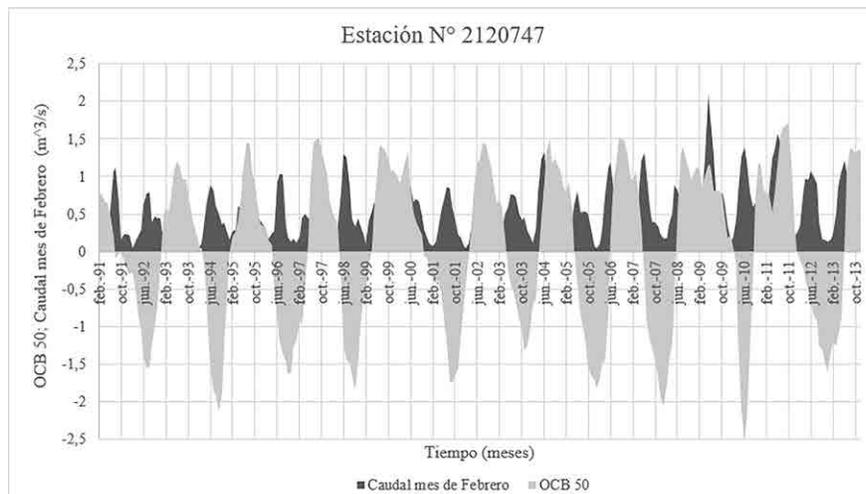


Figura 3. Relación de la serie de OCB 50 con el causal del mes de febrero, donde se obtuvo la mayor correlación para la estación.

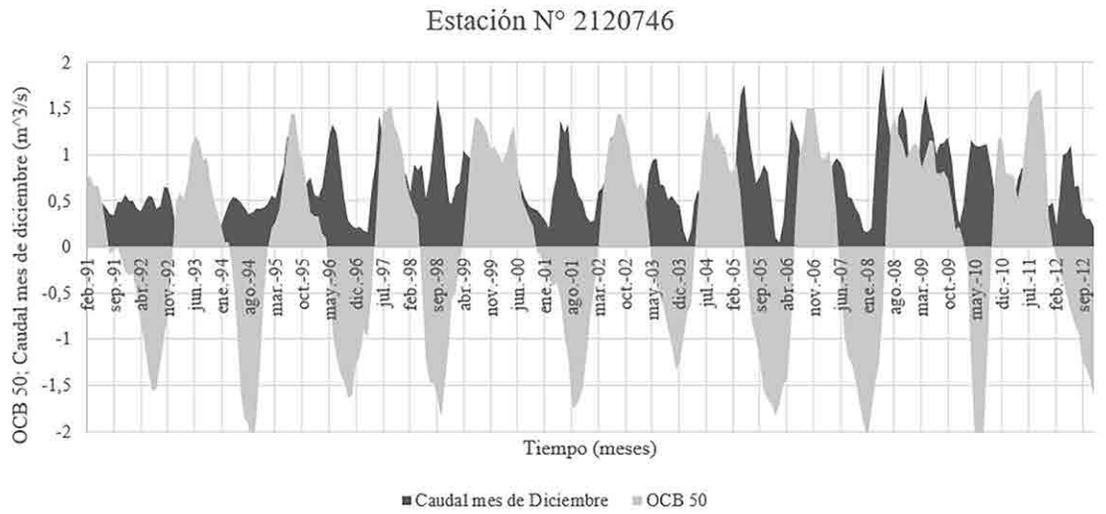


Figura 4. Relación de la serie de OCB 50 con el caudal del mes de noviembre, donde se obtuvo la mayor correlación para la estación

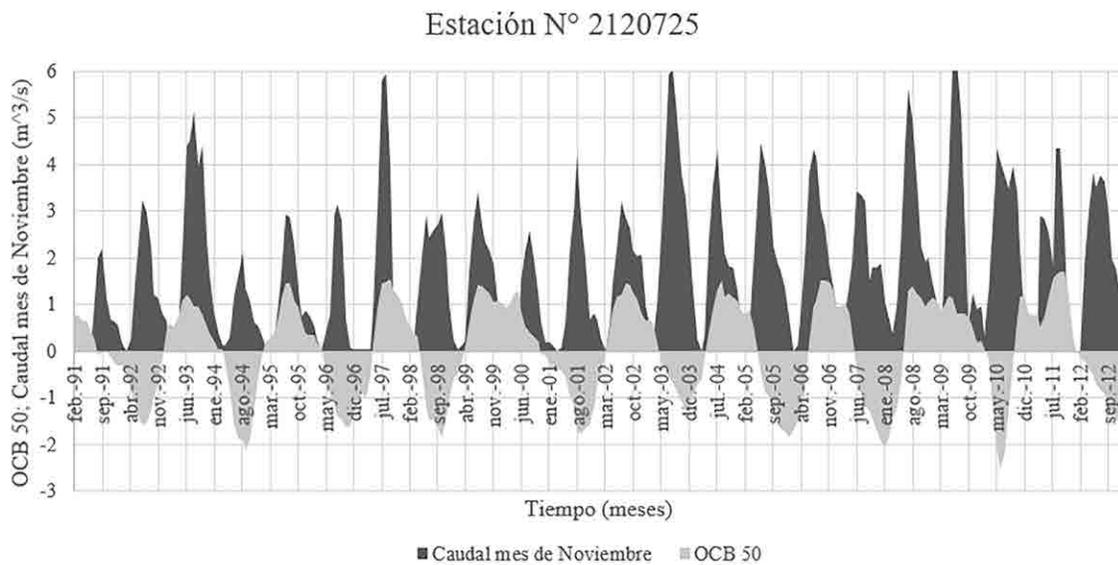


Figura 5. Relación de la serie de OCB 50 con el caudal del mes de diciembre, donde se obtuvo la mayor correlación para la estación

REFERENCIAS

- [1] German, P. (2004). La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. Acad. Colom.Cienc., 210-222.
- [2] Cortés, M. (2012). Análisis de variables de caudal y precipitación de sectores en los departamentos de Boyacá y Casanare y su alteración por fenómenos macroclimáticos y de cambio global. L'esprit ing, Vol. 3.
- [3] Amador, J. A. (1996). La Oscilación Cuasi-Bienal, ENOS y acoplamiento de algunos parámetros superficiales y estratosféricos sobre Costa Rica. Topografía y Meteorología Oceanográfica 3 , 45 - 53.
- [4] Hansen, F., & Matthes, K. &. (2016). Tropospheric QBO-ENSO Interactions and Differences between the Atlantic and Pacific. Journal of Climate, Vol. 29

- Issue 4, 1353-1368. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0164.1>
- [5] Martelo, M., Moreno, O., & Mendoza, C. (2010). Estudio del impacto del cambio climático sobre la agricultura y la seguridad alimentaria en la República Bolivariana de Venezuela. Dirección de Hidrología y Meteorología, Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales.
- [6] Cárdenas, P., C. Gil y García, L. (2002). Impacto de los eventos El Niño – Oscilación del Sur en Venezuela. Parte I. Corporación Andina de Fomento, CAF. Caracas, Venezuela.
- [7] Mark R, J. (2001). Economic Impacts of Climate Variability in South Africa and Development of Resource Prediction Models . Journal of applied Meteorology, Vol. 41.
- [8] Pérez Parrado R., R. J. (1995). Efectos del evento ENOS durante la temporada invernal en Cuba. Boletín SOMETCUBA, Vol. 1, No.2.
- [9] [9]Hashim K. Ng'ongolo, S. P. (2010). The statistical prediction of East African rainfalls using quasi-biennial oscillation phases information. Scientific Research Publishing, Vol.2.
- [10] Jaramillo, G. P. (1998). Retroalimentación dinámica entre el fenómeno el Niño-Oscilación del Sur y la hidrología Colombiana. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- [11] Orhuela, J. Y. (2016). Evaluación limnológica del embalse la regadera, sus tributarios y la zona de descarga del río tunjuelo. Usme – cundinamarca. Bogota D.C: Universidad Militar Nueva Granada.
- [12] [12]Ernesto Torres Quintero, M. C. (2009). Diagnóstico Ambiental de las Cuencas Hidrográficas de Embalses en Colombia. AVANCES Investigación en Ingeniería, Vol.10.
- [13] Devore, J. L. (2004). Probabilidad y Estadística para ingeniería y ciencias. San Luis: Thomson.
- [14] Santiago Fernández Fernández, J. M. (2002). Estadística descriptiva. Madrid: ESIC.

DISEÑO DE UNA RED ÓPTICA PASIVA BIDIRECCIONAL CON PARTICIONAMIENTO ESPECTRAL DE UNA FUENTE DE BANDA ANCHA

A passive optical bidirectional network design with Spectral partitioning of a wide band Font

Juan Sebastián Castellanos-Casas¹, Carlos Sebastián Rojas-Piña¹, Gustavo Adolfo Puerto-Leguizamón²

¹ Esp. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Boyacá, Colombia). Juam.castellanos@uptc.edu.co, carlossebastian.rojas@uptc.edu.co

² Ph.D. Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá, Colombia). gapuerto@udistrital.edu.co

(Recibido noviembre 22 de 2017 y aceptado noviembre 27 de 2017)

Resumen

Este artículo presenta el diseño de una red óptica pasiva en la cual se aprovecha al máximo el ancho de una fuente de luz para generar diferentes portadoras que pueden ser aprovechadas por una cantidad de usuarios mucho mayor a los que comúnmente tienen redes PON en su hogar, es decir, realizar varias redes en base a una fuente de luz con portadoras de carga y descarga por medio de la misma red, en vez de tener una única fuente de luz para un usuario. Dentro del diseño se aprovecha el particionamiento espectral el cual divide la fuente con una separación de 0,11nm entre portadoras, considerando que el ancho de un LED es aproximadamente 100nm, para así obtener un número alto de portadoras en tercera ventana. Aprovechando dicho fenómeno, se reducen costos en la implementación de una PON.

Palabras clave: Particionamiento espectral; AWG; multiplexación por división de longitud de onda óptica, red óptica pasiva.

Abstract

This paper presents the design of a passive optical network that approach the totally wide band of a light font in order to generate differents carrier signals that can be approach for a considerable quantity of ussers much better and more like than the actually passive optical networks and realize a variety of network when the principle is a unique light font with download and upload carriers throught the same network instead a unique light font to unique user. Inside the design, the spectral partitionign is approach in the way that divides the light Font with a separation of 0,11nm between the carriers, consider the wide band LED has 100nm of bandwith, in order to obtain a high number of carriers in the third window. Approaching this fenomenum, the costs in the implementations could be reduced in the PON systems.

Keywords: Spectral partitioning; AWG; optic wavelenght divison multiplexing; passive optical network.

1. INTRODUCCIÓN

Las redes ópticas son el medio de propagación comúnmente utilizadas en la actualidad debido a la baja atenuación que tiene por distancia brindando así comunicaciones interoceánicas, dando la posibilidades de generar tipológicas de gran ancho de banda a altas frecuencias de portadora, la fibra óptica se clasifica en multimodo y monomodo. La fibra óptica tiene varias ventanas de trabajo es decir diferentes tipos de grupos de frecuencias donde se presentan diversos efectos dispersivos y perdidas, en tercera ventana la atenuación es

menor por ende la mayoría de las redes y dispositivos se implementan en esta ventana [1].

Este medio de propagación permite implementar redes ópticas pasivas que permite generar enlaces entre los proveedores de servicio y los terminales o usuarios finales [2]; en la actualidad se conocen diferentes topologías de redes ópticas pasivas con gran capacidad como lo son BPON (con una gama amplia de servicios de banda ancha) [3], GPON, EPON (Con WDM y alcance de 20km) [4] y WDM-PON.

El uso de diferentes fuentes ópticas para la implementación de diversos canales en una red óptica pasiva genera altos costos en la implementación de las redes de acceso y distribución por multiplexación por división de longitud de onda, debido al tipo de laser o led usado para cada canal de la topología.

Estos se pueden solucionar o simplificar mediante el uso de ranurado o particionamiento espectral debido a que se pueden generar diversas longitudes de onda a partir de una fuente de luz de banda ancha como un LED (10 -100 nm) por medio de AWGs (Arrayed Waveguide Grating) que en esencia son un arreglo de rejillas de guías de onda, de esta forma se obtienen diferentes longitudes de onda, las cuales se modulan y se inyectan a la fibra [5].

En la red de acceso del usuario se extraerán dos longitudes de onda, una vendrá modulada por el operador para la bajada de datos y la otra estará sin modular, esta

segunda longitud se modulara del lado del usuario o abonado para la subida de datos a la red y se volverá a inyectar a la fibra, este proceso se realizara por medio de un AWG en configuración router de longitud de onda. Este planteamiento reducirá la implementación de una red por multiplexación por división de longitud de onda óptica.

2. PLANTEAMIENTO Y DESARROLLO DEL PROBLEMA

2.1 Fundamentos teóricos

2.1.1 Redes PON. Una red PON (Passive Optical Network) es un sistema que establece comunicaciones punto-multipunto entre un router central llamado OLT (Optical Line Network) y equipos de campo ONT o ONUs (Optical Network Terminal) por medio de fibra óptica y diferentes dispositivos ópticos pasivos; solo usan equipos activos en los extremos [2].

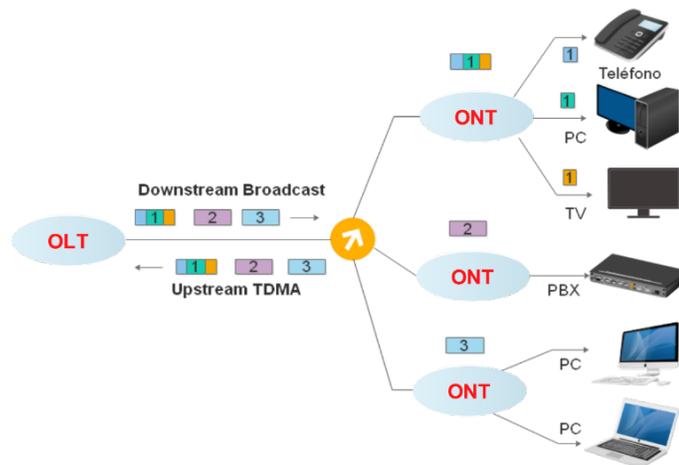


Figura 1. Arquitectura PON [2].

Existen diferentes tipos de tecnologías de red PON como lo son BPON [3], GPON, EPON (Con WDM y alcance de 20km) [3] y WDM-PON.

GPON (Gigabit passive optical network) la mayoría de las redes actuales utilizan GPON establecido por la norma ITU-T es G.984. Entrega 2,488 Gbits/s en sentido descendente y 1,244 Gbits/s en sentido ascendente. GPON utiliza multiplexación por división de longitud de onda óptica (WDM), de modo que se puede utilizar una única fibra tanto para datos de bajada como subida. Un láser

en una longitud de onda de 1490 nm transmite datos de subida. Los datos ascendentes se transmiten a una longitud de onda de 1310 nm. GPON utiliza un formato de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) para asignar un intervalo de tiempo específico a cada usuario. Esto divide el ancho de banda para que cada usuario obtenga una fracción tal como 100 Mbits/s. GPON pueden manejar paquetes ATM directamente, también utiliza un método genérico de encapsulación para llevar otros protocolos. Puede encapsular Ethernet, IP, TCP,

UDP, T1 / E1, vídeo, VoIP, u otros protocolos según lo requerido por la transmisión de datos [3].

EPON (Ethernet passive optical network) IEEE desarrolló otro nuevo estándar PON. Basado en la norma Ethernet 802.3, EPON 802.3ah especifica

una red pasiva similar con un alcance de hasta 20 km. Utiliza WDM con las mismas frecuencias ópticas que GPON y TDMA. La velocidad de datos de la línea es de 1,25 Gbits /s tanto en las direcciones de subida y bajada. EPON no utiliza el método de acceso CSMA / CD utilizado en otras versiones de Ethernet [4].

WDM-PON (wavelength division multiplexing PON) se puede utilizar para separar las unidades ópticas de la red (unidades ONU) en varias conexiones virtuales de punto a punto sobre la misma infraestructura física, una característica que permite un uso eficiente de la fibra en comparación con Ethernet. Utiliza una red de difracción de guías de onda (AWG) que separa las longitudes de onda para la entrega individual a las unidades ONU del abonado [6].

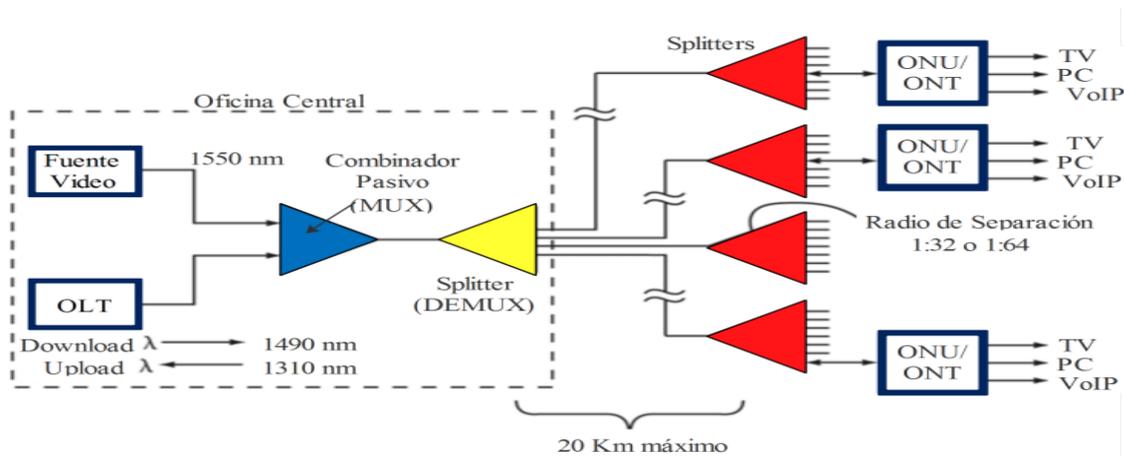


Figura 2. Arquitectura GPON [3]

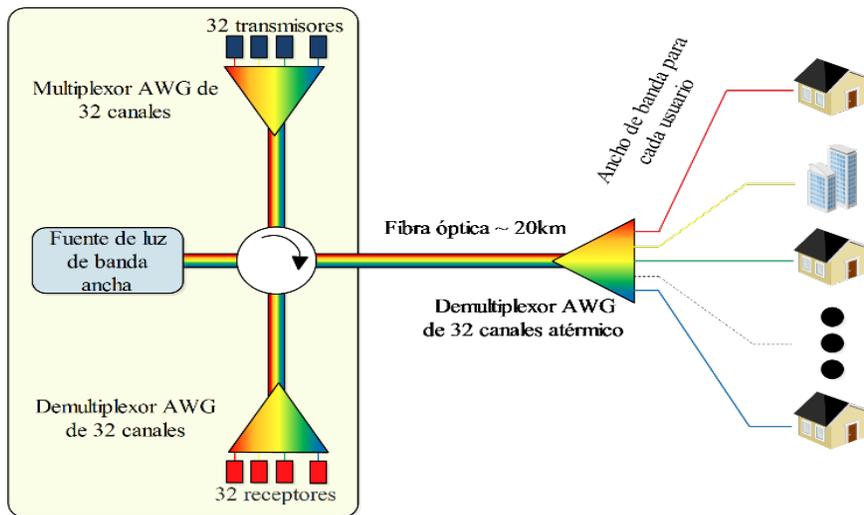


Figura 3. Arquitectura WDM-PON [6]

2.1.2 Particionamiento espectral. Esta técnica tiene como objetivo realizar un fraccionamiento del espectro de una fuente óptica con gran anchura espectral, para

obtener fragmentos del espectro con el fin de generar diferentes longitudes de onda para producir diversas fuentes ópticas. Para implementarlo, se utiliza un ele-

mento pasivo como el AWG con el fin de generar la demultiplexación de la anchura espectral obteniendo como resultado una cadena de longitudes de onda convencionales [7]. Existe una anchura óptima de cada par-

tición la cual depende de la longitud de la fibra, generando un efecto de penalización del receptor. La figura 4 permite observar la dependencia de la penalización del receptor [8].

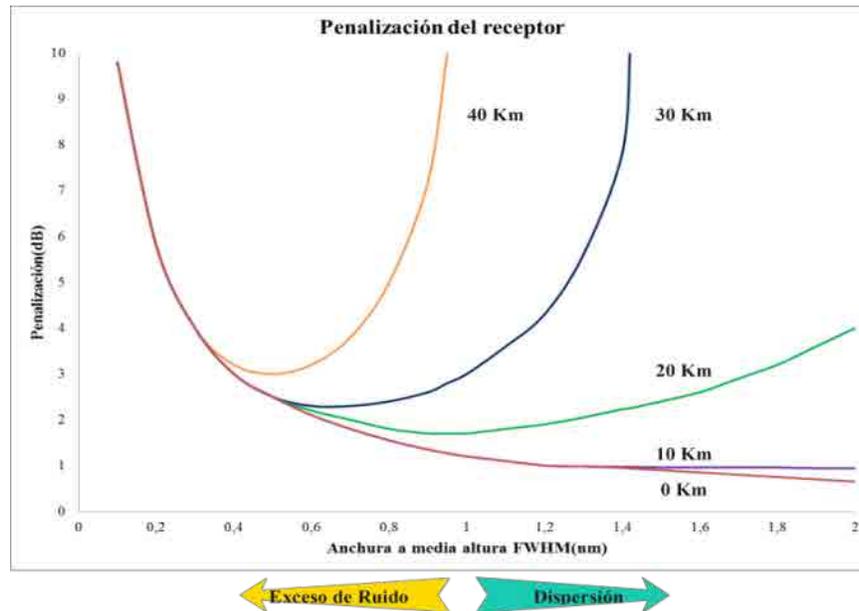


Figura 4. Dependencia de la penalización del receptor de terminal de línea óptica. [8]

Por otra parte, existe otra técnica para extraer diferentes longitudes de onda a partir de una fuente de banda ancha como son las redes de difracción de Bragg. Este procedimiento se basa en la perturbación periódica del índice de refracción n a lo largo de la longitud de la fibra. Esta perturbación genera una banda de stop en la región de frecuencias en la que se refleja la mayor parte de la luz incidente. La banda de rechazo se centra en la longitud de onda Bragg que se define por:

Donde Λ es el período de particionado y n es el índice de modo promedio. El comportamiento periódico de las variaciones de índice de refracción genera acoplamiento de las ondas de propagación hacia adelante y hacia atrás en longitudes de onda cercanas a la longitud de onda Bragg. [12]

Una de las principales ventajas de esta tecnología es su capacidad de multiplexación intrínseca. Es posible inscribir cientos de redes de Bragg en una misma fibra óptica, con separaciones de unos pocos milímetros o de varios kilómetros. Con un acondicionamiento adecuado, cada una de estas estructuras puede hacerse sensible

a parámetros distintos de la temperatura o la deformación.

En el artículo Arquitectura reconfigurable basada en redes de difracción de Bragg para redes convergentes indoor ópticas (G. Puerto-Leguizamón, 2016) muestra un enfoque donde la arquitectura reconfigurable hace parte de la puerta de enlace donde todos los servicios descendentes procedentes de la red de acceso son clasificados y asignados a diferentes longitudes de onda para ser distribuidos en consecuencia en el segmento interior.

2.1.3 Fuente de luz de banda ancha. Se basa en un proceso llamado emisión espontánea, la cual consiste principalmente en el hecho de que un electrón se recombina con un hueco sin la presencia de fotones en uniones p-n directamente

polarizadas recombinándose de forma radiante en bajos niveles de inyección, causando emisión de fotones. A altos niveles de inyección, el diodo laser permite que el proceso de emisión se determine como emisión estimulada, la cual da como resultado una alta pureza es-

pectral de la señal, con fotones coherentes y una alta velocidad de respuesta [10].

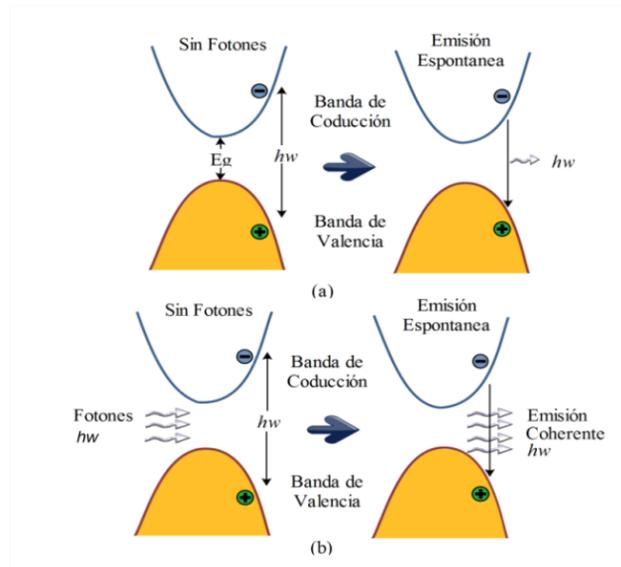


Figura 5. (a) Emisión espontánea: el par electrón-hueco se recombina en ausencia de fotones para emitir otro fotón. (b) Emisión estimulada: el par electrón-hueco se recombina en presencia de fotones de energía adecuada para emitir fotones coherentes [10].

2.1.4 AWG's. Los AWG's (Arrayed waveguide grating). Son dispositivos basados en arreglos de guías de onda planos con propiedades ópticas y dispersivas que permiten funcionalidad tanto de multiplexación como de

demultiplexación convirtiéndose así en los filtros más importantes dentro de las redes WDM. En la figura 6 se observa la estructura de un AWG y un sistema óptico equivalente.

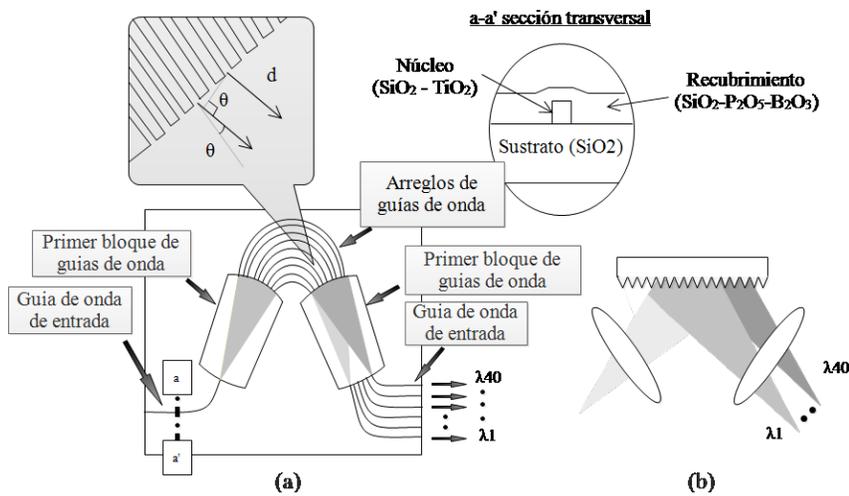


Figura 6. a). Estructura AWG. b). Sistema óptico equivalente. Tomado de [5].

