

## EDITORIAL

CÉSAR AUGUSTO GARCÍA UBAQUE  
DIRECTOR

## INVESTIGACIÓN

### Estructuras de decisión a partir del aprendizaje autorregulado en ambientes B- Learning

Decision structures from regulated learning B-Learning environments  
EILEN LORENA PÉREZ MONTERO, ERLINGTON SALCEDO BENAVIDES

### Diseño de una metodología de evaluación técnico-económica de nuevas tecnologías para la iluminación de espacios exteriores de uso peatonal

Design of a methodology for technical- economical evaluation of new technologies for lighting for pedestrian use  
GERARDO ANTONIO CARDOZO MÉNDEZ, LUIS ANTONIO NOGUERA VEGA

### Estudio experimental de potencias, factor de potencia y energía eléctrica en cargas industriales tomando como referencia la norma IEEE Std 1459-2010

Experimental study of powers, power factor and energy in industrial loads by reference to IEEE STD 1459-2010  
ALEXANDER DAZA URREGO, CLARA INÉS BURITICÁ ARBOLEDA, YAQUELINE GARZÓN RODRÍGUEZ

### Concepto de robot humanoide antropométrico para investigación en control

Anthropometric humanoid robot concept for research in control  
FREDY HERNÁN MARTÍNEZ SARMIENTO, EDUAR JACINTO GÓMEZ, DIEGO ALEXANDER ZÁRATE DÍAZ

### Using neural networks for face recognition in controlled environments

Uso de redes neuronales para el reconocimiento de rostros en ambientes controlados  
HOLMAN MONTIEL ARIZA, FERNANDO MARTÍNEZ SANTA, DIEGO ARMANDO GIRAL RAMÍREZ

### WEP, WPA and WPA2 encryption protocols vulnerability on wireless networks with Linux platform

Vulnerabilidad de protocolos de encriptación WEP, WPA y WPA2 en redes inalámbricas con plataforma Linux  
WILMER MÉNDEZ MORENO, DARIN JAIRO MOSQUERA PALACIOS, EDWIN RIVAS TRUJILLO

### Técnica para solución de recurrencias, usada en el análisis de la complejidad de algoritmos recursivos

Technique for recurrences solving, used in recursive algorithm complexity analysis  
LUIS EMILIO MONTENEGRO SALCEDO, LUZ DEICY ALVARADO NIETO

## ESTUDIO DE CASO

### Sistema de monitoreo para pacientes de alto riesgo integrando módulos GPS, GSM/GPRS y Zigbee

Monitoring system for high-risk patients integrating GPS, GSM/GPRS and Zigbee modules  
OLGUER SEBASTIÁN MORALES VALENZUELA, JULIÁN ROLANDO CAMARGO LÓPEZ, ELVIS EDUARDO GAONA GARCÍA

11 **Metodología para documentación 3D utilizando fotogrametría digital** 113

Methodology for 3D documentation using digital photogrammetry  
BADWIN AREVALO VERA, EDUAR BAYONA IBÁÑEZ, ISBELIA KARINA RINCÓN PARADA

15 **La computación ubicua: omnipresencia en los sistemas de información** 121

Pervasive computing: omnipresence in information systems  
CARLOS AUGUSTO SÁNCHEZ MARTELO

25 **Metodología para evaluar el factor confiabilidad en la gestión de proyectos de diseño de equipos industriales** 129

Methodology to assess the reliability factor in management of industrial equipment designing  
WILMER GUEVARA, ANDRÓNICO VALERA CÁRDENAS, JULY ANDREA GÓMEZ CAMPEROS

41 **Demostración y análisis del golpe de ariete por el método de los promedios aritméticos** 143

Demonstration and analysis of water hammer using the arithmetic means method  
FERNANDO GONZÁLEZ CASAS, EDUARDO ZAMUDIO HUERTAS, CÉSAR AUGUSTO GARCÍA UBAQUE

55 **Composición química de los aceites esenciales de *Cavendishia compacta* y *Cavendishia Guatapeensis* (Ericaceae)** 153

Chemical composition of the essential oils *Cavendishia compacta* and *Cavendishia Guatapeensis* (Ericaceae)  
WILLIAM FERNANDO CASTRILLÓN CARDONA, JAVIER ANDRÉS MATULEVICH PELÁEZ, LAURA XIMENA DÍAZ BARRERA, SORANLY PAOLA VASCO ZAMUDIO

67 **Un enfoque de buenas prácticas de gobierno corporativo de TI** 159

Model for implementation of IT corporate governance  
TORCOROMA VELÁSQUEZ PÉREZ, ANDRÉS MAURICIO PUENTES VELÁSQUEZ, YESICA MARÍA PÉREZ PÉREZ

79 **Tecnologías y sistemas de información como soporte al proceso de gestión del conocimiento** 171

Technology and information systems to support the process of knowledge management  
OMAIRA MANZANO DURÁN, YOLANDA GONZÁLEZ CASTRO, MARTA MILENA PEÑARANDA PEÑARANDA

## REFLEXIÓN

89 **El animal se está comiendo su cola. La génesis y evolución de un proyecto educativo de Educación Superior** 179

The animal is eating its tail. Genesis and evolution of a educational project in Higher education.  
DAVID NAVARRO MEJÍA

191 **Instrucciones para los autores** 198

Instructions for authors 207

SUSCRIPCIÓN 208

SIGN UP 208

Tecnura

ISSN 0123-921X  
Edición especial 2015  
Diciembre de 2015

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica

Revista Tecnura • Edición especial 2015 • Diciembre de 2015  
p-ISSN: 0123-921X • e-ISSN: 2248-7638 • Bogotá D.C. Colombia

# Tecnura

Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica

Diseño de una metodología de evaluación técnico-económica de nuevas tecnologías para la iluminación de espacios exteriores de uso peatonal

Using neural networks for recognition of faces in controlled environments

Técnica para solución de recurrencias, usadas en el análisis de la complejidad de algoritmos recursivos

Demostración y análisis del golpe de ariete por el método de los promedios aritméticos

ISSN 0123-921X



9 770123 921001



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

# **Tecnura**

Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica

Edición especial 2015  
Diciembre de 2015  
p-ISSN: 0123-921X  
e-ISSN: 2248-7638



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

**Revista *TECNURA***  
**Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento**  
**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**

p-ISSN: 0123-921X - e-ISSN: 2248-7638

**EDITOR**

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

**COMITÉ EDITORIAL**

Ph.D. Ing. Electo Eduardo Silva  
Universidad Federal de Itajuba, Brasil

Ph.D. Ing. Manuel Karim Sapag  
Universidad Nacional de San Luis, Argentina

Ph.D. Ing. José Antonio Velásquez Costa  
Universidad Ricardo Palma, Perú

Ph.D. Ing. Johan José Sánchez Mora  
Universidad Simón Bolívar, Venezuela

Ph.D. Ing. Mario Ricardo Arbulu Saavedra  
Universidad de La Sabana, Colombia

Ph.D. Ing. Edgar Francisco Vargas  
Universidad de Los Andes, Colombia

Ph.D. Ing. Jorge Mario Gómez  
Universidad de Los Andes, Colombia

Ph.D. Ing. Ingrid Patricia Páez Parra  
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D(c). Ing. César Augusto Hernández Suárez  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

**COMITÉ CIENTÍFICO**

Ph.D. Ing. Enrique Rodríguez de la Colina  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Alfonso Prieto Guerrero  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Fernando Martirena  
Universidad Central de Las Villas, Cuba

Ph.D. Ing. Juan Antonio Conesa  
Universidad de Alicante, España

Ph.D. Ing. Steven M. LaValle  
University of Illinois, Estados Unidos

Ph.D. Ing. Graciela Perera Olivares  
Youngstown University, Estados Unidos

Ph.D. Ing. Clara Inés Buriticá  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

**EVALUADORES**

Ph.D. Ing. Carlos Pastran Beltran  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. Enrique Alegre Gutiérrez  
Universidad de León, España

Ph.D. Ing. Francisco Escalera Valente  
Universidad de Nayarit, México

Ph.D. Ing. Joaquín Barreiro Garcia  
Universidad de León, España

M.Sc. Ing. Cristian Camilo Viasus Figueredo  
Universidad de los Andes, Colombia

M.Sc. Ing. Freddy Alexander Bernal  
Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

M.Sc. Ing. Harold Alberto Rodríguez  
Fundación Tecnológica Antonio De Arévalo, Colombia

M.Sc. Ing. Hender Labrador  
Universidad Católica del Táchira, Venezuela

M.Sc. Ing. Jhon Jairo Galvis  
Universidad de los Andes, Colombia

M.Sc. Ing. José David Cortes Torres  
Universidad Industrial de Santander, Colombia

M.Sc. Físico. Leonardo Castañeda Colorado  
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

M.Sc. Ing. Luis Eduardo Baquero Rey  
Fundación Universitaria los Libertadores, Colombia

**ASISTENTES DE LA REVISTA TECNURA**

M.Sc (c). Hans Raúl Márquez Ramos  
M.Sc (c). Diego Armando Giral Ramírez

**COORDINACIÓN EDITORIAL**

Diony Constanza Pulido Ortega  
Centro de investigaciones y desarrollo tecnológico - CIDC  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

# Tecnura

Edición especial 2015

Diciembre de 2015

## REVISTA *TECNURA*

La revista *Tecnura* es una publicación institucional de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de carácter científico-tecnológico, arbitrada mediante un proceso de revisión entre pares de doble ciego. La periodicidad de la conformación de sus comités Científico y Editorial está sujeta a la publicación de artículos en revistas indexadas internacionalmente por parte de sus respectivos miembros.

## PERIODICIDAD

Es una publicación de carácter científico-tecnológico con periodicidad trimestral, que se publica los meses de enero, abril, julio y octubre. Su primer número apareció en el segundo semestre del año 1997 y hasta la fecha ha mantenido su regularidad.

## COBERTURA TEMÁTICA

Las áreas temáticas de interés de la revista *Tecnura* están enfocadas a todos los campos de la ingeniería, como la electrónica, telecomunicaciones, electricidad, sistemas, industrial, mecánica, catastral, civil, ambiental, entre otras. Sin embargo, no se restringe únicamente a estas, también tienen cabida los temas de educación y salud, siempre y cuando estén relacionados con la ingeniería. La revista publicará únicamente artículos de investigación científica y tecnológica, de reflexión y de revisión.

## MISIÓN

La revista *Tecnura* tiene como misión divulgar resultados de proyectos de investigación realizados en el área de la ingeniería, a través de la publicación de artículos originales e inéditos, realizados por académicos y profesionales pertenecientes a instituciones nacionales o extranjeras del orden público o privado.

## PÚBLICO OBJETIVO

La revista *Tecnura* está dirigida a docentes, investigadores, estudiantes y profesionales interesados en la actualización permanente de sus conocimientos y el seguimiento de los procesos de investigación científico-tecnológica, en el campo de la ingeniería.

## INDEXACIÓN

*Tecnura* es una publicación de carácter académico indexada en el Índice Bibliográfico Nacional Publindex (IBN) de Colciencias (Colombia) en la categoría A2, en los índices regionales Scielo Colombia (Colombia) y Redalyc (México); además de las siguientes bases bibliográficas: INSPEC del Institution of Engineering and Technology (Inglaterra), Fuente Académica Premier de EBSCO (Estados Unidos), CABI (Inglaterra), IndexCorpernicus (Polonia), Informe Académico de Gale Cengage Learning (México), Periódica de la Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (España) y Dialnet de la Universidad de la Rioja (España); también hace parte de los siguientes directorios: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Latindex (México); Índice Bibliográfico Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (España), DOAJ (Suecia), Ulrich de Proquest (Estados Unidos).

## FORMA DE ADQUISICIÓN

La revista *Tecnura* se puede adquirir a través de compra, canje o suscripción.

## SUSCRIPCIÓN

El precio unitario de la revista es de 10000 pesos (el precio no incluye el valor del envío). La suscripción anual tiene un costo de 45000 pesos para Colombia, 40 USD para América Latina y el Caribe, 60 USD para otras regiones (el precio incluye el valor del envío). Para suscribirse utilice el formato ubicado al final de la revista.

## REPRODUCCIÓN

Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos de esta revista para uso académico o interno de las instituciones citando la fuente y el autor. Las ideas expresadas se publican bajo la exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial de la revista.

## DIRECCIÓN POSTAL

Enviar a Ing. Cesar Augusto García Ubaque, Ph.D. Director y Editor Revista *Tecnura*  
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305.  
Facultad Tecnológica  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Transversal 70B No. 73A - 35 sur  
Teléfono: 571 - 3238400, extensión: 5003  
Celular: 57 - 3153614852  
Bogotá, D.C., Colombia  
Correo electrónico: [tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)  
Tecnura en internet: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

## DISEÑO ORIGINAL

Julián Hernández - Taller de Diseño

## CORRECCIÓN DE ESTILO PARA ESPAÑOL

Fernando Carretero Padilla

## CORRECCIÓN DE ESTILO PARA INGLÉS

Francisco Suárez Díaz

## DIAGRAMACIÓN ELECTRÓNICA Y DISEÑO DE CUBIERTA

Julián Hernández - Taller de Diseño

## IMPRESIÓN

Imprenta Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Formato: 21.5 x 28 cm  
Papel: Bond 75g  
Fuente: Times New Roman  
Tiraje: 400 ejemplares



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

**Tecnura**  
**Technology And Culture, Affirming Knowledge**  
**District University Francisco José De Caldas**  
**Faculty Of Technology**

**EDITOR**

Ph.D. Ing. Cesar Augusto García Ubaque  
District Francisco José de Caldas University, Colombia

**EDITORIAL COMMITTEE**

Ph.D. Ing. Electo Eduardo Silva  
Universidad Federal de Itajuba, Brasil

Ph.D. Ing. Manuel Karim Sapag  
Universidad Nacional de San Luis, Argentina

Ph.D. Ing. José Antonio Velásquez Costa  
Universidad Ricardo Palma, Perú

Ph.D. Ing. Johan José Sánchez Mora  
Universidad Simón Bolívar, Venezuela

Ph.D. Ing. Mario Ricardo Arbulu Saavedra  
Universidad de la Sabana, Colombia

Ph.D. Ing. Edgar Francisco Vargas  
Universidad de los Andes, Colombia

Ph.D. Ing. Jorge Mario Gomez  
Universidad de los Andes, Colombia

Ph.D. Ing. Ingrid Patricia Páez Parra  
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Ph.D. Ing. Cesar Augusto García Ubaque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D (c). Ing. Cesar Augusto Hernández Suárez  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

**SCIENTIFIC COMMITTEE**

Ph.D. Ing. Enrique Rodríguez de la Colina  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Alfonso Prieto Guerrero  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Fernando Martirena  
Universidad Central de Las Villas, Cuba

Ph.D. Ing. Juan Antonio Conesa  
Universidad de Alicante, España

Ph.D. Ing. Steven M. LaValle  
University of Illinois, Estados Unidos

Ph.D. Ing. Graciela Perera Olivares  
Youngstown University, Estados Unidos

Ph.D. Ing. Clara Inés Buritica  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

**EVALUATORS**

Ph.D. Ing. Carlos Pastran Beltran  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. Enrique Alegre Gutiérrez  
Universidad de León, España

Ph.D. Ing. Francisco Escalera Valente  
Universidad de Nayarit, México

Ph.D. Ing. Joaquin Barreiro Garcia  
Universidad de León, España

M.Sc. Ing. Cristian Camilo Viasus Figueredo  
Universidad de los Andes, Colombia

M.Sc. Ing. Freddy Alexander Bernal  
Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

M.Sc. Ing. Harold Alberto Rodríguez  
Fundación Tecnológica Antonio De Arévalo, Colombia

M.Sc. Ing. Hender Labrador  
Universidad Católica del Táchira, Venezuela

M.Sc. Ing. Jhon Jairo Galvis  
Universidad de los Andes, Colombia

M.Sc. Ing. José David Cortes Torres  
Universidad Industrial de Santander, Colombia

M.Sc. Físico. Leonardo Castañeda Colorado  
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

M.Sc. Ing. Luis Eduardo Baquero Rey  
Fundación Universitaria los Libertadores, Colombia

**TECNURA JOURNAL ASSISTANTS**

M.Sc (c). Hans Raúl Márquez Ramos

M.Sc (c). Diego Armando Giral Ramírez

**EDITORIAL COORDINATION**

Diony Constanza Pulido Ortega

Centro de investigaciones y desarrollo tecnológico - CIDC  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

# Tecnura

Edición especial 2015

Diciembre de 2015

## TECNURA JOURNAL

Tecnura Journal is an institutional scientific-technological publication from the Faculty of Technology at District University Francisco José de Caldas, arbitrated by means of a double-blinded peer review process. The periodicity for its Scientific and Editorial committees line-up is subject to the publication of articles in internationally indexed magazines by its own members.

## PERIODICITY

Tecnura journal is a scientific-technological publication with quarterly periodicity, published in January, April, July and October. Its first edition appeared in the second term, 1997 and its editions have normally continued from that year and on.

## THEMATIC COVERAGE

The thematic areas of interest at Tecnura journal are focused on all fields of engineering such as electrical, telecommunications, electrical, computer, industrial, mechanical, cadastral, civil, environmental, etc. However, it is not restricted to those, there is also room for education and health topics as well, as long as they are related to engineering. The journal will only publish scientific and technological research, reflection and review articles.

## MISSION

Tecnura journal is aimed at publishing research project results carried out in the field of engineering, through the publishing of original and unpublished articles written by academics and professionals from national or international public or private institutions.

## TARGET AUDIENCE

Tecnura journal is directed to professors, researchers, students and professionals interested in permanent update of their knowledge and the monitoring of the scientific-technological research processes in the field of engineering.

## INDEXING

Tecnura is an academic publication indexed in the Índice Bibliográfico Nacional Publindex (IBN) from Colciencias (Colombia) in the category A2, in the Regional Index Scielo Colombia (Colombia) and Redalyc (México); as well as the following bibliographic databases: INSPEC of the Institution of Engineering and Technology (England), Fuente Académica Premier of EBSCO (United States), CABI (England), Index Copernicus (Poland), Informe Académico of Gale Cengage Learning (México), Periódica of the Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (Spain) and Dialnet of the Universidad de la Rioja (Spain); it is also part of the following directories: Online Regional Information System for Scientific journals from Latin America, Caribbean, Spain and Portugal Latindex (México), bibliographic index Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (Spain), DOAJ (Sweden), Ulrich of Proquest (United States).

## FORM OF ACQUISITION

Tecnura journal is available through purchase, exchange or subscription.

## SIGN UP

The unit price of the journal is 6 USD (the price does not include shipping). The annual sign up is 28 USD for Colombia; 40 USD in Latin America and the Caribbean; 60 USD in other regions (the price includes shipping). To sign up, use the format located at the end of the journal.

## REPRODUCTION

The total or partial reproduction of the articles of this journal is authorized for academic or internal purpose of the institutions citing the source and the author. Ideas expressed are published under exclusive responsibility of the authors and they do not necessarily reflect the thought of the editorial committee of the journal.

## POSTAL ADDRESS

Send to Engr. Cesar Augusto García Ubaque, Ph.D. Director and Editor Revista Tecnura  
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305.  
Faculty of Technology  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Transversal 70B No. 73A - 35 sur  
Telephone Number: 571 - 3238400, extension: 5003  
Cell phone Number: 57 - 3153614852  
Bogotá D.C., Colombia  
E-mail: tecnura@udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com  
Tecnura on internet: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

## ORIGINAL DESIGN

Julián Hernández - Taller de Diseño

## STYLE CORRECTION IN SPANISH

Fernando Carretero Padilla

## STYLE CORRECTION IN ENGLISH

Francisco Suárez Díaz ELECTRÓNIC

## LAYOUT AND TITLE PAGE DISEGN

Julián Hernández - Taller de Diseño

## PRINTED BY

Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas Press  
Format: 21.5 x 28 cm  
Paper: Bond 75g  
Font: Times New Roman  
Printing: 400 copies

## DECLARACIÓN DE ÉTICA Y BUENAS PRÁCTICAS

El comité editorial de la revista *Tecnura* está comprometido con altos estándares de ética y buenas prácticas en la difusión y transferencia del conocimiento, para garantizar el rigor y la calidad científica. Es por ello que ha adoptado como referencia el Código de Conducta que, para editores de revistas científicas, ha establecido el Comité de Ética de Publicaciones (COPE: Committee on Publication Ethics) dentro de los cuales se destaca:

### Obligaciones y responsabilidades generales del equipo editorial

En su calidad de máximos responsables de la revista, el comité y el equipo editorial de *Tecnura* se comprometen a:

- Aunar esfuerzos para satisfacer las necesidades de los lectores y autores.
- Propender por el mejoramiento continuo de la revista.
- Asegurar la calidad del material que se publica.
- Velar por la libertad de expresión.
- Mantener la integridad académica de su contenido.
- Impedir que intereses comerciales comprometan los criterios intelectuales.
- Publicar correcciones, aclaraciones, retractaciones y disculpas cuando sea necesario.

### Relaciones con los lectores

Los lectores estarán informados acerca de quién ha financiado la investigación y sobre su papel en la investigación.

### Relaciones con los autores

*Tecnura* se compromete a asegurar la calidad del material que publica, informando sobre los objetivos y normas de la revista. Las decisiones de los editores para aceptar o rechazar un documento para su publicación se basan únicamente en la relevancia del trabajo, su originalidad y la pertinencia del estudio con relación a la línea editorial de la revista.

La revista incluye una descripción de los procesos seguidos en la evaluación por pares de cada trabajo recibido. Cuenta con una guía de autores en la que se presenta esta información. Dicha guía se actualiza regularmente y contiene un vínculo a la presente declaración ética. Se reconoce el derecho de los autores a apelar las decisiones editoriales. Los editores no modificarán su decisión en la aceptación de envíos, a menos que se detecten irregularidades o situaciones extraordinarias. Cualquier cambio en los miembros del equipo editorial no afectará las decisiones ya tomadas, salvo casos excepcionales en los que confluían graves circunstancias.

### Relaciones con los evaluadores

*Tecnura* pone a disposición de los evaluadores una guía acerca de lo que se espera de ellos. La identidad de los evaluadores se encuentra en todo momento protegida, garantizando su anonimato.

### Proceso de evaluación por pares

*Tecnura* garantiza que el material remitido para su publicación será considerado como materia reservada y confidencial mientras que se evalúa (doble ciego).

### Reclamaciones

*Tecnura* se compromete responder con rapidez a las quejas recibidas y a velar para que los demandantes insatisfechos puedan tramitar todas sus quejas. En cualquier caso, si los interesados no consiguen satisfacer sus

reclamaciones, se considera que están en su derecho de elevar sus protestas a otras instancias.

### Fomento de la integridad académica

*Tecnura* asegura que el material que publica se ajusta a las normas éticas internacionalmente aceptadas.

### Protección de datos individuales

*Tecnura* garantiza la confidencialidad de la información individual (por ejemplo, de los profesores y/o alumnos participantes como colaboradores o sujetos de estudio en las investigaciones presentadas).

### Seguimiento de malas prácticas

*Tecnura* asume su obligación para actuar en consecuencia en caso de sospecha de malas prácticas o conductas inadecuadas. Esta obligación se extiende tanto a los documentos publicados como a los no publicados. Los editores no sólo rechazarán los manuscritos que planteen dudas sobre una posible mala conducta, sino que se consideran éticamente obligados a denunciar los supuestos casos de mala conducta. Desde la revista se realizarán todos los esfuerzos razonables para asegurar que los trabajos sometidos a evaluación sean rigurosos y éticamente adecuados.

### Integridad y rigor académico

Cada vez que se tenga constancia de que algún trabajo publicado contiene inexactitudes importantes, declaraciones engañosas o distorsionadas, debe ser corregido de forma inmediata.

En caso de detectarse algún trabajo cuyo contenido sea fraudulento, será retirado tan pronto como se conozca, informando inmediatamente tanto a los lectores como a los sistemas de indexación.

Se consideran prácticas inadmisibles, y como tal se denunciarán las siguientes: el envío simultáneo de un mismo trabajo a varias revistas, la publicación duplicada o con cambios irrelevantes o parafraseo del mismo trabajo, o la fragmentación artificial de un trabajo en varios artículos.

### Relaciones con los propietarios y editores de revistas

La relación entre editores, editoriales y propietarios estará sujeta al principio de independencia editorial. *Tecnura* garantizará siempre que los artículos se publiquen con base en su calidad e idoneidad para los lectores, y no con vistas a un beneficio económico o político. En este sentido, el hecho de que la revista no se rija por intereses económicos, y defienda el ideal de libre acceso al conocimiento universal y gratuito, facilita dicha independencia.

### Conflicto de intereses

*Tecnura* establecerá los mecanismos necesarios para evitar o resolver los posibles conflictos de intereses entre autores, evaluadores y/o el propio equipo editorial.

### Quejas/denuncias

Cualquier autor, lector, evaluador o editor puede remitir sus quejas a los organismos competentes.

## CODE OF ETHICS AND GOOD PRACTICE

The editorial board of *Tecnura* journal is committed to ethics high standards and good practice for knowledge dissemination and transfer, in order to ensure rigour and scientific quality. That is why it has taken as reference the Code of Conduct, which has been established by the Committee on Publication Ethics (COPE) for scientific journal editors; outlining the following:

### General duties and responsibilities of the editorial board

As most responsible for the journal, *Tecnura* committee and the editorial board are committed to:

- Joining efforts to meet the readers and authors' needs.
- Tending to the continuous improvement of the Journal.
- Ensuring quality of published material.
- Ensuring freedom of expression.
- Maintaining the academic integrity of their content.
- Prevent commercial interests compromise intellectual standards.
- Post corrections, clarifications, retractions and apologies when necessary.
- Relations with readers
- Readers will be informed about who has funded research and their role in the research.

### Relations with authors

*Tecnura* is committed to ensuring the quality of published material, informing the goals and standards of the journal. The decisions of publishers to accept or reject a paper for publication are based solely on the relevance of the work, originality and pertinence of the study with journal editorial line.

The journal includes a description of the process for peer evaluation of each received work, and has an authors guide with this information. The guide is regularly updated and contains a link to this code of ethics. The journal recognizes the right of authors to appeal editorial decisions. Publishers will not change their decision in accepting or rejecting articles, unless extraordinary circumstances or irregularities are detected. Any change in the editorial board members will not affect decisions already made, except for unusual cases where serious circumstances converge.

### Relations with evaluators

*Tecnura* makes available to reviewers a guide to what is expected from them. Reviewers' identity is protected at all times, ensuring anonymity.

### Peer review process

*Tecnura* ensures that material submitted for publication will be considered private and confidential issue while being reviewed (double blind).

### Claims

*Tecnura* is committed to respond quickly to complaints and ensure that dissatisfied claimant can process all

complaints. In any case, if applicants fail to satisfy their claims, the journal considers that they have the right to raise their protests to other instances.

### Promoting Academic Integrity

*Tecnura* ensures that the published material conforms to internationally accepted ethical standards.

### Protection of individual data

*Tecnura* guarantees the confidentiality of individual information (e.g. participant teachers and/or students as collaborators or subjects of study in the presented research).

### Tracking malpractice

*Tecnura* accepts the obligation to act accordingly in case of suspected malpractice or misconduct. This obligation extends both to publish and unpublished documents. The editors not only reject manuscripts with doubts about possible misconduct, but they are considered ethically obligated to report suspected cases of misconduct. From the journal every reasonable effort is made to ensure that works submitted for evaluation are rigorous and ethically appropriate.

### Integrity and academic rigour

Whenever evidence that a published work contains significant misstatements, misleading or distorted statements, it must be corrected immediately.

In case of any work with fraudulent content is detected, it will be removed as soon as it is known, and immediately informing both readers and indexing systems.

Practices that are considered unacceptable and as such will be reported: simultaneous sending of the same work to various journals, duplicate publication with irrelevant changes or paraphrase of the same work, or the artificial fragmentation of a work in several articles.

### Relations with owners and journal editors

The relation between editors, publishers and owners will be subject to the principle of editorial independence. *Tecnura* will ensure that articles are published based on their quality and suitability for readers, and not for an economic or political gain. In this sense, the fact that the journal is not governed by economic interests, and defends the ideal of universal and free access to knowledge, provides that independence.

### Conflict of interest

*Tecnura* will establish the necessary mechanisms to avoid or resolve potential conflicts of interest between authors, reviewers and/or the editorial board itself.

### Complaints / allegations

Any author, reader, reviewer or editor may refer their complaints to the competent authorities.

# Contenido

EDITORIAL 11

## INVESTIGACIÓN

**Estructuras de decisión a partir del aprendizaje autorregulado en ambientes B- Learning** 15

Decision structures from regulated learning B-Learning environments

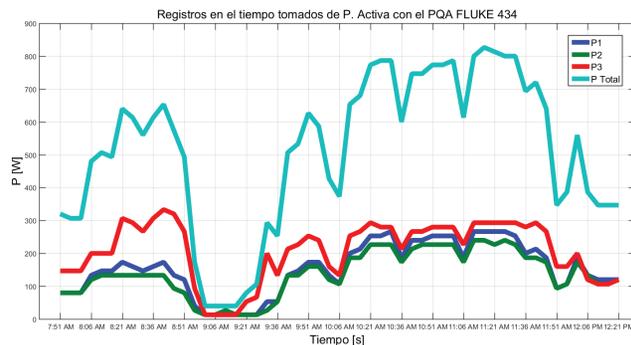
EILEN LORENA PÉREZ MONTERO, ERLINGTON SALCEDO BENAVIDES



**Diseño de una metodología de evaluación técnico-económica de nuevas tecnologías para la iluminación de espacios exteriores de uso peatonal** 25

Design of a methodology for technical-economical evaluation of new technologies for lighting for pedestrian use

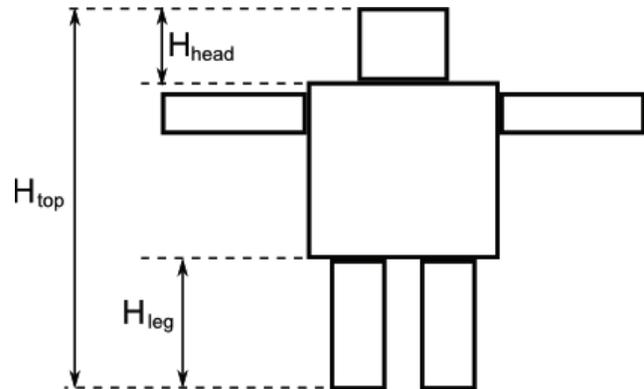
GERARDO ANTONIO CARDOZO MÉNDEZ, LUIS ANTONIO NOGUERA VEGA



**Estudio experimental de potencias, factor de potencia y energía eléctrica en cargas industriales tomando como referencia la norma IEEE Std 1459-2010** 41

Experimental study of powers, power factor and energy in industrial loads by reference to IEEE STD 1459-2010

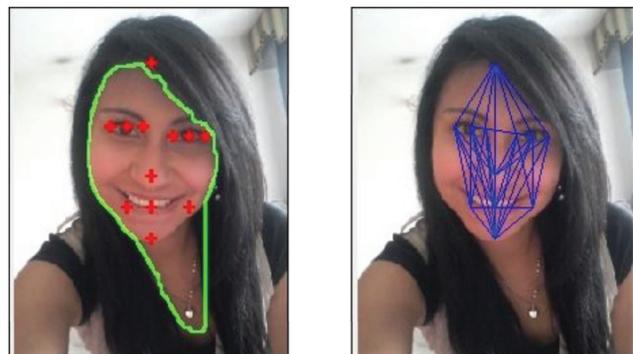
ALEXANDER DAZA URREGO, CLARA INÉS BURITICÁ ARBOLEDA, YAQUELINE GARZÓN RODRÍGUEZ



**Concepto de robot humanoide antropométrico para investigación en control** 55

Anthropometric humanoid robot concept for research in control

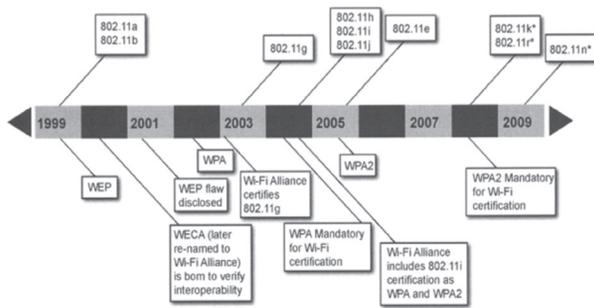
FREDY HERNÁN MARTÍNEZ SARMIENTO, EDUAR JACINTO GÓMEZ, DIEGO ALEXANDER ZÁRATE DÍAZ



**Using neural networks for face recognition in controlled environments** 67

Uso de redes neuronales para el reconocimiento de rostros en ambientes controlados

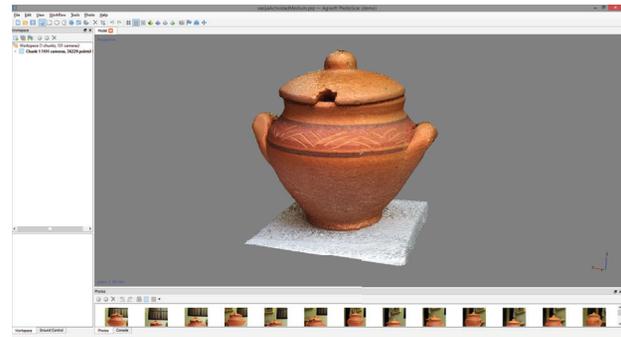
HOLMAN MONTIEL ARIZA, FERNANDO MARTÍNEZ SANTA, DIEGO ARMANDO GIRAL RAMÍREZ



**WEP, WPA and WPA2 encryption protocols vulnerability on wireless networks with Linux platform**  
Vulnerabilidad de protocolos de encriptación WEP, WPA y WPA2 en redes inalámbricas con plataforma Linux

WILMER MÉNDEZ MORENO, DARIN JAIRO MOSQUERA PALACIOS, EDWIN RIVAS TRUJILLO

79



**Metodología para documentación 3D utilizando fotogrametría digital**  
Methodology for 3D documentation using digital photogrammetry

BADWIN ARÉVALO VERA, EDUAR BAYONA IBÁÑEZ, ISBELIA KARINA RINCÓN PARADA

113

**Técnica para solución de recurrencias, usada en el análisis de la complejidad de algoritmos recursivos**

Technique for recurrences solving, used in recursive algorithm complexity analysis

LUIS EMILIO MONTENEGRO SALCEDO, LUZ DEICY ALVARADO NIETO

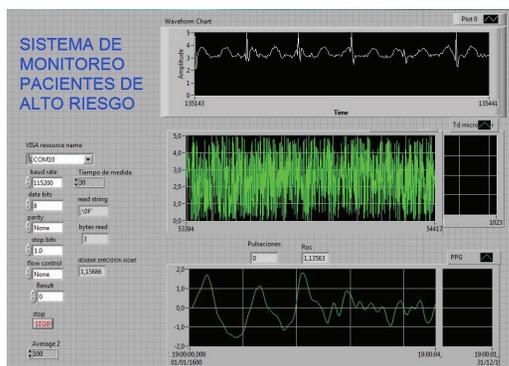
89

**La computación ubicua: omnipresencia en los sistemas de información**  
Pervasive computing: omnipresence in information systems

CARLOS AUGUSTO SÁNCHEZ MARTELO

121

**ESTUDIO DE CASO**



**Sistema de monitoreo para pacientes de alto riesgo integrando módulos GPS, GSM/GPRS y Zigbee**

Monitoring system for high-risk patients integrating GPS, GSM/GPRS and Zigbee modules

OLGUER SEBASTIÁN MORALES VALENZUELA, JULIÁN ROLANDO CAMARGO LÓPEZ, ELVIS EDUARDO GAONA GARCÍA

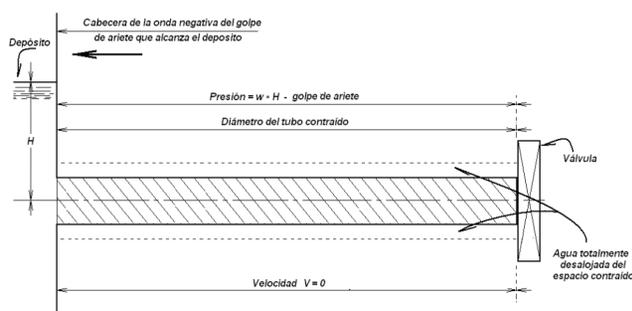
97



**Metodología para evaluar el factor confiabilidad en la gestión de proyectos de diseño de equipos industriales**  
Methodology to assess the reliability factor in management of industrial equipment designing

WILMER GUEVARA, ANDRÓNICO VALERA CÁRDENAS, JULY ANDREA GÓMEZ CAMPEROS

129



**Demostración y análisis del golpe de ariete por el método de los promedios aritméticos** 143

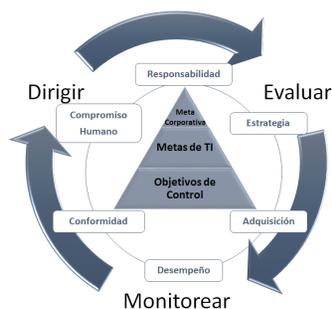
Demonstration and analysis of water hammer using the arithmetic means method

FERNANDO GONZÁLEZ CASAS, EDUARDO ZAMUDIO HUERTAS, CÉSAR AUGUSTO GARCÍA UBAQUE

**Composición química de los aceites esenciales de *Cavendishia compacta* y *Cavendishia Guatapeensis* (Ericaceae)** 153

Chemical composition of the essential oils *Cavendishia compacta* and *Cavendishia Guatapeensis* (Ericaceae)

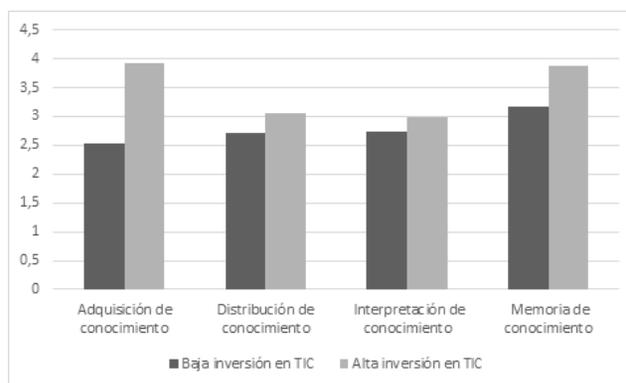
WILLIAM FERNANDO CASTRILLÓN CARDONA, JAVIER ANDRÉS MATULEVICH PELÁEZ, LAURA XIMENA DÍAZ BARRERA, SORANILY PAOLA VASCO ZAMUDIO



**Un enfoque de buenas prácticas de gobierno corporativo de TI** 159

Model for implementation of IT corporate governance

TORCOROMA VELÁSQUEZ PÉREZ, ANDRÉS MAURICIO PUENTES VELÁSQUEZ, YESICA MARÍA PÉREZ PÉREZ



**Tecnologías y sistemas de información como soporte al proceso de gestión del conocimiento** 171

Technology and information systems to support the process of knowledge management

OMAIRA MANZANO DURÁN, YOLANDA GONZÁLEZ CASTRO, MARTA MILENA PEÑARANDA PEÑARANDA

**REFLEXIÓN**

**El animal se está comiendo su cola. La génesis y evolución de un proyecto educativo de Educación Superior** 179

The animal is eating its tail. Genesis and evolution of a educational project in Higher education.

DAVID NAVARRO MEJÍA

**Instrucciones para los autores** 191

**Instructions for authors** 198

**SUSCRIPCIÓN** 207

**SIGN UP** 208

## EDITORIAL

---

La Facultad Tecnológica ha llegado a sus primeros 20 años. Con motivo de esta fecha, me pareció pertinente hacer un pequeño resumen de algunos hechos que han marcado la razón de ser de la Facultad, y que se mencionan en varios textos escritos por algunos de nuestros profesores como Mirna Girón, Marcela Martínez, Jairo Ruiz, Esperanza Román, Giovany Bermúdez, Germán López y Aldemar Fonseca entre otros; y que dan cuenta de su evolución desde el punto de vista académico.

La Facultad Tecnológica inició sus actividades académicas el 20 de febrero de 1995 con los programas tecnológicos en: Mecánica, Electricidad e Industrial, establecidos por convenio con la Universidad Tecnológica de Pereira, mientras que el programa tecnológico de Electrónica fue ofrecido mediante convenio con las Unidades Tecnológicas de Santander. La Facultad inició su funcionamiento en las instalaciones de la denominada “Casona de Ciudad Bolívar”. Posteriormente, funcionó en las instalaciones de la escuela de Sierra Morena Alta, y un semestre después lo hizo en el salón comunal de la Candelaria y en las instalaciones de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia de la carrera 30 con calle 12 sur.

En 1996 comenzaron a impartirse los programas de Sistematización de Datos y Construcciones Civiles, mediante convenio con el Politécnico Jaime Isaza Cadavid de Medellín. En 1997 se dio inicio a un proceso de reforma curricular con base en criterios de excelencia académica y contribución al desarrollo científico y tecnológico. El objetivo central de esta reforma fue asumir un enfoque de formación de profesionales integrales, en el cual fueran más evidentes los principios de flexibilidad, pertenencia y contextualización. Con ello se logra el registro de los programas tecnológicos propios de la Facultad.

En 1998 la Facultad Tecnológica inició el ofrecimiento de los programas de Especialización Tecnológica en Control Electrónico e Instrumentación,

Mecánica, Sistemas Avanzados de Producción, Telecomunicaciones, Redes de Computadores, Distribución y Redes Eléctricas, y Vías y Transporte. Su propósito fue realizar un aporte al crecimiento académico de los tecnólogos egresados propiciando un grado de especialización en las áreas de conocimiento seleccionadas.

En 1999 se dio comienzo al programa de Ingeniería en Control Electrónico e Instrumentación. Los otros programas de Ingeniería entraron en funcionamiento de manera paulatina entre 2001 y 2003. En 2001-II inició formalmente Ingeniería en Redes de Computadores. En 2002-I Ingeniería Mecánica e Ingeniería Civil. En 2002-II, Ingeniería en Telecomunicaciones e Ingeniería en Distribución y Redes Eléctricas. Finalmente, en 2003-II se dio comienzo a Ingeniería de Producción. Cabe anotar que con el ofrecimiento de los programas de Ingeniería, el Consejo de Facultad decidió dejar de ofrecer las especializaciones tecnológicas.

A mediados del 2002, se iniciaron los procesos de Acreditación de Calidad para los programas tecnológicos, así como para Ingeniería en Control Electrónico e Instrumentación. Con este fin, se llevaron a cabo los respectivos procesos de Autoevaluación. Vale la pena anotar que, con excepción del programa tecnológico de Construcciones Civiles, todos los programas tecnológicos de la Facultad siguieron este proceso.

Ha habido otros sucesos importantes y favorables para la Facultad desde el punto de vista académico, como la obtención de las acreditaciones de alta calidad para todos los programas tecnológicos que llevaron a cabo el proceso, la consolidación de la oferta académica de la Facultad y su demanda creciente, los procesos de formación post-gradual de una buena parte de sus docentes, la producción académica, las labores de extensión, la internacionalización e intercambio académico, entre otras. Pero también es importante anotar que en los últimos años se han producido

otros hechos externos a la misma Facultad que han puesto en riesgo algunos de sus programas, como los cambios en la política pública sobre formación por ciclos y los ajustes casi permanentes que han sufrido los procesos para la obtención del registro calificado de sus programas, y que han producido una sensación de inseguridad e inestabilidad jurídica casi generalizada en la comunidad académica. Estos cambios en las reglas de juego han obligado a los directivos de las últimas administraciones y a muchos docentes de la Facultad a atender y enfrentar estos retos que aun continúan.

Uno de los sucesos de mayor trascendencia en los últimos 6 años, desde el punto de vista académico para la Facultad, ocurrió en el segundo semestre de 2010, con la decisión del Consejo Académico de adoptar el modelo de formación por *ciclos propedéuticos* para los proyectos curriculares que se ofertan en la Facultad. Esta decisión no consultada con la misma Facultad, sumada a la discusión misma del quehacer de la tecnología como nivel de formación, ha sido tratada al interior de la Facultad, sin que haya habido un claro consenso entre nosotros los docentes. Esta situación, sumada a la negación reiterada de los registros calificados de los proyectos curriculares de Eléctrica (tecnología e ingeniería), y Construcciones Civiles, y que obligó a no convocar proceso de admisiones durante varios semestres; puso de

manifiesto la necesidad de conceptualizar y profundizar aun mas sobre el modelo de formación de la Facultad.