Los dos bloques de fibra son equivalentes en su funcionamiento como el de los lentes y los arreglos de guías de onda funcionan como un enrejado (Figura 6 b). Cuando

la luz es lanzada dentro de una guía de onda, esta se extiende en el primer bloque y es capturada por el arreglo de guías de onda, luego de atravesarlo cada haz

de luz óptica interviene destructiva o constructivamente dependiendo de la configuración de fase. Al finalizar este proceso los rayos ópticos que intervinieron constructivamente son enfocados a la salida de las guías de onda.

2.1.5 Topologías AWG's. En la figura 7 se muestran las diferentes funciones y aplicaciones de los AWG's las cuales son multiplexor, de- multiplexor, multiplexor de inserción/extracción y como un router de longitud de onda de interconexión [8].

2.2 Diseño

El esquema de red (Figura 8) parte de un led de 100 nm de banda ancha en tercera ventana al cual se le aplica particionado espectral mediante AWG en configuración demultiplexor el cual tiene la función de separar por longitudes de onda la fuente de luz. De esta forma utiliza los primeros 50nm para la bajada de datos, y la

otra mitad para la subida de datos desde el abonado o usuario final. En el diseño el componente más importante es el AWG debido a que es un elemento pasivo que genera múltiples funciones que aportan al esquema planteado. Tras la separación por longitudes de onda se seleccionan dos para cada usuario, donde la primera la modula el prestador de servicios después de la demultiplexación y la otra longitud de onda no estará cargada de información.

Esta longitud se modula desde el abonado para la carga o subida de datos. De esta forma las dos longitudes por usuario se inyectan a la fibra mediante un AWG en configuración multiplexor, el cual vuelve a unir las diferentes portadoras; la separación entre las portadoras es aproximadamente 0,1 nm como es acorde a la tabla 1 de la ITU-T G.694.1 [11] en la cual se tiene una fuente de banda ancha y se muestra la separación entre las particiones. Si no se tiene en cuenta esta distancia se tiene penalizaciones por ruido y dispersión, la distancia de la fibra óptica desde el multiplexor a los abonados es de 20 Km para evitar las penalizaciones mencionadas.

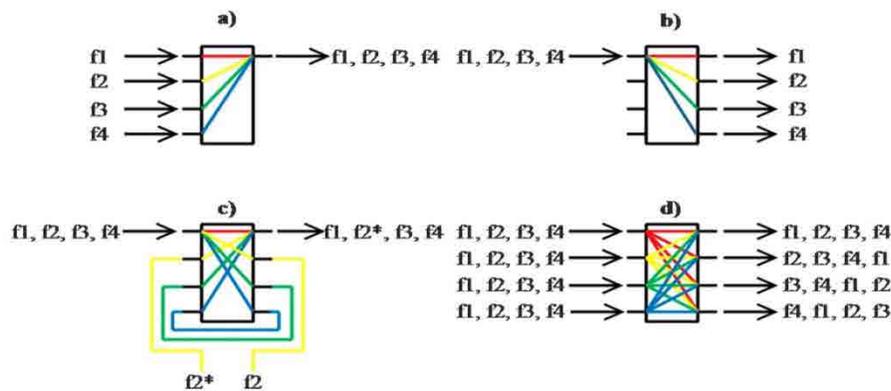


Figura 7. Topologías de aplicaciones de los AWG. (a) Multiplexor. (b) Demultiplexor. (c) Multiplexores de subida y bajada. (d). Enrutador de longitudes de onda. [8].

En las zonas de acceso se tiene un AWG como demultiplexor, en este punto se tienen las longitudes de onda para cada abonado. Como se mencionó anteriormente, a cada terminal llegan dos portadoras, la de bajada de datos del usuario los cuales se demodulan mediante un fotodetector para convertir señales ópticas a señales eléctricas. Del lado del abonado se tendrá un modulador, en el cual se tiene la longitud de onda

que no se ha modulado en primera instancia y los datos del usuario. Mediante el proceso de modulación se generan datos de subida del usuario. Este proceso para llevar la portadora de subida al usuario y volver a inyectar la señal modulada se hace mediante un AWG en configuración de router, cuyo fin es volver a inyectar los datos de terminal a la red. En el terminal final se cuenta con amplificadores ópticos para mejorar la

señal de las dos portadoras que llegan al usuario, con el fin de garantizar una calidad en potencia adecuada en este punto de la topología.

La fibra usada en la topología es monomodo en la parte de distribución desde el proveedor de servicio, mientras que visto desde el acceso de usuario, es decir, la fibra que lleva las dos portadoras, es multimodo reduciendo así los costos en cuanto al medio de propagación, con lo cual se resuelve el problema del uso de diferentes fuentes ópticas para la implementación de diversos canales en una red óptica pasiva ya que genera altos costos en la implementación de las redes de acceso y distribución WDM, a causa al tipo de laser o led usado para cada canal de la topología. La figura 8 permite observar el diseño realizado para satisfacer los problemas expuestos anteriormente, como lo es

la reducción de costos y el uso de una fuente óptica única.

CONCLUSIONES

La arquitectura de red diseñada permite tener una gran cantidad de usuarios a partir de una fuente de banda ancha de tercera ventana, por medio de la técnica de particionamiento espectral donde se usan dos portadoras una para la subida de datos y la otra para la bajada de datos, la primera se modula desde el proveedor de servicios y la otra desde el abonado para el intercambio de datos en la red, esto se logra gracias a las diferentes configuraciones de los AWG's como elemento fundamental en el diseño. De esta forma se reduce costos en cuanto a la cantidad de fuentes ópticas que se usarían en un esquema óptico tradicional.

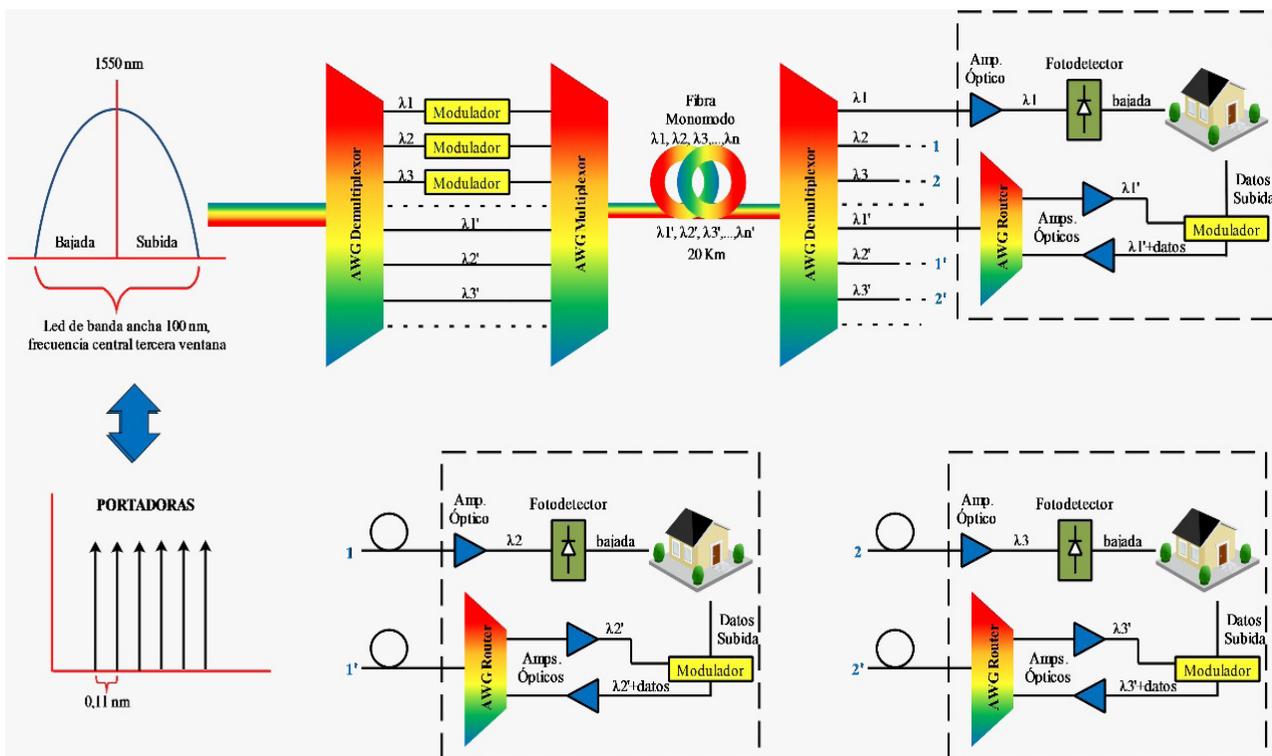


Figura 8. Diseño del esquema de red.

REFERENCIAS

[1] L. R. Villareal, "Sistemas de comunicación a través de fibras ópticas", Tesis de Msc, Universidad Autónoma de Nueva León, San Nicolás de los Garza, NL, México, Junio 1997.

[2] Fibra Óptica, Ciencia y Tecnología, "¿Qué es una PON, passive optical network?", Septiembre 2017, [Online], Disponible: <http://lafibraoptica peru.com/que-es-una-pon-passive-optical-network/>.

- [3] Unión Internacional de Telecomunicaciones, “Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas”, UIT-T G.983.1, 2005
- [4] L. Frenzel, “¿What’s the difference between Epon and Gpon optical fiber networks?”, *Electronic Design*, Enero 2014.
- [5] H. Uetsuka, “Awg technologies for dense wdm applications”, *IEEE Journal of selected topics in quantum electronics*, 10(2):393–402, 2004, Septiembre 2017. [Online]. Disponible: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1303588/>
- [6] M. Pearson, “Wdm-Pon: A Viable Alternative For Next Generation Ftp”, *Enablence*, *Enablence*, Marzo 2010.
- [7] L.P. Hernández, E.J Vanegas, “Evaluación del fragmentado espectral como técnica de generación de portadoras ópticas”, Tesis Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, CUN, Colombia, Febrero 2017.
- [8] J. N. Silva, “Diseño y Análisis de una Red de Acceso Tipo WDM-PON por Medio del Particionamiento Espectral de una Fuente de Luz de Banda Ancha”, Tesis Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, CUN, Colombia, 2016.
- [9] G. J. Pendock y D. D. Sampson, “Transmission performance of high bit rate spectrum-sliced wdm systems”, *IEEE*, Octubre 1996.
- [10] E. Sanchis y J. B. Ejea. “Emisión Espontánea y Estimulada”, *Universitat de Valencia*, Valencia, España, Noviembre de 2008.
- [11] International Telecommunication Union, “Transmission media and optical systems characteristics – Characteristics of optical systems”. ITU-T G.694.1, 2012.
- [12] [12] G. Puerto-Leguizamón, W.R. López-Sanchez, C.A. Suárez-Fajardo, “Reconfigurable architecture based on fiber bragg gratings for convergent optical indoor networks”, *Rev. Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, Vol. 16 (1), Enero, 53-60, 2016. doi: <https://doi.org/1900771/10.19053X.4618>.

Cómo citar este artículo:

J.S. Castellanos-Casas, C.S. Rojas-Piña, and G.A. Puerto-Leguizamón, "Diseño de una red óptica pasiva bidireccional con particionamiento espectral de una fuente de banda ancha", *Rev. Ing. Investig. Desarro.*, vol. 18 (1), pp. 34-45, Enero. 2018.

DOI: <https://doi.org/10.19053/1900771X.v18.n1.2018.7506>

RECHAS EN EL USO DE INTERNET: UN FRENTE DE ACCIÓN A LA ZAGA EN COLOMBIA

Gaps in the use of the Internet: A front of action far behind in Colombia

Patricia Eugenia Martínez-Coral

Ph.D. Universidad Externado de Colombia (Bogotá, Colombia). pattymcoral@hotmail.com

(Recibido julio 11 de 2017 y aceptado diciembre 22 de 2017)

Resumen

El presente artículo expone los resultados de una investigación de carácter exploratorio, a través de la cual se analizó el alcance de los proyectos de inversión ejecutados por el Fondo de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, durante los dos últimos cuatrienios, para fomentar el acceso y uso de Internet en los hogares de estratos socio-económicos bajos. Elementos tales como la cobertura, oferta de servicios, selección de beneficiarios y ejecutores, diseño de las subvenciones aplicadas, y monto de la inversión, sirvieron como criterios orientadores en el desarrollo del análisis, y fueron complementados con la reconstrucción del contexto sectorial en el que cada proyecto ha sido implementado. El estudio de la política de servicio universal en Colombia permite concluir que existe un vacío ostensible de las dimensiones de uso que deben acompañar la oferta de infraestructura. Si bien, el despliegue subsidiado de redes de última milla, y el establecimiento de tarifas máximas del servicio de banda ancha, apuntan a superar barreras de asequibilidad que obstaculizan la difusión tecnológica, resulta imperativo desarrollar estrategias que incrementen la promesa de valor de uso de Internet, de tal modo que los beneficiarios no solo retribuyan la inversión pública mediante su disposición a pagar por el servicio, fortaleciendo la sostenibilidad de este tipo de proyectos, sino que además aprovechen las condiciones de acceso haciendo uso productivo de la red.

Palabras clave: Política de servicio universal; brechas de uso; banda ancha; brecha digital.

Abstract

This article presents the results of an exploratory research, through which the scope of investment projects executed by the Universal Service Fund, during the last eight years to promote access and use of the Internet in households with low socioeconomic strata, was analyzed. Elements such as coverage, service offerings, selection of beneficiaries and executors, design of applied subsidies, and amount of investment, served as guiding criteria in the development of the analysis, and they were complemented by the reconstruction of the sectoral context in which each project has been implemented. The study of the universal service policy in Colombia allows to conclude that there is a significant gap in the dimensions of use that must accompany the supply of infrastructure. Although the subsidized deployment of last-mile networks, and the establishment of maximum broadband service tariffs, aim to overcome affordability barriers that hinder technological diffusion, it turns out to be imperative to develop strategies that increase the promise of value of Internet use, in such a way that the beneficiaries not only reward the public investment by their willingness to pay for the service, strengthening the sustainability of these types of projects, but also taking advantage of the conditions of access, by making productive use of the network.

Key words: Universal Service Policy; Usage Gaps; Broadband; Digital Divide.

1. INTRODUCCIÓN

En la medida que la recolección, procesamiento y análisis de datos acerca del acceso y uso de Internet han aumentado alrededor del mundo, los Estados cuentan en la actualidad con mejores herramientas para la formulación de políticas de inclusión digital. Un primer referente de análisis está dado por la acotación de expectativas relacionadas con el aumento de penetración de Internet y sus efectos sobre la productividad y el crecimiento económico. En 2009 el Banco Mundial proyectaba que un incremento de 10% en la tasa de penetración de Internet se correlacionaba con un aumento de 1.35% en el Producto Interno Bruto de países en desarrollo, y 1.19% de países desarrollados [1]. Sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación regional desarrollada en 2014 por la red DIRSI (Diálogo Regional Sobre la Sociedad de la Información), acerca del impacto efectivo de la difusión de banda ancha en aspectos clave para el desarrollo económico en América Latina, se observa que el aumento en la penetración de banda ancha puede tener impactos positivos en la superación de pobreza, siempre que el aumento de infraestructura esté acompañado de inversión en capital humano, de modo que pueda traducirse en incrementos de productividad; de igual forma, si bien la difusión de banda ancha contribuye a la generación de nuevos empleos, simultáneamente destruye otros [2].

Un segundo ámbito de discusión, que ha adquirido notable importancia para orientar la toma de decisiones en materia de intervención pública, consiste en el estudio de las brechas de uso de Internet, a partir de las cuales es posible estimar la pertinencia y efectividad de diversas acciones tendientes a promover la difusión tecnológica, es decir, la aplicación de Internet en una diversidad de actividades de la vida cotidiana y la producción de bienes y servicios. Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones, en 2016 cerca de 3.9 billones de personas en el mundo continúan excluidas del acceso a Internet, cifra cercana a 53% de la población global. A su vez, mientras 80% de los ciudadanos de los países desarrollados están conectados, en los países en desarrollo este porcentaje se aproxima tan solo a la mitad (40%); y en el grupo de países menos desarrollados, pese a que la penetración de Internet se ha triplicado en el último lustro, los niveles de acceso alcanzan aquellos registrados en los países desarrollados en 1998. De otro lado, las estadísticas de uso sugieren que las personas con mayores niveles de ingreso y escolaridad emplean los

recursos de la red de manera más productiva, en tanto que aquellos con menores niveles de ingreso y escolaridad usan el servicio de Internet con fines de comunicación y entretenimiento, lo que refleja el afianzamiento de dimensiones estructurales de la desigualdad [3].

En 2017, el Centro Nacional de Consultoría reveló que 43% de los colombianos se encuentra en el nivel más básico del índice de Apropiación Digital, lo cual significa que el mayor uso del servicio corresponde a entretenimiento y comunicación; 27% registra usos más avanzados, tales como interacciones de carácter comercial y educación virtual; y solo 4% se apalanca en el servicio para producir ingresos [4].

Estos hallazgos advierten sobre la necesidad de examinar cuáles son los instrumentos empleados en el marco de la política de servicio universal en Colombia, para estimular el acceso y uso de Internet, y comprobar si la inversión pública destinada para su respectiva financiación está generando los efectos propicios para superar las problemáticas de la brecha de uso, de la que se desprende una creciente modalidad de desigualdad social en el país.

2. METODOLOGÍA

El presente artículo expone los resultados de una investigación de carácter exploratorio en torno a la política de servicio universal de telecomunicaciones ejecutada en Colombia por el Fondo de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, en adelante Fondo TIC.

Teniendo en cuenta la imposibilidad de aislar la participación de los beneficiarios de los proyectos de servicio universal, de los reportes de abonados al servicio de Internet, cualquier ejercicio estadístico sobre la incidencia de la acción pública en el comportamiento de las tasas de penetración y uso de la conectividad, conduciría a correlaciones espurias; así como tampoco se podría desconocer la estrecha relación entre la factibilidad de dichos proyectos y condiciones exógenas a la intervención del Estado.

Dificultades similares se presentan para abordar un análisis normativo de política, toda vez que sus piezas constitutivas [5] aún se encuentran en proceso de definición. Así, por ejemplo, en el estudio de la política de servicio universal en Colombia no resulta claro que la

unidad de análisis (nacional o municipal) abarque diferencias que coincidan con la heterogeneidad regional que caracteriza al país en términos de acceso y uso de Internet; la relevancia de algunos actores, diferentes al Ministerio TIC y los beneficiarios de sus proyectos, como operadores de telecomunicaciones y ente regulador, no ha sido puntualizada en la formulación de las intervenciones públicas; y tampoco algunos aspectos esenciales para la delimitación de su alcance, como duración óptima de las subvenciones, y desagregación de sus costos y beneficios. En consecuencia, el estado del arte en materia de políticas de servicio universal deberá producir mayores avances antes de que pueda abordarse una investigación más amplia.

Por lo anterior, la investigación realizada se limita al análisis de los proyectos de inversión ejecutados por el Fondo TIC, durante los dos últimos cuatrienios, en el marco de la política de servicio universal. De este modo, elementos tales como la cobertura, oferta de servicios, selección de beneficiarios y ejecutores, diseño de las subvenciones aplicadas, y monto de la inversión, sirven como criterios orientadores para contrastar el abordaje institucional de las problemáticas de acceso y uso de Internet en el país, con los referentes que provee la literatura especializada sobre la brecha emergente de apropiación tecnológica.

3. REFERENTES DE ANÁLISIS

Desde que el incremento de la penetración y uso de Internet fueron adoptados por consenso como imperativo global de los gobiernos, corporaciones del sector privado, y sociedad civil, en el marco de la Cumbre Mundial de la Sociedad de la Información en 2003, numerosos lineamientos de acción pública han sido formulados, entre los cuales se destacan aquellos dirigidos al fomento del despliegue de infraestructura, estímulos a la demanda, y asequibilidad del servicio. Las medidas diseñadas para mejorar las condiciones de acceso a la conectividad agrupan, comúnmente, las políticas de regulación que buscan fortalecer la competencia [6]; aumentar la eficiencia en el mercado de las telecomunicaciones a través del uso compartido de infraestructura [7]; afianzar un entorno propicio para la inversión privada mediante garantías de trato no discriminatorio entre proveedores, con base en principios de neutralidad tecnológica [8]; establecer un régimen de asignación de espectro transparente y predecible para favorecer la innovación [9]; e incluir en los procesos de asignación de licencias para

uso de espectro, obligaciones específicas de cobertura, como alternativa para llevar a oferta a regiones que despiertan poco interés comercial [10]. La inversión pública, acompañada de medidas regulatorias para facilitar el acceso abierto a redes de backbone y backhaul, es otra práctica tendiente a reducir las barreras a la entrada de nuevos operadores [11].

A su vez, los estímulos a la demanda del servicio de conectividad han desempeñado un rol relevante en complemento de las estrategias enunciadas [12]. Bajo el entendido que, en un ecosistema digital la infraestructura debe responder y adecuarse a las necesidades de los usuarios, habilitar el desarrollo de servicios, y facilitar el surgimiento de nuevas aplicaciones, los objetivos de difusión tecnológica se entrelazan de manera permanente, procurando que las fuerzas de oferta y demanda converjan. Es así como los programas de alfabetización y formación de talento digital en instituciones educativas se han reconocido en la esfera internacional como una prioridad para posibilitar la participación abierta en la sociedad del conocimiento, y su respectiva profundización [13]. El apoyo al emprendimiento; el comercio electrónico; la diversificación de transacciones de gobierno en línea; el fortalecimiento del régimen de protección al usuario; los protocolos de cyber-seguridad; y las estrategias de digitalización para estimular la innovación en el sector productivo también hacen parte de las acciones enfocadas a la maduración del ecosistema digital [14]. Adicionalmente, las medidas de protección de propiedad intelectual que amparan el desarrollo de las plataformas de software, aplicaciones multimedia, y contenidos digitales, se cuentan entre los incentivos indirectos para acrecentar la demanda de la conectividad [15].

En materia de asequibilidad, los instrumentos de acción pública no han contemplado intervenciones sobre precios, debido a los daños potenciales que podría traer esta medida para el desarrollo a largo plazo del mercado, en razón de eventuales distorsiones de señales y desincentivos a la inversión privada [16]. En su lugar, la reducción de impuestos, aranceles y gravámenes a las terminales, equipos y servicios de telecomunicaciones, en beneficio tanto de usuarios como operadores, ha sido acogida como mecanismo para inducir aumentos en la penetración de Internet, a través de la disminución de costos [17-18]. Otro instrumento empleado para mejorar la asequibilidad del servicio de Internet ha consistido en la oferta de subsidios, entre los cuales se encuentran

aquellos que buscan reducir los costos del despliegue de redes de última milla, la compra de terminales, y las tarifas mensuales del servicio, en favor de los hogares de escasos recursos [19].

Pese a las diferencias en las políticas de inclusión digital que pueden observarse entre países, en virtud de su nivel de ingresos, entornos regulatorios, y desarrollo del mercado de telecomunicaciones, la formulación y ejecución de planes nacionales de banda ancha se han posicionado internacionalmente como estrategia para el desarrollo conjunto de los incentivos a la oferta y demanda de bienes y servicios que integran el ecosistema digital. Dichos planes proporcionan una visión concreta de las rutas trazadas por cada gobierno, y los horizontes de tiempo establecidos para el cumplimiento de metas específicas, generando con ello un entorno proclive a la inversión y el surgimiento de nuevos modelos de colaboración entre grupos de interés [20].

Por su parte, el monitoreo constante de los avances obtenidos mediante la ejecución de estos planes ha dado origen a múltiples indicadores globales que permiten constatar la importancia del acceso y uso de Internet. Algunos ejemplos corresponden al índice de Desarrollo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, elaborado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones [3], con base en la agregación de cinco indicadores de acceso (suscripciones de telefonía fija y móvil celular, ancho de banda internacional de Internet por habitante, porcentaje de hogares con computador, y porcentaje de hogares con acceso a Internet); tres indicadores de uso (porcentaje de individuos que usan Internet, suscriptores de banda ancha fija, y suscriptores de banda ancha inalámbrica); y tres indicadores de conocimientos (tasa de alfabetización de adultos, tasa bruta de matrícula en educación secundaria, y tasa bruta de matrícula en educación superior); y el índice NRI (Networked Readiness Index), producido por el Foro Económico Mundial [21], a partir de cuatro subíndices: (1) entorno, que estima las condiciones regulatorias y de mercado que soportan el emprendimiento, la innovación, y el desarrollo de las TIC; (2) preparación, que evalúa la disponibilidad de infraestructura, la asequibilidad de los servicios, y las competencias en el uso efectivo de las TIC; (3) uso, compuesto de indicadores que reflejan la adopción de Internet por parte de individuos, empresas y gobierno; e (4) impacto, medido como innovaciones tecnológicas, y usos sociales de la

conectividad, tales como la oferta de servicios ofrecidos por el estado a través de medios electrónicos.

Otras métricas similares son el índice Global de Competitividad, del Foro Económico Mundial [22], elaborado a partir de doce pilares (instituciones, infraestructura, ambiente macroeconómico, salud y educación básica, educación superior y capacitación, eficiencia del mercado de bienes, eficiencia del mercado laboral, desarrollo del mercado financiero, preparación tecnológica, tamaño del mercado, sofisticación de los negocios e innovación); y el Índice Mundial de Innovación, producido por la Organización Mundial de Propiedad Intelectual [23], con base en dos subíndices, a saber: el de recursos invertidos en innovación, que a su vez abarca cinco pilares (instituciones; capital humano e investigación; infraestructura, de la que hace parte el acceso a Internet; desarrollo de los mercados; y desarrollo empresarial), y el subíndice de resultados de innovación, en el que se encuentran la producción de conocimientos y tecnología, y la producción creativa.

Por último, se encuentran referentes puntuales de las aplicaciones de la conectividad en desarrollo urbano, caso del Cities in Motion Index, construido por el IESE Business School de la Universidad de Navarra [24], a partir de diez dimensiones (gobernanza, planeación urbana, administración pública, tecnología, medio ambiente, cohesión social, alcance internacional, transporte y movilidad, capital humano, y economía); comercio electrónico (como el E-commerce Index, de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, que evalúa la cantidad de usuarios de Internet, servidores seguros, penetración de cuentas electrónicas, y confiabilidad postal [25]; y gobierno en línea, como lo ilustra el E-government Development Index, elaborado por el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, con fundamento en tres subíndices: servicios en línea; infraestructura de telecomunicaciones; y capital humano [26].

En la medida que los ecosistemas digitales, especialmente en países desarrollados, han experimentado notables signos de maduración, el análisis acerca de la brecha digital se ha enriquecido, y se empieza a observar un mayor énfasis en las barreras de adopción tecnológica que dependen más de las facilidades de uso, que de las condiciones del acceso a Internet [27]. Algunos criterios de aproximación a las brechas de uso son el tipo de relación establecido entre el usuario y el

contenido digital, lo que permite diferenciar al usuario pasivo -que consume contenidos- del activo -aquel que crea contenidos y por consiguiente emplea un mayor ancho de banda-; la frecuencia y duración del uso de Internet; y las actividades desarrolladas en línea.