Con la expedición reciente de estos registros calificados por parte del Ministerio de Educación, se ha renovado el ambiente de optimismo. Sin embargo, la Facultad hoy afronta el mismo reto que consiste en la consolidación y ampliación de nuestro modelo de formación por ciclos a otras áreas del conocimiento, alcanzando niveles de excelencia en docencia e investigación, teniendo presente que la formación tecnológica depende fundamentalmente de la sólida fundamentación en los conocimientos científicos directamente relacionados con la tecnología, objeto de estudio, así como de su estrecha articulación con la solución de problemas desde lo tecnológico en cualquier sector de la producción de bienes y servicios. Ello deberá conducir al desarrollo de propuestas de formación post-gradual, a la integración con otras facultades de la Universidad, y demandará la reflexión permanente, la discusión y la participación amplia de todos sus estamentos; pero también la seguridad, claridad y transparencia de quienes se desempeñen como directivos para tomar las decisiones que en su momento sean las mejores y necesarias para la comunidad académica. Creo que con la capacidad y el esfuerzo de todos los que formamos parte de la Facultad, no seremos inferiores a este reto.

Cesar Augusto García Ubaque

DIRECTOR UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FACULTAD TECNOLÓGICA

## EDITORIAL

---

The Faculty of Technology has reached its first 20 years. For this reason, I considered it pertinent to summarize of some events that have highlighted the rationale of the Faculty, mentioned in several texts written by some of our professors such as Mirna Girón, Marcela Martínez, Jairo Ruíz, Esperanza Román, Giovany Bermúdez, Germán López and Aldemar Fonseca among others; which inform on its evolution from an academic perspective.

The Faculty of Technology started its activities on February 20<sup>th</sup>, 1995, with technological programs in: Mechanics, Electricity and Industrial, established by the agreement with Technological University of Pereira, with the technological program of Electronics was offered through agreement with the Technological Units of Santander. The Faculty started working in the facilities better known as “Casona de Ciudad Bolívar”. Afterwards, it was located in the facilities of Sierra Morena Alta School, and a semester later it was at the community room of La Candelaria and in the facilities of *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*, 30th Ave. Street 12th south.

In 1996, the programs Data Systems and Civil Constructions were offered, through agreement with Polytechnic Jaime Isaza Cadavid in Medellín. In 1997, a curricular reform process started based on criteria of academic excellence and contribution to scientific and technological development. The main objective of this reform was to assume an approach of formation for integral professionals, in which the principles of flexibility, pertinence and contextualization were more evident. This makes possible the registry of the technological programs of the Faculty.

In 1998, the Faculty of Technology started offering the programs of Technology Specialization in Electronics Control and Instrumentation, Mechanics, Advanced Systems of Production, Telecommunications, Computer networks, Grids and Distribution, and Ways and Transport. Its purpose

was to contribute to the academic growth of the graduate technologists fostering a degree of specialization in the selected areas of knowledge.

In 1999, the program of Engineering in Electronics Control and Instrumentation started working. The other programs of Engineering were offered gradually between 2001 and 2003. In 2001-II started officially the programs of Engineering in Computer Networks. In 2002-I, Mechanical Engineering and Civil Engineering. In 2002-II, Engineering in Telecommunications and Engineering in Distribution and Grids. Finally, in 2003-II the program of Production Engineering was open. It is worth mentioning that by offering the engineering programs, the Faculty Council decided to stop offering the technological specializations.

In the middle of 2002, the Quality Accreditation started for the technological programs, as well as for Engineering in Electronics Control and Instrumentation. To this aim, the respective processes of Self-evaluation were carried out. It is worth noting that, except the technological program of Civil Constructions, all the technological programs of the Faculty followed this process.

There have been other important and favorable events for the Faculty from the academic perspective, such as the high quality accreditations for all the technological programs that developed the process, the consolidation of the academic offer in the Faculty and its growing demand, the postgraduate formation processes for most professors, the academic production, the extension programs, internationalization and academic interchange, among others. But it is also worth noting that in the last years external events to the Faculty have taken place, which have risked some of its programs, such as changes in public policies on cycles formation, and the almost permanent adjustments that have suffered the processes for the obtaining of the qualified registry for its programs, which have produced a sensation of legal insecurity and instability

almost generalized in the academic community. Those changes in the game rules have forced the directives of the latest administrations and many professors in the Faculty to pay attention and face those challenges that still go on.

One of the most relevant events in the last six years, from the academic perspective for the Faculty, took place in the second semester of 2010, with the decision from the Academic Council of adopting the model for formation on *Propaedeutic Cycles* for the curricular projects offered in the Faculty. This non-consulted decision with the Faculty itself, summed to the discussion itself on the task of the technology as a formation level, has been dealt inside the Faculty, with no clear consensus among us professors. This situation, summed to the repeated denial of the qualified registries for the curricular projects of Electrics (technology and engineering), and Civil Constructions, forcing us to not call for admissions for several semesters, made evident the need for conceptualizing and going in depth even more on the formation model in the Faculty.

With the recent approval of these qualified registries by the Minister of Education, the optimism has been renewed. However, nowadays the Faculty faces the same challenge, consisting on the consolidation and widening of our formation model on cycles to other fields of knowledge, reaching levels of excellence in teaching and research, keeping in mind that technological formation depends fundamentally on the solid grounds on the scientific knowledge related directly to technology, object of study, as well as its tight articulation with problem solution from technology in any production sector of goods and services. This will lead to the development of postgraduate formation proposals, to the integration with other faculties of the University, and will demand the permanent reflection, discussion and wide participation of all its establishments; but also the security, clarity and transparency of those acting as directives when making the best and necessary decisions for the academic community. I believe in the capacity and effort of all those who make part of the Faculty, we will not be inferior to this challenge.

Cesar Augusto García Ubaque

DIRECTOR UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FACULTAD TECNOLÓGICA



## Estructuras de decisión a partir del aprendizaje autorregulado en ambientes B- Learning

### Decision structures from regulated learning B-Learning environments

Eilen Lorena Pérez Montero<sup>1</sup>, Erlington Salcedo Benavides<sup>2</sup>

**Fecha de recepción:** 26 de febrero de 2014

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

**Cómo citar:** Pérez Montero, E. L., & Salcedo Benavides, E. (2015). Estructuras de decisión a partir del aprendizaje autorregulado en ambientes B- Learning. Revista Tecnura, 19, 15-24. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a01

#### Resumen

El acelerado avance de la tecnología ha provocado cambios en la educación, donde los docentes y estudiantes integran las tecnologías de la información y comunicación (TIC) en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Esta problemática se evidenció en el desarrollo de actividades extracurriculares, donde la mayoría de los estudiantes de primer semestre de Ingeniería Industrial de la Corporación Universitaria del Huila CORHUILA tienen notas inferiores o iguales a 3,5. Se tomó una muestra de 77 estudiantes, distribuidos en tres grupos de manera predeterminada por la Institución. A cada grupo se le asignó de manera aleatoria una condición experimental: a) ambiente b-learning sin estrategia didáctica autorregulada y sin objetos para el aprendizaje; b) ambiente b-learning con estrategia didáctica autorregulada y con objetos para el aprendizaje conceptual; y c) ambiente b-learning con estrategia didáctica autorregulada y con objetos para el aprendizaje procedimental. El tiempo de interacción fue de tres semanas, consolidándose con actividades, a través de un pretest y un postest se mide el nivel del logro académico; se encontró que no existían diferencias significativas en la construcción de estructuras de decisión a partir de una estrategia didáctica

autorregulada en estudiantes universitarios que interactúan en ambientes b-learning basados en objetos para el aprendizaje conceptual en contraste con objetos para el aprendizaje procedimental; pero se observó un incremento de los valores de las medias, evidenciándose un incremento en el aprendizaje, situación que propicia y deja entrever la necesidad de continuar investigando sobre estrategias autorreguladoras y aplicaciones de las TIC en la formación del área de programación de computadores.

**Palabras clave:** aprendizaje en línea, proceso de aprendizaje, programación informática.

#### Abstract

The rapid advancement of the technology has induced changes in education, where teachers and students integrate the information technology and communication (TIC) in the teaching-learning process. This problem was evident in the development of extracurricular activities, where most of the first semester students of industrial engineering at the University Corporation of Huila Corhuila have grades lower than 3.5. A sample of 77 students was taken, divided into three groups organized for the University previously. Each group was randomly assigned an experimental condition: a) b-learning

<sup>1</sup> Ingeniera de Sistemas, especialista en Edumática, magister en Tecnologías de la Información Aplicadas a la educación. Docente de la Corporación Universitaria del Huila CORHUILA. Neiva, Colombia. Contacto: [eilen.perez@corhuila.edu.co](mailto:eilen.perez@corhuila.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero de Sistemas, magister en Tecnologías de la Información Aplicadas a la educación. Docente de la Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia. Contacto: [esalcadob@gmail.com](mailto:esalcadob@gmail.com)

environment without teaching strategy and without self-regulated learning objects; b) b -learning environment and self-regulated teaching strategy for conceptual learning objects; c ) b -learning environment with self-regulated teaching strategy and procedural objects for learning. The interaction time was three weeks, consolidated by activities, through a pretest and a postest academic achievement level is graded, finding no significant differences in the construction of decision structures from a self-regulated teaching

strategy in university students interacting in b -learning environment based on objects for conceptual learning in contrast to the procedural learning objects; but an increase in the mean values is observed, showing an increase in learning, situation that fosters and suggests the need of continued research over self regulation strategies and TIC applications in the area of computer programming.

**Keywords:** computer programming, electronic learning, learning processes.

## INTRODUCCIÓN

La investigación buscó determinar y analizar la incidencia en el logro académico de la construcción de estructuras de decisión, a partir de una estrategia didáctica autorregulada dispuesta para estudiantes universitarios que interactúan en ambientes b-learning basados en objetos de aprendizaje conceptual en contraste con objetos para el aprendizaje procedimental.

A partir de un análisis previo, se visualizó que 20% de los docentes de la Facultad de Ingeniería integran la modalidad b-learning haciendo uso de la plataforma moodle como mecanismo para subir archivos de texto o presentaciones de los temas tratados.

Los procesos pedagógicos tradicionales, en donde el estudiante desempeña un rol pasivo, receptivo y en donde el docente se basa solo en exposiciones verbales, dejando actividades sin un análisis y razonamiento previo, volviéndolas acciones mecánicas, deben ser remplazados con estrategias didácticas apropiadas, en la búsqueda de formulación de metas y reflexión de lo que se está estudiando.

La Corporación Universitaria del Huila, COR-HUILA, busca crear condiciones para que el estudiante se apropie de nuevos conocimientos, nuevas experiencias y nuevos elementos que generen procesos de análisis, reflexión y consolidación del conocimiento, convirtiéndose en estudiantes autorregulados con una participación activa en pro

de las metas u objetivos propuestos, requiriendo más responsabilidad y disposición, en donde no hay dependencia de un medio físico que lo guíe, sino que, potenciado por la capacidad de pensar y de resolver situaciones problemáticas, pueda autónomamente lograr metas de aprendizaje propuestas por el espacio académico como por sí mismo.

El diseño de la propuesta didáctica de la presente investigación trabajó acciones metacognitivas para la elaboración de tareas, entre las cuales están: fijación de metas, la planeación integrada por procedimientos que identifican los pasos por seguir y los recursos por utilizar; observación o supervisión y la evaluación que van relacionados con las fases de solución de problemas (Deuser, Sternberg, & Davidson, 1994).

Por ello, uno de los intereses investigativos de este proceso giró alrededor de indagación por referencias y evidencias que puedan orientar un proceso de educación mediado por las TIC y que permita desarrollar la capacidad autorreguladora de los estudiantes y, a su vez, posibilite la obtención de mejores logros educativos en los procesos de enseñanza – aprendizaje universitarios, permitiendo que la educación inserte nuevas estrategias didácticas, haciéndolas más llamativas, motivantes y enriquecedoras en bien de la adquisición y producción de conocimiento por parte de los estudiantes (González Fernández, 2001).

Desde esta perspectiva, se busca incorporar las TIC como un componente transversal en la

modalidad Blended Learning, debido a las ventajas de su empleo en diferentes procesos de aprendizaje, adicionándole la articulación de estrategias didácticas que permitan fortalecer el aprendizaje autorregulado. Se caracteriza por la complementariedad entre lo presencial y lo virtual, pues “permiten la interactividad continua y permanente entre los estudiantes y los docentes con acceso a ellas, eliminando las barreras espacio temporales, haciendo posible la disposición de múltiples profesores para múltiples alumnos...” (Cabrero Alemana, 1995).

De esta manera surge el concepto de Objeto de Aprendizaje, pero no de forma básica, sino orientado a fortalecer procesos educativos que implican la participación de diferentes actores (docente-estudiante) en el intercambio de información, con el fin de transformarla en conocimiento. Para ello se requiere que el objeto incluya actividades que permitan facilitar el proceso de asimilación y el seguimiento del progreso de cada estudiante (Ministerio de Educación Nacional, 2012), haciendo que la utilización de objetos de aprendizaje como recurso didáctico busque la definición de nuevos enfoques en el diseño, la metodología docente y las estrategias de aprendizaje del estudiante.

Las razones didácticas de este proyecto se basan en promover actividades de enseñanza a través de herramientas tecnológicas, en donde el docente puede explorar las potencialidades de los estudiantes y desarrollar el pensamiento crítico y creativo mientras aprende.

Los contenidos de los objetos de aprendizaje guían el tema de la programación de computadores a través de un método algorítmico; debido al rol que desempeña en la vida diaria, a la hora de desarrollar el pensamiento lógico, los procesos de razonamiento y el logro de habilidades para plantear y dar solución a problemas, a través de pasos plenamente definidos. En este sentido se abordan como eje principal las estructuras de decisión, que dirigen el flujo de un programa en una cierta dirección, entre dos posibles caminos, en función de un valor booleano (verdadero o falso). (Oviedo Regino, 2004).

Para cumplir este propósito, se pretendió indagar por la incidencia del uso pedagógico de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, a partir de la integración de objetos de aprendizaje conceptual y procedimental implementados en ambientes b-learning como recurso didáctico que permita fortalecer el aprendizaje autorregulado y logro académico en la programación de computadores en la temática de estructuras de decisión en los estudiantes de pregrado, lo cual redundará en la promoción de estrategias que llevan a “aprender a aprender”, permitiendo generar en el estudiante habilidades para estudiar y aprender de manera autónoma, generando mayor conciencia de sus procesos de aprendizaje en la solución de problemas en cuanto al diseño y construcción de algoritmos basados en estructuras de decisión.

Dentro de este proceso es necesario poder fortalecer el desarrollo de actividades extracurriculares (tareas), convirtiéndolas en acciones significativas, interesantes para los estudiantes, las cuales permiten coadyuvar al aprendizaje de los estudiantes y fortalecer la autonomía de los mismos (Denise Caroline Argüelles Pabón, 2009). Así mismo, se espera que los resultados de la presente investigación aporten elementos de referencia para futuras investigaciones, en donde las instituciones educativas desarrollen y promuevan en los estudiantes la autorregulación en el aprendizaje y caracterización de propuestas pedagógicas basadas en objetos de aprendizaje para enfrentar con éxito el aprendizaje.

En particular, los aportes de esta investigación al programa de Ingeniería Industrial son brindar experiencias y fortalecimiento de saberes pedagógicos, a partir de metodologías y recursos apoyados en las TIC.

## METODOLOGÍA

La propuesta se enmarcó dentro de la clasificación de investigación cuasiexperimental con 3 grupos, 2 experimentales y 1 de control; así mismo,

la asignación de grupos es aleatoria, en donde la población para este trabajo de investigación es representada por los estudiantes de primer semestre del programa de Ingeniería Industrial de la Corporación Universitaria del Huila, CORHUILA, entre 16 y 22 años, 90% pertenecientes a la cultura opita, quienes se destacan por su amabilidad y deseos de superación. En la tabla 1 se relaciona la cantidad de sujetos por grupo y por género.

La forma de trabajo para la investigación parte de entrenar 3 grupos de estudiantes de primer semestre del Programa de Ingeniería Industrial, en el aprendizaje de estructuras de decisión, durante tres semanas. El grupo 1 corresponde al grupo de control, y los grupos 2 y 3 tienen cada uno una condición experimental diferente, uno con objetos de aprendizaje conceptual y el otro con objetos de aprendizaje procedimental.

La investigación cuasiexperimental hace referencia al diseño de pretest y postest, definiéndose en este estudio como una prueba evaluativa para determinar el nivel del logro académico del antes

y el después de la intervención de los ambientes de aprendizaje.

El pretest constó de 10 ítems que evaluó el concepto y la diagramación de estructuras de decisión; el desarrollo de una expresión lógica o booleana; y el postest estuvo integrado por 3 ejercicios que comprobaron el conocimiento adquirido sobre las estructuras de decisión, encaminado a definir claramente la meta del problema, planificación, requerimientos, proceso y salida.

## RESULTADOS

El análisis de la información arrojada por los instrumentos aplicados se efectuó mediante el programa estadístico SPSS y el procedimiento consistió en relacionar las variables dependiente e independiente para determinar el nivel de significación y relación entre estas.

La variable independiente correspondió al ambiente b-learning. Sus valores son: a) sin estrategia didáctica autorregulada y objetos para el

**Tabla 1.** Muestra correspondiente a cada grupo de acuerdo con el ambiente b-learning.

	Número de estudiantes	Mujeres	Hombres
Grupo 1: Sin estrategia didáctica autorregulada sin objetos para el aprendizaje.	27	14	13
Grupo 2: Con estrategia didáctica autorregulada con objetos para el aprendizaje conceptual.	27	6	21
Grupo 3: Con estrategia didáctica autorregulada con objetos para el aprendizaje procedimental.	23	11	12
Total	77	31	46

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 2.** Análisis de medias del pretest.

Ambiente B-learning	Media	N	Desv. típ.
Sin autorregulación y sin objetos	2,067	27	,6045
Con autorregulación y objeto conceptual	1,981	27	,7136
Con autorregulación y objeto procedimental	2,370	23	,6779
Total	2,127	77	,6774

**Fuente:** elaboración propia.

aprendizaje; b) con estrategia didáctica autorregulada y objetos para el aprendizaje conceptual; c) con estrategia didáctica autorregulada y objetos para el aprendizaje procedimental.

La variable dependiente refirió al logro académico alcanzado por los estudiantes medido a través de los resultados obtenidos en una prueba de tipo texto de la temática del curso.

Inicialmente, se determina con la prueba de Kolmogorov Smirnov que todos los valores tomados en el grupo control y el grupo experimental presenta una distribución normal; para esto se considera el nivel de significancia mayor que 0.05.

Seguidamente se hace un análisis de medias de los diferentes grupos del pretest y del postest.

En la tabla 2 se dan a conocer los valores del pretest de los grupos antes de ser sometidos a la implementación de los diferentes ambientes de aprendizaje; los valores estadísticos evidencian que los estudiantes presentan grandes dificultades a la hora de trabajar la temática. Por ejemplo, para el grupo 1 la media es de 2,067, para el grupo 2 la media es de 1,981 y para el grupo 3 la media es de 2,370.

En esta prueba es notorio que la mayoría de los resultados obtenidos se concentran cerca a la media aritmética, sustentándose en la desviación

estándar encontrada, en donde hay poca variabilidad entre los elementos de la muestra, dados los valores 0,6045, 0,71136 y 0,6779.

En los valores de la tabla 3 se observa que las medias no sobrepasan 3,5, siendo un valor aprobatorio no muy alto ya que el rango va de 0 a 5,0.

En el primer grupo, llamado grupo control, con un ambiente b-learning sin estrategia didáctica autorregulada y sin objetos para el aprendizaje, se evidenció que no mejoró significativamente con respecto a la media del pretest: su diferencia fue de 0,766, arrojando una media de 2,8, siendo baja, el cual indica la poca presencia de resultados destacados. En contraste, con los grupos 2 y 3, que tienen cada uno una condición experimental diferente, el grupo 2 con ambiente b-learning, con estrategia didáctica autorregulada y objetos para el aprendizaje conceptual, muestra mejoras en la media con un aumento de 1,078 con respecto a la media del pretest. Respecto al grupo 3, con ambiente b-learning, con estrategia didáctica autorregulada y objetos para el aprendizaje procedimental, se presentó una media de 3,426, siendo la más alta de todos los grupos. Además, al compararla con la media del pretest presenta un aumento de 1,046.

**Tabla 3.** Análisis de medias del postest.

<b>Ambiente B-learning</b>	<b>Media</b>	<b>N</b>	<b>Estándar. Desv.</b>	<b>Estándar error de media</b>
Sin autorregulación y sin objetos	2,833	27	,3138	,0604
Con autorregulación y objeto conceptual	3,059	27	,3651	,0703
Con autorregulación y objeto procedimental	3,426	23	,4330	,0903
Total	3,090	77	,4376	,0499

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 4.** Anova de un factor para el pretest.

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Inter-grupos	2,023	2	1,012	2,279	,110
Intra-grupos	32,849	74	,444		
Total	34,873	76			

**Fuente:** elaboración propia.

El valor estadístico F de 2,279, analizado en la prueba estadística Anova con relación al pretest (tabla 4) acompañado de su correspondiente nivel crítico o nivel de significación observado (Sig), permite aceptar la hipótesis de igualdad de medias debido a que el valor del nivel crítico 0.110 es mayor que 0.05: se concluye que las poblaciones definidas por la variable ambiente de aprendizaje no presentan diferencia significativa, a pesar de tener medias distintas.

En los 3 grupos del postest (tabla 5) se visualiza un estadístico F de 16.048, con un nivel crítico de 0.000, lo que permite rechazar la hipótesis de igualdad de medias, pudiendo definir que las muestras no presentan diferencias significativas a pesar de tener medias distintas.

El análisis de la técnica estadística Manova (tabla 6) permite establecer la correlación entre la variable independiente ambiente b-learning, en donde sus valores son: a) sin estrategia didáctica autorregulada y sin objetos para el aprendizaje;

b) con estrategia didáctica autorregulada y objetos para el aprendizaje conceptual; c) con estrategia didáctica autorregulada y objetos para el aprendizaje procedimentales y la variable dependiente, referente al logro académico alcanzado por los estudiantes, mostrándose un R cuadrado de 47,2% que permite definir que según el factor F en 27,472 para la variable pretest, fue afectada por el postest en esa cantidad, haciendo que la variable independiente tenga un factor de 15,216. La diferencia del postest frente al pretest es notoria, aunque no existe evidencia de diferencias significativas entre ellas, halladas en los análisis anteriores. Sin embargo, el crecimiento del valor hace pensar que la estrategia didáctica afectó de manera positiva el grupo de investigación.