De acuerdo con Van Deursen y Van Dijk [28], el grado de escolaridad, la ocupación, y el nivel de ingresos inciden en los resultados del uso de Internet. Las personas en condiciones socio-económicas más bajas, aun cuando acceden al servicio, con frecuencia y duración altas, hacen un uso más superficial de Internet, relacionado con interacción social y entretenimiento. De otro lado, los usuarios que hacen uso regular de actividades productivas en línea, con el tiempo van desarrollando habilidades que les permiten mejorar la búsqueda de información, efectuar transacciones financieras, y ampliar sus oportunidades de crecimiento profesional. Un estudio de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos señala, con base en los resultados de las pruebas del Programa Internacional para la Evaluación de Estudiantes -PISA- de 2012, que las diferencias en el uso de Internet, asociadas con actividades de aprendizaje, entre estudiantes de mayores y menores niveles de ingreso, se relacionan con otras diferencias observadas en habilidades académicas tradicionales, aun cuando la cantidad de horas de las que pueden disponer los estudiantes para acceder a Internet en la escuela sea la misma. Por ejemplo, efectuar búsquedas en línea exige capacidades de análisis y lectura crítica, así como valorar la idoneidad de las fuentes de información, y contar con dominio en el uso del computador. Por ende, las oportunidades que ofrecen Internet, y las herramientas virtuales de aprendizaje, siguen estando segmentadas en razón de desigualdades socio-económicas [29].

Por su parte, la evolución de los contenidos digitales desempeña un rol esencial en los procesos de adopción tecnológica, por ser estos la principal fuente de motivación para conectarse a Internet. Existe, además, una relación estrecha entre el desarrollo de los contenidos y la penetración de Internet. Según PwC network, en su etapa inicial, la creación de contenidos coincide con rangos de penetración entre 5% y 13%. Posteriormente, los efectos de red que permiten que debido al uso común de un contenido éste ofrezca mayor valor y por ende tenga mayores posibilidades de ser usado, impulsan la apropiación de Internet, coincidiendo con incrementos en la tasa de penetración de 25% a 35%. En su siguiente etapa, una base sólida de usuarios en línea fomenta la

monetización de los contenidos, momento para el cual la penetración de Internet ya ha alcanzado un orden de 43% a 62%; la última etapa consiste en la diversificación de contenidos por medio de nuevos servicios, y la penetración se equipara a un rango del 63% al 85 [30].

Adicionalmente, los dispositivos empleados para conectarse a Internet inciden en la clase de contenidos que son usados. Por las características de la conexión móvil, sus terminales presentan limitaciones para el uso de aquellas aplicaciones y plataformas que demandan la descarga de contenidos digitales de gran tamaño. Por consiguiente, el uso de Internet móvil resulta complementario, y no sustituto, del Internet fijo [31]. No obstante, las tendencias de penetración evidencian efectos de sustitución, lo cual es preocupante para los procesos de adopción tecnológica. La Unión Internacional de Telecomunicaciones indica que las suscripciones de Internet móvil han crecido en el mundo, en promedio, 20% cada año durante el último lustro; mientras que las suscripciones de Internet fijo han aumentado 9% anualmente [32]. De acuerdo con el monitoreo de tráfico global de Cisco, los datos móviles han aumentado su tamaño en dieciocho veces, durante los último cinco años, alcanzando 7,2 exabytes al mes, mientras que en 2011 dicho tráfico era de 400 petabytes al mes; aunque 45% de los dispositivos móviles en el mundo corresponden a smartphones, éstos representan 81% del total del tráfico de datos. En promedio, la velocidad de las conexiones de red móvil en el mundo en 2016 fue de 6,8 Mbps. En 2021 se estima que tres cuartas partes del tráfico de datos móviles sean provistas mediante redes 4G, y la velocidad promedio de la conexión ascienda a 20 Mbps [33].

Estas observaciones, en torno a las brechas de uso, comprueban la importancia de formular las iniciativas de acceso a Internet a partir de una perspectiva integral, consecuente con la necesidad de propender por la máxima efectividad posible en el logro de los cometidos de acción pública, y optimizar los recursos de inversión.

4. RESULTADOS DEL CASO COLOMBIANO

4.1 Magnitud de las brechas de acceso y uso de Internet en Colombia

El corolario expuesto contrasta con el diseño e implementación de la política de servicio universal en Colombia, contenida en los dos últimos planes nacionales de

banda ancha, ejecutados desde la promulgación de la Ley 1341 de 2009: el plan vive digital (2010-2014), y el plan vive digital para la gente (2014-2018). Después de implementar, de manera ininterrumpida dichos planes, el gobierno colombiano ha puesto en marcha diversos incentivos a la oferta y demanda de servicios, en procura del desarrollo del ecosistema digital. En este periodo, en promedio, el Fondo TIC ha ejecutado anualmente un presupuesto de 1,2 billones de pesos [34].

En términos de acceso a Internet se observan avances significativos. Entre 2008 y 2016, la penetración de acceso fijo creció a una tasa promedio de 5%, alcanzando 16% en municipios de más de 900.000 habitantes. La velocidad promedio de conexión ha mejorado, aunque sigue estando muy por debajo de los promedios registrados en países desarrollados; en 2016 cerca de 23% de las conexiones contaba con una velocidad de 10 Mbps, 9,2% oscilaba en un rango de velocidad entre 2-5 Mbps, y 63,8% se ubicaba entre 1-2 Mbps. También se ha observado una disminución progresiva de las tarifas, aproximadamente 38% entre 2011 y 2016; y el número de proveedores de Internet fijo ha aumentado, pasando de 33 compañías en 2011, a 87 en 2016 [35].

En la actualidad, la cobertura de redes móviles en el país excede 90% en el caso de 3G, y la cobertura de 4G se aproxima a dos tercios de la población. GSMA Intelligence estima que el valor del sector móvil incrementará de 3,8% del PIB en 2016, a 4,2% del PIB proyectado en 2020 [36]. Lo anterior, pese al revés que sufrieron los incentivos tributarios, tras la reforma de 2016 [37].

Sin embargo, la caracterización de las condiciones de uso en la encuesta de hogares refleja que aún hay mucho por abordar mediante la política de inclusión digital. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística [38], en 2016 en Colombia 45,2% de los hogares tenía una terminal (computador, portátil, o tableta), y 45,8% una conexión a Internet (36,9% fija; 21,8% móvil; y 12,9% fija y móvil). Entre las razones que manifestaron los hogares para no contar con una conexión a Internet, 46,3% lo considera muy costoso; 33,7% no lo considera necesario; y en orden de importancia continúa el no saber cómo usarlo (5,7%). A su vez, 72,1% de los colombianos de cinco y más años de edad tenía un teléfono celular (63,5% tiene un Smartphone). La proporción de personas que usó Internet desde cualquier dispositivo ascendió a 58,1%, y 82,8% correspondió a personas en un rango de edad entre 12 y 24 años. En

tre quienes usaron Internet, el sitio de mayor uso fue el hogar (74,7%), seguido del trabajo (28,1%), y la escuela (25,3%). El dispositivo más usado para acceder a Internet, por las personas entre cinco y más años de edad, fue el celular (70,4%), seguido del computador de escritorio (53,2%), portátil (30,6%) y tableta (11,4%); y las actividades de mayor uso on-line, en las zonas urbanas donde se registran las tasas más altas de penetración, fueron entretenimiento (76,9%), correo y mensajería (68,7%), búsqueda de información (67,6%), educación y aprendizaje (39,8%), medios de comunicación (18,4%), banca electrónica (11%), compra de productos y servicios (10,8%), y trámites con entidades gubernamentales (9,1%).

4.2 Reconstrucción de la política de servicio universal

La primera iniciativa de fomento a la penetración de Internet, en beneficio de hogares de estratos socio-económicos bajos, fue lanzada por el Fondo TIC en 2011. Para entonces, el país registraba un número de 2.857.231 suscriptores a Internet fijo (99,2% de los cuales contaban con servicio de banda ancha, conforme lo establecido en la Resolución CRC 2352 de 2010; esto era una velocidad efectiva de bajada (downstream) mínima igual o superior a 1.024 Kbps y una velocidad efectiva de subida (upstream) mayor o igual a 512 Kbps). Cerca de 58% de los accesos dedicados fijos a Internet se concentraban en las principales ciudades del país -Bogotá D.C., Medellín, Cali, Barranquilla y Bucaramanga-, por lo cual, el proyecto buscaba promover la masificación de accesos fijos tomando como universo potencial para su ejecución un total de 325 municipios, en los que se reportaba la disponibilidad de redes troncales de fibra óptica [38].

El Fondo TIC asignó un presupuesto de \$88.485.000.000 pesos (valor constante 2011) para financiar el diseño, instalación, operación, administración y mantenimiento de redes de última milla para prestar el servicio de banda ancha en hogares de estratos 1 y 2, siempre que acreditaran ser nuevos usuarios, es decir, carecer de conexión a Internet en su predio, y no haber contactado con ella en el transcurso de 6 meses anteriores. Los proveedores interesados en participar en el proceso de selección objetiva estaban llamados a presentar su propuesta para los municipios potenciales de su elección, obligándose a garantizar la prestación continua del servicio durante, al menos, tres (3) años, mientras el usuario así lo decidiera. En cualquier caso, el número de

accesos propuesto en la oferta debía mantenerse activo durante la ejecución del contrato, aun cuando el operador tuviera que reemplazar usuarios que solicitaran la desconexión. Los proveedores se encontrarían en libertad de ofrecer servicios adicionales a los usuarios, y la venta de computadores, sin que su adquisición se convirtiera en requisito para acceder al acceso a Internet. El proyecto no contempló metas específicas de apropiación en el uso de Internet [39].

Por su parte, la Comisión de Regulación de Comunicaciones elaboró el estudio económico requerido para establecer el monto máximo de fomento para el despliegue de los accesos, y la tarifa mensual que el usuario debía pagar para acceder al acceso. Tomando como referente de costo-eficiencia, la tecnología de redes de acceso por par de cobre (XDSL), según comparación de mercado, el regulador estimó como monto máximo de fomento por acceso \$370.000 pesos (valor constante 2011), incluido IVA y demás impuestos aplicables, señalando que este tipo de subsidio a la oferta, es recomendable por cuanto impacta la asequibilidad del servicio disminuyendo el costo de la inversión en bienes de capital, en adelante CAPEX, sin presentar riesgos para la sostenibilidad de la inversión. En virtud de este aporte, el plazo razonable para que los proveedores mantuviesen la operación del servicio se estableció en tres años, sin imponer cláusulas de permanencia a los beneficiarios, salvo que estos aceptaran servicios adicionales, o el suministro de terminales empaquetados con el plan. De otro lado, el valor máximo de la tarifa se fijó en \$20.000 pesos, ajustables con la variación del SMMLV, bajo condiciones no discriminatorias de calidad y de soporte post venta respecto a cualquier otro usuario [40].

Por último, el Fondo TIC incorporó topes a la distribución del presupuesto oficial, de acuerdo con los indicadores de penetración, empezando por municipios de 45.000 habitantes, con recursos de fomento máximo de \$ 639.730.000 pesos, hasta municipios de más de un millón de habitantes, con un tope de \$ 24.188.010.000 pesos. El resultado de la adjudicación del proceso arrojó un total de 115.881 accesos, distribuidos en 77 municipios y tres ejecutores, para un presupuesto total de \$17.361.465.000 pesos (valor constante 2011), monto muy inferior al estimado [39].

Dos años después de la apertura de este proceso, el Fondo TIC lanzó una nueva iniciativa de masificación de accesos fijos. Para entonces, la penetración de banda

ancha en el país era de 6.634.659 suscriptores. En esta oportunidad, se establecieron cantidades obligatorias de accesos por departamento, en las que se incluyeron 66 proyectos de vivienda de interés prioritario, para un total de 126.068 accesos. Los 28 departamentos contemplados se agruparon en regiones, y a cada una de ellas se le asignó un monto máximo de presupuesto, cuyo valor total ascendió a \$100.000.000.000 pesos (valor constante 2013). Las obligaciones previstas para los ejecutores incluyeron el diseño, instalación, operación, administración y mantenimiento de redes de última milla para prestar el servicio de banda ancha fija en hogares de estratos 1 y 2 (con una velocidad efectiva de bajada –downstream- mínima igual o superior a 1.024 Kbps y una velocidad efectiva de subida –upstream- mayor o igual a 512 Kbps), manteniéndose la condición de ser nuevos usuarios. La continuidad del servicio debía garantizarse por al menos dos (2) años, sin incluir cláusulas de permanencia, y sin alterar la cantidad de accesos adjudicados. Ante las dificultades por falta de pago de los usuarios, se previó que el servicio se suspendería en caso de no usarse, o estar en mora, por 3 meses consecutivos [41].

Adicionalmente, se incluyeron obligaciones de apropiación a cargo del ejecutor del proyecto, las cuales consistieron en disponer de una página WEB para ofrecer, al menos diez (10) contenidos y/o aplicaciones digitales de uso virtual, a través de las cuales se estimulara el uso cotidiano de Internet. Asimismo, al momento de efectuar la instalación del servicio, el operador debía hacer entrega al usuario, en formato digital -CD/DVD/USB-, de información complementaria, incorporando videos de la iniciativa gubernamental de uso responsable de las TIC (“En TIC confío”), y contenidos multimedia de libre selección, por parte del operador, para socializar los beneficios del uso de Internet [41].

Por su parte, la Comisión de Regulación de Comunicaciones actualizó el estudio para la asignación de los valores máximos de fomento y los topes a las tarifas mensuales del servicio. En tal sentido, encontró pertinente definir un factor ponderador por municipio para afectar el monto de subsidio al CAPEX a ser reconocido, según dos criterios: (i) a mayor Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) mayor asignación de recursos; y (ii) a menor población mayor asignación de recursos. De este modo, al costo por tecnología, que para el caso más eficiente es X DSL (\$ 348.000 pesos), se sugirió reconocer entre 2 y 2.5 veces su valor en cerca del 40% de los mu-

nicipios del país; 2.5 veces su valor para los proyectos de vivienda de interés prioritario, independiente del municipio en que se ubiquen, y 3.85 veces para los accesos a desplegar en San Andrés y Providencia. En complemento del subsidio al CAPEX, el regulador incluyó un subsidio sobre la tarifa mensual, dependiendo del periodo de operación del servicio a subsidiar, con el fin de fomentar la creación de un hábito de consumo en los hogares beneficiados. Este subsidio a los costos de operación -OPEX- oscilaba entre \$156.071 pesos para viviendas de interés prioritario en un horizonte de 12 meses de operación, hasta \$294.189 para dichos usuarios en un plazo de 24 meses. Con base en la máxima disponibilidad a pagar de los hogares a nivel nacional, se establecieron las siguientes tarifas máximas del servicio mensual: \$6.400 pesos para viviendas de interés prioritario; \$12.400 pesos para estrato 1; y \$17.300 para estrato 2; y la posibilidad de aplicar la modalidad de pre-pago estimando la distribución de las tarifas anteriores por hora [42].

Pese a los ajustes en los valores de fomento reconocidos por el Fondo TIC, el proceso de selección objetiva solo contó con un oferente, que después de haber sido habilitado y evaluado, resultó adjudicatario de cinco (5) de las nueve (9) regiones incluidas en el proyecto, para un total de 143.000 accesos (entre obligatorios y los adicionales que hicieron parte de su oferta), distribuidos entre 617 municipios, y 20 departamentos del país, con un presupuesto de \$59.865.548.415 pesos (valor constante 2013). Un año más tarde, el Fondo realizó la apertura de un nuevo proceso de selección objetiva, para replicar el proyecto en los departamentos para los que no se presentaron ofertas, disponiendo de un presupuesto de \$35.532.584.826 pesos (valor constante 2014). No obstante, solo dos proponentes participaron del mismo, presentando ofertas para solo dos departamentos, sin resultar habilitados. En consecuencia, la entidad procedió a declarar desierta la licitación [43].

Nuevamente, hacia finales de 2015, el Fondo TIC emprendió un nuevo proyecto de masificación de accesos fijos a Internet banda ancha, al amparo de lo

consagrado en el nuevo Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 (Ley 1753 de 2015). El alcance geográfico retomó los ocho (8) departamentos que no habían recibido ofrecimientos en los procesos anteriores, abarcando un total de 43.844 accesos, entre los cuales se relacionaban 100 proyectos de vivienda de interés prioritario. En este proceso se conservaron las mismas condiciones de selección de beneficiarios (nuevos usuarios); aspectos técnicos (accesos fijos de banda ancha con iguales velocidades mínimas de conexión, según lo establecido en la Resolución CRC 2352 de 2010, libertad para comercializar servicios adicionales sin imponer cláusulas de permanencia); apropiación del uso de Internet mediante la disposición de un portal WEB con contenidos instructivos; y los valores máximos de fomento, y tarifas mensuales al usuario definidos por el regulador en su estudio de 2013, ajustados a precios de 2015 [44].

Entre las diferencias observadas respecto de los procesos anteriores, se acortó a quince (15) meses el plazo mínimo para la prestación del servicio que debía garantizarse a los beneficiarios, y se incluyó entre las obligaciones del ejecutor, la entrega de un computador portátil a los hogares en viviendas de interés prioritario. El Fondo destinó un presupuesto oficial de \$118.469.959.552 pesos (valor constante 2015), distribuido por departamento, y adjudicó 6 departamentos entre 5 ejecutores, por un valor total de \$85.292.684.422 pesos equivalentes a 31.290 accesos [44]. A la fecha no se han implementado nuevos procesos de masificación de accesos.

La siguiente tabla presenta una síntesis del alcance de cada una de las iniciativas de servicio universal, implementadas por el Fondo TIC. Además de las variaciones en el tiempo de ejecución, se corrobora que el componente de uso y apropiación de Internet no ha estado sujeto al logro de metas específicas, por parte de los beneficiarios, lo que sin duda ofrece una notable oportunidad de mejora, con miras a fortalecer las estrategias encaminadas al cierre de las brechas de uso de la tecnología en Colombia.

Tabla 1. Proyectos de masificación de accesos del Fondo TIC (2011-2017)

Año de inicio	Cantidad de accesos	Inversión del Fondo TIC (millones)	Beneficios de los proyectos a usuarios de estratos 1 y 2
2011	115.881 en 77 municipios	\$17.361.465	Conexión a Internet y servicio de banda ancha por 3 años a una tarifa máxima de \$20.000 COP. No incluye estrategias de formación en el uso de TIC.
2013	143.000 en 617 municipios	\$59.865.548	Conexión a Internet, servicio de banda ancha por 2 años, a una tarifa máxima entre \$6.400 y \$17.300 COP, y acceso a contenidos de alfabetización digital.
2015	31.290 en 41 municipios	\$85.292.684	Conexión a Internet, servicio de banda ancha por 1,3 años a una tarifa máxima entre \$6.400 y \$17.300 COP, y acceso a contenidos de alfabetización digital.

CONCLUSIONES

La reconstrucción de las iniciativas enmarcadas en la política de servicio universal en Colombia, evidencia un vacío ostensible de las dimensiones de uso que deben acompañar la oferta de infraestructura. Si bien, el despliegue de redes de última milla, bajo el esquema de subsidios al CAPEX, y el establecimiento de tarifas máximas del servicio, apuntan a superar barreras de asequibilidad que obstaculizan la difusión tecnológica, resulta imperativo desarrollar estrategias que incrementen la promesa de valor de uso de Internet, de tal modo que los beneficiarios no solo retribuyan la inversión pública mediante su disposición a pagar por el servicio, fortaleciendo la sostenibilidad de este tipo de proyectos, sino que además aprovechen las condiciones de acceso haciendo uso productivo de la red.

De esta forma, la política de servicio universal podría traducirse en el cierre de brechas, tanto de acceso como de uso, con mayores niveles de efectividad. En consecuencia, es preciso que los subsidios aplicados estén condicionados a logros específicos de formación o desarrollo de competencias por parte de los usuarios, sin que necesariamente éstos incurran en sus costos.

Entre las líneas de investigación llamadas a complementar este abordaje preliminar, se destacan la profundización del análisis sobre la estructura de mercado de telecomunicaciones en Colombia, tendiente a explicar la baja concurrencia de proveedores de redes en los procesos de selección adelantados por el Fondo TIC para promover la masificación de accesos a Internet; y los efectos potenciales que tendrá sobre la política de

servicio universal, el cambio regulatorio en la definición de banda ancha, que entrará a regir a partir del 1º de enero de 2019, teniendo en cuenta que la velocidad mínima de bajada pasa a 25 Mbps, y que en este nuevo marco regulatorio no se exceptúan de las disposiciones comerciales, los proyectos de telecomunicaciones sociales [45].

REFERENCIAS

- [1] C.Z. Quiang & C.M. Rissotto, "Economic impacts of broadband". In *Information and Communications for Development 2009: Extending reach and increasing impact*. Pp. 35-50, 2009. Washington D.C.: World Bank. Disponible: http://documents.worldbank.org/curated/en/645821468337815208/071652160_201407217023713/additional/487910PU-B0EPI1101Official0Use0Only1.pdf
- [2] H. Galperin, J. Mariscal, & R. Barrantes, "The Internet and poverty: opening the black box". Lima: DIRSI, 2014. Disponible: https://dirsi.net/web/files/files/Opening_the_Black_Box.pdf
- [3] International Telecommunications Union, "Measuring the Information Society Report 2016". (En línea). Disponible en <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/misr2016/MISR2016-w4.pdf>
- [4] C. Lemoine, F. Alarcón, & P. Lemoine, "Transformación y apropiación digital". Bogotá: Centro Nacional de Consultoría, 2017.
- [5] C. Robert, & R. Zeckhauser, "The Methodology of Normative Policy Analysis". *Journal of Policy Analysis and Management*, Vol. 30 (3), Summer 2011, Pp. 613-643. Disponible: <https://sites.hks.harvard>

- edu/fs/rzeckhau/Robert-Zeckhauser.pdf. DOI: <https://doi.org/10.1002/pam.20578>
- [6] H. Gruber, & P. Koutroumpis, "Competition enhancing regulation and diffusion of innovation: the case of broadband networks", *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 43 (2), pp. 168-195, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11149-012-9205-4>
- [7] C. Bouras, K. Antonis, G. Diles, V. Kokkinos, & L. Loukopoulos, "Economic Broadband Development through Infrastructure Sharing", *International Journal of Business Data Communications and Networking*, Vol. 10 (4), Pp. 21-42, October-December 2014. Disponible: <http://ru6.cti.gr/ru6/system/files/publications/Economic-Broadband-Development-through-Infrastructure-Sharing.pdf>
- [8] T. Reynolds, & S. Wunsch-Vincent, "Broadband Growth and Policies in OECD Countries, main findings". OECD, 2008. (En línea). Disponible: <http://www.oecd.org/internet/broadband/40629032.pdf>
- [9] C. Koboldt, "Competencia y reglamentación en el mundo de la banda ancha y la convergencia", ITU: 2013. (En línea). Disponible: <http://www.itu.int/ITU-D/treg/publications/SMP-S.pdf>
- [10] V. Mulas, "Policies for Mobile Broadband", In Information and Communications for Development 2012: Maximizing Mobile, world bank. Washington D.C.: The World Bank Group. 2012. Pp 103-112. Disponible: <http://siteresources.worldbank.org/EXTINFORMATIONANDCOMMUNICATIONANDTECHNOLOGIES/Resources/IC4D-2012-Chapter-7.pdf>
- [11] OECD, "Broadband Networks and Open Access", *OECD Digital Economy Papers*, No. 218, Paris: OECD, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1787/5k49qgz7crmr-en>
- [12] S. Levin, S. Schmidt, & S. Graham, "Broadband Adoption: Translating the Digital Divide Literature into Effective Government Policies and Actions" In 27th European Regional Conference of the International Telecommunications Society (ITS), Cambridge, United Kingdom, 7th - 9th September 2016. (En línea). Disponible: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/148684/1/Levin-et-al.pdf>
- [13] UNESCO. "Digital literacy in education, *Policy brief*". Unesco, 2011. {En línea}. Disponible: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002144/214485e.pdf>
- [14] World Economic Forum, "Delivering digital infrastructure. Advancing the Internet economy". WEF, 2014. (En línea). Disponible: http://www3.weforum.org/docs/WEF_TC_DeliveringDigitalInfrastructure_InternetEconomy_Report_2014.pdf
- [15] UNCTAD, "Internet broadband for an inclusive digital society", *Current studies on science, technology, and innovation*, No 11. New York, 2015. Disponible: http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/dt-Instict2013d4_en.pdf
- [16] J. Holmes & M. O'Rourke, "Regulating Broadband Prices". *Report for the Regulatory and Market Environment Division (RME) of the Telecommunication Development Bureau (BDT)*. ITU, 2012. {En línea}. Disponible: https://www.itu.int/ITU-D/treg/broadband/ITU-BB-Reports_RegulatingPrices.pdf
- [17] Broadband Commission for Sustainable Development, "The State of Broadband: Broadband catalyzing sustainable development September 2016". ITU, 2016. Disponible: <http://www.broadbandcommission.org/Documents/reports/bb-annualreport2016.pdf>
- [18] R. Katz, E. Flores, & J. Mariscal, "The Impact of Taxation on the Development of the Mobile Broadband Sector". GSMA, 2012. (En línea). Disponible: <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2012/06/tasreport.pdf>
- [19] C. Rhinesmith, "Digital inclusión and meaningful broadband adoption initiatives". Evanston, IL: Benton Foundation, January 2016. (En línea). Disponible: <https://www.benton.org/sites/default/files/broadbandinclusion.pdf>
- [20] P. Biggs, "Why National Broadband Plans Matter", *ITU Report Planning For Progress*. Geneva: 2013. (En línea). Disponible: <http://www.broadbandcommission.org/documents/reportNBP2013.pdf>
- [21] World Economic Forum, "Global Information Technology Report 2016". (En línea). Disponible: <http://reports.weforum.org/global-information-technology-report-2016/networked-readiness-index/>
- [22] World Economic Forum, "The Global Competitiveness Index 2017". (En línea). Disponible: <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-index-2017-2018/#topic=about>
- [23] Organización Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI), "Índice Mundial de Innovación 2017". (En línea). Disponible: <http://www.wipo.int/publications/es/details.jsp?id=4193>
- [24] IESE Business School Universidad de Navarra. "Cities in motion index, 2017". (En línea). Disponible: <http://citiesinmotion.iese.edu/indicecim/?lang=en>

- [25] UNCTAD, “E-commerce Index, 2017”. (En línea). Disponible: http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/tn_unctad_ict4d09_en.pdf
- [26] UNDESA, “United Nations E-government survey, 2016”. (En línea). Disponible: <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Reports/UN-E-Government-Survey-2016>
- [27] C. Davidson, M. Santorelli, & T. Kamber, “Toward an Inclusive Measure of Broadband Adoption”. *International Journal of Communication*, Vol. 6 (2012), Pp. 2555–2575.
- [28] Van Deursen, A. & Van Dijk, J. “The digital divide shifts to differences in usage”, *New media & society* 0(0), Pp. 1–20. (En línea). Disponible: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1461444813487959>
- [29] OECD, “Students, Computers and Learning: Making the Connection”, Paris: OECD Publishing, 2015. (En línea). DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264239555-en>
- [30] El-Darwiche, B., Herzog, M., Singh, M. & Maalouf, R. “Understanding digital content and services ecosystems: The role of content and services in boosting Internet adoption”, New York: PwC network, 2016. (En línea). Disponible: <https://www.strategyand.pwc.com/reports/digital-content-services-ecosystems>
- [31] R. Katz, & T. Berry, “Driving Demand for Broadband Networks and Services”, *Signals and Communication Technology*, DOI: 10.1007/978-3-319-07197-8_2, Springer International Publishing Switzerland, 2014. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-07197-8_2
- [32] International Telecommunications Union, “Figures and Facts, 2017”. (En línea). Disponible: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/ICTFactsFigures2017.pdf>
- [33] Cisco, “Visual Networking Index: Global Mobile Data”. (En línea). Disponible: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.pdf>
- [34] Fondo TIC. Presupuesto anual –series- Bogotá, 2017. {En línea}. Disponible: <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-propertyvalue-545.html>
- [35] Comisión de Regulación de Comunicaciones, “Revisión del mercado de datos fijo”. Bogotá, Colombia: CRC, 2017. {En línea}. Disponible: https://www.crc.com.co/recursos_user/2017/actividades_regulatorias/mercados/170517_mercados_datos_fijos.pdf
- [36] GSMA Intelligence, “Country overview: Colombia Mobile industry collaborating with government to promote entrepreneurship and innovation” Report 2017. {En línea}. Disponible: <https://www.gsmainelligence.com/research/?file=59bfc-cd5a508f91be5dabb92a6b81621&download>
- [37] F. Buitrago, & C. Romero, “Consecuencias económicas de las propuestas en torno a las tic por parte de la reforma tributaria”, Bogotá: CCIT, 2016. {En línea}. Disponible: <https://www.ccit.org.co/wp-content/uploads/consecuencias-economicas-del-pl-de-reforma-tributaria-2016.pdf>
- [38] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, “Indicadores básicos de tenencia y uso de Tecnologías de la información y la comunicación - TIC en hogares y personas 2016”, Bogotá, DANE. {En línea}, Disponible: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/tic/prese_tic_hogares_2016.pdf
- [39] Sistema Electrónico de Contratación Pública. “Consulta de proceso –Hogares Digitales- Fondo TIC, 2011”. {En línea}. Disponible: <https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=73122-1-11>
- [40] Comisión de Regulación de Comunicaciones, “Apoyo técnico al Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la implementación de subsidios para la promoción al acceso a Internet – Ley 1450 de 2011-”, {En línea}. Disponible: <https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=11-1-73122>
- [41] Sistema Electrónico de Contratación Pública. “Consulta de proceso –Conexiones Digitales- Fondo TIC, 2013”. {En línea}. Disponible: <https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=13-1-104466>
- [42] Comisión de Regulación de Comunicaciones, “Esquema para la Implementación de subsidios e incentivos para el acceso a Internet de última milla”. (En línea). Disponible: <https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=13-1-104466>
- [43] Sistema Electrónico de Contratación Pública. “Consulta de proceso –Conexiones Digitales fase 2- Fondo TIC, 2014”. {En línea}. Disponible: <https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=14-1-126033>
- [44] Sistema Electrónico de Contratación Pública. “Consulta de proceso –Conexiones Digitales fase 2- Fondo TIC, 2015”. (En línea). Disponible: <https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=15-1-104466>

www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do?numConstancia=15-1-139849

- [45] Comisión de Regulación de Comunicaciones, “Resolución 5161 de 2017, por la cual se establecen las definiciones y condiciones regulatorias de banda ancha en el país, y se dictan otras disposiciones”. (En línea). Disponible: <https://www.crcom.gov.co/resoluciones/00005161.pdf>

PULSOS Y PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE INUNDACIÓN DE LA LAGUNA DE FÚQUENE

Pulses and likelihood of Fúquene Lagoon flood occurrence

Jimmy Villamizar Martín¹, Juan David Jiménez Sánchez¹, Eduardo Zamudio Huertas²

¹ Tecnólogo en Construcciones Civiles, Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá, Colombia).
jvillamizarm@correo.udistrital.edu.co, jdjimenezs@correo.udistrital.edu.co

² M.Sc. Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá, Colombia). ezamudioh@udistrital.edu.co

(Recibido septiembre 5 de 2017 y aceptado diciembre 25 de 2017)

Resumen

La laguna de Fúquene en los últimos 20 años de manera reiterada ha sido afectada por eventos de inundación. Ante dicha afectación se han visto perjudicadas poblaciones aledañas a la Laguna, adicional causa alteraciones a la biodiversidad y ecosistema de la misma. Con el ánimo de estudiar los eventos de inundación históricos de la Laguna se evaluarán los registros diarios de los niveles de agua de la Laguna de Fúquene. A partir del análisis de dichos niveles de agua históricos se halló los pulsos de inundación históricos, frecuencia de inundación, probabilidad de permanencia de la inundación. Se detectó que los niveles más altos de la Laguna coinciden con las épocas de invierno de la región, las cuales son Abril, Mayo, Junio, Julio, Noviembre y Diciembre. Los niveles históricos más altos se presentaron en los años 2006, 2010, 2011 y 2012. Dicha información se provee con el objetivo de orientar a la comunidad aledaña a la laguna o tomador de decisiones (entidades pertinentes) al conocer cuándo y duración de una eventual inundación y a partir de ello, generar los planes de contingencia y ordenamiento territorial.

Palabras clave: Amenaza; Laguna; Niveles; probabilidad de ocurrencia; pulsos de inundación; Zonas.

Abstract

The Lagoon of Fuquene has been repeatedly affected for flood events in the last 20 years. Due to this affectation, populations adjacent to the lagoon have been harmed, causing additional alterations to the biodiversity and ecosystem. With the purpose of studying the historical flood events of the lagoon, the daily records of the water levels of the lagoon of Fuquene will be evaluated. Based on that analysis, the historical flood pulses, flood frequency, flood probability of permanence was found. It was detected that the highest levels in the lagoon coincide with the winter seasons, which are April, May, June, July, November and December. The highest historical levels were presented in 2006, 2010, 2011 y 2012. This information is provided with the objective of guiding the nearby community of the lagoon or decision maker (relevant entities) to know when and duration of a possible flood, and to allow generate contingency plans and land use planning.

Key words: Threat; Lagoon; Levels, probability of occurrence; flood pulses, Zones.

1. INTRODUCCIÓN

La Laguna de Fúquene es uno de los depósitos de agua más importantes de los Andes del Norte, da origen al río Suarez, principal fuente hídrica del municipio de Chiquinquirá [1-2]. Ante la influencia antrópica (uso del suelo para la ganadería, agricultura y minería), la laguna ha perdido aproximadamente 15.000 hectáreas de su espejo de agua, adicional las aguas que alimentan la

laguna cuenta con alta carga de materias en suspensión, lo que ocasiona una pérdida del 50% de su capacidad de retener agua [3-4]. Dicha pérdida se traduce en mayor área inundable cercana a la laguna, afectando las actividades humanas, regulación hídrica, depuración de las aguas, la biodiversidad y ecosistema. De forma reiterada en los últimos 20 años las zonas aledañas a la Laguna han sido afectadas por inundaciones,

principalmente en los meses más lluviosos del año (los cuales se describen más adelante).

Se realizó un estudio elemental de los pulsos de inundación que ha tenido la laguna desde el año de 1996, evaluando los registros diarios de los niveles de agua. Entiéndase como pulso de inundación la fase entre la inundación y sequía [5] o entre la superación de un nivel de referencia determinado y el término dicho nivel, ósea cuando la lámina de agua es inferior a ese nivel de referencia. Por lo tanto, el pulso de inundación depende del nivel de referencia que se estipule como amenaza o área inundable adyacente a la Laguna [6-7]. Por ello, el número de pulsos de inundación corresponde al número de veces que se ha inundado el área o zona de amenaza. Como referencia se tomaron las cotas que delimitan cada zona de amenaza clasificada por la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca) [8]. Se procedió a analizar los niveles diarios históricos, utilizando métodos probabilísticos dando como resultado curvas de permanencia que indican cuantos días continuos puede persistir una alerta por inundación para los diferentes niveles de agua en la Laguna, igualmente se determinaron los meses que tienen mayor probabilidad de inundación en el año.

El estudio se realizó con el objetivo de revelar información ante la inundación los niveles de amenaza, permitiendo identificar; número de pulsos de inundación, frecuencia de inundación, probabilidad de permanencia de la inundación, identificación de los meses que tienen mayor probabilidad de inundación en el año. Información que busca orientar a la comunidad o tomador de decisiones (entidades pertinentes) al conocer cuándo, donde (zona de amenaza) y duración de una eventual inundación y a partir de ello, generar los planes de contingencia y ordenamiento territorial.

En el presente artículo se aportan datos estadísticos e información relevante que pueden ser guía para futuros estudios referentes a impacto ambiental, o variaciones de población, entre otros, quedando al criterio del lector.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La laguna de Fúquene se sitúa en Colombia en el Departamento de Cundinamarca, ubicada en la zona

central del valle Ubaté – Chiquinquirá, con una altitud de 2537.72 msnm. En la figura 1 se georeferencia la laguna de Fúquene, Actualmente tiene una superficie de 3205.3 Ha, cuenta con una desembocadura: El Río Suárez. El nivel de agua es regulado por la compuerta de Tolón, que se encuentra a 18 kilómetros, aguas abajo del nacimiento [8].



Figura 1. Localización Laguna de Fúquene [9].

Se determinaron los pulsos de inundación a partir de las categorías de amenaza que usa la CAR (*Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca*) referentes a la Tabla 1 donde clasifica las áreas dependiendo de la altura en que se encuentre el terreno determinando cuatro grupos de amenaza: muy alta, alta, media y baja. Siendo muy alta la zona con mayor riesgo de inundación.

Tabla 1. Clasificación de amenaza por evento de inundación según la CAR [8]

AMENAZA	DESCRIPCIÓN	AREA
BAJA	Zonas con terrenos por encima 2548.3 msnm, que reporta la cota media histórica reportada. Zonas con índice bajo de probabilidad de inundación, pero no son exentas ser ocupadas ante un invierno extremo debido a sus condiciones morfológicas	55.273 Ha
MEDIA	Terrenos ubicados entre la cota 2540.5 msnm y 2548.3 msnm, reporta los niveles máximos y medios históricos.	57.781 Ha
ALTA	Terrenos de inundación natural, comprendidos entre la cota 2539.5 msnm y 2540.5 msnm, es la ronda técnica delimitada en 2004 y los niveles máximos.	49.505 Ha
MUY ALTA	Las áreas de esta zona son las aledañas al perímetro de la laguna, que con registros históricos ha ocasionado procesos de desecación de los bordes del cuerpo hídrico. Comprende el nivel medio y la ronda técnica delimitada por INCODER en 2004. Aproximadamente cotas 2538.8 a 2539.5 msnm.	0.9897 Ha

En la Figura 2 se muestra el perfil longitudinal de la laguna que inicia con el Río Ubaté (principal afluente) hasta la confluencia con la laguna de Fúquene, en este mismo sector nace el río Suárez, el recorrido total es de 91,83 km. Debido a esta configuración particular, las cuencas de estos dos ríos son afectadas por el cambio de niveles de agua que ocurren en la laguna [8].

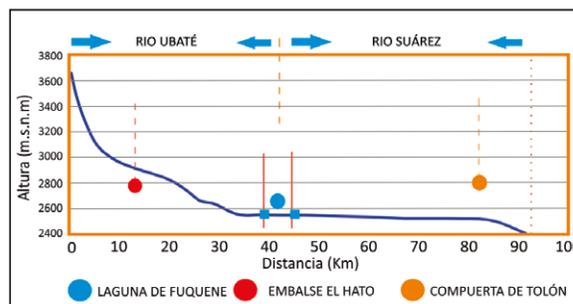


Figura 2. Perfil Río Ubaté, Laguna de Fúquene y Río Suárez [8].

El área de avenamiento total es 993 km², como las lagunas no nacen pero si se alimentan, La laguna de Fúquene es alimentada principalmente por ríos y quebradas de la cuenca Ubaté - Fúquene: Honda, Tagua, Miña, Monroy y Sosiego. Estos entran a la laguna desde el oriente, por otro lado el río Fúquene descarga en la laguna desde el occidente. [8]

El río Ubaté es el principal río que la alimenta la Laguna y el flujo de su caudal en la llegada a la laguna ha sido regulado mediante la construcción de dos canales una a la izquierda y otro a la derecha llamado vallado madre, que tienen como objetivo principal en las épocas de invierno llevar aguas directamente a la Laguna sin ocupar el cauce principal del río, pero la laguna solo tiene un desagüe natural, El río Suarez, el cual es incapaz de transportar el excedente de líquido en épocas de lluvia por el poco desnivel en el desarrollo de más de 35 kilómetros. [1].

En la figura 3 se presenta el mapa de las principales ríos y quebrabas que alimentan la laguna, igualmente su única fuente de desagüe que es el río Suarez.

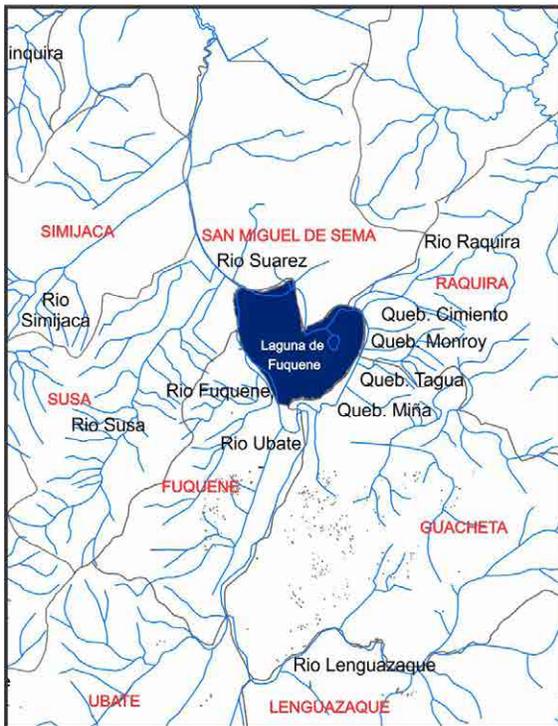


Figura 3. Ríos y quebradas principales que alimentan y descargan la Laguna de Fúquene.

3. METODOLOGÍA

En la metodología se explica las actividades realizadas para cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente.

La primera fase fue la recolección de información de los niveles de agua de la Laguna de Fúquene, que son determinados por la estación limnimétrica Chalet Norte con código 2401720 la cual es monitoreada diariamente por *Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)*. Los datos muestrales se tomaron de la serie histórica de niveles de la Laguna desde 01 de enero de 1996 a 30 de abril del año 2017, con un total de 7791 datos muestrales, teniendo un índice de confiabilidad del 95%. Se da con el fin de obtener tendencias de inundación que puede llegar a tener la laguna, para lo cual se utilizó métodos estadísticos y probabilísticos que serán detallados a continuación.

Para el análisis de los datos se utilizó la base de datos Excel, Utilizando las herramientas de estadística (Media aritmética, máximos y mínimos) para analizar los datos de registros de los fenómenos hidrológicos pasados y hacer inferencias

acerca de su comportamiento en el futuro, a través del método de la probabilidad de ocurrencia de inundación donde:

$$P=m/n \quad (1)$$

Donde:

P = probabilidad

m = número de orden

n = número total de casos

La probabilidad mide la mayor o menor posibilidad de que se dé un determinado resultado (suceso o evento) cuando se realiza un experimento aleatorio. Esta predicción es de carácter probabilístico y no determinístico.

Para completar los datos faltantes (72 días), Se usó un método de imputación sencillo, una vez teniendo completos los datos se da orden a los datos cronológicamente, que para cada fecha se registra el nivel de agua la Laguna.

Como segunda fase, se obtuvieron los resultados de pulsos de inundación, histogramas, curvas de permanencia, distribución temporal de los eventos de inundación de la laguna de Fúquene y frecuencia de los niveles del agua de la laguna de Fúquene; para los cuales se realizaron de la siguiente manera y se registran más adelante detalladamente en la sección de resultados.

Inicialmente se graficó la línea del comportamiento de los niveles de la laguna (fecha vs nivel de agua), denominada pulsos de inundación.

Para determinar el comportamiento que tuvo mensualmente la Laguna respecto a la cantidad de días que fue superado el nivel de referencia para cada una de las categorías de amenaza, se calcula la media mensual multianual, datos representados mediante en un histograma, Donde para cada categoría de amenaza está representada la cantidad de días promedio que superaron y no superaron el nivel de inundación referenciado para cada categoría de amenaza.

Predecir la probabilidad de ocurrencia de inundación se utilizó una curva de permanencia que nos indica la probabilidad de que la Laguna supere cierto nivel de referencia,

para el caso en estudio los cuatro niveles de amenaza (Muy alta, Alta, media y baja), para pulso presentado en cada nivel de referencia, se contabilizó los días continuos que han igualado o excedido el nivel de inundación, dando el valor de cero (0) aquellos días que no fue superado o igualado el nivel de referencia evaluado. Posterior a esto se ordenaron los datos muestrales de mayor a menor teniendo el dato mayor la menor probabilidad de ocurrencia, teniendo un número de orden 1. Para el caso del número máximo de días continuos que ha permanecido inundado por superación de la cota de referencia a modo de ejemplo sería:

$$P=1/7791 \quad P=0,00012835 \quad P=0,012835\%$$

Donde:

P = probabilidad

m = número de orden

n = número total de días evaluados

Lo que indica que existe una probabilidad de 0,012835% que el valor número máximo de días que ha excedido o igualado el valor de referencia de cada categoría de amenaza ocurra.

Teniendo la probabilidad de ocurrencia de cada dato muestral se representan mediante una curva de permanencia (probabilidad de la permanencia vs Número de días permanencia de la inundación) para cada nivel de amenaza.

Para representar la probabilidad de ocurrencia de inundación y su nivel de agua promedio de permanencia para cada categoría de amenaza de forma mensual multianual se representa mediante el gráfico de distribución temporal mensual multianual en donde las abscisas (eje x), representan los meses del año y (eje y) la probabilidad de ocurrencia que se cómo define el cociente entre casos que la Laguna duro inundado en determinado mes y el total de días totales de cada mes evaluados.

Mediante el gráfico de frecuencia de los niveles de agua se graficó la permanencia en días en determinado nivel de agua que pudo estar la Laguna, calculando su frecuencia absoluta y acumulada, mostrando los niveles en los cuales tuvo mayor y menor permanencia.

4. RESULTADOS

Se calculó el número de pulsos de inundación ocurridos en cada nivel de amenaza (Tabla 2), que han sucedido en la laguna de Fúquene desde 1 de enero de 1996 hasta el 30 de abril de 2017, con una muestra total de 7791 días analizados, de los cuales 72 días (0,9%) de los datos totales no registraron medición de nivel de agua.

Los niveles de agua representados son respecto a la cota base de la Laguna 2537.72 msnm (cota 0 de la mira), que es la cota de referencia de la estación limnométrica Challet Norte, en el gráfico se referencian los cuatro niveles de riesgo de inundación mostrados en la tabla 1. Con las cotas de referencia y los niveles de agua registrados históricamente se pudo deducir cuantitativamente los pulsos de inundación presentados para cada uno de los 4 niveles de inundación, mostrados en la tabla 2, junto con datos relevantes de los pulsos en cada categoría de amenaza.

Mediante el pulso de inundación general (gráfica de niveles de agua histórico) de la Laguna de Fúquene (Figura 4) puede inferir que los años con mayor variación en las categorías de amenaza son: 2006, 2010, 2011, 2012 y 2017, especialmente en el año 2011 con una cota de 2540,67 msnm en el mes de mayo, durante el mes de diciembre tuvo una cota de 2540,54 msnm.

En la Tabla 2 se relaciona los resultados obtenidos, se presenta media de los niveles máximos y mínimos, fecha del nivel máximo y mínimo registrado en el periodo de estudio y demás datos relevantes como se puede apreciar en la tabla.

Tabla. 2 Resumen del número de pulsos de inundación según categoría de amenaza y datos relevantes

AMENAZA	ZONA MUY ALTA	ZONA ALTA	ZONA MEDIA	ZONA BAJA
Identificación de la zona				
Nivel de Amenaza (msnm)	2538,8 a 2539,5	2539,5 a 2540,5	2540,5 a 2548,3	Superior a 2548,3
Nivel de amenaza/sobre cota cero -2537,32 msnm (m)	1,08 a 1,78	1,78 a 2,78	2,78 a 10,58	Superior a 10,58
Área amenazada (Ha)	0,99	49,50	57,78	55,2
Numero de pulsos	34	15	3	0
Media de los niveles máximos (m)		1,711 m sobre cota cero		
Media de los niveles mínimos (m)		0,774 m sobre cota cero		
Fecha del nivel máximo		20/05/2011		
Fecha del nivel mínimo		07/12/2015		
Meses con Niveles de agua más Altos	Enero, Mayo, Junio, Julio, Noviembre, Diciembre			
Meses con niveles de agua mas bajos	Febrero, Marzo, Abril, Agosto, Septiembre, Octubre			

En la Figura 4 se muestran los pulsos de inundación y su duración temporal durante el periodo de estudio, con referencia a la cota cero y las diferentes categorías de amenaza.

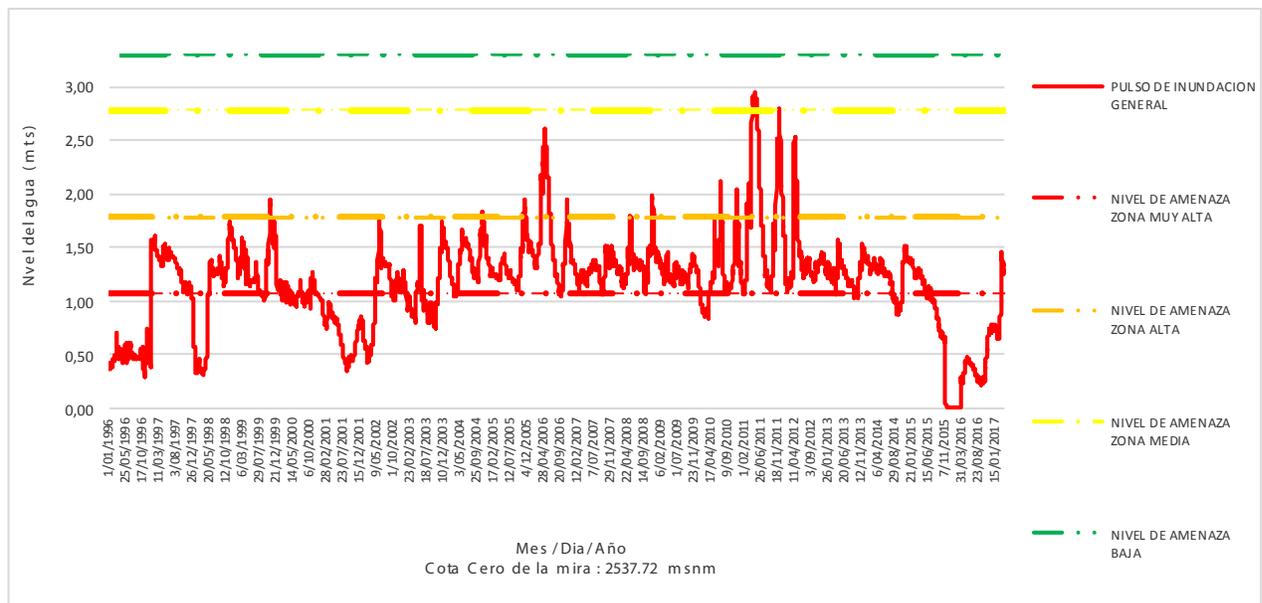


Figura 4. Pulsos de inundación: categoría de amenaza muy alta (1,08 m por encima de la cota cero, 2.538,8 msnm), categoría de amenaza alta (1,78 m por encima de la cota cero, 2.539,5 msnm), categoría de amenaza media (2,78 m por encima de la cota cero, 2.540,5 msnm) y categoría de amenaza baja (10,58 m por encima de la cota cero, 2.548,3 msnm).

En la Figura 5 se exhiben los histogramas mensuales multianuales de los niveles de agua que superan las categorías de amenaza en días consecutivos según la cota de referencia.

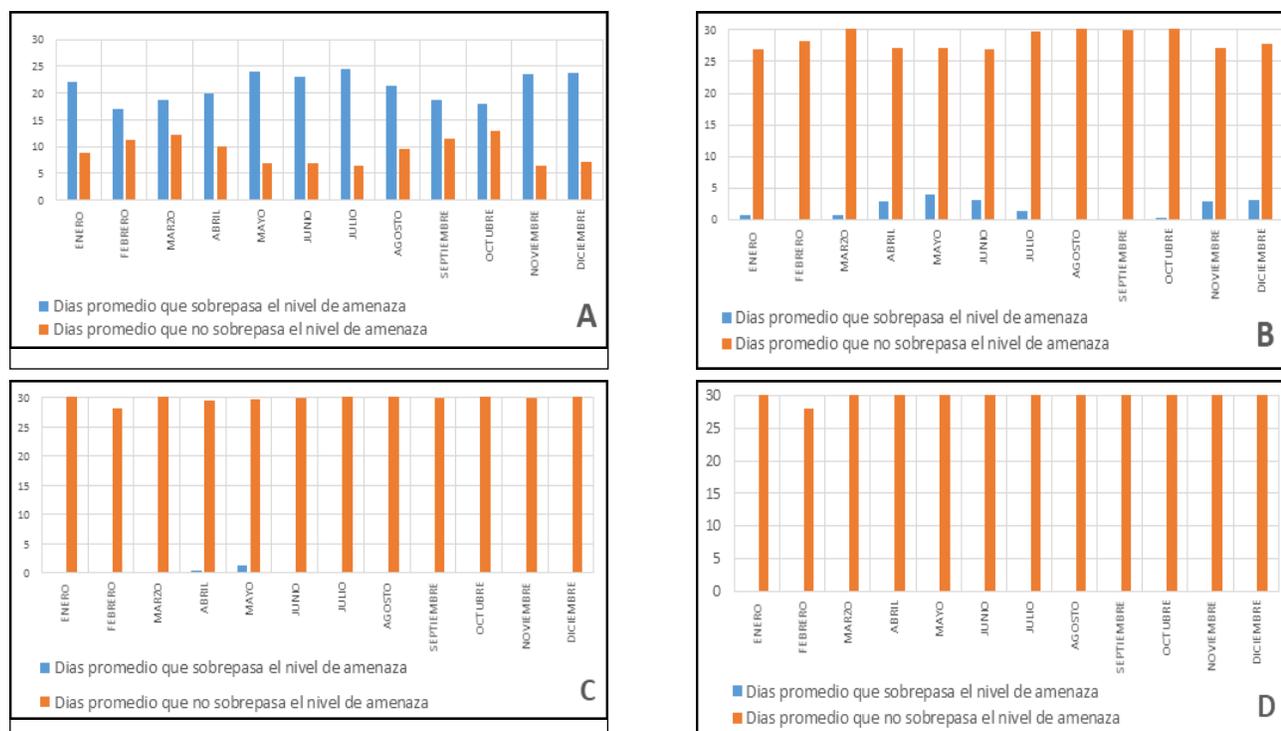


Figura 5. Histogramas (A) categoría de amenaza muy alta (1,08 m por encima de la cota cero, 2.538,8 msnm). (B) categoría de amenaza alta (1,78 m por encima de la cota cero, 2.539,5 msnm). (C) categoría de amenaza media (2,78 m por encima de la cota cero, 2.540,5 msnm). (D) categoría de amenaza baja (10,58 m por encima de la cota cero, 2.548,3 msnm)

Los terrenos aledaños a la Laguna de Fúquene y que comprenden su altitud entre los niveles de referencia en la zona de amenaza muy alta, se estimaron 34 pulsos de inundación con un periodo máximo de permanencia de 885 y 472 días. Para el siguiente nivel determinado como zona alta se estimaron 15 pulsos inundación con un periodo máximo de permanencia de 89 y 86 días.