Las desviaciones tampoco son muy prometedoras; el mejor de los casos es el grupo 3, con un valor de .4330, el cual muestra que para este grupo la dispersión de los datos es mucho menor que el resto, concentrados alrededor de su media, la cual

**Tabla 5.** Anova de un factor para el postest.

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	4,402	2	2,201	16,048	,000
Intra-grupos	10,150	74	,137		
Total	14,552	76			

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 6.** Análisis multivariante de la varianza MANOVA postest.

Origen	Suma de cuadrados de tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	7,177	3	2,392	23,683	0,000
Intersección	40,509		40,509	401,001	0,000
Pretest	2,775		2,775	27,472	0,000
Ambiente B-learning	3,074		1,537	15,216	0,000
Error	7,374		0,101		
Total	749,570				
Total corregida	14,552				

R cuadrado = 4,93 (R cuadrado corregida = ,472).

**Fuente:** elaboración propia.

es 3.423 y se puede asegurar que existe la probabilidad de que un estudiante apruebe la asignatura con un valor superior a una desviación estándar de 75%.

El análisis anterior permite aceptar la hipótesis nula, dado que no existen diferencias significativas en el logro académico en la construcción de estructuras de decisión a partir de una estrategia didáctica autorregulada en estudiantes universitarios que interactúan en ambientes b-learning, basados en objetos para el aprendizaje conceptual en contraste con objetos para el aprendizaje procedimental, pero al analizar los dos momentos (pretest y postest) se puede observar que existe un incremento de los valores de las medias para las variables de investigación, lo cual plantea un incremento en el aprendizaje que, aunque no es el esperado, es un inicio para poder plantear estrategias para incrementar dicha variable y que este tipo de herramientas se pueden mejorar para que sobrepasen el umbral y se puedan elegir como estrategias que impacten en forma directa el aprendizaje.

En la observación efectuada y recogida a través de los diarios de campo del trabajo de los estudiantes en cada uno de los ambientes, se determinaron características similares o ejes principales llamados categorías para dar una mayor organización. Estos son:

Motivación: en donde se evidencia un incremento en los grupos que interactuaron con objetos de aprendizaje, en contraste con el grupo control; esto alude al uso del material digital que no era frecuente en sus procesos educativos cotidianos, facilitando el descubrimiento y la asimilación de conocimientos, integrando imágenes en movimiento y sonido para captar la atención en la temática.

- Incidencia de la estrategia autorregulada: se evidencia que en la formulación de las metas y en la planeación, el grupo 3 (ambiente b-learning con estrategia didáctica autorregulada y objetos para el aprendizaje procedimental) la realiza de manera más pertinente y más clara, en comparación con el grupo 2 (ambiente b-learning con

estrategia didáctica autorregulada y objetos para el aprendizaje conceptual); esto ocurre por la influencia de actividades complementarias. Junto a esto, es necesario recordar la importancia de generar un proceso de enseñanza-aprendizaje dinámico, con técnicas y actividades encaminadas a favorecer la comprensión de los conceptos (Díaz Alcaraz, 2002) (Barriga & Hernández R, 1998).

- Interacción con los objetos de aprendizaje: se muestra un mayor nivel de interacción en el grupo 3, en contraste con el grupo 2, como lo registra la base de datos PhpMy admin, debido a que los estudiantes adquieren el conocimiento mediante el desarrollo de actividades exploratorias, interactivas, encaminadas a resolver tareas, como lo referencian el MEN (Peñalosa Castro & Landa Durán, 2008), (Martínez Naharro, Bonet Espinosa, Cáceres González, Fargueta Cerdá, & García Félix, 2000), como podemos ver al hacer el análisis de los procesos que el estudiante realizó al desarrollar los ejercicios propuestos y que están contenidos dentro de la temática.
- Habilidad de diseño: en términos de aumento de la eficacia y eficiencia en el desarrollo del postest del grupo 3 (ambiente b-learning con estrategia didáctica autorregulada y objetos para el aprendizaje procedimental), debido al incremento de elementos multimediales, pertinentes a la problemática de cada ejercicio.
- Participación en tutorías: la ayuda solicitada por correo electrónico del grupo 3 fue de (35), mayor que la del grupo 2 (20) y la del grupo 1 (5); esto sucedió debido a que los estudiantes tenían una mayor motivación extrínseca en este tipo de ambiente.

Es importante recalcar que el tema desarrollado fue percibido al iniciar el curso como de alta complejidad y con poco interés, lo que influyó de manera directa en el nivel de participación inicial. No obstante, una vez identificaron su aplicación en su área como futuros ingenieros, su participación y satisfacción se incrementó.

Este seguimiento contribuyó a la motivación en la presencialidad de los estudiantes para que siguieran interactuando con los ambientes y resolvieran las actividades allí planteadas. Además, se evidenció que tienen un mayor nivel las actividades de los ambientes de los grupos 2 y 3, en contraste con el ambiente sin estrategia autorregulada y sin objetos de aprendizaje, el cual se puede evidenciar en los registros de las bases de datos de moodle y de Php Myadmin.

De la misma manera, el papel del docente fue importante durante la investigación y en la participación con los estudiantes, ya que hubo retroalimentación presencial y tutorías, se revisó frecuentemente el cumplimiento en los tiempos estipulados para la realización de las actividades y, en fin, el continuo acompañamiento a los estudiantes para la consecución de las metas de aprendizaje.

El estudio favorece las hipótesis enunciadas en los estudios (Chiecher, 2012), en donde se afirma que los estudiantes aprenden con más efectividad en entornos virtuales cuando se les enseña una estrategia autorregulada y que para esto se requiere identificar la planificación de la tarea por afrontar y el establecimiento de metas; esto se corrobora con relación al grupo de control que no tenía estrategia didáctica autorregulada y cuya media es baja, con un valor de 2.833.

Las premisas que se plantearon en el desarrollo de esta tesis investigativa definen que una estrategia didáctica encaminada a metas, planificación, monitorización, control y evaluación para fortalecer la autorregulación, como lo señalan (Zimmerman, Bonner, & Kovach, 1996), (Pintrich, 2000) y (Deuser, Sternberg, & Davidson, 1994), logra un mejor desempeño en los niveles de aprendizaje, corroborándose notoriamente en los resultados obtenidos en los grupos 2 y 3 en las labores de solución de ejercicios.

También se aproxima a los estudios de (Hedrich M & Camargo U, 2000), en donde se refieren al potencial del uso de objetos de aprendizaje autorreguladores para favorecer, de manera equitativa, el aprendizaje en entornos computacionales.

Además, se corrobora en los trabajos de (Sneyder, 2009), (Moroni & Señas, 2007), (Salcedo Benavides, 2009), (Niño, 2009), en los cuales se relaciona la importancia de los entornos computacionales interactivos con materiales digitales porque son atractivos en la enseñanza de lógica de programación, aportando buenas actitudes y motivación, ya que es muy difícil y tedioso enseñarlos con solo lápiz y papel.

Estas observaciones se analizaron en la marcha, en donde se hace importante consolidar experiencias educativas favorables y significativas en el proceso de enseñanza-aprendizaje para que gran parte de los estudiantes puedan desarrollar ejercicios de pensar y resolver problemas a través de las estructuras de decisión, razón por la cual el aspecto más positivo de este trabajo investigativo fue la inclusión de las TIC para lograr procesos de fortalecimiento en las estructuras de decisión, desarrollando su potencial a la hora de aprender pero enfocándose a estar atados a estrategias de aprendizaje, ya sean procedimentales o conceptuales.

Los planteamientos de (Baelo Alvarez & Cantón Mayo, 2009), (Quiñonez Pech, 2009), (Pompeya López, 2008) al investigar y observar la incidencia de la modalidad b-learning, sustentan lo encontrado en el proyecto en donde se toma como un camino viable para que los estudiantes se responsabilicen de su aprendizaje, ayudando al desarrollo de sus capacidades metacognitivas y permitiendo prepararlos para transitar en esta sociedad del conocimiento y de la información en que estamos inmersos.

Parte de estas afirmaciones se basan en las opiniones dadas por los estudiantes durante los encuentros presenciales, cuando han expresado su satisfacción respecto a la propuesta y han manifestado tener un acercamiento más reflexivo sobre los temas. Esto se evidencia en las veces de ingreso a los ambientes y en el desarrollo de cada actividad, junto con el análisis de las actividades de cada uno de ellos, los diarios de campo de la investigación y las observaciones que se definieron por parte de los investigadores.

## CONCLUSIONES

El análisis estadístico proporcionó evidencias para afirmar que no existen diferencias significativas en el logro académico en la construcción de estructuras de decisión a partir de una estrategia didáctica autorregulada en estudiantes universitarios que interactúan en ambientes b-learning basados en objetos para el aprendizaje conceptual, en contraste con objetos para el aprendizaje procedimental y sin ellos; pero sí se observa un incremento de los valores de las medias del pretest y el postest al interactuar con los ambientes en el transcurso de tres semanas, lo cual plantea un aprendizaje que, aunque no es el esperado, es un inicio para poder plantear estrategias autorreguladoras.

Estos resultados se obtuvieron con una media de 3.426 a favor del grupo 3 (ambiente b-learning con estrategia didáctica autorregulada y objetos para el aprendizaje procedimental), siendo la más alta de todos los tres grupos y, si se compara con la media arrojada del pretest, presenta un aumento de 1,046.

En segunda instancia, se toman con relevancia los ambientes de aprendizaje con estrategia didáctica autorregulada con objetos conceptual, con una media de 3.059.

A pesar de no tener diferencias significativas, se puede dar cuenta de que al hacer el análisis de medias, todas mejoraron después de la implementación de las herramientas, como se demuestra con las medias de cada grupo, en el caso del pretest (grupo 1 = 2,067, grupo 2 = 1,981, grupo 3 = 2,370) y para el postest (grupo 1 = 2,833, grupo 2 = 3,059, grupo 3 = 3,426); pero al hacer las comparaciones correspondientes y evaluar las medias del pretest y postest, se obtienen mejores resultados con la estrategia didáctica con objetos virtuales de aprendizaje orientados al procedimiento. Esto se corrobora con los valores de la media del grupo de control para el pretest de 2,067, frente a la media del postest para el grupo procedimental con un valor de 3,426.

Si retomamos en este punto la importancia que se atribuye a la autorregulación en ambientes virtuales, se esperaba que los grupos experimentales tuvieran desempeños significativos altos con valores superiores a 4.0 en comparación con el grupo de control, que no posee estrategia didáctica autorregulada ni objetos de aprendizaje.

Los ambientes de aprendizaje bajo la modalidad b-learning, a través del desarrollo de objetos de aprendizaje, con herramientas multimediales atractivas, permiten consolidar experiencias educativas favorables en el proceso enseñanza-aprendizaje en estructuras de decisión y en desarrollo de problemas computacionales. Aunque no son valores muy alentadores, demuestran una ganancia de conocimiento pese a la gran complejidad en la asimilación de conceptos necesarios en la formación de un ingeniero industrial.

Cabe resaltar que esta tesis investigativa puede ayudar a determinar la categoría de objetos más adecuados para el aprendizaje en esta temática, debido a que la revisión teórica y de antecedentes determina que no hay investigaciones que permitan vincular los objetos más adecuados en áreas de la lógica de programación.

Por último, la motivación, la participación, la eficacia y la eficiencia en los grupos experimentales fueron altos frente a la implementación de esta propuesta pedagógica; esto alude al uso del material digital que no era frecuente en sus procesos educativos cotidianos.

## FINANCIAMIENTO

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se contó con el apoyo económico de la Corporación Universitaria del Huila, CORHUILA.

## REFERENCIAS

Baelo Álvarez, R., y Cantón Mayo, I. (2009). *Las tecnologías de la información y la comunicación en la educación superior*. rioeoi.

- Barriga, F., y Hernández, R. G. (1998). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo*. Mexico: McGraw-Hill.
- Cabrero Alemana, J. (1995). *Nuevos canales de comunicación en la enseñanza*. Madrid: Centro de Estudios Ramón Areces.
- Chiecher, A. C. (2012). *Aprendizaje autorregulado en contextos online. Estudio comparativo con grupos de alumnos de grado y posgrado*. Córdoba, Argentina: *Revista Cognición* 37–Ponencias.
- Deuser, R., Sternberg, R. J., & Davidson, J. (1994). *The Role of Metacognition in Problem Solving*. In: Metcalfe, Jane and Shimamura, Arthur P. Cambridge: The MIT Press.
- Díaz Alcaraz, F. (2002). Aproximación al concepto de didáctica. En: F. Díaz Alcaraz, *Didáctica y currículo: un enfoque constructivista*. España: Castilla la Mancha.
- González Fernández, A. (2001). Autorregulación del aprendizaje—una difícil tarea. *Revista Electrónica de la Federación española de Asociaciones de Psicología*, SSN-e 1579-4113, Vol. 6.
- Hederich, M, C., y Camargo U., Á. (2000). *Estilo cognitivo y logro de aprendizaje en la ciudad de Bogotá*. Bogotá: Centro de Investigaciones de la Universidad Pedagógica Nacional.
- Martínez Naharro, S., Bonet Espinosa, P., Cáceres González, P., Fargueta Cerdá, F., y García Félix, E. (2000). *Los objetos de aprendizaje como recurso para la docencia universitaria: criterios para su elaboración*. Valencia: ASIC.
- Ministerio de Educación Nacional (10 de 2012). *Colombia Aprende*. Recuperado el 31 de 8 de 2013, de Colombia Aprende: [http://www.colombiaprende.edu.co/html/home/1592/articles-313597\\_reda.pdf](http://www.colombiaprende.edu.co/html/home/1592/articles-313597_reda.pdf)
- Moroni, N., y Señas, P. (2007). *Estrategias para la enseñanza de la programación*. Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Informática y Educación.
- Niño, M. (2009). *Ambientes b-learning basados en analogías para el aprendizaje de la programación orientada a objetos*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Oviedo Regino, E. (2004). *Lógica de Programación*. Bogotá: Ecoe.
- Pabón Argüelles, N. N. (2009). *Estrategias para promover procesos de aprendizaje autónomo*. Universidad EAN.
- Pintrich, P. (2000). *The role of goal orientation in self-regulated learning*. En: Boekaerts, M. San Diego: *Handbook of Selfregulation*.
- Pompeya López, V. E. (2008). *Blended Learning. La importancia de la utilización de diferentes medios en el proceso educativo*. Argentina.
- Quiñonez Pech, S. (2009). *Diseño, implementación y evaluación de un curso en la modalidad de aprendizaje combinado (blended learning)*. Yucatán: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Salcedo Benavides, E. (2009). *Incidencia de los activadores metacognitivos prospectivos y retrospectivos en el aprendizaje de ciclos de programación*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Sneyder, R. M. (2009). *Desarrollo de un entorno interactivo para el aprendizaje de lógica de programación "Seuprog"*. Bucaramanga.
- Zimmerman, B., Bonner, S., & Kovach, R. (1996). *Developing Self-Regulated Learners. Beyond Achievement to Self-Efficacy*.





## Diseño de una metodología de evaluación técnico-económica de nuevas tecnologías para la iluminación de espacios exteriores de uso peatonal

### Design of a technical-economical evaluation methodology of new lighting technologies for outdoor spaces of pedestrian use

Gerardo Antonio Cardozo Méndez<sup>1</sup>, Luis Antonio Noguera Vega<sup>2</sup>

**Fecha de recepción:** 18 de febrero de 2015

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

Cardozo Méndez, G. A., & Noguera Vega, L. N. (2015). Diseño de una metodología de evaluación técnico-económica de nuevas tecnologías para la iluminación de espacios exteriores de uso peatonal. *Revista Tecnura*, 19, 25-40. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a02

#### Resumen

Este documento presenta una metodología propuesta de comparación técnico-económica entre luminarias de montaje horizontal para alumbrado público en las tecnologías de vapor de sodio de alta presión (VSAP) y de estado sólido (LED) empleadas en instalaciones de uso peatonal. En primer lugar, se formula un procedimiento propuesto para determinar la equivalencia entre luminarias de ambas tecnologías, y seleccionar luminarias de tecnología LED como remplazo de luminarias de VSAP. Después, se presenta un caso de estudio en el que se aplica este procedimiento a un escenario real que corresponde a un parque público con áreas de recreación pasiva y circulación exclusiva de peatones. La utilidad del procedimiento se valida mediante cálculos fotométricos realizados con información de luminarias disponibles en el mercado local. Finalmente, se desarrolla un análisis económico del eventual remplazo de las luminarias existentes en el escenario del caso de estudio por luminarias LED seleccionadas a partir del procedimiento propuesto en la primera parte

**Palabras clave:** Iluminación LED, alumbrado público, evaluación económica, eficiencia energética.

#### Abstract

This document presents a proposed methodology of technical-economical comparison between streetlight luminaires of horizontal mounting type in High Pressure Sodium (HPS) and Solid State (LED) technologies used in pedestrian lighting systems. First, a proposed procedure to determine equivalence between luminaires of both technologies, and choose LED technology luminaires as replacement of HPS luminaires is formulated. Then, a case study is presented in which the proposed procedure is applied to a real scenario, such as a public park with passive recreation spaces and exclusive pedestrian use. The usefulness of the procedure is validated by means of photometric calculations performed with information of luminaires available in the local lighting market. Finally, an economic analysis of the possible replacement of the existing HPS luminaires in the case study scenario for LED luminaires chosen by means of the initially proposed method is carried out.

**Keywords:** LED street lighting, economical assessment, energy efficiency.

<sup>1</sup> Ingeniero Eléctrico, especialista en Iluminación Pública y Privada. Bogotá, Colombia. Contacto: [gcardozo88@yahoo.com](mailto:gcardozo88@yahoo.com)

<sup>2</sup> Ingeniero en Distribución y Redes Eléctricas, especialista en informática y Automática Industrial. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [lanoguerv@udistrital.edu.co](mailto:lanoguerv@udistrital.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

La incursión de la tecnología de estado sólido en el mercado de la iluminación general en los últimos años ha generado grandes expectativas en cuanto al uso eficiente de la energía, la calidad de la luz y el costo de operación de las instalaciones.

Algunos fabricantes y múltiples investigaciones sostienen que la implementación generalizada de sistemas de alumbrado público con luz blanca de tecnología LED (de CCT cálidas) como remplazo de los sistemas actuales de sodio de alta presión causaría un impacto positivo en la apariencia de los centros urbanos, el desempeño visual de los peatones y la percepción de seguridad.

La prolongada vida útil de las fuentes de tecnología LED, así como su menor consumo de energía permiten una reducción significativa del costo global de operación de los sistemas de alumbrado público, en comparación con los sistemas convencionales de sodio de alta presión, que requieren labores de mantenimiento más intensivas en el remplazo de fuentes y accesorios deteriorados.

La primera dificultad que se encuentra al buscar luminarias LED que funcionen como remplazo o equivalentes a las existentes en tecnología de VSAP radica en las diferencias existentes entre ambas tecnologías en cuanto a su forma constructiva e indicadores de desempeño. La forma constructiva de las luminarias de descarga se caracteriza por la separación entre fuente (bombilla) y luminaria; cada luminaria tiene sus parámetros propios de desempeño, tanto eléctricos como fotométricos. Por el contrario, en las luminarias LED tal separación no existe, ambos componentes están integrados de manera que constituyen un solo elemento y es a este único elemento al que se le deben analizar todas las variables eléctricas y fotométricas.

El segundo obstáculo para la implementación de la tecnología LED en los sistemas de alumbrado público es el alto costo de inversión que significa ejecutar el remplazo de luminarias de una instalación existente o la construcción de una instalación nueva. No obstante, el uso de herramientas

de análisis económico que contemplen el tiempo de vida de la instalación permite identificar si este tipo de inversiones son económicamente atractivas.

Con este documento se espera que, a partir de la integración de ambos factores, el técnico y el económico, en una misma metodología de análisis, se facilite la toma de decisiones a la hora de considerar la implementación de la tecnología LED en la aplicación particular de la iluminación de espacios públicos exteriores de uso peatonal o en situaciones similares.

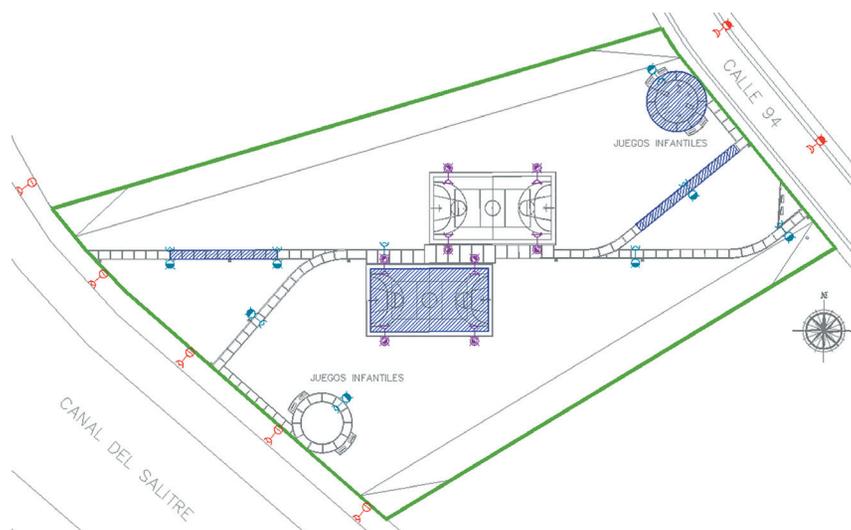
## DISEÑO Y DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

A partir de la aplicación de esta metodología se seleccionan dos luminarias de diferente fabricante en tecnología LED como candidatas a remplazo de las luminarias de VSAP existentes, y mediante análisis económico se determinará si la inversión en alguna de estas dos opciones es atractiva para implementar un remplazo de luminarias en espacios similares al analizado en un caso de estudio.