En el 2011 en la laguna ocurrió un mayor nivel de agua que supero la zona de categoría de amenaza media, en tres ocasiones, del 22 de abril al 10 de mayo, del 15 de abril al 1 de junio y por último el 15 de diciembre, con una duración de inundación de 19,18, y 1 días respectivamente.

4.1 Curvas de Permanencia en la Laguna de Fúquene.

La inundación es evento natural y frecuente que se genera en las corrientes de agua, como consecuencia de una alta precipitación, al rebasar el alcance de retención

del suelo y de los cauces, invaden e inundan llanuras de inundación, en general, afectan aquellas áreas aledañas a los cuerpos de agua. [10].

En la Figura 6 se representa la curva de permanencia de la categoría de amenaza muy alta donde el mayor evento de inundación de esta categoría fue de 885 días continuos durante el periodo de estudio y ocurrió en el periodo de Abril de 2004 y Septiembre de 2006, dicho evento se caracterizó por un descenso del nivel de agua por 6 días y volvió a permanecer inundado entre 300 y 400 días consecutivos excediendo el nivel de referencia de la categoría de amenaza muy alta, la que tiene una zona de afectación de aproximadamente 1 (Ha).

En la Figura 7, se representa la curva de permanencia de la categoría de amenaza alta donde el mayor evento de inundación de esta zona fue de 89 días continuos durante el periodo de estudio y ocurrió en el año 2011 donde la laguna por efectos de la temporada invernal

mantuvo las mayores excedencias en la cota media, afectando las zonas aledañas.

Para las categorías de amenaza media y baja no se construyeron curvas de permanencia, ya que, se identificaron menos de 5 pulsos, razón por lo cual, en el

método de la curva de permanencia no se puede graficar los pulsos con menos de 1% de probabilidad, lo anterior no significa que las zonas no sean vulnerables, ya que, se identificó que la categoría de amenaza media uno de los pulsos presento 19 días continuos de permanencia, en el año 2011.

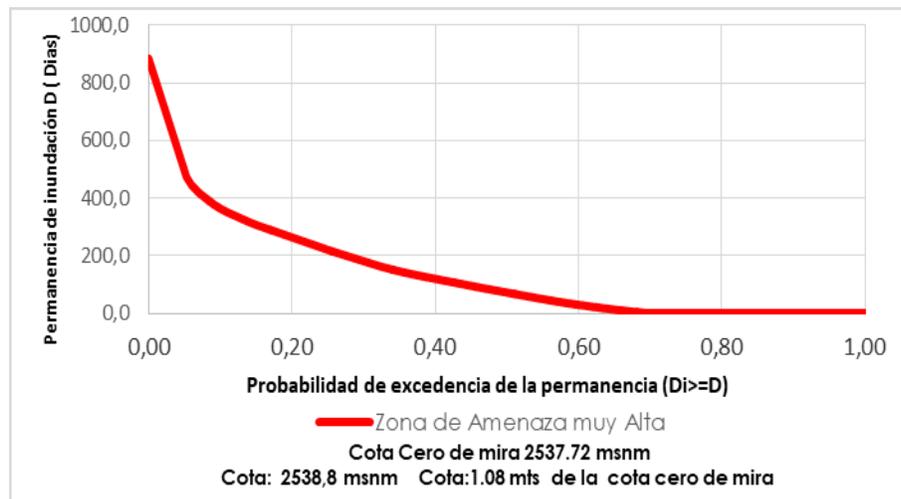


Figura 6. Curva de Permanencia de la Laguna de Fúquene (ZMA).

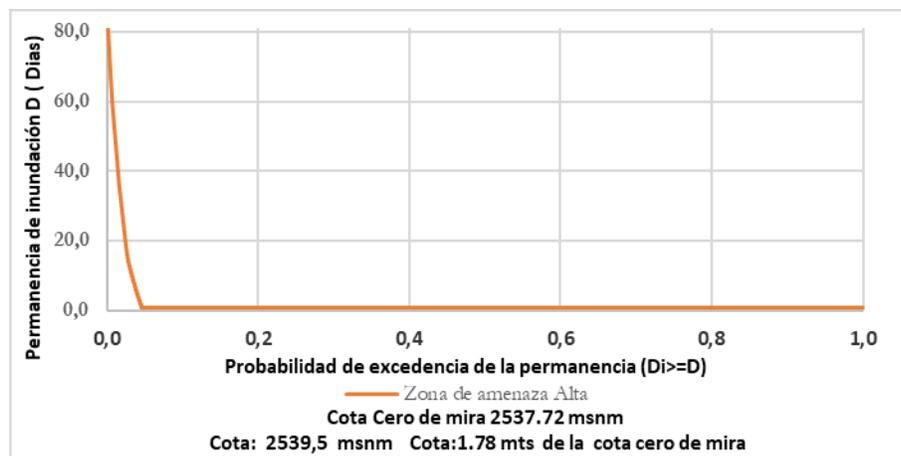


Figura 7. Curva de Permanencia de la Laguna de Fúquene (ZA).

4.2 Distribución Temporal de las Inundaciones en la Laguna de Fúquene

La frecuencia de las inundaciones en el tiempo, tiene un valor informativo fundamental en diferentes ámbitos como lo pueden ser la construcción, agricultura y ganadería entre otros; debido a que son factores

donde es necesario tener planificada la producción y prevención por los efectos climatológicos. [10].

Para el periodo de tiempo en estudio, se reporta que los meses con mayor probabilidad de inundación son: Mayo a Julio, así mismo con una probabilidad menor en los meses de Febrero, Septiembre y Octubre.

En la Figura 8 se representan los meses que tienen mayor probabilidad de inundación en el año (diagrama de barras), junto con los niveles medios mensuales multianuales de agua (línea continua).

En la Figura 9 y la Tabla 3 se muestra y relaciona la frecuencia absoluta y acumulada de los niveles de

agua diarios consecutivos, con esta grafica se analizan la variabilidad de las cotas de los niveles de agua de la Laguna de Fúquene con una mayor frecuencia concentrada entre 2538,8 msnm y 2539,1 msnm ratificando los resultados obtenidos de los pulsos de inundación y las curvas de permanencia para cada zona de amenaza.

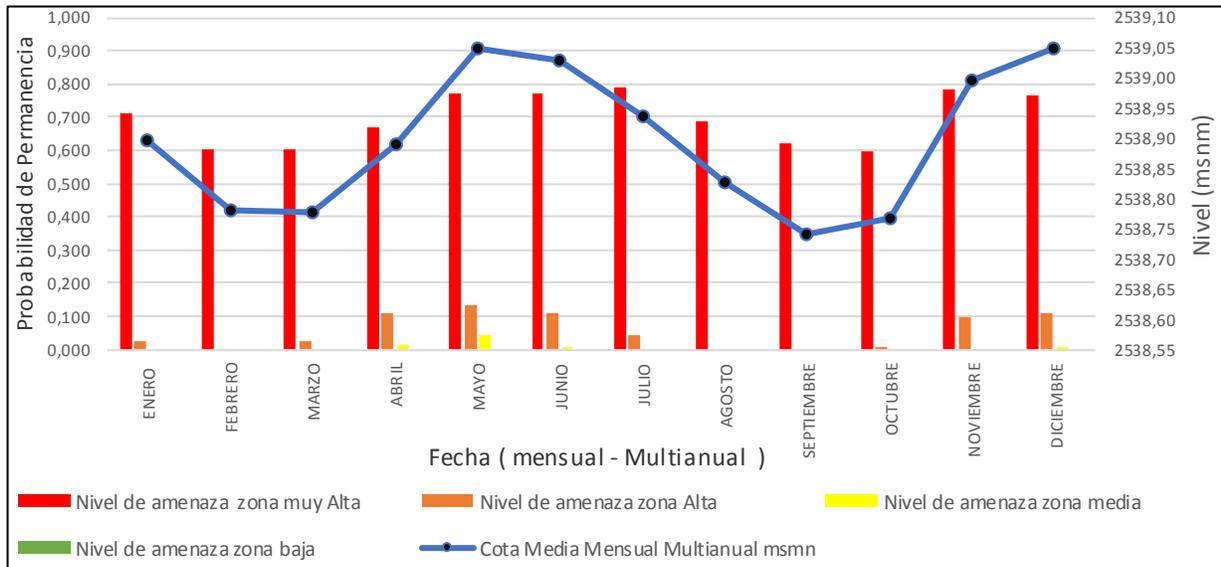


Figura 8. Distribución temporal de los eventos de inundación de la Laguna de Fúquene.

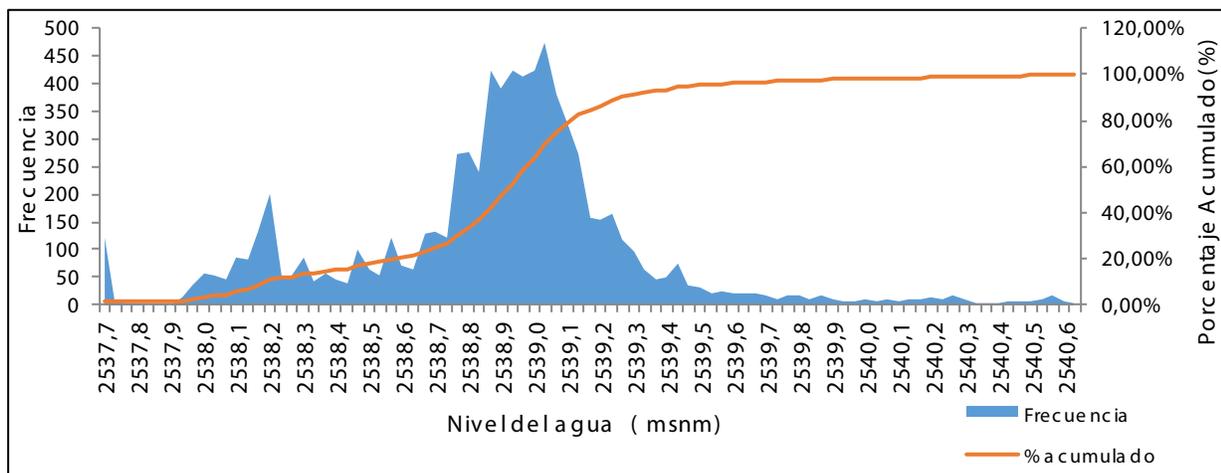


Figura 9. Frecuencia de los niveles del agua de la Laguna de Fúquene.

Tabla 3. Descripción de la Frecuencia de los niveles del agua de la Laguna de Fúquene.

MES	AMENAZA				Cota Media Mensual multianual (msnm)
	Muy alta (%)	Alta (%)	Media (%)	Baja (%)	
Ene	71,11	2,26	0,00	0,0	2538,9
Feb	60,55	0,00	0,00	0,0	2538,7
Mar	60,41	2,74	0,00	0,0	2538,7
Abr	66,82	10,67	1,50	0,0	2538,8
May	77,42	13,23	4,35	0,0	2539,0
Jun	77,14	10,83	0,17	0,0	2539,0
Jul	78,96	4,35	0,00	0,0	2538,9
Agost	68,97	0,00	0,00	0,0	2538,83
Sept	62,06	0,00	0,00	0,0	2538,7
Oct	59,90	0,48	0,00	0,0	2538,7
Nov	78,57	10,0	0,00	0,0	2539,0
Dic	76,80	10,65	0,16	0,0	2539,05

De la tabla 3 se puede inferir que el régimen temporal de los niveles de permanencia (pulsos de inundación) tiene mayor influencia en los meses de Abril a Junio.

CONCLUSIONES

Una vez realizado el estudio de los pulsos de inundación se detectó una reiterada inundación para los niveles de amenaza muy alta y alta, en los meses de Mayo, Junio, Julio, Noviembre y Diciembre. El nivel de amenaza muy alta se inundó todos los años de estudio menos los años 1996, 2001 y 2016, lo que demuestra que dicha zona tiene una alta probabilidad de inundarse por lo menos una vez al año. Un comportamiento similar

puede ajustarse a la categoría de amenaza alta, el área afectada por los eventos de inundación es de 50,59 Ha.

A partir de los registros diarios de los niveles de agua de la estación limnimétrica Chalet Norte operada por la CAR, se determinó que las zonas aledañas a la Laguna entre las cotas 2538.8 a 2539.5 msnm poseen un alto riesgo de inundación, con una probabilidad del 40 % que la Laguna supere la cota de referencia de inundación con una duración de 120 días consecutivos.

Ante la inundación que produce la Laguna de Fúquene en las zonas aledañas entre las cotas mencionadas, se recomienda a las autoridades pertinentes iniciar una recuperación de las zonas aledañas o en su defecto recuperar gran parte del espejo de agua para así recobrar la capacidad de carga hídrica de la laguna, dada la gran importancia que representa para los Departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Santander.

El nivel máximo de la Laguna se presentó el 20 y 21 de mayo de 2011, superando el nivel medio de amenaza, durante el mismo año el nivel de la Laguna sobrepasó el nivel medio de amenaza en tres ocasiones, la primera del 22 de abril al 10 de mayo, la segunda del 15 de mayo al 1 de junio y la tercera el 18 de diciembre, con una duración de 19, 18 y 1 días respectivamente por encima del nivel medio de amenaza. Siendo el año 2011 con mayor afectación de área inundada, que coincide con el fenómeno de la Niña de 2010-2011 que se vivió en algunas regiones del país [11]. Lo que demuestra que ante un futuro fenómeno de la Niña en la región muy posiblemente las áreas o terrenos cercanos a la Laguna ubicados entre la cota 2540.5 msnm (o menor a esta cota) y 2548.3 msnm (cotas de nivel medio de amenaza), se verán afectados por inundación.

Los datos suministrados pueden ser un aporte para estudiar la relación que pueden tener diferentes tipos de afectaciones en la zona como: producción de algún tipo de siembra, afectación de las fincas aledañas a la Laguna, desaparición de alguna especie animal que tenía su hábitat en la zona, plantas que por los cambios de niveles han desaparecido con el transcurrir de los años y proliferación de vectores.

Además se deben plantear estudios de gestión de riesgo y de ordenamiento territorial con el fin de disminuir las afectaciones por eventos de inundaciones en las zonas con categorías de amenaza muy alta y alta.

REFERENCIAS

- [1] O. W. Cabrero, "La Laguna de Fúquene". *Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia*, vol. 15, no. 53, pp. 1-20, 1957.
- [2] Fundación Humedales, "Complejo De Lagunas De Fúquene, Cucunubá Y Palacio" 2017 Disponible en http://www.ecoindex.org/search/pdfs/796report_1.pdf.
- [3] C. J . P. Espitia, "Análisis de la Aplicación del Enfoque Ecosistémico en la Estrategia de Manejo Ambiental de la Cuenca Ubaté-Suárez Implementada en la Laguna de Fúquene durante el período 2007-2009", Tesis pregrado, Facultad de Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad., Universidad Militar Nueva Granada., Bogotá, Colombia, 2010.
- [4] Conpes, "Documento conpes 3451 Estrategia para el Manejo Ambiental de la Cuenca Ubaté-Suárez", Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia Departamento Nacional de Planeación, Bogotá DC., 2006.
- [5] J. J. Neiff, "El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica". *Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica*, vol. 229, pp. 99-103, 1999.
- [6] V.M. Ponce, "El balance de nutrientes bajo el pulso de inundación" [online]. California: Universidad Estatal de San Diego, 2017 Disponible en http://ponce.sdsu.edu/el_balance_de_nutrientes_bajo_el_pulso_de_inundacion.html
- [7] W. Junk, P.B. Bayley, and R.E. Sparks. "The flood pulse concept in river-floodplain systems", *Proceedings of the International Large River Symposium (LARS)*. Dodge, D.P. ed. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 106, pp. 110-127, 1989.
- [8] CAR. "Plan de Ordenamiento de la Cuenca de los Ríos Ubaté y Suarez. Diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica de los Ríos Ubaté y Suárez, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, Bogotá, 2006.
- [9] L. Franco-Vidal, C. A. Ruiz-Agudelo, J. Delgado, G. Andrade y A. Guzmán, "Interacciones socioecológicas que perpetúan la degradación de la laguna de Fúquene, Andes orientales de Colombia." *Ambiente y Desarrollo*, vol. 19, 37, pp. 49-66, Julio-Diciembre, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd19-37.ispd>
- [10] C. Castaño-Uribe, R. Carrillo, & F. Salazar, "Sistema de Información Ambiental de Colombia Tomo III. Perfil del estado de los recursos naturales y del medio ambiente en Colombia 2001", IDEAM. Min. Medio Ambiente, Bogotá, Julio 2002.
- [11] N.A. Abril-Gonzalez, E.G. Amaya-Reyes, H.A. Fonseca-Peralta, Evaluación de amenazas por movimientos en masa causados en Jericó Boyacá, durante el periodo invernal de 2011,"*Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*", 14(1), pp.6-13, Enero 2014. DOI: <https://doi.org/10.19053/1900771X.5115>

Cómo citar este artículo:

F.A. Salamanca-Figueroa, C. Cárdenas-Gamboa, and W. Suarez-Rodríguez, "Prototipo de monitoreo y alarma para la detección de heladas blancas en sectores rurales de Sogamoso", *Rev. Ing. Investig. Desarro.*, vol. 18 (1), pp. 57-71, Enero. 2018.

DOI: <https://doi.org/10.19053/1900771X.v18.n1.2018.8032>

PROTOTIPO DE MONITOREO Y ALARMA PARA LA DETECCIÓN DE HELADAS BLANCAS EN SECTORES RURALES DE SOGAMOSO

Prototype of Monitoring and Alarm for the Detection of White Frosts in Rural Sectors of Sogamoso

Fabián Andrés Salamanca-Figueroa¹, Christian Camilo Cárdenas-Gamboa¹, Willmar Arbey Suarez-Rodríguez²

¹Esp. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, (Boyacá, Colombia). fabian.salamanca@openmailbox.org, christian.cardenas@uptc.edu.co.

²Esp. Universidad de Pamplona, (Casanare, Colombia). willmar.suarez@uptc.edu.co.

(Recibido octubre 20 de 2017 y aceptado noviembre 08 de 2017)

Resumen

El presente artículo muestra el diseño de un prototipo de monitoreo y alarma que permite la detección de heladas blancas y sirve de base para el desarrollo de un prototipo que posibilite la detección y predicción de heladas negras. El dispositivo, muestra las variables atmosféricas de temperatura y humedad, las comunica a un servidor local (Broker) mediante WiFi y el protocolo MQTT, éste a su vez retransmite la información útil a otros dispositivos finales, como celulares y computadoras. El sistema es capaz de alertar mediante una alarma y permitir la comunicación de estos eventos a los diferentes dispositivos finales. Para lograr ésto, fue necesario seleccionar los dispositivos, tecnologías y protocolos convenientes, realizar un diseño y validarlo por medio de la emulación de las condiciones de temperatura y humedad adecuadas.

Palabras clave: Agricultura; heladas; IoT; MQTT; 802.11; WiFi.

Abstract

The next article shows of prototype of monitoring and alarm that it allows for the detection of white frost, which is the base to develop a prototype for detention and predictions of other types of frost. The device shows the atmospheric variables of temperature and humidity, this data is sent to a local server broker with Wifi protocol MQTT. This one retransmit the info to end devices like cellphones and laptops. The system is capable of alerting with an alarm and it allows for the events communication to different end devices. To do this was necessary to select the appropriate devices, technologies and protocols, design and validate them, emulating the appropriate temperature and humidity conditions.

Key words: Agriculture; frost; IoT; MQTT; 802.11; WiFi.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, las heladas se presentan generalmente en los altiplanos de los departamentos de Cundinamarca, Nariño y Boyacá, según indica el IDEAM, Sogamoso se encuentra dentro de las áreas críticas para la presentación de heladas, con una probabilidad de más del 90% (en 9 de cada 10 años, puede presentarse al menos una helada durante el año). [1] Estos descensos significativos de la temperatura ambiente, especialmente en horas de la madrugada, quemar los cultivos y en la mayoría de los casos, no es posible la prevención por

parte del campesinado. En el año 2015, el 30% de los cultivos y pastos en la región central del departamento de Boyacá fueron quemados por el hielo [2], se estima que la afectación llega ser de 5000 hectáreas de cultivos de hortalizas, legumbres y frutas, otras 6000 Hectáreas de papa y 8000 en pastizales. La consecuencia directa de este fenómeno es la pérdida de cultivos por congelamiento, lo que se traduce en menor productividad y, por ende, desabastecimiento de alimentos en algunas centrales de abastos del país y su consecuente subida de precio. Además, desanima la inversión en el sector agro y afecto la economía familiar campesina.

Entre los métodos usados para la protección de cultivos en áreas rurales esta la implementación de sistemas meteorológicos, las cuales constan de diferentes mini-estaciones gobernadas por una estación central que procesan la información obtenida, generando alarmas por la aparición de vientos Zonda o por la llegada de heladas. Este sistema logra predecir con varias horas de antelación la posible formación de heladas [3]. De la misma manera, la predicción de las heladas se pueden llevar a cabo, desplegando sensores a través de los cultivos como en el del proyecto PECH[4], Estas formas de monitoreo, generalmente suelen hacer uso del Internet de las cosas (IoT), [5] las cuales se están implementando en Europa, en cultivos de vino, creando sistemas Eco Inteligentes, [6] estos dispositivos pueden hacer uso de una conexión Ethernet, WiFi, ZigBee, Z-Wave, o Bluetooth, con la finalidad de poder enviar y recibir información de los datos obtenidos por los sensores. [7-8]

Para alcanzar el objetivo del prototipo funcional, primero se realizó una selección apropiada de tecnologías, protocolos y dispositivos. Posteriormente, se diseñó y validó el prototipo mediante una prueba en campo, obteniendo los valores de temperatura y humedad en un periodo de 12 horas. Dado que no se presentaron las condiciones de helada, se procedió a la emulación del sistema, donde se modificaron los valores de temperatura y humedad, corroborando que el sistema de alarma (buzer) se activa adecuadamente respecto al cambio de las variables y que los dispositivos finales permiten visualizar el estado de alarma y variables como temperatura y humedad.

2. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS, PROTOCOLOS Y DISPOSITIVOS

Dentro de las tecnologías inalámbricas consideradas Tabla 2, Wi-Fi y Bluetooth son las más económicas, mientras que ZigBee es más costosa. La especificación Bluetooth se descarta debido a su limitado alcance, entretanto, ZigBee si bien no se usa por ser la más costo-

sa, (pues en algunos casos va a requerir de hardware adicional como Gateways), resulta ser una tecnología bastante interesante por su bajo consumo energético y demás características [9] acordes al proyecto, además de haber demostrado su utilidad en proyectos locales de sensores de red inalámbrica. [10-11] WiFi resulta ser la más adecuada para el sistema por su tasas de transferencia y alcance. Entre otras razones se opta por WiFi, porque, es una tecnología madura, comercialmente más asequible, económica y que dota de la posibilidad de integrar la red de sensores a una red existente que permita o no acceso a Internet.

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) es uno de los principales protocolos usados en IoT, el cual se caracteriza por tener gran flexibilidad y está orientado a la comunicación de sensores, además de consumir poco ancho de banda, puede ser utilizado en la mayoría de dispositivos. Mencionar que MQTT aborda la seguridad mediante tres aspectos como son: identidad, autenticación y autorización, agregando una capa extra de seguridad al permitir establecer conexiones cifradas. Este protocolo clasifica los elementos que participan en la red en divulgadores, suscriptores y Brokers (servidores). [12]

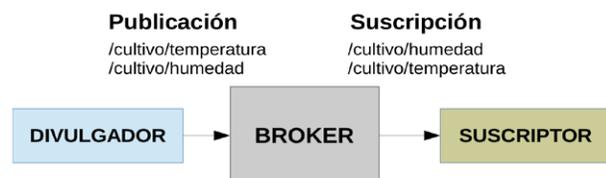


Figura 1. Protocolo MQTT.

Los divulgadores y suscriptores envían y reciben información respectivamente, Figura 1. Estos siempre se conectan a un tercer participante, denominado Broker el cual es un servicio (software) que implementa el protocolo MQTT y que establece la comunicación; hace de intermediario entre los divulgadores y los suscriptores.

Tabla 1. Selección de dispositivos

CARACTERÍSTICAS DE HARDWARE UTILIZADO			
	DHT22	RASPBERRY PI 3	ESP8266
Precio en dólares	\$6.5	\$35	\$3 -8.7
Tamaño	14X18X5.5mm	8.6X5.4X1.7	21X11mm
Memoria	N/A	1 GB	96k
Voltaje de entrada	3.3 V– 6 V	5V	3.3V
Sistema Operativo /firmware	N/A	Raspbian	MycroPython
Rango Medida Temperatura	-40°C a 80°C	N/A	N/A
Precisión Temperatura	<+/-0.5°C	N/A	N/A
Rango medida Humedad	0 - 99.9% RH	N/A	N/A
Precisión Humedad	2% RH	N/A	N/A

En la Tabla 1, se destacan características de los dispositivos seleccionados, entre estas están: el consumo energético, la conectividad, los estándares, además del costo y otras características que resultan ser representativas -

para el diseño del sistema. Estas plataformas de desarrollo abiertas, involucran facilidad de programación, buena integración con otros dispositivos, sin embargo, tienen que estar adaptadas a ambientes externos.

Tabla 2. Selección de tecnologías

Comparación de tecnologías Inalámbricas			
	Wi-fi	Bluetooth	ZigBee
Tasas de transferencia	54 a 1300 Mbps	3Mbps	250kbps(2.4GHz) 40kbps(915MHz) 20kbps(868MHz)
Alcance	1-100 m	1-10 m	1-75 m
Número de dispositivos	32	8	255/65535
Frecuencia	2.4Ghz 5 Ghz	868MHz 2.4GHz	2.4 y 5GHz
Precio	Accesible	Accesible	Elevado

3. DISEÑO DEL SISTEMA

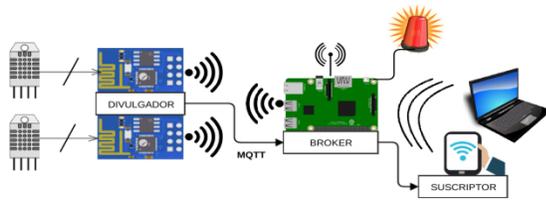


Figura 2. Diagrama bloques del sistema

Este sistema está compuesto por un divulgador el cual transmite los datos obtenidos por los sensores DHT22 mediante protocolo MQTT (Sobre el protocolo 802.11) a un bróker (servidor). El usuario puede visualizar los valores de temperatura y humedad a través de un suscriptor, el cual puede ser un dispositivo móvil. Así mismo cuando la temperatura se descende por debajo de los 0 °C y la humedad de más del 60% de humedad relativa [13] se activa una alarma. Figura2.

La lógica del software que gobierna el dispositivo divulgador*, (ESP8266), Figura 3; en primer lugar, realiza la configuración de los sensores, WiFi, MQTT. Una vez inicializado el cliente MQTT, el sistema entra en bucle infinito, el sensor (DHT22) realiza la lectura de temperatura y humedad, estos datos son enviados al Broker haciendo uso del protocolo 802.11n y MQTT.

*<https://github.com/fandres/Monitor-heladas/blob/master/Code/main.py>

Se implementa la lógica en el lenguaje MicroPython por sus características, como su flexibilidad, portabilidad y gran cantidad de librerías estándar.

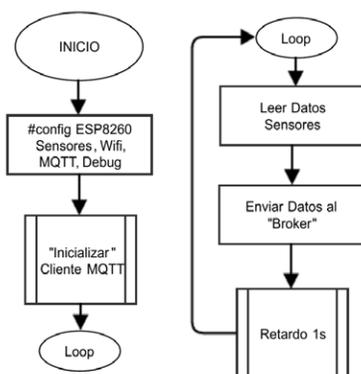


Figura 3. Algoritmo del dispositivo divulgador

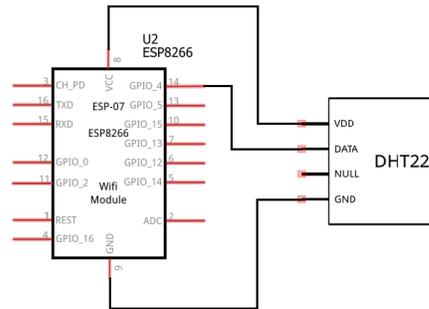


Figura 4. Diagrama eléctrico-Nodos

Como se expone en la figura 4 las conexiones del diagrama eléctrico en los nodos, es bastante simple, para la alimentación se usó una batería 18650 puesta en contacto de manera directa al módulo wifi 18650, esto es así porque la batería entrega normalmente 3.7 Voltios, aunque normalmente se recomienda el uso de un regulador de voltaje a 3.3 V como el AMS1117. Para el conexionado del sensor solo se requiere de alimentación, tierra y un GPIO (GPIO4 para el prototipo) del ESP8266.

En la Figura 5, se muestra el esquema eléctrico del Broker, orientado a la activación y detección o pausa de la alarma. Se requiere hacer una adaptación de voltaje y corriente, ya que la Raspberry pi 3 es compatible con 3.3 y 5 Voltios DC y una corriente de 50 mA. Para la activación de la alarma se usó un pequeño Buzzer, el cual es alimentado gracias a un driver de corriente simple, con base en la lógica de un transistor NPN. Por otro lado, para la acción de detención de la alarma, basto con un pulsador en serie con un divisor de tensión; como se observa en la figura 6, se hace uso de una interrupción de entrada para la detección de un flanco de subida.

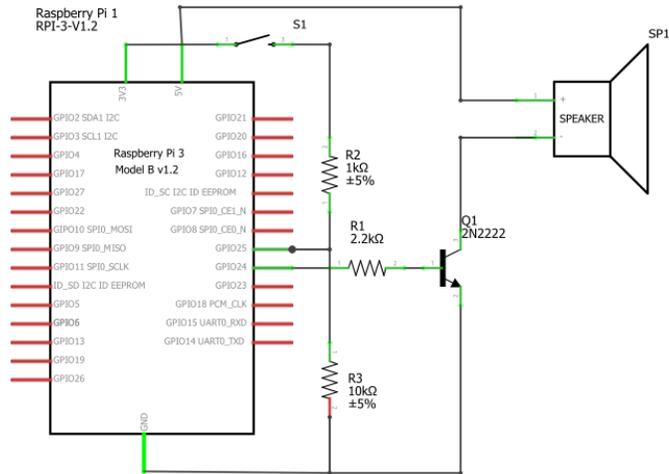


Figura 5. Diagrama eléctrico Bróker

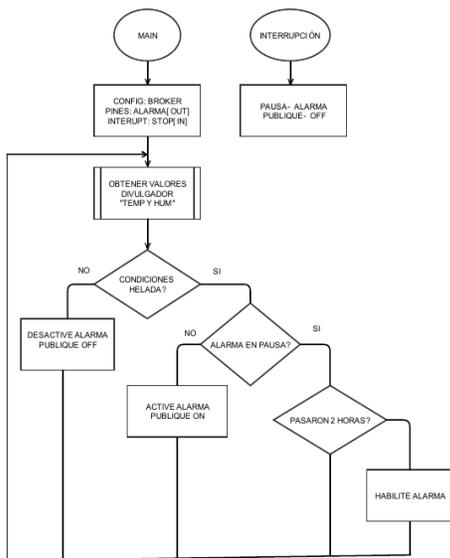


Figura 6. Algoritmo Broker

La Raspberry pi 3, utiliza el sistema operativo Debian GNU/Linux (Raspbian) frente a otras alternativas como ubuntu, Fedora (Pidora), Arch Linux, entre muchas otras. Raspbian destaca por tener la comunidad más grande, un consumo eficiente de los recursos del sistema, ser modular, flexible y poseer buen soporte y documentación.

Así mismo se implementa el Broker MQTT haciendo uso del software Mosquitto. Se configuró la Raspberry pi con el propósito de activar los servicios de MQTT y el punto de acceso WiFi automáticamente. De igual

modo se desarrolló un script en Python, Figura 6*, que se encarga de gestionar la información enviada por los divulgadores con el fin de determinar si existe una helada en desarrollo, si es así, alertar mediante un Buzzer al usuario, con la opción de pausar (mediante un pulsador) está alarma por 2 horas. Por último el script reenvía la información que el suscriptor requiere, como temperatura, humedad y el estado de alarma. Para finalizar esta etapa, se cambian las contraseñas por defecto y se cierran los puertos no usados.

*https://github.com/fandres/Monitorheladas/blob/master/Broker/python_paho_broker.py

4. PROTOTIPO FUNCIONAL

Es importante destacar que para este prototipo la distancia entre nodos o divulgadores y el sistema central (Broker), no permiten distancias grandes, para el caso del prototipo, en pruebas en campo

con alta cobertura vegetal y ruido solo se alcanzaron 27 metros, esto es lógico, dado que tanto el transmisor (Broker) como el receptor (ESP8266) no cuentan con las antenas adecuadas, son antenas simples, diseñadas para PCB, que resultan funcionales. En la Figura 7, es claro que, tanto la unidad central (Broker) como la unidad divulgadora (ESP8266) cuentan con una carcasa, que dan protección a los componentes internos.



Figura 7. Prototipo Funcional

En la parte inferior derecha se observa el broker, éste internamente está compuesto por la Raspberry pi 3 y el sistema de alarma (buzzer), éstos son alimentados con energía externa, que la suministra un cargador de pared que entrega 5V a 2 Amp, así mismo sobresaliendo de la carcasa está un pulsador, con el cual se pausa la alarma. En la parte superior derecha se muestra el sistema divulgador compuesto por el sensor de temperatura y humedad (en blanco), el cual se ubica en la parte exterior de la carcasa, mientras que la parte interior se encuentra el ESP8266, alimentado por una batería de litio recargable de 2600 mAh. El sistema, también está integrado con un dispositivo móvil, para este caso, con un smartphone que hace uso del software MQTT Dash, que actúa como cliente MQTT y permite visualizar la temperatura, la humedad y el estado de alarma (On/Off).

La Figura. 8, muestra la captura de datos como resultado del funcionamiento del prototipo en un periodo de 12 horas, para la cual, no se presentaron las condiciones atmosféricas de una helada blanca, aunque es de destacar que la humedad alcanzó un pico de 89% y la temperatura un mínimo de 9 Grados.

Para corroborar el funcionamiento correcto del sistema de alarma se establecieron condiciones de temperatura y humedad específicas (27°C y 55%) de tal manera que elevando la temperatura se activara la alarma, el resultado fue el esperado tanto para la activación sonora del buzzer como para la visualización en el smartphone.

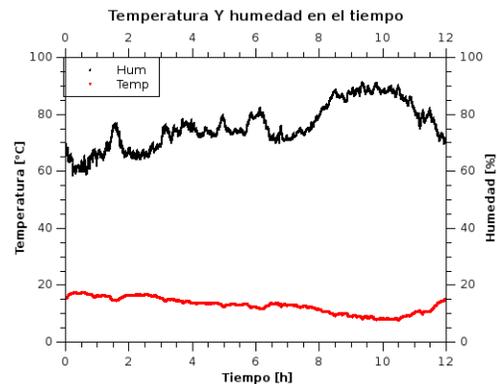


Figura 8. Monitoreo de temperatura y humedad

A futuro se espera la inclusión de nuevas variables atmosféricas que además de monitorear, posibiliten la predicción de las diferentes tipos de heladas, mediante algoritmos de predicción basados en Redes Neuronales. De igual modo es recomendable adaptar una pantalla que muestre la información y que permita realizar ajustes o configuraciones. Se puede optimizar el sistema de alimentación, que cuente con baterías recargables de mayor capacidad y paneles solares de tal forma que brinde mayor autonomía energética. La información recolectada por los diferentes sistemas, puede centralizarse gracias a IoT y el almacenamiento en la nube, lo que permite al usuario acceder a los archivos desde cualquier lugar y en cualquier momento. Asimismo, es primordial, abarcar el diseño e implementación con medidas de seguridad, que protejan la seguridad y la privacidad tanto de los datos como del usuario.

La distancia requerida va a ser dependiente del entorno donde se encuentre el cultivo y se va a requerir del uso de antenas externas y del cálculo de la ganancia de estas, tanto para el módulo Wi-Fi

(ESP8266) como para la Raspberry pi existen soluciones que permiten el uso de antenas externas.

El consumo energético de los dispositivos Wi-Fi debe ser posteriormente evaluado con algoritmos de ahorro energético, ya que solamente se hace uso de la red regularmente. Para el caso del ESP8266 existe en modo sueño profundo (Deep Sleep) el cual permite apagar todo el hardware del dispositivo con excepción del reloj de tiempo real, el cual después de un tiempo despierta al dispositivo, es así como se logra alargar el uso de manera radical.

CONCLUSIONES

Se realizó un sistema capaz de monitorear y responder ante condiciones específicas de una helada blanca, permitiendo visualizar las variables físicas y alertar al usuario mediante un sistema de alarma.

El prototipo diseñado es flexible, dado que admite la inclusión de nuevas variables ambientales, permitiendo la detección y predicción de heladas negras con la posibilidad de ser adaptado a nuevas condiciones de monitoreo de cultivos. Asimismo es escalable ya que permite integrar varios módulos divulgadores.

La implementación del protocolo MQTT abre puertas para el diseño de nuevas herramientas que permitan monitorizar y controlar diferentes variables atmosféricas, así mismo su implementación en diferentes áreas sin mayor complejidad.

REFERENCIAS

- [1] P. Cmp, C. O. N. El, and C. Presente, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM Subdirección de Meteorología Bogotá, D. C., 2012," 2012.
- [2] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. 2017. Boletines, Avisos Y Alertas - Boletines, Avisos Y Alertas - IDEAM. Retrieved November 28, 2017 (<http://www.ideam.gov.co/web/pronosticos-y-alertas/boletines-avisos-y-alertas>).
- [3] A. Lage and J. C. Correa, "Weather station with cellular communication network," in 2015 XVI Workshop on Information Processing and Control (RPIC), 2015, pp. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.1109/RPIC.2015.7497072>
- [4] K. Brun-Laguna, A.L. Diedrichs, J.E. Chaar, D. Dujoyne, J.C. Taffernaberry, G. Mercado, et al., "A Demo of the PEACH IoT-based Frost Event Prediction System for Precision Agriculture," SECON 2016 - 13th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication and Networking, pp. 1-3, Jun. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/SA-HCN.2016.7732963>
- [5] G. Suci, O. Fratu, A. Vulpe, C. Butca, and V. Suci, "IoT agro-meteorology for viticulture disease warning," in 2016 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom), pp. 1-5, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/BlackSeaCom.2016.7901572>
- [6] J. Pérez-Expósito, T. Fernández-Caramés, P. Fraaga-Lamas, and L. Castedo, "VineSens: An Eco-Smart Decision-Support Viticulture System," *Sensors*, vol. 17, no. 3, p. 465, Feb. 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17030465>
- [7] J. C. Ortega, "Desarrollo De Un Prototipo De Adquisición de Variables Ambientales En Cultivos Hidropónicos De Lechuga, Mediante Una Red De Sensores, Utilizando Un Sistema Embebido," *Igarss 2014*, no. 1, pp. 1–160, 2014.
- [8] M. Francisco and P. Lpsap, "PATHFI : Sistema portátil de monitoreo de temperatura , humedad relativa , presión atmosférica y altitud utilizando el protocolo Wi-Fi Email address :," pp. 2014–2015, 2014.
- [9] Z. Alliance, "Zigbee Specification," Zigbee Alliance website, pp. 1–604, 2008.
- [10] J. Mauricio Salamanca, E. Avendaño Fernadez, M.E. Albarracín, G. A. Gutiérrez, "Sensado inalámbrico de gases en minería con servicio web en tiempo real," *Rev. Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, vol. 14, no. 2, pp. 24–29, Julio, 2014. DOI: <https://doi.org/1900771/10.19053X.3447>
- [11] G. Fonseca González, E. Avendaño, A.L. Araque, "Supervisión de Ph, redox Y turbidez en una planta de Tratamiento de agua utilizando WSN (Wireless Sensor Networks) con tecnología Zigbee," *Rev. Ingeniería, Investigación y Desarrollo* vol. 14, no. 1, pp. 17-21, enero, 2014. DOI: <https://doi.org/10.19053/1900771X.4046>.
- [12] OASIS, "MQTT Version 3.1.1," OASIS Stand., no. October, p. 81, 2014.
- [13] R. L. Snyder and J. P. de Melo Abreu, *Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía*, in Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), vol. 1, Ed. Roma, 2010.

MODELO DE COORDINACIÓN DE INVENTARIOS COLABORATIVOS SOPORTADO EN UN ENFOQUE SOCIOTÉCNICO DE SISTEMAS

Collaborative inventory coordination model supported in a sociotechnical approach of systems

Oscar Palacio-León¹, Marianna Barrios-León², Wilson Adarme Jaimes³

¹M.Sc, Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá D.C., Colombia). oscar.palacio@unimilitar.edu.co

²Dra. Ing., Universidad de Carabobo (Valencia, Venezuela). marianna.barrios@gmail.com

³Ph.D, Universidad Nacional de Colombia (Bogotá D.C., Colombia). wadarme@unal.edu.co

(Recibido octubre 23 de 2017 y aceptado noviembre 15 de 2017)

Resumen

Este trabajo presenta un modelo alternativo de coordinación de inventarios para la integración vertical entre un proveedor un almacén con múltiples clientes y una familia de productos. La originalidad del modelo estriba en tres elementos principales. La primera es que el nivel de servicio ofrecido sigue un enfoque deductivo, utilizando a priori un marco matemático definido. La segunda es que la política de gestión de la disponibilidad de la unidad de carga eficiente está administrada por el proveedor. La tercera es que el diseño metodológico emplea un validador técnico-económico. En primer lugar, se realiza una revisión de la literatura para posicionar la investigación. A continuación, se presentan los principales elementos metodológicos usados, principalmente el procedimiento para valorar el impacto del enfoque sociotécnico de sistemas y perfeccionamiento del modelo AIU en que soporta el esquema de colaboración. Finalmente, los resultados de validación del modelo se presentan y discuten en forma crítica.

Palabras clave: Empresa extendida; empresa saludable; mecanismo de coordinación; inventarios colaborativos; modelo Administración-Imprevistos-Utilidad.

Abstract

This paper presents an alternative model of inventory coordination for vertical integration between a supplier and multiple customers. The originality of the model lies in three main elements. The first is that the level of service offered follows a deductive approach, using a priori a mathematical definite model. The second one is that the supplier directs the strategy of management of the availability of the collaborative inventory. The third one is that the methodological design uses a technical - economic validator. First, the literature checked to position the investigation. Later, they present the principal methodological elements that were used, principally the procedure to value the impact of the approach sociotécnico of systems load and improvement of the model ARU in that supports the scheme of collaboration. Finally, the validation results of the model are presented and analyzed in critical form.

Keywords: Extended Company; healthy company; coordination mechanism; collaborative inventories; model Administration-Relief-Utility.

1. INTRODUCCIÓN

La triada estado-universidad-empresa en la última década ha venido acuñando el concepto empresa saludable, con el propósito de hacer de la promoción y prevención de la salud laboral una política de sostenibilidad [9], enfocada hacia la mejora continua de la productividad, calidad, entre otros aspectos, a través

de la implementación de un enfoque sociotécnico de sistemas [8], impulsado por el Agente Principal de la Red de Suministros [10], que como visión estratégica del negocio da origen al término empresa extendida [3], esquema empresarial que permite crear valor compartido [16]. Es decir, hablar de empresa saludable (Ergónomos) es equivalente a empresa extendida

(Logísticos), desde la perspectiva del enfoque sociotécnico de sistemas.

El problema de Diseño de la Empresa Extendida Dirigida por la Demanda (EEDD) se puede resolver por diferentes enfoques. El que se propone en el presente trabajo tiene su origen en la Gestión de Inventarios Colaborativos. Más aun, [8] consideran que este enfoque sinergia la creación de valor compartido entre los agentes, cuando la integración de la EEDD se apoya en la mejora de las condiciones físicas, psicológicas, sociales y organizacionales que protegen y promueven la seguridad y la salud de la fuerza laboral. De hecho, este paradigma se aplica a los entornos colaborativos, en los que hay una normatividad consensuada que orienta los lineamientos de la EEDD, en procura de unos fines u objetivos comunes de productividad soportados en inversiones en valor de vida [15].

En este sentido, [5] sostienen que intervenir en forma integral los factores de riesgo psicosociales de la fuerza laboral, le implicara al Agente Principal de la EEDD hacer inversiones en valor de vida, que se verán reflejadas con mejoras entre un 60 a un 90% e incluso más en los niveles de productividad. Así mismo, [10] establecieron que un mecanismo de coordinación orientado a la toma de decisiones conjunta, lo constituye la economía de movimientos con enfoque hacia la mejora de la productividad saludable, que permite ofrecer niveles de servicio por encima del 85%, con respecto a la gestión del inventario de la EEDD. De igual manera, [9] determino que al intervenir el área de operaciones a través de un enfoque sociotécnico de sistemas, los tiempos de respuesta intraempresa se ven mejorados por encima del 15% e incluso más, cuando el criterio decisional se fundamenta en el estudio de la productividad saludable, conducente a la mitigación de la sensación de desgaste laboral.

Entre tanto, [8] lograron establecer que invertir en valor de vida 12 dólares por colaborador-año, le permitiría obtener ingresos operacionales cercanos a los 23 dólares por colaborador-año, a través del diseño de una política sostenible de gestión de inventarios colaborativos, soportado en un mecanismo de coordinación embebido en criterios de productividad saludable. Por ende, el presente artículo tiene como propósito proponer un modelo de coordinación de inventarios colaborativos con enfoque sociotécnico de sistemas, que sea gestionado por el agente principal

de una EEDD, que está integrada por un proveedor un almacén central que suplente una familia de productos a múltiples administradores de cuenta clave (KAM), a la vez, que concatena factores psicosociales con las inversiones requeridas en valor de vida, al tiempo que crea valor compartido, y asegura condiciones técnico-económicas atractivas para su negociación entre los interesados.

El documento se organiza como sigue. En la Sección 2, Método, se describe la metodología de integración y encadenamientos logísticos para la creación de valor compartido, que soporta el modelo de inventarios colaborativo propuesto. En la Sección 3, Resultados, se encontró que la puesta en marcha de la política de gestión del inventario conjunto diseñada, para los interesados en la integración de la EEDD Líder del sector de las autopartes de la ciudad de Bogotá D.C, satisface los requerimientos exigidos por el sponsor de la misma, en atención al Modelo Administración-Imprevistos-Utilidad (AIU), exigencias que se indican en estricto orden de aparición, como: 4,5%-5%-10%. En la Sección 4, Análisis, se presentan los principios, relaciones y generalizaciones que arrojan los resultados obtenidos de la investigación, en contraste con el objetivo propuesto. Finalmente, en la Sección 5, Conclusión, se exponen los análisis con referencia al modelo de integración propuesto para la EEDD estudiada, que soporta la política de gestión del inventario colaborativo diseñada bajo un enfoque sociotécnico de sistemas.

2. MÉTODO

La metodología en que se apoya el modelo de coordinación de inventarios colaborativos con enfoque sociotécnico de sistemas, consta de tres etapas a saber: i) Análisis sociotécnico de sistemas de la EEDD; ii) Formulación del modelo de inventarios colaborativos; y iii) Evaluación técnico-económica del proceso de integración de la EEDD.

2.1 Análisis sociotécnico de sistemas de la EEDD

En esta primera fase, se hace una intervención a las condiciones intralaborales que influyen en la salud y bienestar de la fuerza laboral, para lo cual, se empelo el modelo demanda-control-apoyo social [2], el cual, se armoniza con el modelo de desequilibrio-esfuerzo-recompensa [2], los cuales a su vez son articulados por medio del modelo dinámico de factores de riesgo psicosociales

[15]. Con el propósito de establecer, que características del entorno de trabajo y de la organización, son significativas para ser mejoradas mediante la ejecución de inversiones en valor de vida, representadas en: i) El montaje del Sistema Inmótico de la EEDD; y ii) Los Costos de Operación y Posesión de Programas de Promoción, Prevención y vigilancia del absentismo y bienestar laboral al interior de la EEDD [8 – 10].

Por otra parte [9], formulo el Índice Global de Productividad Saludable (IG_{ps}), en función de la data obtenida de la operatividad del modelo dinámico de factores de riesgo psicosociales, la cual se transforma en unidades de capacidad de sistema con respecto a la salud: i) Física (Condiciones materiales); ii) Mental (Contenido del trabajo); y iii) Social (Organización del trabajo). Según, este autor el IG_{ps} mide el desempeño alcanzado por la fuerza laboral, a partir de la intervención y mejora de la percepción en la fuerza laboral, con respecto a la cultura ergonómica que posee la EEDD [12]. Es así que, el IG_{ps} deberá estar por encima del 85%, para que sea considerada la EEDD de clase mundial, porque emplea buenas prácticas empresariales con soporte en principios de colaboración y de buen gobierno [9], encaminadas a la mitigación del absentismo, mejora del bienestar de la fuerza laboral y a la creación de valor compartido, como consecuencia del equilibrado entre las inversiones en valor de vida, y las estrategias orientadas a la continuidad del negocio [8]. Este índice está conformado por los tres ratios que se recogen en la ecuación 1.

$$IG_{PS} = \prod_{i=1}^3 [(R_{CT}) * (R_{CM}) * (R_{OT})] * 100 \quad (1)$$

En donde: i) R_{CT} = Contenido del Trabajo (Una evaluación de este ratio, por debajo del 100% refleja que el sistema productivo pérdidas de velocidad con relación al recurso humano por fatiga u por restricciones inevitables en la secuenciación de la producción); ii) R_{CM} = Condiciones Materiales (Un ratio de Condiciones materiales menor al 100%, indica que las instalaciones industriales presenta situaciones inseguras para con el trabajador principalmente, con respecto a la fisiología del trabajo, en especial atención a la seguridad industrial y al confort del sitio de trabajo); y iii) R_{OT} = Organización del Trabajo (Un ratio de organización del trabajo inferior al 100%, exterioriza que el sistema productivo posee pérdidas de calidad de vida, asociadas con situaciones de convivencia entre operarios u por condiciones a típicas en la subordinación laboral).

2.2 Formulación del modelo de inventarios colaborativos

En la segunda fase, se diseñó el modelo de inventario colaborativo multieslabón [6], soportado en un mecanismo de coordinación operacional [1], para la toma de decisiones conjunta en tamaño de lote homogéneo multiproducto, gestionada por el Agente Principal (AP) de la EEDD. Es decir, el AP decide qué tamaño de lote conservar en Inventario de Seguridad en la EEDD, y a su vez, es garante de la administración del volumen en Inventario de Consumo a distribuir durante el ciclo económico, en atención a las limitaciones en: i) Inversiones en valor de vida; ii) Capacidad de bodegaje del Centro de Distribución (CEDIS); iii) Presupuesto en inventario de Seguridad; y iv) Ajuste por desviaciones en Inventario de Consumo. A continuación, se expone su modelo matemático:

$$D_t = C_t + S_t + K_o \quad (2)$$

$$U_t = \rho Y_{t-1}, \text{ con } 0 < \rho < 1 \quad (3)$$

$$U_t - U_{t-1} = \rho(Y_{t-1} - Y_{t-2}) \quad (4)$$

$$S_t = (1 + \mu)[\rho(Y_{t-1} - Y_{t-2})], \text{ con } \mu > 0 \quad (5)$$

$$E_c(LD) = at^2 + bt + c \quad (6)$$

$$K_o = C_w + I_{VV} = E_c(LD) \quad (7)$$

$$E_c(LI) = D_t - (2 + \mu)\rho D_{t-1} + (1 - \mu)\rho D_{t-2} \quad (8)$$

$$E_c(LI) = E_c(LD), \text{ con } t \geq 2 \quad (9)$$

En donde: i) D_t = Ingreso Operacional Total en el periodo t ; ii) C_t = Inventario de Consumo Vendido en el Periodo t ; iii) S_t = Inventario de Seguridad en el Periodo t ; iv) K_o = Capital de Trabajo Autónomo Base; v) ρ = Consumo Per-Capital, que se espera sea mantenido de un periodo a otro, por parte de los clientes en favor de la EEDD; vi) μ = Mecanismo de Aceleración del Volumen del Inventario de Seguridad pactado entre los agentes involucrados; vii) C_w = Capital de trabajo base; y viii) I_{VV} = Inversiones en valor de vida (Sistema Inmótico mas Bienestar de la fuerza laboral y sus familias).

Al operativizar por métodos numéricos la ecuación 9, más exactamente, a través del uso de método de búsqueda directa de la solución completa, para la Ecuación en Diferencia Finita de tipo Lineal de Segundo Orden con Forma Polinómica de grado n [4]. Ecuación balanceada que se constituye por sí sola, en un mecanismo de coordinación del inventario mono-agente basado en los principios económicos de [7], al que se ha denomi-

nado: Modelo de Expectativas y Ciclos de Existencias Conjuntas Sostenible. Otro rasgo de este mecanismo de coordinación, es que simula las variaciones cíclicas del inventario conjunto, y a su vez, permite que estas sean amortizadas en el largo plazo de la consolidación de la EEDD, tal y como, se expresa en la ecuación 10.

$$D_{t,GC} = D_{t,GH} + D_{t,PC} \quad (10)$$

$$D_{t,GH} = (C_1)(r_1)^t + (C_2)(r_2)^t \quad (11)$$

$$D_{t,PC} = \frac{a}{3} t^2 + \left(\frac{3b-2a}{9}\right)t + \left(\frac{9c-3b-a}{27}\right) \quad (12)$$

En donde: i) $D_{t,GH}$ = Solución General Homogénea; ii) $D_{t,PC}$ = Solución Particular Completa Constante; y iii) $D_{t,GC}$ = Solución General Completa Sostenible.