### Caracterización del caso de estudio

En la ciudad de Bogotá se utilizan de manera generalizada luminarias del tipo horizontal, instaladas en postes de concreto en alturas de 8,4 m y 10,2 m para la iluminación de los parques vecinales, principalmente por motivos de seguridad de la infraestructura y facilidad de integración de las redes de alumbrado con las redes aéreas de distribución local en baja tensión. Por esta razón el aspecto y forma constructiva del sistema de iluminación para estos espacios públicos es más utilitario (orientado a satisfacer la necesidad de iluminación) que estético, lo cual limita el uso de faroles o luminarias decorativas a baja altura.

En la Figura 1 se presenta un plano esquemático con la ubicación de los puntos luminosos tanto del parque como de las zonas aledañas, mientras que en la Figura 2 se aprecian fotografías de las



**Figura 1.** Plano esquemático del parque seleccionado como caso de estudio, en donde se localizan los puntos de luz existentes.

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 2.** Luminarias. Izquierda: luminaria de 150 W. Derecha: luminaria de 250 W.

**Fuente:** elaboración propia.

luminarias instaladas, tomadas por el autor durante la recopilación de información para la caracterización del parque.

#### *Mediciones de iluminancia en la instalación existente*

Para conocer el estado de la instalación existente se registraron cuatro mediciones de iluminancia en las grillas indicadas con sombreados de color azul en la Figura 1. Dos de ellas son para senderos peatonales, la tercera para una de las canchas múltiples y la cuarta para la isla de juegos infantiles

localizada en el costado nororiental del parque. En las grillas de los senderos se tomaron once puntos de medida en sentido longitudinal y tres puntos en sentido transversal, según lo recomendado en la sección 540.2.2 del *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (en adelante, RETI-LAP)* (Ministerio de Minas y Energía, 2010). En la cancha múltiple se tomaron once puntos en sentido longitudinal y cinco puntos en sentido transversal, mientras en la isla de juegos infantiles, que son de forma circular, se tomaron tres puntos en forma radial y ocho puntos en sentido perimetral. Las

mediciones se llevaron a cabo con un luxómetro de marca EXTECH, referencia 407026, en el modo de medición "S=Sodio" y en la escala de medición de 0 a 2.000 lx.

Los resultados de las cuatro mediciones se muestran en la Tabla 1, expresados en términos de la iluminancia promedio y del factor de uniformidad  $U_0$ . Asimismo, se muestran los valores mínimos de referencia que exige el RETILAP para espacios de este tipo, en su tabla 510.3 b (Ministerio de Minas y Energía, 2010). A partir de la Tabla 1 se puede advertir que la grilla 4 está por fuera de los parámetros mínimos exigidos por el RETILAP al no cumplir con el valor de uniformidad general  $U_0$ .

### Procedimiento propuesto de selección de luminarias led como remplazo de luminarias de vsap

El procedimiento propuesto para seleccionar una luminaria LED como remplazo de otra de VSAP se describe en la Figura 3. Al final de la descripción se presenta un diagrama de flujo que resume el procedimiento propuesto.

#### Paso 1. Obtención de los datos fotométricos de la luminaria de VSAP

Para este primer paso se requiere contar con el reporte de laboratorio en que se haya registrado la matriz de intensidades de la luminaria. En su defecto, se podrá utilizar la matriz de intensidades en un formato digital, como el .ies, o cualquier otro

formato normalizado similar, de modo que se pueda conocer la información fotométrica de la luminaria al importar la matriz digital en un visor de este tipo de archivos o en un software de cálculo de iluminación. Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron el software *Litestar 4D Photoview* en su versión de uso libre y la herramienta en línea de uso libre *Visual Photometric Tool*.

De la matriz de intensidades es necesario obtener los siguientes datos puntuales:

- Eficiencia de la luminaria
- Flujo luminoso de la bombilla
- Diagrama polar de la luminaria
- Curvas de coeficiente de utilización

Siendo la eficiencia de la luminaria la relación entre el flujo total emitido por esta y el flujo de la bombilla.

#### Paso 2. Análisis de los documentos fotométricos de la luminaria de VSAP

Mediante herramientas informáticas como las mencionadas en el paso 1 se pueden obtener el diagrama polar de la luminaria de VSAP y/o su sólido fotométrico, con el propósito de identificar características distintivas como el ángulo de apertura del haz de luz en los ejes  $0^\circ$ - $180^\circ$  y  $90^\circ$ - $270^\circ$  (referidos al sistema de coordenadas C- $\gamma$ ) y el ángulo C de mayor intensidad lumínica. Igualmente se puede determinar el flujo luminoso de la luminaria, que está dado como el producto entre el flujo nominal de la bombilla y la eficiencia de la

**Tabla 1.** Comparación entre valores medidos y valores mínimos requeridos por el RETILAP.

Grilla	Descripción del área	Valores medidos		Valores de referencia (RETILAP)		Diferencia porcentual	
		Eprom [lux]	$U_0$	Eprom [lux]	$U_0$	Eprom [%]	$U_0$ [%]
1	Sendero peatonal 1	24,1	0,37	15	0,33	+60,7	+12,1
2	Sendero peatonal 2	23,8	0,38	15	0,33	+58,7	+15,2
3	Cancha múltiple	68,7	0,61	50	0,40	+37,4	+52,5
4	Juegos infantiles	16,8	0,24	15	0,33	+12,0	-27,3

Fuente: los autores.

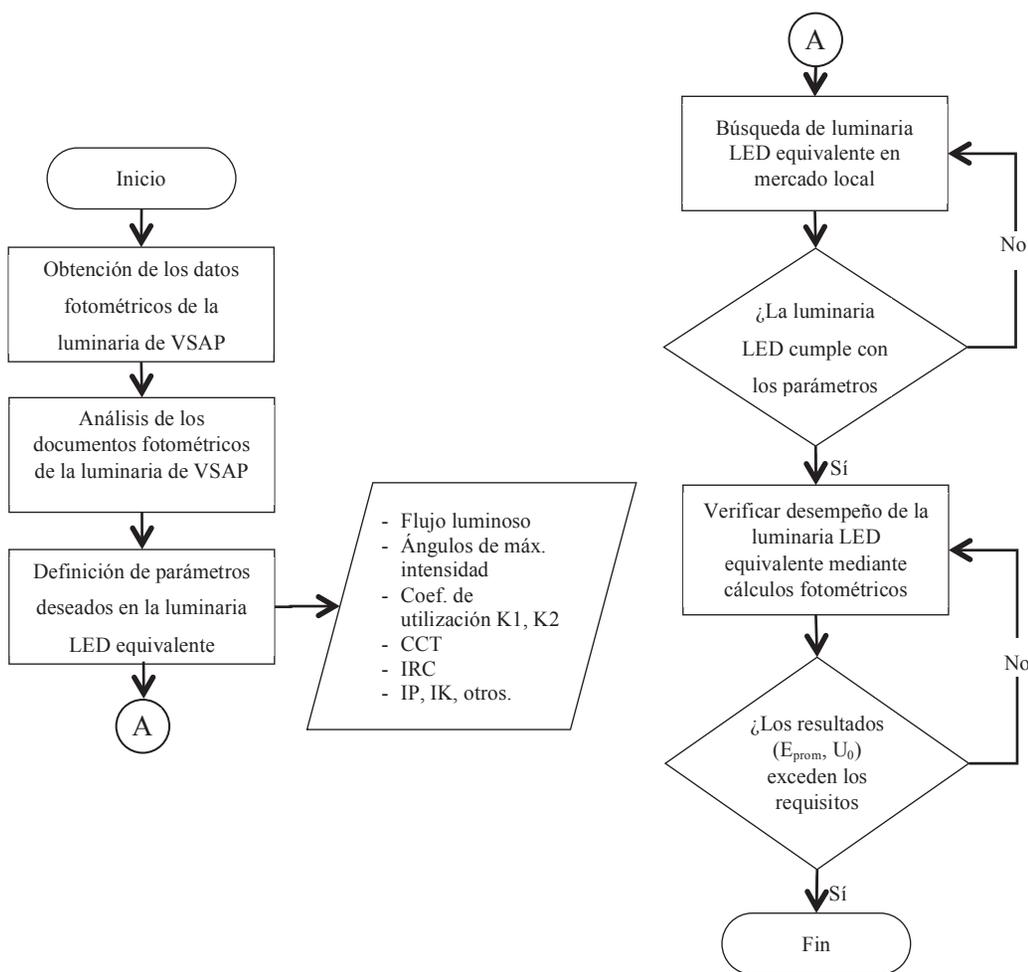
luminaria. Este dato se emplea como punto de partida para identificar el flujo luminoso aproximado que deberá tener la luminaria LED equivalente.

*Paso 3. Definición de los parámetros deseados en la luminaria LED equivalente*

A partir del análisis de los documentos fotométricos de la luminaria de VSAP se puede elaborar un listado de parámetros fotométricos que se desea encontrar en la luminaria LED para que brinde un desempeño equivalente o superior al de la luminaria de VSAP. En este contexto, un conjunto de parámetros deseados puede ser el que se lista a continuación:

- Flujo luminoso
- Plano C y ángulo  $\gamma$  de máxima intensidad
- Relación entre coeficientes de utilización K1 y K2 para la altura de montaje dada
- Temperatura del color
- Índice de reproducción del color

La temperatura del color deberá definirse conforme al tipo de espacio que se va a iluminar, e igualmente se debe definir la temperatura de color entre cálida y neutra, con un índice de reproducción del color entre medio ( $IRC > 60$ ) y alto ( $IRC > 80$ ).



**Figura 3.** Diagrama de flujo que ilustra la metodología propuesta de selección de luminarias de tecnología LED como remplazo de luminarias de VSAP.

**Fuente:** elaboración propia.

#### *Paso 4. Búsqueda y selección de la luminaria LED equivalente*

Teniendo en cuenta los parámetros deseados que se listaron en el punto anterior, se deberá buscar, para una línea de luminarias determinada, cuál es el modelo que puede suplir las necesidades planteadas por estos parámetros deseados. Como existe la posibilidad de que varios modelos puedan suplir estas necesidades, se deberá pensar en qué característica es más importante para la instalación, una alta eficiencia (mayor cantidad de LEDs, mayor costo inicial) o un costo inicial más bajo (menor cantidad de LEDs, menor eficiencia).

#### *Paso 5. Verificación del desempeño de la luminaria LED equivalente mediante cálculos fotométricos*

Después de seleccionar una o más luminarias LED candidatas al remplazo se deberá validar su elección mediante la elaboración de cálculos fotométricos en un software adecuado para ello. Según los resultados obtenidos en los cálculos se podrá evaluar si es necesario modificar parámetros de la luminaria LED seleccionada, como su flujo luminoso o distribución fotométrica.

### **CÁLCULO DEL FACTOR DE MANTENIMIENTO EMPLEADO EN LOS CÁLCULOS FOTOMÉTRICOS**

Un parámetro determinante dentro de la realización de cálculos fotométricos en un diseño de iluminación es el factor de mantenimiento, pues permite estimar el descenso en los niveles de iluminación debido a la contaminación ambiental y a la depreciación del flujo luminoso, propia de todas las fuentes de luz artificiales, entre otros factores.

En el ámbito de la reglamentación local, en (Ministerio de Minas y Energía, 2010) se establece: “La periodicidad de la limpieza del conjunto óptico de la luminaria y del cambio de las bombillas debe ser tal que garanticen que la instalación de alumbrado público no va a estar funcionando con

valores de iluminancia promedio por debajo de los mínimos mantenidos”.

De aquí se destaca la importancia de calcular el factor de mantenimiento aplicado a los cálculos fotométricos de tal manera que se satisfaga esta condición. La fórmula empleada para calcular el factor de mantenimiento es la que se muestra en la ecuación (1).

$$FM = DFL \times FE \quad (1)$$

Donde DFL corresponde a la depreciación del flujo luminoso de la luminaria y FE corresponde al factor de ensuciamiento producido por la contaminación del ambiente. Según (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2011), se establece que el período de vida de una instalación de alumbrado público es de 30 años; entendida esta como el período de vida del componente más durable del sistema. Allí se establece también que el período de vida máximo para las luminarias es de 15 años en zonas con niveles de contaminación normales. Por tanto, para efectos de los análisis económicos y de vida esperada de las luminarias LED que se hacen en este documento, se partirá del supuesto de que la carcasa, vidrio de cierre y demás componentes mecánicos de la luminaria pueden sobrevivir al tiempo estimado de vida de la instalación de 30 años sin necesidad de remplazo.

Con relación a la fuente luminosa (módulo LED), los dos fabricantes analizados en el caso de estudio ofrecen una vida útil (L70) de hasta 100.000 horas, con una tasa de uso de 12 horas/día (equivalentes a 22,83 años). Esto significa que un solo módulo LED no alcanza a cubrir la duración del período de vida estimado de la instalación y, por tanto, durante el transcurso de esos 30 años deberá remplazarse al menos una vez el módulo LED de cada luminaria.

Según (Ministerio de Minas y Energía, 2010) el factor de ensuciamiento FE para parques como el caracterizado en el caso de estudio, corresponde a un valor de 0,95 para luminarias con el conjunto óptico completamente sellado, como es el caso de

las luminarias LED analizadas, y para un período de limpieza externa de la luminaria de 36 meses. De este modo el descenso máximo que se experimentaría en los niveles de iluminación del parque sería el que arroja el cálculo del FM a partir de los factores DFL y FE determinados anteriormente.

$$FM = 0,80 \times 0,95 = 0,76$$

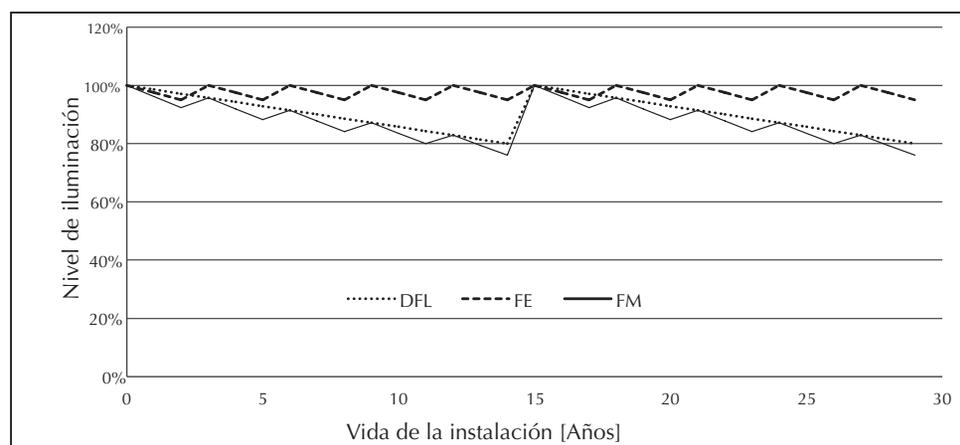
A partir de lo expuesto, el factor de mantenimiento utilizado en los cálculos fotométricos es 0,76. En la Figura 4 se presenta una gráfica del comportamiento de los tres factores, DFL, FE y FM; la curva de este último representa la variación temporal que tendrían los niveles de iluminación en el parque a lo largo de los 30 años de vida de la instalación.

### Procedimiento empleado en la comparación económica

Dentro de este análisis se tienen en cuenta los costos iniciales o de inversión del proyecto de reemplazo, así como los costos de operación proyectados a futuro, que se dividen en costos de mantenimiento y costo de la energía consumida por la instalación.

Durante el paso 5 del procedimiento de selección se pretende recopilar información técnica y fotométrica de las luminarias LED candidatas para reemplazo de la instalación existente, aunque también se requiere obtener de los fabricantes información comercial, principalmente en lo referente al precio de las luminarias y sus accesorios individuales, vida útil estimada, probabilidad de fallos en el tiempo, periodicidad de mantenimiento recomendada, entre otros.

Para plasmar la comparación económica se diseñó una hoja de cálculo que se compone de cuatro secciones; en la primera sección se recopila la información básica del proyecto, en la segunda se calculan los costos anualizados de instalación y consumo de energía, en la tercera se calculan los costos anualizados de operación y mantenimiento, mientras en la cuarta se presenta un resumen de resultados. Para dicha comparación se emplearon indicadores de evaluación como el retorno simple de la inversión (RSI), el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), costo anual de equivalente (CAO) y el costo total de propiedad (CTP) para cada opción de inversión y con ayuda de la información encontrada en (Universidad Nacional de Colombia, 2014).



**Figura 4.** Nivel de iluminación relativo esperado a lo largo del tiempo de vida de la instalación, de acuerdo con los factores DFL y FE determinados previamente.

**Fuente:** elaboración propia.

### *Formulario de comparación económica*

El formulario de comparación económica se describe en cuatro secciones:

*Sección 1. Datos básicos del proyecto:* En esta sección del formulario se ingresan los parámetros básicos del proyecto: precio del kilovatio-hora y su tasa de incremento anual, impuesto a las ventas aplicado a la adquisición de equipos nuevos, costo de la mano de obra empleada en las labores de instalación y mantenimiento, y la tasa de descuento empleada en la proyección del valor de la instalación a futuro.

Según (Unidad de Planeación Minero Energética, 2014), el valor promedio del kWh suministrado al mes de julio de 2014 para el sector oficial por el operador de red encargado de abastecer a la ciudad de Bogotá es de 338 \$/kWh, y su tasa de variación anual promedio, basada en información semestral de los últimos 10 años, es de 6%. El valor del impuesto a las ventas aplicado a la adquisición de equipos nuevos de este tipo es de 16%.

Los costos de mano de obra y equipo empleados en el mantenimiento e instalación se manejan en forma distinta para las dos tecnologías, puesto que los sistemas de alumbrado público basados en la tecnología de VSAP ya cuentan en Colombia con una metodología reglamentada para establecer los costos máximos por concepto de administración, operación y mantenimiento (AOM). Según esta metodología descrita en (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2011), el valor anual máximo que debe pagar un distrito o municipio a su operador de servicio de alumbrado público por concepto de AOM de cada activo perteneciente al sistema de alumbrado público corresponde a una tasa de 10,3% del costo de reposición a nuevo del activo.

Para calcular los costos de mano de obra y equipo necesarios para la instalación y mantenimiento de luminarias sobre infraestructura existente (redes eléctricas y postes), se estimó que una cuadrilla típica para labores de mantenimiento de alumbrado público tiene un costo aproximado de 60.000,00 \$/hora. Con relación a la tasa de descuento para el cálculo de valor presente neto de los flujos de caja

dados por cada opción de inversión, se empleó la tasa de 13,9% establecida en (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2011) para el cálculo de costos máximos de administración, operación y mantenimiento en el servicio de alumbrado público en Colombia.

*Sección 2. Costos anualizados de operación y mantenimiento:* Se calculan los costos de operación y mantenimiento de las dos alternativas en tecnología LED, dada la imposibilidad de aplicar el esquema existente en (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2011) para estimar estos costos en sistemas de alumbrado público con luminarias de VSAP.

Para determinar estos costos se involucran los datos de vida útil, costo unitario y duración de la labor de remplazo para cada uno de los accesorios susceptibles de sustitución a lo largo de la vida de las luminarias LED, a saber: módulo LED, driver y fotocontrol. A partir de estos datos se calcularon una tasa de remplazo anual y un costo anual estimado por el remplazo de cada repuesto.

*Sección 3. Costos anualizados de instalación, energía y mantenimiento:* Se consolidan los costos de operación y mantenimiento encontrados en la sección anterior, junto con los de instalación y demanda de energía. Para contabilizar los costos de instalación se utilizaron los precios de adquisición de las luminarias en ambas tecnologías y el tiempo promedio de instalación, datos obtenidos de los fabricantes. El costo de la energía se calculó a partir de los consumos globales (fuente + elementos auxiliares) de las luminarias reportados en sus fichas técnicas y asumiendo una tasa de uso de 12 horas al día, es decir, 4.380 horas al año.

*Sección 4. Resumen de resultados:* Se presentan los diagramas de flujo de caja anual y acumulado construidos para las dos opciones de remplazo con tecnología LED, así como el resultado de los indicadores de comparación económica para cada opción. Se muestra una representación gráfica del costo total de propiedad de cada opción, en el que se puede identificar la preponderancia de cada tipo de costo sobre el total.

## RESULTADOS DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Para aplicar la metodología se seleccionó como caso de estudio un parque vecinal situado en la calle 92 con carrera 80 de la ciudad de Bogotá. Se escogió este espacio porque tiene las características requeridas planteadas en los objetivos de la investigación. El parque cuenta con tres tipos de zonas, senderos peatonales, dos canchas múltiples y dos islas de juegos infantiles. Su área total limita por el oriente y occidente con bloques de edificios residenciales, por el norte con la calle 92 –una vía local que puede asumirse de clase M5 por su función como acceso a edificios residenciales de la zona-, y por el sur con una alameda peatonal. El sistema de iluminación del parque está compuesto por diecisiete (17) luminarias, distribuidas en nueve (9) luminarias de VSAP de 150 W y ocho (8) luminarias de VSAP de 250 W.

### Selección de luminarias LED como remplazo de luminarias de VSAP

Aquí se muestra el resultado de la aplicación del método de selección de luminarias LED como remplazo de luminarias de VSAP descrito en la

segunda parte de la metodología. A continuación se describe el desarrollo de cada paso de la metodología, así como sus resultados.

#### Paso 1. Obtención de las variables fotométricas de las luminarias de VSAP encontradas en la instalación existente

En la Figura 5 y la Figura 6 se muestran los diagramas polares y curvas de coeficiente de utilización de las dos luminarias instaladas en el sitio, correspondientes a las posiciones de bombilla que el fabricante recomienda para este tipo de aplicaciones. En los diagramas se indican las curvas polares 0°-180°, 90°-270° y la curva de máxima intensidad.

#### Paso 2. Análisis de los documentos fotométricos de las luminarias de VSAP

En la Figura 5 y la Figura 6 se indican para los dos tipos de luminarias el flujo luminoso de la fuente y la eficiencia de la luminaria. Estos datos permiten determinar el flujo neto de cada luminaria, que es de 12.514 lúmenes para la luminaria de 150 W y de 27.977 lúmenes para la luminaria de 250 W. Estos valores de flujo luminoso se tendrán como primer objetivo durante la selección de las luminarias equivalentes en tecnología LED.