El resultado obtenido a través de la ecuación 10, se incorporan en la función de costo total que gestiona el inventario conjunto de la EEDD, por parte del AP [9], la cual se presenta en la ecuación 13.

$$CT_{\text{Mínimo}}(T) = D_{t,GC} + \frac{H+nC}{T} + \frac{T*i*D_{t,GC}}{T} \quad (13)$$

En donde: i) n = Número total de ítems por orden conjunta; ii) H = Costo Conjunto de Ordenar; iii) C = Costo de Ordenar Asociado a cada KAM; iv) T = Intervalo de Tiempo entre Pedidos por Año; y v) i = Tasa de Transferencia Anual Administra por el Agente Principal.

Realizando la operatividad clásica a la ecuación 13, se obtiene el modelo de inventario colaborativo para la EEDD intervenida, que se sustenta en la formulación matemática que se indica a continuación [10]:

$$T^* = \sqrt{\frac{2*(H+nC)}{i*D_{t,GC}}} \quad (14)$$

$$SKU_{ij}^{10} = \left[\left(\frac{D_{t,GC}*(T^* + L_j)}{52*Pv_i} \right) * W_j \right] \quad (15)$$

$$UCE_{ij}^{10} = \left[\left[SKU_{ij}^{10} * \rho \right] \right] \quad (16)$$

$$IS_i^{10} = \left[\left[SKU_{ij}^{10} * (1 - \rho) \right] \right] \quad (17)$$

$$CT(T^*) = (1 + i_*T^*)_*D_{t,GC} \quad (18)$$

$$F_A = \frac{UCE_{AP}^{10}}{UCE_{AN}^{10}} \quad (19)$$

$$F_B = \frac{UCE_{AN}^{10}}{UCE_{AP}^{10}} \quad (20)$$

$$CT_{UCE}^{EEDD} = \text{Min} \left\{ \frac{1}{2} [F_A + F_B] \right\} * CT(T^*) \quad (21)$$

En donde: i) T^* = Intervalo de Tiempo Óptimo entre Pedidos para Múltiples Ítems; ii) SKU_{ij} = Unidad básica de bodegaje en base diez por ítem i y por agente negociador j ; iii) L_j = Lead time negociado con cada agente j ; iv) La suma de $(T^* + L)$ debe ser un entero y estar dado en semanas; v) IS_i = Inventario de Seguridad por ítem i ; vi) Pv_i = Precio de Venta Unitario del ítem i ; vii) W_j = Participación en el Mercado del ítem i ; viii) UCE_{ij} = Unidad de Carga Eficiente en base diez por ítem i y por agente negociador j ; ix) $CT(T^*)$ = Costo Total de Gestión de la UCE por parte del agente principal; y x) $CT_{UCE-EEDD}$ = Costo total de la estrategia de suministros colaborativa para la EEDD.

2.3 Evaluación técnico-económica del proceso de integración de la EEDD

En esta última fase, se recurre al planteamiento de escenarios para el inventario colaborativo propuesto, los cuales son evaluados en términos financieros, es decir, mediante la construcción de los Flujos de Caja Totalmente Neto, que asocian tanto los aspectos técnicos como la gestión del riesgo, con la tasa de oportunidad compuesta deseada por el AP de la EEDD [8]. Esta evaluación se soporta en criterios de toma de decisiones financieras en proyectos, tales como: i) VPN_{Ajustado}; y ii) TIR_{Modificada}; entre otros criterios de evaluación, a fin de establecer la viabilidad económica de la mejor estrategia de negociación del inventario conjunto, con el cual se configura la EEDD que involucre no solo los aspectos cuantitativos sino también a los cualitativos, al robustecerla con un análisis de sensibilidad a los parámetros de la función de costo total del inventario conjunto.

3. RESULTADOS

Para mostrar la importancia del trabajo expuesto, fue usado un caso de estudio. Se tomó como referente una compañía líder del sector de autopartes de Colombia con sede en la ciudad de Bogotá, para lo cual, se siguieron los pasos que se describen a continuación:

3.1 Cuantificar el IG_{ps} para el periodo de planificación de la UCE, mediante un análisis sociotécnico de sistemas para la EEDD en estudio

A partir de los resultados obtenidos, por la implementación de la Batería de Instrumentos, para la Evaluación de Factores de Riesgo Psicosocial. En especial, la Data relacionada con las condiciones intralaborales, que en la actualidad la fuerza laboral percibe que son causantes del diestrés que está presente en la EEDD intervenida [2]. Por medio de la cual, se obtienen los parámetros que se indican a continuación: i) **Contenido del Trabajo = 6.3%**; ii) **Condiciones Materiales = 8.1%**; y iii) **Organización del Trabajo = 3.9%**.

Por otro lado [9], determino un factor de ajuste al índice de riesgo del ítem ii) de 1.07, derivado de la evaluación del diseño espacial del área de operativa, es decir, la ideal vs la real que posee el AP de la EEDD. Continuando con el análisis, se procedió a transformar estos parámetros en los factores de tiempo, que se citan en seguida: i) Tiempo Efectivo de Producción del Personal = 93.7%; ii) Tiempo Operativo del Personal = 86.1%; y iii) Tiempo Productivo Alcanzado por el Personal = 81.7%. Factores que se relacionan entre sí, a través, de la ecuación 1. En consecuencia, el IG_{ps} se cifra en un 82% aproximadamente, tal y como se muestra en la ecuación 22.

$$IG_{ps} = \left(\frac{93.7}{100}\right) \left(\frac{86.1}{93.7}\right) \left(\frac{81.7}{86.1}\right) * 100 \approx 82\% \quad (23)$$

De la ecuación 23, se puede inferir que la mejora que puede alcanzar la EEDD posee un delta máximo del 18%, con respecto al nivel de productividad actual. Delta máximo, que no iría en detrimento de la salud laboral, ya que no sobrepasa el índice de saturación deseado por el AP de la EEDD del 85% [9].

3.2 Determinar el mejor modelo de inventario colaborativo para la EEDD en estudio

Comenzando por la proyección del inventario productivo total [8], a través de la utilización de las ecuaciones 2 a la 10. Que al ser operativizadas con sus respectivos

parámetros [4], proyectan la expectativa económica durante el primer año de integración de la EEDD, es decir, para el año 2017. Prospectiva que se indican con la ecuación 24, y que corresponde, al uso de la Capacidad Disponible mínima de sostenibilidad empresarial para la familia de productos en análisis, la cual, se pretende que pacten los agentes interesados en la integración horizontal de la EEDD, dentro de la configuración de la estrategia, como tal, de gestión del inventario conjunto.

$$D_{17,GC} = D_{17,GH} + D_{17,PC} \approx 1,667,220 \frac{USD}{AÑO} \quad (24)$$

Los parámetros suministrados por el AP en esta primera parte del modelado, son los que se citan a continuación: i) $\rho = 85\%$ (Palacio-León, 2017); ii) $\mu = 1.0235$ (Prospectiva de crecimiento del mercado meta de la EEDD); iii) $IO_{2015} = 1,111,875 USD/Año$; iv) $IO_{2016} = 1,090,160 USD/Año$; v) $\alpha = 65\%$ (Capacidad Disponible mínima de sostenibilidad empresarial para la familia de productos en análisis); vi) $C_w = 437,000 USD/Año$; vii) I_{vv} (Fija) = 43,000 USD/Año (Costo de administración del Sistema de Bienestar de la EEDD); y viii) I_{vv} (Variable) = 10 USD/mes-Colaborador (Nómina conformada por 60 empleados).

Tomando como punto de partida la ecuación 24, se procede a cuantificar la UCE para el AP, CEDIS y KAMs, siguiendo estas pautas (Véase tabla 1): i) UCE_{AP} . Fue cuantificada mediante la aplicación de las ecuaciones 12 a la 17; ii) UCE_{CEDIS} . Se determinó mediante la utilización del Modelo EOIESJIT [11]; y iii) UCE_{KAMs} . Fue cuantificada siguiendo los lineamientos para la gestión de existencias al interior de la EEDD de [6]. Pasó seguido, se procedió a cubicar el volumen de UCE para la integración de la EEDD intervenida, para lo cual se empleó la ecuación 21 en forma exhaustiva, con el objeto de establecer los parámetros de coordinación del inventario conjunto a convenir, partiendo de: i) Los resultados agregados de los requerimientos en inventario de cada agente (Véase tabla 1); y ii) La meta desea por el AP en sobrecosto para la gestión del inventario conjunto. Lográndose establecer que el volumen base de Inbox requeridos por la EEDD es de 2,040 por año, el cual no genera un sobrecostos para el AP, proceso de simulación discreta que se presenta en forma completa para la UCE en la tabla 2.

Tabla 1. Configuración de la UCE para el primer año

KAM	Lead Time (Semanas)	Demanda Anual (%)	Requerimiento en Inventario (Primer Año de Integración)		
			UCE _{AP} (Inbox)	UCE _{CEDIS} (Inbox)	UCE _{KAMs} (Inbox)
Zona Occidente	1	25	440	420	310
Zona Oriente	1	15	270	240	180
Zona Sur	2	10	270	240	270
Zona Norte	2	20	530	460	520
Institucional	1	30	530	460	520

Fuente: Autores

Los parámetros suministrados por el AP, para esta parte del modelado son los que se citan a continuación: i) Se cuenta con cinco KAMs, sistema que le cuesta a la compañía en promedio el 35% anual sobre Inbox; ii) SKU homogénea con un peso máximo de 25 kilos/Inbox; iii) Cubicaje que representa un ingreso neto operacional promedio de 70 USD/Inbox; iv) $H = 150$ USD/Orden; v) $C = 50$ USD/Orden-KAM; vi) $i = 30\%$ anual; vii) Los costos de operación por Inbox corresponden al 40% de los ingresos que genera; viii) La Políticas de bodegaje es Caótica; ix) El costo de oportunidad del capital fue valorado a una tasa del 5% efectivo anual; y x) El sobrecosto máximo admisible para la gestión del inventario colaborativo es del 10% anual.

Tabla 2. Factibilidad de la UCE para el primer año

CRITERIO TECNICO	ESTRATEGIAS POTENCIALES DE INVENTARIOS COLABORATIVOS			
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
Sobrecosto (%)	9,6	6,6	4,8	0,0
UCE (Inbox/Pedido)	1,320	1,420	1,500	2,040

Fuente: Autores

3.3 Evaluación técnico-económica del proceso de integración de la EEDD

La tabla 3, recoge los resultados de la evaluación financiera, para cada una de las UCE que conforman el portafolio de estrategias en inventario colaborativo, que puede ser adoptada por la EEDD, las cuales se originaron a partir del proceso de simulación presentado en la tabla 2. Es de mencionar, que la evaluación técnico-económica fue realizada con una tasa de interés compuesta de oportunidad del 17.5% efectiva anual.

Tabla 3. Portafolio Técnico-Financiero para la UCE*

CARACTERÍSTICAS DEL RRC PARA LA EEDD	Estrategias potenciales de Inventarios Colaborativos			
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
Capacidad de Bodegaje (Inbox)	1,760	1,900	2,000	2,720
Presupuesto de Inversiones (USD)	\$ 1.137,200	\$ 1.141,200	\$ 1.176,200	\$ 1.328,200
BANA (USD)	\$ 691,944	\$ 385,181	\$ 33,538	(\$ 405,926)
TVR (EFECTIVO ANUAL)	75%	50%	21%	(30%)
DECISIÓN	VIABLE	VIABLE	DEFERIR	ABANDONAR

Fuente: Autores

En términos generales, el AP de la EEDD Líder del sector de autopartes de la ciudad de Bogotá D.C, lo constituye la gerencia de operaciones, quien tiene el poder de negociación de la UCE en atención a: i) Es el agente que restringe la capacidad de efectiva de producción de la EEDD a 1,760 Inbox/Corrida de Producción; ii) Pacto para el primer año de la integración un inventario de consumo de 1,320 Inbox/Pedido, complementado con un inventario de seguridad de 440 Inbox/Pedido; y iii) Fijo el precio del servicio de bodegaje a los KAMs a un nivel de racionalización de 0,28 UDS/Posición y de 0,31 UDS/Inbox.

4. ANÁLISIS

En términos generales, la colaboración se enfoca en una relación de ganar-ganar entre los agentes logísticos que la desarrollan [13]. Hecha esta salvedad, se puede inferir con base en los trabajos de [2] [8–10] y [12], además de la experiencia adquirida en el presente trabajo, que diseñar una estrategia de coordinación de inventarios colaborativos soportado en un enfoque sociotécnico de sistemas, fortalece las condiciones operativas del sistema productivo, al mejorar la percepción de la fuerza laboral y sus familias, con respecto al bienestar y mitigación del absentismo, más aún, como tema de estudio posee un gran potencial, tanto para la realización de investigaciones teóricas como para la implementación de aplicaciones prácticas.

De igual manera, incorporar la inversión en valor de vida al modelado del inventario colaborativo, con el objeto de integrar la EEDD bajo la arista de una arquitectura empresarial saludable [12], parte de la buena voluntad de los interesados en mejorar la calidad de vida laboral de la fuerza laboral y sus familias, que como estrategia de colaboración deberá ir mas halla del cumplimiento de la normatividad vigente en la materia [2], y mucho menos, soportar dicha decisión en forma radical en el efecto positivo que trae, con respecto a la creación valor compartido [16].

En lo que atañe, con el modelo prospectivo empleado para evaluar la inversión de vida con la gestión del inventario conjunto, se logró evidenciar que los económicos se comportan bastante bien [8, 9], con una data agregada entre uno a tres años inclusive, y ahí en adelante asumiendo dicha inversión constante, para el horizonte de planificación de la integración de la EEDD. Sin embargo, en esta investigación se logró demostrar

que la capacidad de bodegaje se racionaliza aún más (Una reducción cercana al 65%), con respecto a lo argumentado por los autores anteriormente citados, cuando la inversión en valor de vida se proyecta en forma polinómica con una tasa de crecimiento del 85%, siendo el dato más relevante el Beneficio Anual Neto Ajustado que se vio mejorado en un 62% aproximadamente, cuando el diseñador de la política de inventarios colaborativos soportado en un enfoque sociotécnico de sistemas, contempla en el modelado el concepto microeconómico *Ceteris paribus*.

CONCLUSIONES

Incorporar el enfoque sociotécnico de sistemas al modelamiento del inventario colaborativo, hace del mecanismo de coordinación un elemento de equidad, entre el inventario de seguridad y el inventario para el consumo que brinda el AP a la EEDD, que a su vez, le permite brindar y garantizar al canal de ventas que gestiona este agente un nivel de servicio por encima del 85%, al tiempo que crea valor compartido del 12% anual e incluso más (Tasa de descuento social anual válida para Colombia), para los interesados en la integración. Más aun, invertir una unidad económica en aspectos sociotécnicos de sistemas, representa que la alternativa de inventarios colaborativos generará riqueza a los interesados. Por ende, la alternativa genera riqueza con seguridad traerá consigo un beneficio social para la EEDD, que para el caso en estudio invertir un USD/Colaborador le representa un beneficio de 0.69 USD/Colaborador, además de recuperar dicha inversión.

Para finalizar, el AIU refleja los costos indirectos de la integración de la EEDD que está dispuesto a asumir el AP, con el objeto de garantizar la implementación del esquema de coordinación del inventario conjunto sostenible. Por otro lado, el porcentaje del AIU nunca es menor al 10% del valor total de la inversión requerida para la integración de la EEDD, y es un rubro variable según la complejidad de la alternativa de inversión, el cual es un indicador indispensable para conocer la aversión al riesgo y la seguridad que tiene el AP de ejecutar e iniciar la política de inventarios colaborativa diseñada. En suma, se encontró que la puesta en marcha de la política de gestión del inventario conjunto, valuada para los interesados en la integración de la EEDD líder del sector de las autopartes de la ciudad de Bogotá D.C, posee un riesgo moderado del 10.49% para el AP.

REFERENCIAS

- [1] M. Albrecht, Supply chain coordination mechanisms: New approaches for collaborative planning. Berlin-Heidelberg, Germany: Springer Science & Business Media, 2010, pp. 35-62.
- [2] M. Barrios-León, "Efectos del desgaste laboral, como riesgo psicosocial, en la productividad", [Tesis Doctoral], Dpto. Ing. Industrial, Ing., UC, Valencia (Venezuela), 2014.
- [3] E.W. Davis and R.E. Spekman, The Extended Enterprise: Gaining Competitive advantage through collaborative supply chains. New York, USA: FT Press, 2004, pp. 3-28.
- [4] C. González y J.A. Barrios, Análisis discreto en Economía y Empresa. Madrid, España: Editorial AC, 2000, pp. 76-134.
- [5] H.W. Hendrick & B.M. Kleiner, Macroergonomics: Theory, Methods and Applications. Mahwah, New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers, 2002, pp. 25-96.
- [6] K. Kempf et al., Planning production and inventories in the extended enterprise: a state of the art handbook (Vol. 1). New York, USA: Springer Science & Business Media, 2011, pp. 233-268.
- [7] L.A. Metzler, (1941, Aug.). The nature and stability of inventory cycles. *The Review of Economics and Statistics*, 23(3), 113-129. DOI: <http://www.jstor.org/stable/1927555>
- [8] O. Palacio-León, M. Barrios-León, y W. Adarme-Jaimes, "Modelo de coordinación de inventarios colaborativos soportado en criterios de productividad saludable", IV-CIIO. Medellín, 2017, 10p.
- [9] O. Palacio-León, "Equilibrado y diseño de líneas de ensamble mixtas orientados por criterios de productividad saludable", working paper, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial, Universidad Militar Nueva Granada-Sede Bogotá, 2017, 20p.
- [10] O. Palacio-León & W. Adarme-Jaimes, La higiene industrial como elemento de diseño de centros de distribución de mercancías urbanas. *Cuadernos de Ingeniería: Innovación y tecnología de vanguardia*, Vol. 1, 2015, pp. 118-129.
- [11] O. Palacio-León, "Propuesta metodológica para el diseño y operación de instalaciones de almacenamiento modulares ecoeficientes para productos no perecederos", [Tesis Maestría], Dpto. Ing. de Sistemas e Industrial, Facultad de Ingeniería, Universi-

- dad Nacional de Colombia, Bogotá D.C (Colombia), 2012.
- [12] T.L. Smith-Jackson, M.L. Resnick, & K.T. Johnson, Cultural Ergonomics: Theory, methods, and applications. Boca Raton, USA: CRC Press, 2014, pp. 187-206.
- [13] R.J. Trent, Gerencia estratégica de suministros: diseñe su propia fuente de ventaja competitiva. Traductor María Teresa Aparicio, Bogotá, Colombia: Panamericana Editorial, 2018, pp. 120-160.
- [14] G. Villalobos, A.M. Vargas, J. Escobar, M.L. Jiménez, & M.A. Rondón, Batería de instrumentos para la evaluación de factores de riesgo psicosocial. Bogotá D.C, Colombia, Ministerio de la Protección Social, 2010, 99p.
- [15] W.K. Viscusi, (2004, January). The value of life: estimates with risks by occupation and industry. *Economic Inquiry*, 42(1), 29-48. DOI: <https://doi.org/10.1093/ei/cbh042>.
- [16] J. Wieland, *Creating Shared Value—Concepts, Experience, Criticism*. Friedrichshafen-Württemberg, Germany: Springer, 2017, pp. 6-77.

CRITERIOS GENERALES PARA LA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS REVISTA INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA, SECCIONAL SOGAMOSO

La Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo I2+D, es una publicación que se edita semestralmente y maneja una convocatoria permanente, financiada por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Seccional Sogamoso -Boyacá, Colombia, creada en el año 2005. Tiene como misión publicar y divulgar artículos científicos, productos de una investigación, en todos los campos de la ingeniería y tecnología: Industrial, electrónica y comunicaciones, ciencias de la tierra, sistemas y computación, ingeniería de los materiales, ingeniería electromecánica, Ambiental, transporte y vías, y otras afines.

Ingeniería, Investigación y Desarrollo invita a toda la comunidad académica e investigativa de instituciones públicas y privadas, regionales, nacionales e internacionales, tales como investigadores, grupos y semilleros de investigación, docentes, estudiantes, directivos de ingeniería y demás interesados en temáticas relacionadas con las diferentes áreas de la Ingeniería, para que presenten sus contribuciones y trabajos inéditos, en español o inglés. Podrán publicarse artículos originales, de investigación y/o innovación tecnológica.

Los artículos sometidos serán evaluados previamente por el comité editorial, y por pares evaluadores externos o internos antes de su publicación, que se reservan el derecho de decidir sobre su publicación. Los pares revisores emitirán un concepto sobre el contenido del artículo desde la calidad y el rigor científico, en el formato de evaluación establecido por la revista. Las observaciones y sugerencias manifestadas por los evaluadores serán enviadas a los autores para que realicen los respectivos ajustes, con el fin de decidir si el artículo cumple con las condiciones para ser publicable o no. La Revista siempre utilizará el sistema de “par doble ciego” En este proceso se da un espacio de correspondencia entre el editor y los autores para los ajustes necesarios. Los tiempos de publicación de un artículo dependerán en gran medida de la oportuna respuesta que los autores den a cada requerimiento del editor, los trabajos enviados a “Ingeniería, Investigación y Desarrollo” no podrán ser sometidos simultáneamente a evaluación por otro medio de publicación. La aceptación de un artículo por parte del comité editorial, no implica que vaya a ser publicado, el contenido de los trabajos es responsabilidad exclusiva de sus autores. No se devolverán los originales de los trabajos.

Todos los artículos deben matricularse en la plataforma OJS, accesible desde el sitio web www.uptc.edu.co/enlaces/ringinedesa, junto con la carta de presentación, firmada por los autores, para realizar el proceso de matrícula del manuscrito el autor debe compilar previamente un formulario de registro, escogiendo la opción de autor, donde le será asignado un usuario y contraseña para que pueda realizar el envío del documento. Por medio de este mismo enlace podrá ser consultada y descargada la plantilla de presentación de artículos y el modelo de la carta de cesión de derechos de autores estipulado por la revista.

Extensión del artículo:

Los artículos se presentan en hojas tamaño carta con márgenes superior: 3 cm, derecho: 2 cm, izquierdo: 3 cm e inferior: 2 cm, a espacio sencillo, doble columna, letra calibri y un contenido de máximo 10 páginas.

Estructura:

Secciones: título, resumen, palabras clave, introducción, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, agradecimiento (si procede) y referencias. Para las tres primeras secciones se requiere, además, su traducción al inglés (title, abstract and keywords), que se colocará inmediatamente debajo de la versión en español.

Título: se sugiere no exceder de 15 palabras.

Resumen: máximo 250 palabras, el propósito del trabajo, los métodos empleados, resultados más significativos y conclusiones más importantes. Se redactará en un solo párrafo, en tiempo presente y modo impersonal. No incluirá abreviaturas, siglas, citas bibliográficas ni referencias a tablas o figuras.

Palabras clave: en orden alfabético, 4 o 5 términos relacionados con el contenido del artículo.

Introducción: tratará el tema específico del trabajo e informará sobre el propósito, importancia, aplicación práctica de la investigación y conocimiento actual del tema.

Materiales y métodos: proveerá suficiente información para que el experimento pueda repetirse bajo las mismas condiciones. Cuando los métodos, técnicas y procedimientos empleados sean muy conocidos, bastará con mencionarlos. Si se modifica un método de otro investigador deberá aportarse la cita y explicar detalladamente la modificación; pero si el método es nuevo, se describirá en detalle. Cuando se trate de investigaciones de campo, deberán aparecer las características del área de estudio y del muestreo.

Resultados: se expondrán mediante texto, figuras, tablas, cuidando no repetir una misma información en más de una forma, en esta sección se deben presentar los resultados hallados en la investigación.

Discusión: se explicarán los datos experimentales y se compararán con los resultados obtenidos por otros investigadores.

Las secciones de Resultados y Discusión podrán presentarse de forma independiente o combinada, según preferencia del autor.

Agradecimientos: será el lugar para reconocer la ayuda de personas e instituciones que aportaron significativamente al desarrollo de la investigación.

Referencias: Las referencias bibliográficas y citas, deben atender al estilo IEEE, se registrarán solamente los trabajos citados en el texto, que deberán tener un nivel adecuado de actualización, las referencias deben hacerse por orden de aparición en el artículo. Téngase en cuenta que la actualidad de las referencias es un elemento de gran peso en la evaluación de la calidad de los artículos, se debe adicionar el DOI a las referencias bibliográficas que lo tengan.

Para obtener la plantilla de presentación de artículos, por favor diríjase al correo: revistaid@uptc.edu.co o al enlace: www.uptc.edu.co/enlaces/ringinvedesa, a la sección Acerca de.

ÍNDICE DE AUTORES

Vol. 15 N° 1 (Enero-Junio 2015) - Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018)

Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo I²+D.

A

ABRIL GONZÁLEZ, NEBARDO ARTURO

Evaluación de amenazas por movimientos en masa causados en Jericó Boyacá, durante el periodo invernal de 2011. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 6-14

Modelamiento físico a escala de pilotes individuales, de cabeza libre, sometidos a carga lateral en suelos cohesivos. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 73-82.

ADARME JAIMES, WILSON

Modelo de Coordinación de Inventarios Colaborativos Soportado en un Enfoque Sociotécnico de Sistemas. Vol.18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp. 65-72.

AGUIRRE CARDENAS, ANGIE DANIELA

Influencia del fenómeno de oscilación cuasi-bienal en las afluencias del sistema sur de abastecimiento de Bogotá. Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp. 16-24

ALMANZA VELASCO, SEBASTIAN

Influencia del fenómeno de oscilación cuasi-bienal en las afluencias del sistema sur de abastecimiento de Bogotá. Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp. 16-24

ALONSO GONZÁLEZ, JOSÉ FRANCISCO

Diseño de un banco para la determinación práctica del coeficiente de válvulas norma VDI/VDE 2173. Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp.5-15.

AMAYA REYES, EDWIN GILBERTO

Evaluación de amenazas por movimientos en masa causados en Jericó Boyacá, durante el periodo invernal de 2011. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 6-14

ANGARITA CEDIEL, FRANCISCO

Amplificador operacional de transconductancia con alto rango modo común y bajo consumo de potencia. Vol 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 74-79.

ANGARITA MALAVER, EDISON FERNEY

El amplificador de potencia Doherty con etapa de pre-amplificación. Vol 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 42-46.

Amplificadores de potencia para aplicaciones de microondas basados en dispositivos GaN. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 22-26

ARAÚJO SEGURA, RICARDO

Diseño de un banco para la determinación práctica del coeficiente de válvulas norma VDI/VDE 2173. . Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp.5-15.