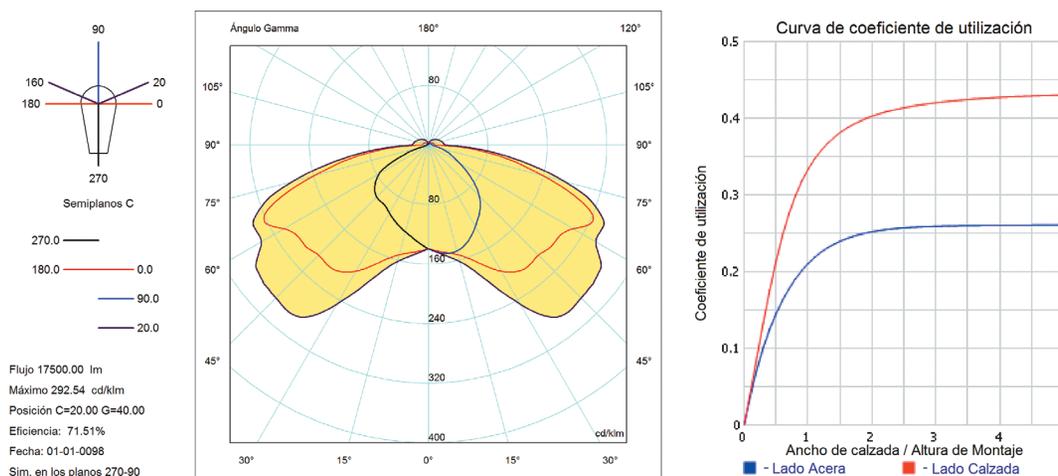
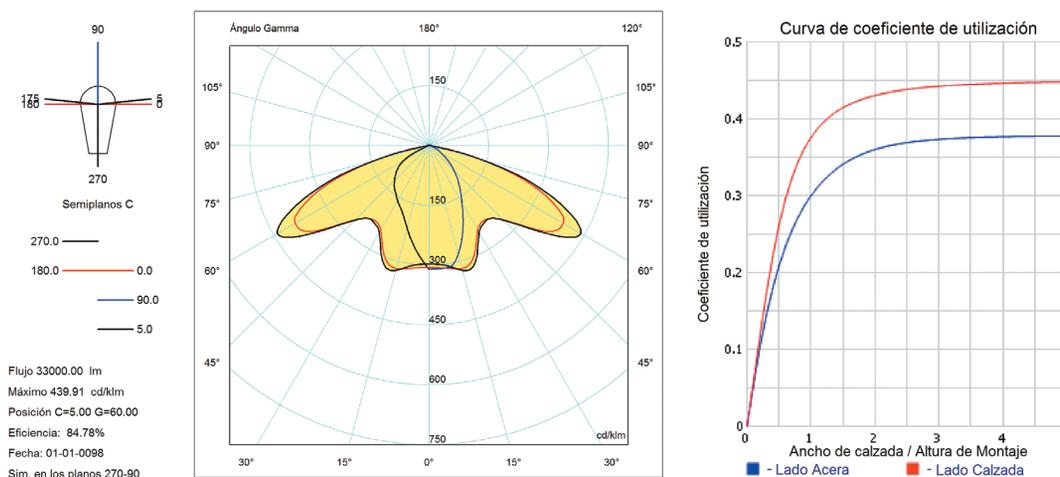


Figura 5. Diagrama polar y curvas de coeficiente de utilización de luminaria de VSAP de 150 W.

Fuente: Software Litestar 4D PhotoView en su versión de uso libre y de la herramienta en línea de uso libre Visual Photometric Tool™.



**Figura 6.** Diagrama polar y curvas de coeficiente de utilización de luminaria de VSAP de 250 W.

**Fuente:** Software Litestar 4D PhotoView en su versión de uso libre y de la herramienta en línea de uso libre Visual Photometric Tool™.

Como se pudo observar en la figura 6 los valores de iluminancia promedio provistos por la instalación existente exceden con gran diferencia los valores mínimos requeridos por la reglamentación aplicable.

La luminaria de 150 W se emplea para dos aplicaciones diferentes: una es la iluminación de senderos peatonales, que son franjas lineales de 2,4 m de ancho; la otra es la iluminación de islas de juegos infantiles, que son áreas circulares con un diámetro mayor que la altura de montaje de las luminarias y para las cuales se está utilizando una sola luminaria localizada en el perímetro del área que se va a iluminar. Por lo anterior, es recomendable utilizar dos distribuciones fotométricas distintas, una para cada aplicación. La primera para los senderos, con máxima intensidad cercana al eje de simetría C0°-180°, y otra para las islas de juegos, con máxima intensidad proyectada hacia adelante de la luminaria, situada en torno a los planos C45°-135°. Con esto se pretende maximizar la eficiencia del haz de luz proyectado por las luminarias según la forma de las áreas por iluminar.

La luminaria de 250 W se utiliza para iluminar las canchas múltiples, que cuentan cada una con cuatro luminarias dispuestas en los dos lados largos del rectángulo, como se mostró en el plano esquemático de la Figura 1. En este caso, como cada

luminaria ilumina un cuadrante del rectángulo es deseable que el haz de luz de la luminaria esté moderadamente proyectado hacia adelante y hacia los lados, con la intensidad máxima ubicada en torno a los planos C25°-165°, aproximadamente.

En cuanto a los ángulos  $\gamma$  de máxima intensidad, es recomendable en este tipo de aplicaciones conservar ángulos inferiores a 65° para evitar el exceso de luz dirigida a zonas que no son de interés, tales como zonas verdes y fachadas de edificaciones vecinas. Puesto que la altura libre de los postes es relativamente grande (8,4 y 10,2 m) para el tipo de uso del espacio, se descarta que haya problemas por deslumbramiento a los usuarios del parque.

En los tres casos descritos es deseable que la relación entre coeficientes de utilización  $K1/K2$  esté en un rango de 1,5 a 2,5, favoreciendo una mayor emisión de luz de las luminarias hacia adelante, conservando un poco de emisión de luz hacia atrás, suficiente para iluminar parcialmente el entorno verde de las zonas duras. Aunque las zonas verdes no tienen un requisito específico de iluminación, es conveniente que cuenten con algo de iluminación para brindar un contexto a las áreas de interés y minimizar los posibles riesgos que plantean las zonas no iluminadas.

### Paso 3. Definición de los parámetros deseados de las luminarias LED equivalentes

De acuerdo con la información obtenida en los pasos anteriores, se define un tipo de luminaria LED para cada uno de los tres tipos de área analizados en el caso de estudio (senderos, juegos infantiles, canchas múltiples), y que funcionarán como remplazo de las luminarias existentes en tecnología de VSAP. Al mismo tiempo se define un conjunto de parámetros deseados para cada tipo de luminaria, los cuales se muestran en la Tabla 2. Allí se observa que el flujo luminoso y la eficacia luminosa deseados corresponden inicialmente a los de las luminarias existentes (en VSAP), aunque se espera que este valor pueda ser menor en el primer caso y mayor en el segundo, dada la mayor utilización del flujo luminoso que permitirá la cuidadosa selección de la distribución fotométrica.

Al mismo tiempo se fijaron las características cromáticas en una CCT en el rango de 3.700 K a 4.300 K, con un IRC superior a 70.

Además de los parámetros fotométricos de los pasos 2 y 3, se incluyeron también en la Tabla 2 algunos atributos típicos de las luminarias para alumbrado público que se emplean en la ciudad de Bogotá, como el rango de tensión de alimentación, índices de protección contra ingreso de partículas y agua (IP), índice de protección contra impactos mecánicos (IK) y color de la luminaria.

### Paso 4. Búsqueda y selección de las luminarias LED equivalentes

A partir de los parámetros deseados consignados en la Tabla 2, se buscaron dentro del mercado local al menos dos opciones de remplazo de diferente fabricante para los tres tipos de aplicación encontrados en el escenario seleccionado como caso de estudio. En la Figura 7 y Figura 8 se presentan los diagramas polares y curvas de coeficiente de utilización de las luminarias LED seleccionadas como posibles remplazos provenientes de los fabricantes 'A' y 'B', respectivamente.

**Tabla 2.** Cuadro de parámetros deseados para los tres tipos de luminarias LED de remplazo en el caso de estudio.

Parámetro	Und	Luminaria 1	Luminaria 2	Luminaria 3
Uso	-	Senderos peatonales	Islas de Juegos	Canchas Múltiples
Flujo luminoso	lm	<12500	<12500	<28000
Eficacia luminosa	lm/W	>100	>100	>100
Corriente de alimentación de los LED	mA	<700	<700	<700
Vida útil	h	>100.000		
CCT <sup>1</sup>	K	4000 ± 300	4000 ± 300	4000 ± 300
IRC <sup>2</sup>	-	>70	>70	>70
Plano C de máx. intensidad	°	5-175	45-135	25-165
Relación coef. K1/K2	-	1,5-2,5	1,5-2,5	1,5-2,5
Control de encendido	-	Fotocelda	Fotocelda	Fotocelda
Tensión de alimentación	V	120-277	120-277	120-277
IP <sup>3</sup>	-	>65	>65	>65
IK <sup>4</sup>	-	>09	>09	>09
Color de la luminaria	-	Gris RAL7004	Gris RAL7004	Gris RAL7004

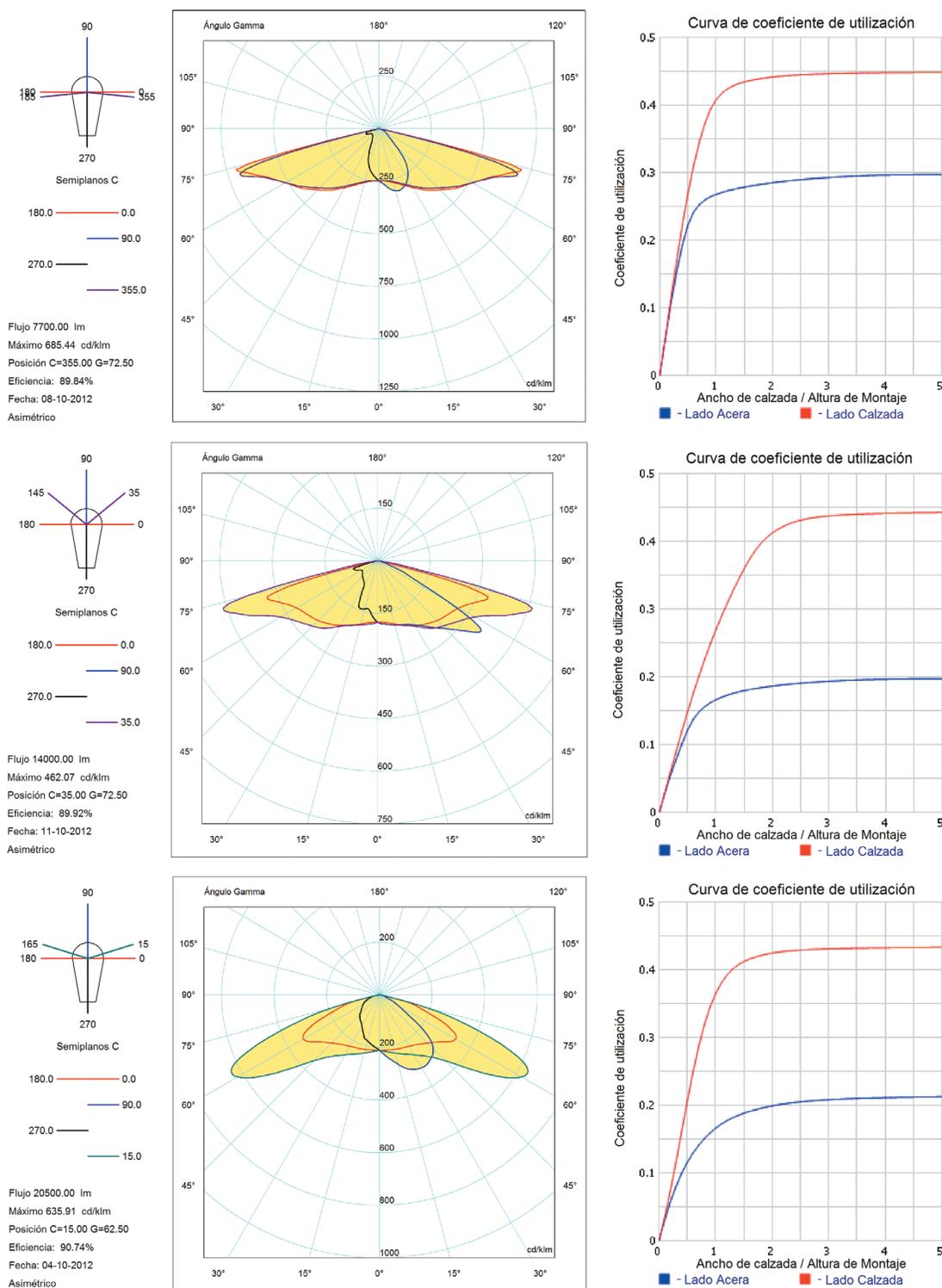
<sup>1</sup> Temperatura del color, del inglés Correlated Color Temperature.

<sup>2</sup> Índice de reproducción del color.

<sup>3</sup> Índice de protección contra el ingreso de partículas y agua, según norma internacional ANSI/IEC 60529-2004.

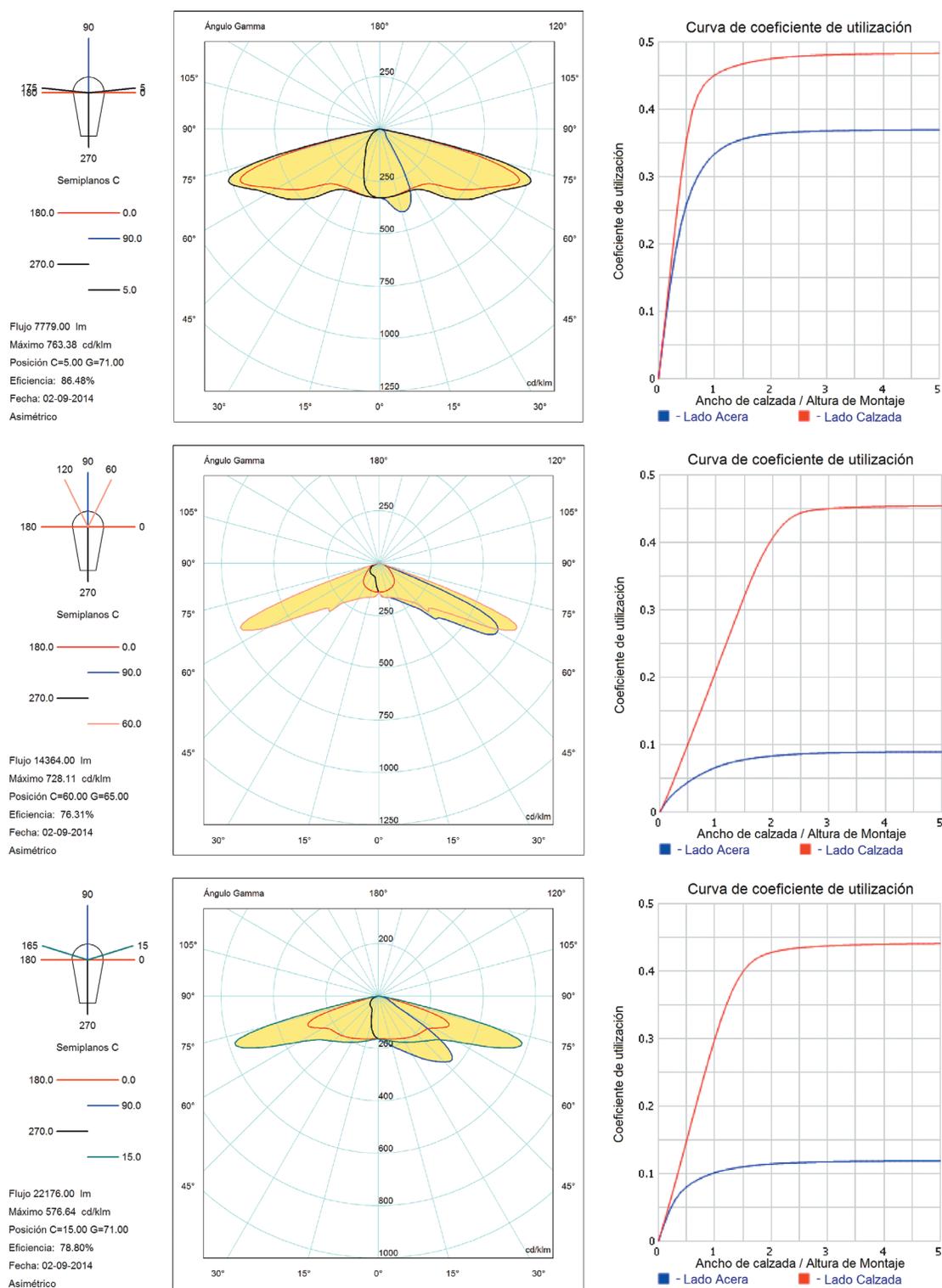
<sup>4</sup> Índice de protección contra impactos mecánicos, según norma internacional ANSI/IEC 60529-2004.

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 7.** Diagrama polar y curvas de coeficiente de utilización de luminarias LED seleccionadas del fabricante 'A'. Arriba: luminaria para senderos. Centro: luminaria para juegos infantiles. Abajo: luminaria para canchas múltiples.

**Fuente:** Software Litestar 4D PhotoView en su versión de uso libre y de la herramienta en línea de uso libre Visual Photometric Tool™.



**Figura 8.** Diagrama polar y curvas de coeficiente de utilización de luminarias LED seleccionadas del fabricante 'B'. Arriba: luminaria para senderos. Centro: luminaria para juegos infantiles. Abajo: luminaria para canchas múltiples.

**Fuente:** Software Litestar 4D PhotoView en su versión de uso libre y de la herramienta en línea de uso libre Visual Photometric Tool™.

### Paso 5. Verificación del desempeño de las luminarias LED equivalentes mediante cálculos fotométricos

Se verificó el desempeño de las luminarias LED seleccionadas mediante cálculos fotométricos aplicados a las zonas peatonales del caso de estudio. Estas corresponden al área total de senderos, islas de juegos infantiles y canchas múltiples. Como se mencionó antes, las zonas verdes no requieren iluminación en forma obligatoria. Dentro de cada cálculo se presentan resultados para cuatro grillas de cálculo específicas e iguales a las que se emplearon en las mediciones de iluminancia durante la caracterización inicial de la instalación existente en el caso de estudio.

Los cálculos fotométricos se ejecutaron en una primera iteración obedeciendo al cuadro de parámetros deseados de la Tabla 2. Sin embargo, fue necesario ajustar los flujos luminosos de cada luminaria con el objetivo de optimizar el desempeño del sistema de iluminación y reducir la posibilidad de sobreiluminar los espacios durante el período inicial de vida de la instalación. Aunque en el caso particular de las islas de juegos infantiles fue necesario, contrariamente a lo esperado, incrementar el flujo luminoso de la luminaria a un valor superior al límite establecido la Tabla 2.

Con el uso del factor de mantenimiento de 0,76, como se indicó antes, los resultados de los cálculos fotométricos corresponden a los niveles de iluminación esperados en el peor estado supuesto de la instalación, es decir, cuando el vidrio de las luminarias se encuentra sucio y cuando los módulos LED han cumplido su tiempo de remplazo programado.

### Comparación de mediciones registradas en instalación existente y cálculos fotométricos

Los resultados de los cálculos fotométricos para las cuatro grillas seleccionadas se presentan en la Tabla 3 y se comparan con los valores de referencia del RETILAP. Allí se puede observar que la instalación propuesta tanto con luminarias del fabricante A como del fabricante B excede todos los requisitos mínimos de iluminancia y uniformidad para cada tipo de área, conforme a los requisitos aplicables a cada una según el RETILAP.

### Comparación económica

En la Tabla 4 se muestran los resultados que arroja el formulario de cálculo de indicadores de evaluación económica mencionados anteriormente y de impacto ambiental, como son el consumo de energía y las emisiones estimadas de CO<sub>2</sub> que tendría cada escenario analizado.

Desde el aspecto económico se puede ver que, de las dos alternativas estudiadas, la que muestra los mejores indicadores en la evaluación económica es la del fabricante 'A', pues presenta un tiempo de retorno de la inversión de 6,8 años en comparación con los 9,6 del fabricante 'B'.

De la misma manera, los valores de VPN y TIR son también más favorables para el fabricante 'A'. En cuanto al CAE y el CTP, se puede observar que ambas opciones reflejan unos costos menores, aunque sigue siendo el fabricante 'A' el que exhibe un mejor desempeño, demostrando una reducción de 32% en

**Tabla 3.** Resultados de cálculos de iluminancia con las luminarias LED de los fabricantes A y B.

Grilla	Descripción del área	Valores de referencia (RETILAP)		Instalación existente VSAP		Cálculos con luminaria LED del fabricante A		Cálculos con luminaria LED del fabricante B	
		Eprom [lux]	U <sub>0</sub>	Eprom [lux]	U <sub>0</sub>	Eprom [lux]	U <sub>0</sub>	Eprom [lux]	U <sub>0</sub>
1	Sendero peatonal 1	15	0,33	24,1	0,37	17	0,64	19	0,67
2	Sendero peatonal 2	15	0,33	23,8	0,38	16	0,37	19	0,37
3	Cancha múltiple	50	0,40	68,7	0,61	53	0,66	52	0,70
4	Juegos infantiles	15	0,33	16,8	0,24	16	0,50	17	0,71

Fuente: elaboración propia.

el CTP con respecto al escenario de conservar la instalación existente, mientras el fabricante 'B' ofrecería una reducción de 28%. Esta observación es más evidente en la Figura 9, en donde se observa el CTP de las tres alternativas y se hace la distinción entre costos de inversión, mantenimiento y energía.

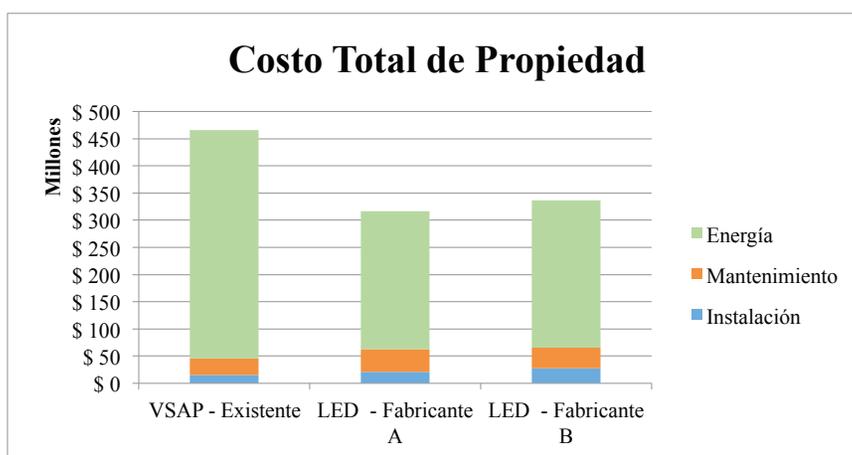
De la Figura 9 también se destaca que el rubro que hace la diferencia más grande a favor de las alternativas con tecnología LED es el costo de la energía, pues con las dos alternativas evaluadas el ahorro energético está alrededor de 40%.