ARGUMEDO, CARLOS DORIA

Caracterización química de material particulado Pm10 en la atmosfera de Rioacha- La Guajira Colombia. Vol. 17 N° 1 (Enero-Junio 2017); pp. 5-16

ARIAS HERNÁNDEZ, JESÚS DANIEL

Desarrollo de aplicaciones en python para el aprendizaje de física computacional. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 74-84.

ARRIETA FUENTES, ÁLVARO JAVIER

Dispersión de material particulado (PM10), con Interrelación de factores meteorológicos y topográficos. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 39-50

B

BARRIOS URUEÑA, EDGAR

Control multivariable lineal con desacoples en un intercambiador de calor. Vol. 1 N° (Enero-Junio 2017); pp. 17-25.

BARRIOS LEÓN, MARIANNA

Modelo de Coordinación de Inventarios Colaborativos Soportado en un Enfoque Sociotécnico de Sistemas. Vol.18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp. 65-72.

BECERRA, YEIMY LISETH

Propuesta metodológica para la definición de estrategias de mejoramiento en logística de pymes. Vol. 15 N° 1 (Enero-Junio 2015); pp. 48-57.

BOCANEGRA GARCÍA, JOSÉ JOAQUÍN

El uso de los videojuegos como herramienta didáctica para mejorar la enseñanza-aprendizaje: una revisión del estado del arte. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 36-46.

Uso de herramientas tecnológicas en la producción piscícola: Una revisión sistemática de literatura. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp.47-56.

C

CALDERÓN MORENO, ROGER

Mapeo de objetos a través de un motor de datos NOSQL, caso de estudio: framework para desarrollo de aplicaciones web. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 63-73.

CAMPO ESCUDERO, LUIS

Diseño de un banco para la determinación práctica del coeficiente de válvulas norma VDI/VDE 2173. . Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp.5-15.

CÁRDENAS, MARISOL VALENCIA

Inventory model using bayesian dynamic linear model for demand forecasting. Vol. 15 N° 1 (Enero-Junio 2015); pp. 39-47.

CÁRDENAS AGUIRRE, DIANA MARÍA

¿Qué ha pasado con la aplicación del estudio de tiempos y movimientos en las últimas dos décadas?: revisión de la literatura. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 12-27.

CÁRDENAS, LEYDI JULIETA

Sistema de posicionamiento de una antorcha utilizada en la aplicación de recubrimientos por proyección térmica. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 51-61.

CARREÑO SAYAGO, URIEL FERNANDO

Tratamientos de aguas industriales con metales pesados a través de zeolitas y sistemas de biorremediación . Revisión del estado de la cuestión. Vol. 15 N° 1 (Enero-Junio 2015); pp. 70-78.

CARVAJAL FERNÁNDEZ, LINA CONSUELO

Estandarización del proceso de fundición para arenas con resinas autofraguantes en la industria militar fábrica Santa Bárbara. Vol. 15 N° 1 (Enero-Junio 2015); pp. 13-19.

CASTELLANOS CASAS, JUAN SEBASTIAN

Diseño de una óptica de red pasiva bidireccional con particionamiento espectral de una fuente de banda ancha, Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp. 25-33.

CASTRO GALEANO, JUAN CARLOS

Prueba de rigidez dieléctrica a elementos de protección para trabajos con tensión TCT. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 83-92.

CARDENAS GAMBOA, CHRISTIAN CAMILO

Prototipo de monitoreo y alarma para la detección de heladas blancas en sectores rurales de Sogamoso. Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp. 57-64.

CORMANE TAMAYO, FERNANDO MIGUEL

Estudio geoespeleológico de la caverna del cerro Ecce Homo en el municipio de Chimichagua, Cesar. Vol. 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 6-14.

CORREA MORALES, JUAN CARLOS

Inventory model using bayesian dynamic linear model for demand forecasting. Vol. 15 N° 1 (Enero-Junio 2015); pp. 39-47.

CORREDOR LÓPEZ, LUISA FERNANDA

Análisis del comportamiento del impuesto a las ventas con la implementación del impuesto nacional al consumo. Vol. 15 N° 1 (Enero-Junio 2015); pp. 7-12.

CRUZ MEDINA, FANNY LILIANA

Sistema de gestión ISO 9001-2015: técnicas y herramientas de ingeniería de calidad para su implementación. Vol. 17 N° 1 (Enero-Junio 2017); pp. 59-69.

CUEVAS CARRERO, WILLIAM ALEXANDER

El amplificador de potencia Doherty con etapa de pre-amplificación. Vol. 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 42-46. Amplificadores de potencia para aplicaciones de microondas basados en dispositivos GaN. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 22-26

D

DÍAZ SERNA, FRANCISCO JAVIER

Inventory model using bayesian dynamic linear model for demand forecasting. Vol. 15 N° 1 (Enero-Junio 2015); pp. 39-47.

DÍAZ LAGOS, MERCEDES

Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2016); pp. 66-77. Evolución de fases magnéticas presentes en arcillas de Boyacá sometidas a altas temperaturas. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 84-93.

DUARTE PINILLA, NATALIA ANDREA

Justificación de una propuesta regulatoria para radiodifusión sonora y transmóviles en las fronteras colombianas. Vol. 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 31-41.

E

ESPITÍA FLÓREZ, HELBERTH YESID

Prototipo de silla de ruedas comandada por voz empleando HMM en un ambiente controlado. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 26-38.

F

FAGUNDO CASTILLO, JUAN REYNERIO

Caracterización química de material particulado Pm10 en la atmosfera de Rioacha- La Guajira Colombia. Vol. 17 N° 1 (Enero-Junio 2017); pp. 5-16.

FONSECA PERALTA, HÉCTOR ANTONIO

Evaluación de amenazas por movimientos en masa causados en Jericó Boyacá, durante el periodo invernal de 2011. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 6-14.

FUENTES MOJICA, JUAN DAVID

Sistema de posicionamiento de una antorcha utilizada en la aplicación de recubrimientos por proyección térmica. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 51-61.

G

GALVIS BOTÍA, DIANA ROCÍO

Análisis de los factores que inciden en la desestabilización de las columnas de la catedral de sal en Zipaquirá, Cundinamarca. Vol. 15 N° 1 (Julio-Diciembre 2015); pp. 20-38.

GÓMEZ NEITA, JUAN SEBASTIÁN

Aportes a la determinación de paleoambientes, carbones del Sinclinal Checua-Lenguazaque. Colombia. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 28-38.

GÓMEZ ORTIZ, HÉCTOR IVÁN

Amplificador operacional de transconductancia con alto rango modo común y bajo consumo de potencia. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 74-79.

GONZÁLEZ, EDGAR E.

Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 66-77.

GRANDAS RINCÓN, ISNARDO ANTONIO

Caracterización morfológica y estructural del cascarón cerámico desecho del proceso de microfundición en fasab Sogamoso. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 15-21.

H

HACAR, FERNANDO

Túneles con paramentos rugosos y con cavidades. Vol. 15 N° 1 (Julio-Diciembre 2015); pp. 58-69

HEARD WADE, CHRISTOPHER L.

Desarrollo de una aplicación para el cálculo de las propiedades de la mezcla amoniaco-agua. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 58-72.

HIGUERA MARTÍNEZ, OSCAR IVÁN

Controlador robusto LMI para un helicóptero de dos grados de libertad. Vol. 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 47-57. Prototipo de silla de ruedas comandada por voz empleando HMM en un ambiente controlado. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 26-38. Deserción estudiantil en Colombia y los programas de ingeniería de la UPTC, seccional Sogamoso. Vol. 17 N° 1 (Enero-Junio 2017); pp. 69-75.

I

IVANOVA, YULIA

Influencia del fenómeno de oscilación cuasi-bienal en las afluencias del sistema sur de abastecimiento de Bogotá. Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp. 16-24

J

JEREZ JAIMES, JAVIER HERNANDO

Nuevo registro de *Pseudocidaris* spp. (Echinoidea: Hemicidaridae) del cretácico inferior (Valanginiano-Hauteriviano) de Zapatoca (Santander, Colombia). Vol. 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 25-30

JIMÉNEZ LÓPEZ, ANDRÉS FERNANDO

Desarrollo de aplicaciones en python para el aprendizaje de física computacional. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 74-84.

JIMENEZ SANCHEZ, JUAN DAVID

Pulsos y probabilidad de ocurrencia de inundación de la laguna de Fúquene. Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp.46 -56.

JOJOA MUÑOZ, JAIME WILLIAM

Análisis de los factores que inciden en la desestabilización de las columnas de la catedral de sal en Zipaquirá, Cundinamarca. Vol. 15 N° 1 (Julio-Diciembre 2015); pp. 20-38.

JÖNSSON, JIMMY

Túneles con paramentos rugosos y con cavidades. Vol. 15 N° 1 (Julio-Diciembre 2015); pp. 58-69.

L

LARA GONZÁLEZ, LUIS ÁNGEL

Caracterización morfológica y estructural del cascarón cerámico desecho del proceso de microfundición en fasab Sogamoso. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 15-21.

LASCARRO NAVARRO, FRANK DAVID

Estudio geoespeleológico de la caverna del cerro Ecce Homo en el municipio de Chimichagua, Cesar. Vol. 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 6-14

LEDEZMA RÍOS, JAVIER ANDRÉS

Tecnología aplicada en el funcionamiento y la detección de minas antipersonales: estado del arte. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 23-35.

LÓPEZ CARRASQUILLA, MAYRA DAYANA

Aportes a la determinación de paleoambientes, carbones del Sinclinal Checua-Lenguazaque. Colombia. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 28-38.

LÓPEZ SÁNCHEZ, WILSON RICARDO

Reconfigurable architecture based on fiber bragg gratings for convergent optical indoor networks. Vol. 16 N° 1 (Enero - Junio 2016); pp. 55-62.

LÓPEZ DÍAZ, ANDREA DEL PILAR

Sistema de gestión ISO 9001-2015: técnicas y herramientas de ingeniería de calidad para su implementación. Vol. 17 N° 1 (Enero-Junio 2017); pp. 59-69.

LL

LLANO RUÍZ, HUMBERTO

El uso de los videojuegos como herramienta didáctica para mejorar la enseñanza-aprendizaje: una revision del estado del arte. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 36-46.

M

MALPICA LOPÉZ, MAGALLY JHOANNA

El uso de los videojuegos como herramienta didáctica para mejorar la enseñanza-aprendizaje: una revision del estado del arte. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 36-46.

MANOSALVA SÁNCHEZ, SANDRA ROCIO

Aportes a la determinación de paleoambientes, carbones del Sinclinal Checua-Lenguazaque. Colombia. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp.28-38.

MARTÍNEZ FLÓREZ, GUILLERMO

Comparación de estimadores no paramétricos frente a los paramétricos para la función de confiabilidad. Vol. 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 15-24

MARTÍNEZ BAQUERO, JAVIER EDUARDO

Diseño de un controlador de intensidad luminosa para una máquina de insolación. Vol. 17 N° 1 (Enero-Junio 2017); pp. 26-36.

MARTÍNEZ OVALLE, SEGUNDO AGUSTÍN

Evolución de fases magnéticas presentes en arcillas de Boyacá sometidas a altas temperaturas. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp.84-93.

MARTINEZ CORA, PATRICIA

Brechas emergentes en el uso de Internet: un frente de acción a la zaga en Colombia. Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp. 34-45.

MÉNDEZ MEDINA, DIEGO

Prototipo de silla de ruedas comandada por voz empleando HMM en un ambiente controlado. Vol. 16 N° 2 (Enero-Junio 2016); pp. 26-38.

MORENO RUBIO, JORGE JULIÁN

El amplificador de potencia Doherty con etapa de pre-amplificación. Vol. 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 42-46.
Amplificadores de potencia para aplicaciones de microondas basados en dispositivos GaN. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 22-26.

MORALES SUAREZ, LUIS E.

Diseño de un controlador de intensidad luminosa para una máquina de insolación. Vol. 17 N° 1 (Enero-Junio 2017); pp. 26-36.

MORENO TÉLLEZ, CARLOS MAURICIO

Sistema de posicionamiento de una antorcha utilizada en la aplicación de recubrimientos por proyección térmica. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp.51-61.

N

NARANJO MERCHÁN, WILSON ENARIO

Aportes a la determinación de paleoambientes, carbones del Sinclinal Checua-Lenguazaque. Colombia. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 28-38.

NEIRA TRIANA, CARLOS ANDRÉS

Amplificador operacional de transconductancia con alto rango modo común y bajo consumo de potencia. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 74-79.

Ñ

ÑUSTES, WISTON

Colombia: Territorio de inversión en fuentes no convencionales de energía renovable para la generación eléctrica. Vol. 17 N° 1 (Enero-Junio 2017); pp. 37-48.

O

OCAMPO VELEZ, PABLO CESAR

Cadena de abastecimiento verde en empresa textil colombiana. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 85-92.

ORTIZ CARRERA, MARCO FIDEL

El uso de los videojuegos como herramienta didáctica para mejorar la enseñanza-aprendizaje: una revisión del estado del arte. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 36-46.

OSMA DUARTE, ALVARO SERGIO

Nuevo registro de *Pseudocidaris* spp. (Echinoidea: Hemicidaridae) del cretácico inferior (Valanginiano-Hauteriviano) de Zapatoca (Santander, Colombia). Vol. 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 25-30

OVALLE CASTIBLANCO, ALEX MAURICIO

¿Qué ha pasado con la aplicación del estudio de tiempos y movimientos en las últimas dos décadas?: revisión de la literatura. Vol.16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 12-27.

P

PALACIO LEÓN, OSCAR

Modelo de Coordinación de Inventarios Colaborativos Soportado en un Enfoque Sociotécnico de Sistemas. Vol.18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp. 65-72.

PARRADO S., ELÍAS

Diseño de un controlador de intensidad luminosa para una máquina de insolación. Vol. 17 N° 1 (Enero-Junio 2017); pp. 26-36.

PAREDES ROA, RICARDO ALFONSO

Caracterización morfológica y estructural del cascarón cerámico desecho del proceso de microfundición en fasab Sogamoso. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 15-21.

PATIÑO DUQUE, HERNÁN DARÍO

Análisis exergético de una planta de cogeneración operando bajo ciclo combinado. Vol. 17 N° 1 (Enero-Junio 2017); pp. 49-58.

PAZ PENAGOS, HERNÁN

Justificación de una propuesta regulatoria para radiodifusión sonora y transmóviles en las fronteras colombianas. Vol. 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 31-41.

PINTO SALAMANCA, MARÍA LUISA

Sistema de posicionamiento de una antorcha utilizada en la aplicación de recubrimientos por proyección térmica. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 51-61.

PINTO SALAMANCA, CARLOS EDUARDO

Prueba de rigidez dieléctrica a elementos de protección para trabajos con tensión TCT. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 83-92.

PEÑARANDA, NYDIA GENITH

Análisis de los factores que inciden en la desestabilización de las columnas de la catedral de sal en Zipaquirá, Cundinamarca. Vol. 15 N° 1 (Julio-Diciembre 2015); pp. 20-38.

PEREZ ZAPATA, JAIME

Identificación y cuantificación del potencial de energía undimotriz en la costa del departamento del Atlántico, Colombia. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 93-102.

PORRAS CASTRO, HERNÁN OSWALDO

Desarrollo de aplicaciones en python para el aprendizaje de física computacional. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 74-84.

PRADA OSPINA, RICARDO PABLO

Cadena de abastecimiento verde en empresa textil colombiana. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 85-92.

PUNTES PÉREZ, JOAN SEBASTIÁN

Nuevo registro de Pseudocidaris spp. (Echinoidea: Hemicidaridae) del cretácico inferior (Valanginiano-Hauteriviano) de Zapatoaca (Santander, Colombia). Vol. 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 25-30.

PUERTO LEGUIZAMÓN, GUSTAVO

Reconfigurable architecture based on fiber bragg gratings for convergent optical indoor networks. Vol. 16 N° 1 (Enero - Junio 2016); pp. 55-62.

Diseño de una óptica de red pasiva bidireccional con particionamiento espectral de una fuente de banda ancha, Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp. 25-33.

Q

QUEVEDO, ÁLVARO URIBE

Audio effects on haptics perception during drilling simulation. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp.6-15.

QUINTERO GONZÁLEZ, JULIÁN RODRIGO

Sistemas de producción y potencial energético de la energía mareomotriz. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 40-47

QUINTERO GONZÁLEZ, LAURA ESTEFANÍA

Sistemas de producción y potencial energético de la energía mareomotriz. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 40-47.

R

RAMÍREZ MONTOYA, JAVIER

Comparación de estimadores no paramétricos frente a los paramétricos para la función de confiabilidad. Vol. 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 15-24

RESTREPO BURGOS, NORMA

Amplificadores de potencia para aplicaciones de microondas basados en dispositivos GaN. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 22-26.

REYES, YULIETH C.

Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2016); pp.66-77.

ROLDAN MCKINLEY, JAVIER

Diseño de un banco para la determinación práctica del coeficiente de válvulas norma VDI/VDE 2173. . Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp.5-15.

RICARDO BARRERA, JAIME FREDDY

Control multivariable lineal con desacoples en un intercambiador de calor. Vol 1 N° (Enero-Junio 2017); pp. 17-25.

RIVERA RODRIGUEZ, SERGIO RAÚL

Colombia: Territorio de inversión en fuentes no convencionales de energía renovable para la generación eléctrica. Vol. 17 N° 1 (Enero-Junio 2017); pp. 37-48.

Potencial en el uso de la consulta de patentes para determinar el estado de la técnica. Análisis en microredes con energías renovables. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp.16-22.

ROA BOHÓRQUEZ, KAROL LIZETH

Caracterización morfológica y estructural del cascarón cerámico desecho del proceso de microfundición en fasab Sogamoso. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 15-21.

RODRÍGUEZ, JULIÁN LEONARDO

Amplificadores de potencia para aplicaciones de microondas basados en dispositivos GaN. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 22-26.

ROJAS MARTÍNEZ, ELÍAS ERNESTO

Estudio geoespeleológico de la caverna del cerro Ecce Homo en el municipio de Chimichagua, Cesar. Vol. 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 6-14

ROJAS MOLINA, LYNDIA YANETH

Uso de herramientas tecnológicas en la producción piscícola: Una revisión sistemática de literatura. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 47-56.

ROJAS PIÑA, CARLOS SEBASTIÁN

Diseño de una óptica de red pasiva bidireccional con particionamiento espectral de una fuente de banda ancha, Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp. 25-33.

ROMERO MOLANO, CESAR AUGUSTO

Monitorización web de señales industriales usando sistemas embebidos. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 48-54.

RONCANCIO ORTIZ ANGIE PAOLA

El uso de los videojuegos como herramienta didáctica para mejorar la enseñanza-aprendizaje: una revisión del estado del arte. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 36-46.

ROSETO CORAL, BRAYAN DARÍO

Análisis exergético de una planta de cogeneración operando bajo ciclo combinado. Vol. 17 N° 1 (Enero-Junio 2017); pp. 49-58.

RUGE GUERRERO, OSCAR ORLANDO

Evolución de fases magnéticas presentes en arcillas de Boyacá sometidas a altas temperaturas. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 84-93.

RUÍZ CÁRDENAS, CONSUELO

Sistema de gestión ISO 9001-2015: técnicas y herramientas de ingeniería de calidad para su implementación. Vol. 17 N° 1 (Enero-Junio 2017); pp. 59-69.

S

SALAMANCA, JUAN MAURICIO

Controlador robusto LMI para un helicóptero de dos grados de libertad. Vol. 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 47-57.
Amplificadores de potencia para aplicaciones de microondas basados en dispositivos GaN. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 22-26

SALAMANCA FIGUEROA, FABIÁN ANDRÉS

Prototipo de monitoreo y alarma para la detección de heladas blancas en sectores rurales de Sogamoso. Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp. 57-64.

SALAMANCA MEDINA, EDGAR LEONARDO

Modelamiento físico a escala de pilotes individuales, de cabeza libre, sometidos a carga lateral en suelos cohesivos. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 73-82.

SANCHEZ ORTÍZ, NELSON

Potencial en el uso de la consulta de patentes para determinar el estado de la técnica. Análisis en microredes con energías renovables. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 16-22.

SELEEY, DANIEL ARENAS

Mapeo de objetos a través de un motor de datos NOSQL, caso de estudio: framework para desarrollo de aplicaciones web. Vol. 16 N° 1 (Enero-Junio 2016); pp. 63-73.

SUÁREZ DÍAZ, LAURA MELISA

Estandarización del proceso de fundición para arenas con resinas autofraguantes en la industria militar fábrica Santa Bárbara. Vol. 15 N° 1 (Enero-Junio 2015); pp. 13-19.

SUÁREZ FAJARDO, CARLOS ARTURO

Reconfigurable architecture based on fiber bragg gratings for convergent optical indoor networks. Vol. 16 N° 1 (Enero - Junio 2016); pp. 55-62.

SUARÉZ RODRIGUEZ, WILLMAR ARBEY,

Prototipo de monitoreo y alarma para la detección de heladas blancas en sectores rurales de Sogamoso. Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp. 57-64.

T

TINJACÁ SOLER, JONATHAN JAVIER

El amplificador de potencia Doherty con etapa de pre-amplificación. Vol. 15 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp. 42-46.

TIQUE PINTO, VICTOR HUGO

Uso de herramientas tecnológicas en la producción piscícola: Una revisión sistemática de literatura. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 47-56.

TORRES BARAHONA, EDGAR ABSALÓN

Sistema de posicionamiento de una antorcha utilizada en la aplicación de recubrimientos por proyección térmica. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2015); pp.51-61.

TORRES, OMAR E.

Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2016); pp.66-77.

V

VALBUENA, YAIR

Audio effects on haptics perception during drilling simulation. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 6-15.

VALENCIA ZULUAGA, TOMÁS

Potencial en el uso de la consulta de patentes para determinar el estado de la técnica. Análisis en microredes con energías renovables. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 16-22.

VERA ROMERO, IVÁN

Desarrollo de una aplicación para el cálculo de las propiedades de la mezcla amoniaco-agua. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 58-72.

VELAZCO VIVAS, ALEXANDRA

Audio effects on haptics perception during drilling simulation. Vol. 17 N° 2 (Julio-Diciembre 2017); pp. 6-15

VERGARA, INÉS

Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Vol. 16 N° 2 (Julio-Diciembre 2016); pp. 66-77.

VIGNE, GABRIELE

Túneles con paramentos rugosos y con cavidades. Vol. 15 N° 1 (Julio-Diciembre 2015); pp. 58-69.

VILLAMIZAR MARTIN, JIMMY

Pulsos y probabilidad de ocurrencia de inundación de la laguna de Fúquene. Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp.46 -56.

Z

ZAMBRANO MIRANDA CESAR ALEJANDO,

Diseño de un banco para la determinación práctica del coeficiente de válvulas norma VDI/VDE 2173. . Vol. 18 N°1 (Enero-Junio 2018); pp.5-15.

ZAMUDIO HUERTAS, EDUARDO

Pulsos y probabilidad de ocurrencia de inundación de la laguna de Fúquene. Vol. 18 N° 1 (Enero-Junio 2018); pp.46 -56.

REVISTA INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA SECCIONAL SOGAMOSO

SUSCRIPCIÓN / SUBSCRIPTIONS

Nombre/Name: _____ C.C. _____

Apellidos/Last Name: _____

Profesión/Profession: _____

Departamento académico/Academic department: _____

Dirección de Envío/Address: _____

Teléfono/Telephone Number : _____ ext _____ Fax: _____

Oficina/: _____

Ciudad/City: _____

País/Country: _____

Correo Electrónico/Email: _____

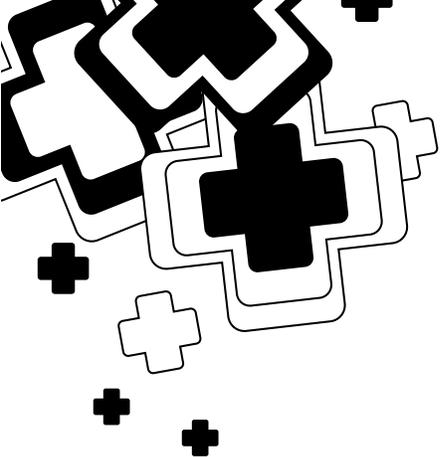
Suscripción a partir del número/ Subscription from number : _____

Firma: _____

Envíe este formato totalmente diligenciado a: revistaiid@uptc.edu.co; a vuelta de correo recibirá el ejemplar solicitado de la revista I²+D. La suscripción a la Revista I²+D es totalmente gratuita.

Correspondencia, Canje y Suscripciones

REVISTA INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO I²+D
Calle 4 Sur N° 15-134 Tels.: (57+8) 7705450, 770 6896, 770 7721 Ext. 2606
Uptc Sogamoso-Boyacá, Colombia
E-mail: revistaiid@uptc.edu.co
www.uptc.edu.co/enlaces/ringinvedesa
DOI: <http://dx.doi.org/10.19053/issn.1900-771X>



**ESCUELA DE FORMACIÓN POSGRADUADA
SECCIONAL SOGAMOSO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA
ÉNFASIS EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ÉNFASIS EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
SNIES 102444**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
SNIES 104702**

**MAESTRÍA EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO
ÉNFASIS EN HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL
SNIES 105095**

**MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN
ÉNFASIS EN INNOVACIÓN
ÉNFASIS EN GERENCIA DE PROYECTOS
SNIES 105707**



Uptc[®]

Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia

ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
DE ALTA CALIDAD
MULTICAMPUS

RESOLUCIÓN 3910 DE 2015 MEN / 6 AÑOS

POR LA ACADEMIA, LA CALIDAD
Y LA RESPONSABILIDAD SOCIAL
UNIVERSITARIA

Contacto

Facultad Seccional Sogamoso
Escuela de Formación Posgraduada
Calle 4 Sur No. 15-134 - Sogamoso, Boyacá
PBX: 7 40 56 26 Ext.:2614-2615 Fax: 7707547
posgrados.sogamoso@uptc.edu.co



**ESCUELA DE FORMACIÓN POSGRADUADA
SECCIONAL SOGAMOSO**

**ESPECIALIZACIÓN EN SEGURIDAD
Y SALUD EN EL TRABAJO
SNIES 105650**

**ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DEL TALENTO HUMANO
SNIES 7135**

**ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN Y AUDITORÍA TRIBUTARIA
SNIES 104414**

**ESPECIALIZACIÓN EN AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL
SNIES 6572**

**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN
Y OPERACIONES
SNIES 54914**

**ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
SNIES 4453**

**ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
SNIES 104190**

**ESPECIALIZACIÓN EN GEOTECNIA VIAL
SNIES 9235**

**ESPECIALIZACIÓN EN ECONOMÍA MINERA
SNIES 105129**



Uptc[®]
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia

ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL
DE ALTA CALIDAD
MULTICAMPUS
RESOLUCIÓN 3910 DE 2015 MEN / 6 AÑOS

POR LA ACADEMIA, LA CALIDAD
Y LA RESPONSABILIDAD SOCIAL
UNIVERSITARIA

Contacto
Facultad Seccional Sogamoso
Escuela de Formación Posgraduada
Calle 4 Sur No. 15-134 - Sogamoso, Boyacá
PBX: 7 40 56 26 Ext.:2614-2615 Fax: 7707547
posgrados.sogamoso@uptc.edu.co