Finalmente, con relación al impacto ambiental se observa que el remplazo de las luminarias existentes en el caso de estudio por luminarias de tecnología LED permitiría alcanzar una reducción de consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> en torno a 40%, en comparación con el caso en que la instalación continuara el uso de luminarias de VSAP. Esta reducción representa que se dejarían de emitir entre 25 y 30 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera durante los 30 años de vida de la instalación. Lo anterior aplica para la tasa de emisión promedio

**Tabla 4.** Indicadores de evaluación económica y de impacto ambiental para las dos alternativas en tecnología LED y un tercer escenario, en el que se conservará la instalación existente con luminarias de VSAP.

Indicadores de evaluación	VSAP-existente	LED-fabricante A	LED-fabricante B
Retorno simple de la inversión [años]		6,8	9,6
Valor presente neto		\$ 9.204.259	\$ 1.857.278
Tasa interna de retorno		21,25%	15,00%
Costo anual equivalente [\$]	-\$ 10.019.693	-\$ 8.713.991	-\$ 9.756.223
Costo total de propiedad	\$ 465.825.755	\$ 316.414.941	\$ 336.503.968
Reducción en CTP [%]	-	-32%	-28%
Consumo de energía [kWh]	472.120	284.481	303.665
Costo de la energía [\$]	\$ 420.527.958	\$ 253.393.551	\$ 270.481.523
Emisiones [ton CO <sub>2</sub> ]	72,23	43,53	46,46
Reducción en costo, consumo de energía y emisiones [%]	-	-40%	-36%

Fuente: elaboración propia.



**Figura 9.** Representación gráfica del costo total de propiedad de la instalación existente y las dos alternativas de remplazo, obtenida del formulario de evaluación económica.

Fuente: elaboración propia.

de Colombia de los años 2009, 2010 y 2011, de 153 g de CO<sub>2</sub> por kWh de energía eléctrica generado, según (International Energy Agency, 2013).

## CONCLUSIONES

Como la normatividad y reglamentación están sujetas a procesos prolongados en el tiempo, es difícil por su parte responder con prontitud a los rápidos avances de la tecnología de estado sólido para iluminación. No obstante, la teoría de la iluminación artificial sigue siendo aplicable a la tecnología LED, luego un estudio cuidadoso y crítico puede facilitar la selección de productos de buena calidad y la construcción exitosa de sistemas de iluminación basados en esta tecnología.

En el aspecto económico se pudo verificar que la longevidad y la reducción del consumo de energía que ofrecen los equipos de iluminación de tecnología LED son razones suficientes para promover su implementación en aplicaciones como la abordada en el caso de estudio. Si bien el escenario seleccionado para aplicar el procedimiento propuesto es de una escala pequeña, es un ejemplo muy representativo de los más de 2.000 parques vecinales y casi 100 parques zonales con que cuenta la ciudad de Bogotá, que representan entre 10 y 15% del total de luminarias que tiene el sistema de alumbrado público de la ciudad.

Aunque en el análisis económico presentado en este documento se obtuvo un retorno de la inversión entre el sexto y el séptimo año después de la inversión inicial, la realización de estudios similares pero a mayor escala e involucrando otros tipos de beneficios económicos, puede conducir a la obtención de valores aún más favorables en este indicador. Además, la reducción del precio de los equipos de iluminación LED que se espera en los próximos años y la constante mejora de la eficiencia de los chips LED provocará que a mediano plazo la inversión en esta tecnología sea económicamente más atractiva y rentable.

## REFERENCIAS

- Comisión de Regulación de Energía y Gas (08 de 09 de 2011). Metodología para la determinación de costos máximos que deberán aplicar los municipios o distritos, para remunerar a los prestadores del servicio así como el uso de los activos vinculados al sistema de alumbrado público. Documento CREG-102. Bogotá, Colombia.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (2011). Resolución No. 123 de 2011. Bogotá.
- International Energy Agency (2013). CO<sub>2</sub> emissions per kWh from electricity generation. In: I. E. Agency, CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion: Highlights. París.
- Ministerio de Minas y Energía (2010). Cálculo del factor de mantenimiento. En: Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. Bogotá.
- Ministerio de Minas y Energía (2010). Esquema de Mantenimiento de Instalaciones de Alumbrado Público. En: Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. Bogotá.
- Ministerio de Minas y Energía (2010). Mediciones Fotométricas de Alumbrado Público. En: Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. Bogotá.
- Ministerio de Minas y Energía (2010). Niveles Exigidos de Luminancia e Iluminancia en Alumbrado Público. En: Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. Bogotá.
- Unidad de Planeación Minero Energética (2014). [www.upme.gov.co](http://www.upme.gov.co). (Sistema de Información Eléctrico Colombiano). Recuperado el 15 de 08 de 2014, de: [http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta\\_SuiConsumo.aspx?IdModulo=2&Servicio=4](http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_SuiConsumo.aspx?IdModulo=2&Servicio=4)
- Universidad Nacional de Colombia (01 de 09 de 2014). Indicadores de evaluación económica. Obtenido de: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/eLearning/dnp/2/swf/indicadores-evaluacion.swf>





## Estudio experimental de potencias, factor de potencia y energía eléctrica en cargas industriales tomando como referencia la norma IEEE Std 1459-2010

### Experimental study of powers, power factor and energy in industrial loads by reference to IEEE STD 1459-2010

Alexander Daza Urrego<sup>1</sup>, Clara Inés Buriticá Arboleda<sup>2</sup>, Yaqueline Garzón Rodríguez<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 15 de febrero de 2015

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

Cómo citar: Daza Urrego, A., Buriticá Arboleda, C. I., & Garzón Rodríguez, Y. (2015). Estudio experimental de potencias, factor de potencia y energía eléctrica en cargas industriales tomando como referencia la norma IEEE Std 1459-2010. *Revista Tecnura*, 19, 41-54. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a03

#### Resumen

Las potencias eléctricas y factor de potencia (FP) son variables eléctricas que inciden a nivel industrial en el cálculo del costo de la energía eléctrica consumida; para su obtención generalmente se utilizan medidores digitales o analizadores de calidad (PQA) que emplean diferentes algoritmos o metodologías para el cálculo de la energía eléctrica, encontrándose diferencias importantes al comparar los registros obtenidos para cada una de las variables medidas. El presente artículo realiza un estudio experimental para obtener las variables eléctricas a partir de lo estipulado en la metodología señalada por norma IEEE Std 1459-2010, que se toma como referente para comparar valores para potencia reactiva que varían hasta un 40% y potencia aparente y factor de potencia hasta un 20%. Error que se atribuye a que algunos equipos de medida digitales no analizan el sistema trifásico como único y real sino como la suma de tres sistemas independientes e ideales.

**Palabras Clave:** Potencia eléctrica, error, cargas industriales, factor de potencia, PQA.

#### Abstract

Electric power and power factor (PF) are electric variables affecting industrial level for the calculation of the cost of electricity consumed; generally for its securing digital meters or quality analyzers (PQA) are generally used, applying different algorithms or methodologies for calculating electric power, finding significant differences when comparing the obtained records to each of the measured variables. This article takes an experimental study for electrical variables from the provisions of the methodology outlined by IEEE Std 1459-2010, which is taken as a reference to compare values for reactive power ranging up to 40% and apparent power factor to 20%. Error attributed to the fact that some digital equipment do not analyze the measurement phase as the only and real system, but as the sum of three independent and ideal systems.

**Keywords:** Electric Power, miscalculation, industrial loads, Power Factor, PQA.

<sup>1</sup> Tecnólogo en Electricidad, especialista en redes eléctricas. Egresado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [adazau@correo.udistrital.edu.co](mailto:adazau@correo.udistrital.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniera electricista, doctora Universidad Politécnica de Valencia Gestión Eficiente de la Energía Eléctrica. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [ciburiticaa@udistrital.edu.co](mailto:ciburiticaa@udistrital.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniera en Distribución y Redes Eléctricas; maestría en ciencias de información y comunicaciones, docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [ygarzonr@udistrital.edu.co](mailto:ygarzonr@udistrital.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

La medición de la energía eléctrica es una tarea del proceso de distribución de energía, actividad que involucra parámetros eléctricos tan importantes como potencia activa (P), potencia reactiva (Q), potencia aparente (S) y el factor de potencia (FP); variables que inciden en el cálculo del costo de la energía eléctrica consumida para fines comerciales.

De acuerdo con esto se han venido desarrollando equipos con diferentes funciones que permiten obtener el cálculo de estos parámetros y brindar mayor información en cuanto a estos tanto para el cliente como para las empresas prestadoras del servicio, pero existe un interrogante al respecto: ¿cómo o bajo qué normatividad se hace la determinación de estos parámetros?

Adicionalmente los sistemas eléctricos reales cuentan con cargas no lineales que a pesar de ser alimentadas con un voltaje sinusoidal absorben una corriente no sinusoidal originando distorsiones armónicas que tienen efectos en la vida útil de los equipos industriales, y que también pueden afectar las mediciones arrojadas por los equipos de medida.

Otro aspecto que tiene relevancia en la medición de potencia y en dichos equipos es la metodología empleada para la obtención de potencias totales ya que se analiza el sistema trifásico como tres sistemas monofásicos, olvidándose que es un sistema único, tanto en su operación como en su funcionamiento.

De acuerdo con lo anterior se propone un estudio experimental tomando como referencia la metodología descrita en la norma IEEE Std 1459-2010

y en esta forma tener un referente teórico para el cálculo de los parámetros eléctricos objeto de esta investigación, ya que en cuanto a los analizadores de calidad (PQA) no es muy clara la forma que utilizan para el cálculo de los mismos.

Para lo anterior se contactan las empresas DISICO S.A. y el Centro Nacional de Aeronavegación (CNA), en las cuales se permite el acceso con una limitante y es que solo en la segunda empresa se contaba con un PQA propio. Como resultado de este estudio se obtienen diferencias porcentuales importantes en parámetros eléctricos como Q, S y FP; además en estas empresas se evidencia la presencia de cargas con niveles de distorsión armónica de tensión y corriente elevados, es decir, superior al recomendado que los usuarios puedan inyectar al sistema, (IEEE Std 519, 2014).

## METODOLOGÍA

### Preliminares

#### *Sistema de medida*

Los equipos de medida utilizados en cada una de las empresas mencionadas están relacionados en la tabla 1.

Los equipos en referencia fueron seleccionados a partir del siguiente criterio:

- PQA: de manejan aspectos importantes de los cuales se destacan dos: el primero, que en sus especificaciones técnicas sea catalogado como equipo de clase A para mediciones de variables eléctricas, y segundo, la posibilidad de poder acceder a los mismos debido a que por ser de alta gama no se permite su manipulación a cualquier personal.

**Tabla 1.** Relación de los equipos de medida en la empresa DISICO S.A. y en la CNA.

	DISICO S.A.	CNA
Analizador	PQA Fluke 434 (equipo alquilado)	PQA HIOKI 3196 (equipo de la empresa)
Osciloscopio	RIGOL DS11002E	RIGOL DS11002E

**Fuente:** Autores.

- Osciloscopio: de modo similar se evidenciaron dos aspectos: primero, se necesita un equipo que maneje un amplio ancho de banda para poder analizar los armónicos a distintos niveles de frecuencia, y la segunda, el acceso a la captura en un formato compatible con Excel; software mediante el cual se efectúa el cálculo y análisis de los mismos.

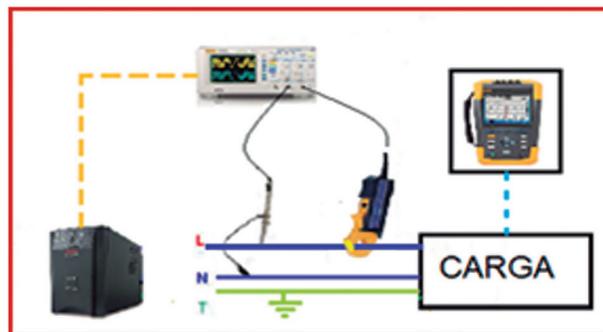
Durante el proceso de diseño de este sistema de medida se deben cumplir durante las mediciones ciertas condiciones que garanticen un consolidado de datos óptimo para su posterior análisis; estas se mencionan a continuación:

- Identificación del comportamiento de la carga en períodos en los cuales no presenta mayores cambios de magnitud en cuanto a la energía consumida, para garantizar, en el momento de manipular el equipo de medida en cada una de las fases, un error aleatorio (NTC 2194) menos significativo.

Garantizar un punto de referencia flotante al osciloscopio para evitar interferencias mediante la implementación de una UPS para la alimentación del equipo en modo batería (otra fuente), y así no ver reflejado el consumo del osciloscopio al conectarlo a la red de la cual se alimenta la carga.

- Captura de datos con una periodicidad de 15 minutos por registro, ya que es el tiempo estimado para efectuar las respectivas mediciones en cada una de las fases siguiendo los respectivos procedimientos de seguridad establecidos por el departamento de salud ocupacional (SO) en cada una de las empresas sometidas a medición.

Con las condiciones mencionadas previamente, se presenta el diseño del sistema de medida implementado en la figura 1, en el cual se contempla el registro de las señales de tensión  $v(t)$  y corriente  $i(t)$  capturadas por el osciloscopio y de manera simultánea, el registro de datos del PQA.



**Figura 1.** Sistema de medida implementado durante las mediciones de las cargas industriales.

**Fuente:** elaboración propia.

En vista de que en los PQA disponibles para realizar los registros en las dos empresas en mención se desconoce dentro de su metodología de cálculo de variables eléctricas que se realice según lo establecido en la Norma IEEE Std 1459-2010, objeto de estudio fundamental de este trabajo, se hace necesario tomar como valor de referencia (concepto apropiado de la NTC 2194) aquellos basados en los datos reconstruidos mediante la serie de Fourier a partir de los datos instantáneos obtenidos por el osciloscopio, para obtener los cálculos de  $P$ ,  $Q$ ,  $S$  y  $FP$  basados en la norma IEEE en mención. Además para asegurar una correcta medición de distorsión armónica estas mediciones se deben hacer en el punto en donde el usuario se conecta a la red pública; dicho punto recibe el nombre de punto de acople común (IEEE Std 519, 2014).

#### *Análisis del error aleatorio en cada uno de los tiempos de barrido disponibles en el osciloscopio RIGOL DS1102E.*

Dentro de la investigación efectuada por Galvis Otálora y Sandoval Macías (2010), se resalta una metodología para calcular el error existente en cada uno de los tiempos de barrido disponibles en el osciloscopio, por lo cual se implementa ya que para realizar la reconstrucción de las señales de

tensión y corriente mediante la serie trigonométrica de Fourier esto es fundamental.

Implementando el sistema de medida señalado en la figura 1, se capturan los datos para los diferentes tiempos de barrido disponibles en el equipo, los cuales se pueden apreciar en la tabla 2.

Una vez obtenidos los datos se procede a calcular, basados en la norma, la potencia activa (P) a partir de las señales capturadas. Esta potencia se confronta con la registrada con el analizador durante su conexión simultánea. *“Es muy importante aclarar en este punto que previo a realizar las mediciones en esta carga, se determina que maneja un comportamiento constante (Entiéndase como comportamiento constante a la poca variabilidad de Potencia Activa en el transcurso del tiempo de registro)”*.

Para hacer dicha comparación, se tiene presente la necesidad de efectuar el cálculo del error relativo, el cual se expresa en la ecuación (1), en la que se relaciona como  $V_M$  el valor medido y  $V_V$  como un valor convencionalmente verdadero en magnitud.

En este punto se hace la siguiente aclaración; según (NTC 2194) los valores verdaderos son por naturaleza indeterminados y por eso se les asigna

la denominación de *valor convencionalmente verdadero*, ya que son poseedores de una incertidumbre adecuada para un propósito dado y se suele utilizar este término cuando se presenta un gran número de resultados de mediciones para establecer dicho valor.

$$E_R = \frac{V_M - V_V}{V_V} \quad (1)$$

En ese orden de ideas, el valor medido se considera como el registro tomado del PQA y como un valor convencionalmente verdadero en magnitud, el obtenido matemáticamente a partir de la construcción de la serie trigonométrica de Fourier. Una vez calculado dicho error o diferencia porcentual se obtiene para cada tiempo de barrido el valor correspondiente para este parámetro, y se contrastan en la tabla 3.

A fin de definir el tiempo de barrido más apropiado para trabajar un error menos significativo, se implementa la interpolación de LaGrange (Galvis Otálora & Sandoval Macias, 2010) para comparar las diferencias porcentuales que se presentan en cada una de los cuatro tiempos disponibles.

**Tabla 2.** Tiempos de barrido disponibles en el osciloscopio RIGOL DS1102E.

Osciloscopio RIGOL DS1102E		
Frecuencia de muestreo	Tiempos de barrido	Tiempo de muestreo
$3.9 \times 10^{-05}$	2 [ms]	419 datos
$9.9 \times 10^{-05}$	5 [ms]	165 datos
$2.0 \times 10^{-04}$	10 [ms]	83 datos
$3.8 \times 10^{-04}$	20 [ms]	43 datos

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 3.** Error relativo obtenido para cada tiempo de barrido.

Tiempos de barrido [s]	Potencia eléctrica trifásica [W]	Potencia eléctrica PQA [W]	Error relativo [%]
$3.9 \times 10^{-05}$	26573,89	25800	2,91%
$9.9 \times 10^{-05}$	25652,56	25800	0,57%
$2.0 \times 10^{-04}$	26547,76	25800	2,82%
$3.8 \times 10^{-04}$	30765,97	25800	16,14%

**Fuente:** elaboración propia.

En la figura 2 se puede apreciar el comportamiento del error relativo una vez efectuada dicha interpolación matemática. Se observa que el error por redondeo y por truncamiento alcanza sus máximas expresiones al implementar un tiempo de barrido de 2, 10 y 20 [ms], lo que permite afianzar que el más apropiado para el registro de datos y posterior estudio matemático mediante series de Fourier es el de 5 [ms].

### Mediciones

A partir del montaje presentado como sistema de medida en la Figura 1, se realiza la captura de datos de cada uno de los analizadores y los registros instantáneos del osciloscopio para cada una de las cargas industriales. En la empresa DISICO S.A. se instaló durante 3 días el analizador de calidad de potencia PQA FLUKE 434/PWR, configurado previamente para hacer un registro de datos seleccionando un tiempo de barrido de 5 minutos, el menor disponible. En la empresa CNA se instala durante 1 día el analizador de calidad de potencia

PQA HIOKI 3196, configurado previamente para capturar datos a un tiempo de barrido de 1 segundo (por disposición del equipo).

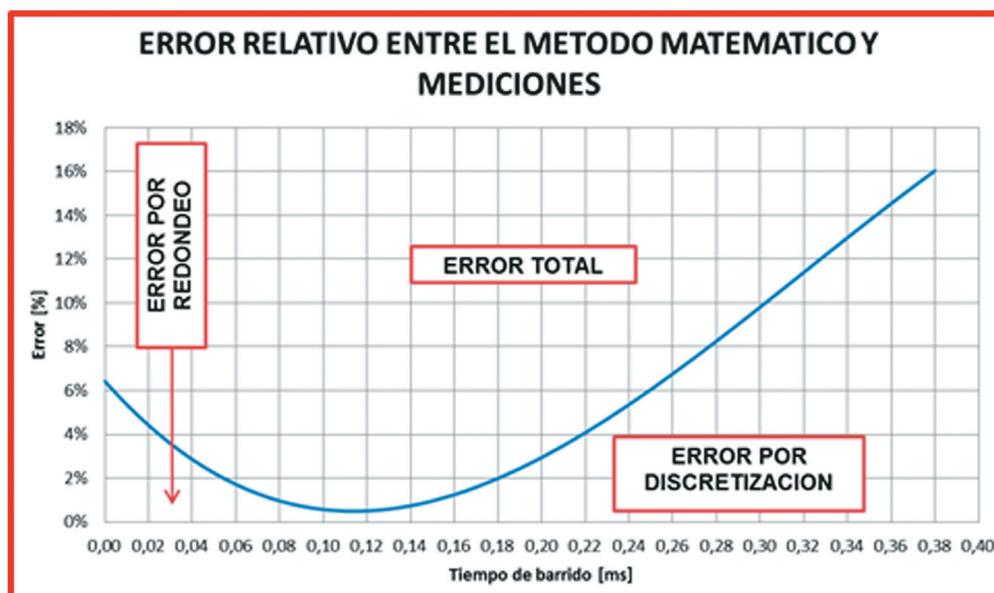
El tiempo de medición establecido para cada una de las empresas es suficiente para los objetivos de la investigación, ya que el proyecto se remite a efectuar una comparación de un referente teórico obtenido de los cálculos de P, Q, S y FP referenciados en la norma IEEE 1459-2010 y los datos obtenidos para los mismos mediante cada uno de los PQA.

## RESULTADOS

Una vez obtenidos los datos tanto del analizador como del osciloscopio se consolida la siguiente información:

### Resultados obtenidos, empresa DISICO S.A.

Para la empresa referenciada en la tabla 4 se relacionan los intervalos de tiempo de los días seleccionados.



**Figura 2.** Comportamiento de error relativo vs. tiempo de barrido.

**Fuente:** elaboración propia.

Las magnitudes de las variables obtenidas a partir de los registros instantáneos del osciloscopio fueron sometidas a tres diferentes métodos de integración numérica: RIEMMAN, SIMPSON y TRAPECIO, sumándose a esto la participación de las fórmulas matemáticas citadas en la norma (IEEE Std 1459, 2010) para señales no sinusoidales con distorsión armónica para el cálculo de las potencias eléctricas y FP. Esta información se relaciona en las tablas 5 y 6 respectivamente.

Como se evidencia en la tabla 6, el valor obtenido para el FP aplicando los distintos métodos de integración numérica no difieren en la mayoría de los casos. Se aprecia que el comportamiento del FP evidenciado tiene una magnitud que no

dista mucho una de la otra, excepto para el día jueves, día que fue atípico en la empresa, por lo cual no se considera dentro de las mediciones estimativas.

Así mismo, los valores registrados para las distintas variables eléctricas por el PQA FLUKE 434 para los días martes, miércoles y viernes se relacionan en la tabla 7.

Una vez efectuadas dichas mediciones, se procede a hacer una comparación de las magnitudes obtenidas calculando su respectiva diferencia porcentual o error relativo a partir de la ecuación (1), para cada variable eléctrica obtenida aplicando los métodos de integración numérica y el registro obtenido por el analizador. En este comparativo se

**Tabla 4.** Intervalos de tiempo de medición, DISICO S.A.

PQA FLUKE 434 – DISICO S.A.			
Fecha de medición	Tiempo de inicio	Tiempo de finalización	Potencia promedio
12/11/13	18:21:56	18:51:56	255.54 W
13/11/13	12:21:56	13:11:56	520 W
15/11/13	8:56:56	9:06:56	906.67 W

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 5.** Potencia activa y reactiva calculada a partir de los valores instantáneos del osciloscopio RIGOL DS1102E.

Variable eléctrica/día	Potencia reactiva Q [VAR]			Potencia aparente S [VAR]		
	Martes	Miércoles	Viernes	Martes	Miércoles	Viernes
Riemman	260.27	488.24	799.46	362.5	726.85	1214.25
Simpson	257.26	478.59	796.51	357.49	713.88	1193.61
Trapecios	257.46	481.78	790.59	357.42	713.88	1193.15

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 6.** Factor de potencia calculado a partir de los valores instantáneos del osciloscopio RIGOL DS1102E.

Variable eléctrica/día	Factor de potencia FP		
	Martes	Miércoles	Viernes
Riemman	0.7	0.74	0.75
Simpson	0.69	0.74	0.74
Trapecios	0.7	0.74	0.75

**Fuente:** elaboración propia.

puede apreciar la potencia activa, reactiva, aparente y FP en las tablas 8 y 9, respectivamente.

Los errores calculados para cada una de las potencias y FP muestran un patrón de comportamiento similar en el momento de entrar a comparar los valores entre cada uno de los métodos de integración numérica, entre los cuales se resalta el método de Simpson por sus bajos índices de error, lo cual lo hace una metodología confiable en el momento de hacer este tipo de estudios comparativos.

Un rango práctico en distorsiones de tensión en los sistemas de potencias es inferior a 10%; sin embargo, para niveles de distorsión de corriente reales, es decir, que contemplen cargas no lineales, sus valores son más altos y existe una diferencia

significativa, en algunos casos superior a 140% (según Ramírez y Cano, 2003).

Los niveles de THD<sub>v</sub> inferiores a 8% se consideran un rango práctico para las distorsiones de tensión en sistemas de potencia (IEEE Std 519, 2014). Los sistemas de potencia con tensiones inferiores a 1 Kv pueden tener hasta 8% de THD<sub>v</sub> normalizado (IEEE Std 519, 2014).

Para el día martes en la empresa DISICO los niveles de THD<sub>v</sub> y de THD<sub>i</sub> obtenidos mediante la ecuación (2), según (Rodríguez Barrera, 2011) en donde:  $F_h$  es la componente armónica de tensión o de corriente,  $h$  es el número de armónico y  $F_f$  es la componente fundamental de tensión o de corriente.

**Tabla 7.** Resultados para los días martes, miércoles y viernes del PQA FLUKE 434.

PQA FLUKE 434		Martes	Miércoles	Viernes
Potencia activa	P [W]	255.54	520	312.38
Potencia reactiva	Q [VAR]	179.05	-346.67	621.33
Potencia aparente	S [VA]	312.38	621.33	1196.17
FP	Adim.	0.67	0.77	0.73

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 8.** Error relativo de potencia activa y reactiva obtenido (analizador vs. osciloscopio).

Variable eléctrica/día	Potencia activa P [%]			Potencia reactiva Q [%]		
	Martes	Miércoles	Viernes	Martes	Miércoles	Viernes
Riemman	1%	3%	3%	31%	29%	4%
Simpson	3%	2%	1%	30%	28%	3%
Trapeacios	3%	2%	1%	30%	28%	2%

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 9.** Error relativo de potencia aparente y FP obtenido (analizador vs. osciloscopio).

Variable eléctrica/día	Potencia Aparente S [%]			Factor de Potencia FP		
	Martes	Miércoles	Viernes	Martes	Miércoles	Viernes
Riemman	14%	15%	1%	4%	4%	3%
Simpson	13%	13%	0%	3%	4%	1%
Trapeacios	13%	13%	0%	4%	4%	3%

**Fuente:** elaboración propia.

$$THD_F = \frac{\sqrt[2]{\sum_{n \neq 1}^{\infty} F_n}}{F_f} * 100\% \quad (2)$$

En la tabla 10 se presentan respectivamente los valores de  $THD_V$  y  $THD_I$  calculados a partir de los valores efectivos de corriente y de voltaje obtenidos mediante el método de integración numérica Simpson, por ser uno de los óptimos para el ajuste de señales no sinusoidales.

**Tabla 10.** Distorsión armónica de tensión (THD).

Variable eléctrica	THDv [%]	THDi [%]
THD	5%	15%

**Fuente:** elaboración propia.

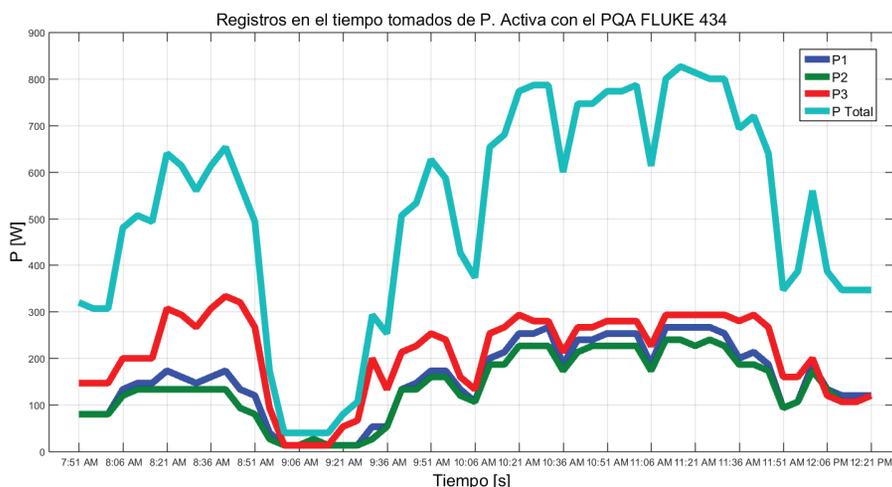
Es importante aclarar que por efectos netamente de equipo resultó imposible poder registrar de manera simultánea los valores de THD de las señales en el PQA FLUKE 434; al no contar este con la opción de registrador se vio limitado el trabajo, pues no era posible hacer registros simultáneos de todas las variables eléctricas por someter a estudio, y por tanto no es posible realizar una comparación de los datos obtenidos por el PQA y los

calculados a partir de los registros obtenidos por el osciloscopio.

Un diagnóstico general del comportamiento de la carga durante un día normal de operación puede apreciarse en la figura 3. Allí se observa que la carga en ciertos ciclos del día no presenta mayores variaciones y permite hacer comparativos en pequeños intervalos de tiempo para efectos de este estudio experimental.

Observando los errores obtenidos en cada medición se puede establecer lo siguiente: los registros tomados bajo distintas condiciones de carga los días martes, miércoles y viernes, con la premisa de analizar ciclos constantes, muestran que el error muchas veces no logra ser superior a 10%, lo cual es un buen indicador para este primer estudio experimental de variables eléctricas. Pero se resalta, por otro lado, que la potencia reactiva generó valores de error por encima de 20% para los registros tomados el día miércoles.

- Respecto a los niveles de las diferencias porcentuales presentadas para la potencia reactiva, son normales cuando los equipos emplean diferentes metodologías de cálculo, como se puede ver en el estudio determinado por otros investigadores



**Figura 3.** Registros en el tiempo tomados de P. activa con el PQA FLUKE 434.

**Fuente:** elaboración propia.

(Gabriel Ordóñez y Duarte Gualdrón, 2005) a diferencia de los resultados obtenidos para la potencia activa y aparente.

### Resultados obtenidos, empresa CNA

Los tiempos establecidos para la empresa en referencia, de acuerdo con la medición de la carga con los equipos de medida se relacionan en la tabla 11.

Las magnitudes de las variables obtenidas a partir de los registros instantáneos del osciloscopio

igualmente fueron sometidas a los tres métodos de integración numérica ya mencionados y empleando las fórmulas matemáticas citadas en la Norma (IEEE Std 1459, 2010) para señales no sinusoidales con distorsión armónica, se calculan las potencias eléctricas, potencia activa y reactiva en las Tablas 12 y 13 potencia aparente y FP en la tabla 12.

Los valores registrados para las distintas variables eléctricas por el PQA HIOKI para el día viernes se relacionan en la tabla 14.

**Tabla 11.** Intervalos de tiempo de medición, CNA.

PQA HIOKI 3196 – CNA			
Fecha de medición	Tiempo de inicio	Tiempo de finalización	Potencia promedio
22/11/13	11:09:21	11:11:30	71402 W

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 12.** Potencia activa y reactiva calculadas a partir de los valores instantáneos del osciloscopio RIGOL DS1102E.

Variable eléctrica/día	Potencia activa P [W]			Potencia reactiva Q [VAR]		
	Riemman	Simpson	Trapecios	Riemman	Simpson	Trapecios
Viernes	70269.55	68026.83	68421.28	88191.04	86590.87	86412.33

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 13.** Potencia aparente y FP calculados a partir de los valores instantáneos del osciloscopio RIGOL DS1102E.

Variable eléctrica/día	Potencia aparente S [VA]			Factor de potencia		
	Riemman	Simpson	Trapecios	Riemman	Simpson	Trapecios
Viernes	53290.24	53575.45	52778.96	0.8	0.79	0.79

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 14.** Resultados obtenidos el día viernes mediante PQA HIOKI 3196.

PQA HIOKI 3196			Viernes
Potencia activa	P	[W]	71401
Potencia reactiva	Q	[VAR]	87866
Potencia aparente	S	[VA]	51087
FP	Adim.	[Adim]	0.81

**Fuente:** elaboración propia.

Las mediciones para esta empresa al ser una carga especial que requiere alimentación constante y fija para las instalaciones del edificio, registró elevados valores de corriente, y así mismo los valores de potencia activa se elevaron de W a kW. De igual manera se emplea el método de integración numérica de Simpson, dado que hace la mejor aproximación.

Una vez efectuadas dichas mediciones, se procede a hacer una comparación de las magnitudes obtenidas calculando su respectiva diferencia porcentual o error relativo, empleando la ecuación (1) para cada variable eléctrica obtenida aplicando los métodos de integración numérica, frente al registro obtenido por el analizador. Este comparativo se puede apreciar en las figuras 4 y 5.

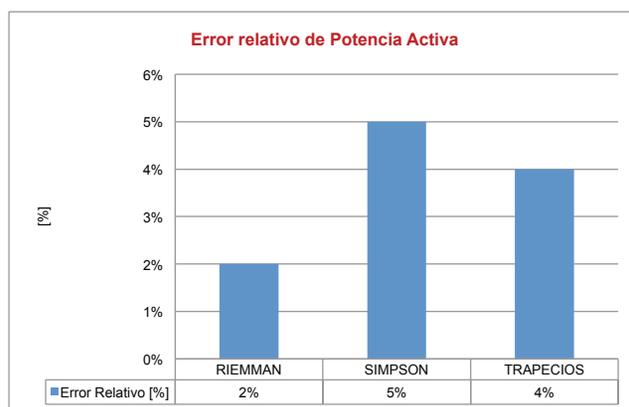


Figura 4. Error relativo de potencia activa y reactiva.

Fuente: elaboración propia.

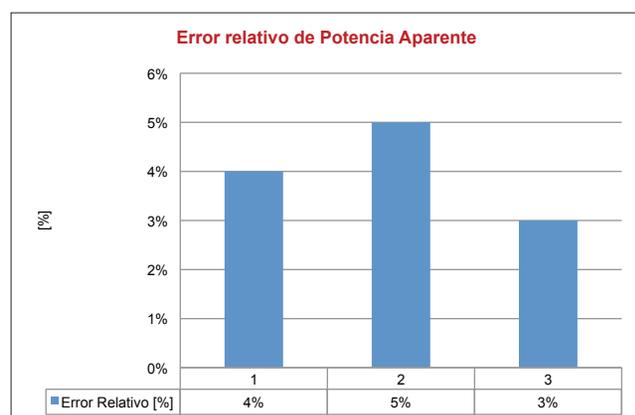
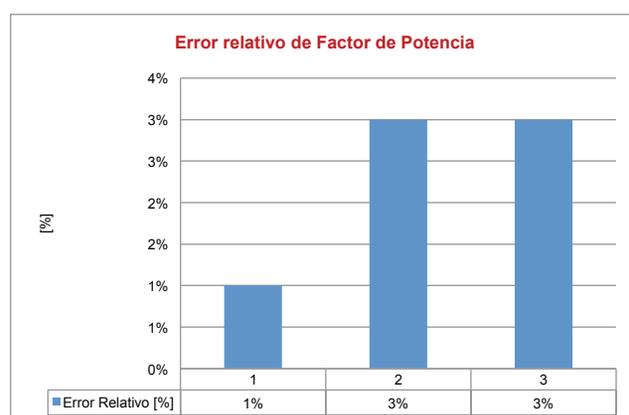


Figura 5. Error relativo de potencia aparente y FP.

Fuente: elaboración propia.



Respecto al THD registrado, se pudo capturar los registros tanto en el PQA como en el osciloscopio realizando el respectivo cálculo a partir de los datos en el marco de lo señalado en (IEEE Std 1459, 2010). En la tabla 15 se puede apreciar el comportamiento de la distorsión armónica para esta medición.

Tabla 15. Distorsión armónica de tensión (THDv) y de corriente (THDi).

Variable eléctrica	THD v	THD i
THD	2%	6%

Fuente: elaboración propia.

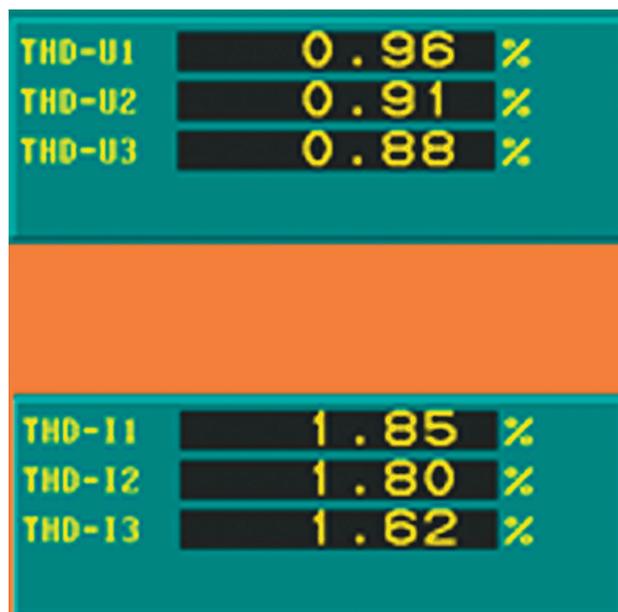
Con este analizador de calidad, al ser una condición especial en donde la carga presenta un consumo constante en la mayoría de sus registros, se toma solo un día de medición y con ella se observa que a nivel general las potencias tanto activa, reactiva, aparente y FP no alcanzan a registrar un error superior a 5%.

En la figura 6 se representan los valores de THD registrados por el PQA.

Así mismo en la figura 7 se evidencia el comportamiento de la carga durante la medición, notándose la poca variación que representa en el sistema al tratarse de una carga especial de alimentación constante.

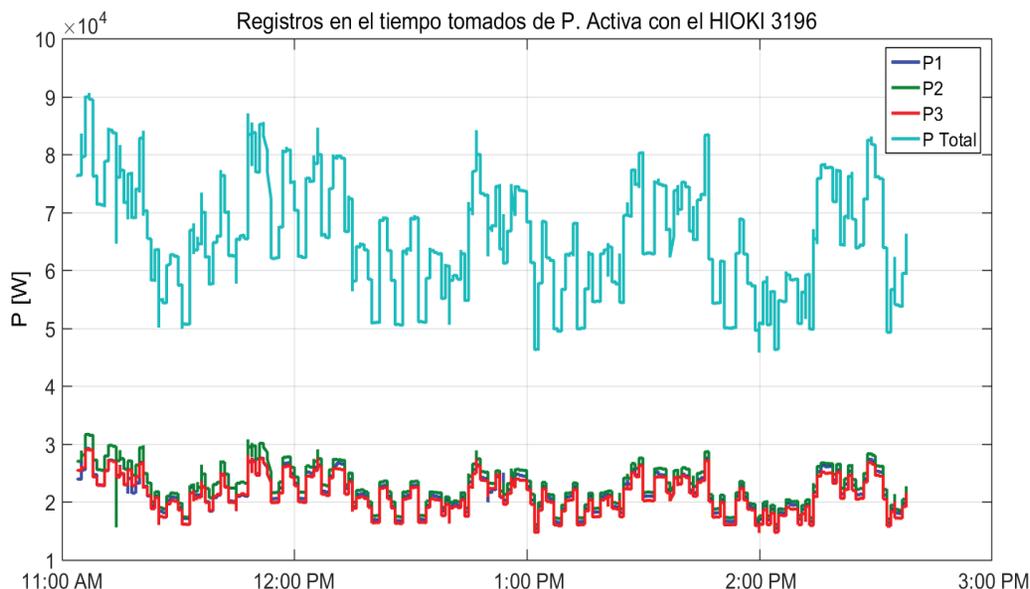
### Incertidumbre de medición

Según (NTC 2194) se define como: “Parámetro asociado con el resultado de una medición, que caracteriza a la dispersión de los valores que en forma razonable se le podría atribuir a la magnitud por medir”. Dicha caracterización se puede apreciar en la tabla 16.



**Figura 6.** Distorsión armónica THD registrada con el PQA HIOKI 3196.

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 7.** Registros en el tiempo tomados de P. activa con el PQA HIOKI 3196.

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 16.** Incertidumbre de medida.

PQA FLUKE 434		HIOKI 3196	
Tensión	Corriente	Tensión	Corriente
± 0.1% del Vn	± 0.5% ± 5 recuentos	± 0.3% de la Vn	± 0.5%
I430 Flexi – TF-II		Pinza 9660	
Corriente		Corriente	
± 1% de lectura		± 1% de lectura	

**Fuente:** elaboración propia.

Siguiendo con este criterio, se calcula a partir del método de diferencias finitas la incertidumbre general para cada una de las mediciones. En la ecuación (3) se señala la implementada para esta diferenciación.

$$\Delta_z = \frac{\partial f(X_0, Y_0)}{\partial X} \Delta_x + \frac{\partial f(X_0, Y_0)}{\partial Y} \Delta_y \quad (3)$$

## ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE ANALIZADORES DE CALIDAD DE POTENCIA

A continuación se presenta la revisión técnico-económica de cuatro PQA utilizados a nivel comercial, en donde se puede apreciar el costo-beneficio al adquirir cada una de las marcas citadas brindando así un contexto más amplio y concreto a la persona interesada en adquirir uno de estos equipos.

En la Tabla 17 se relaciona el costo de cuatro PQA's reconocidos a nivel comercial, costo calculado a partir de indicadores económicos publicados en el diario el tiempo para el día 24 de noviembre de 2014.

**Tabla 2.** Costos comerciales de cuatro marcas de PQA de clase A.

Precios comerciales por referencia	
Equipo	Precio COP
FLUKE 435	COP 21.935.310
METREL MI2898	COP 13.804.000
HIOKI 3198	COP 22.270.434
DRANETZ DPB X108-400	COP 41.464.972

**Fuente:** elaboración propia.

## CONCLUSIONES

- Para obtener los datos del caso de estudio, es importante diseñar un sistema de medida, revisar previamente las especificaciones técnicas de los equipos por utilizar y la normatividad vigente a fin de no incurrir en errores significativos.
- El tiempo de barrido es fundamental para estudios como éste, en el que se hacen tratamientos de señales discretizadas ya que su influencia es definitiva para análisis requeridos.
- Se realiza la reconstrucción de las señales implementado Series de Fourier para obtener el parámetro eléctrico P y, por otra parte, aplicando interpolación de LaGrange para identificar el comportamiento del error a los tiempos de barridos disponibles en el osciloscopio; queda demostrado para este estudio en particular que el tiempo de barrido de 5 ms es el más apropiado para el tratamiento de señales discretas fundamentales.
- Durante el estudio comparativo de variables eléctricas se identifica el impacto de las mediciones confrontadas con el osciloscopio respecto a cada uno de los analizadores. En lo que respecta a la potencia reactiva se evidencia claramente con los registros capturados en DISICO S.A. una diferenciación de error alrededor de 30% los días martes y miércoles, respectivamente.
- El analizador HIOKI 3196 frente al PQA FLUKE 434 ofrece una interfaz gráfica y obtención de datos mucho más cómoda al poder adaptarse fácilmente a cualquier sistema operativo y sin perder la facilidad en el momento de poder

mostrar de manera práctica los resultados obtenidos en cada una de las mediciones. Esto va de la mano con la falta de actualizaciones en el PQA FLUKE 434 que posteriormente brinda el proveedor del equipo, lo cual limita en cierto modo la investigación.

- Se comprobó experimentalmente que el método de integración de Simpson es más efectivo en el momento de hacer una reconstrucción de una señal mediante el uso de series de Fourier, ya que en el momento de ser implementado, se garantiza un área con mayor cobertura al implementar el método de integración, lo cual va a garantizar un valor más acertado.
- En esta investigación se consolidan dos metodologías de trabajo para calcular el número de armónicos por aplicar a cada señal de corriente y tensión, y otra para calcular el  $\Delta t$  más adecuado para trabajar con el osciloscopio RIGOL DS1102E mitigando así al máximo los errores por redondeo y discretización.
- A nivel general, se encuentran analizadores de calidad de diferentes características y funcionalidades; por tanto, como parte de esta investigación se hace un estudio comparativo a nivel técnico y económico de 4 marcas principales utilizadas por la mayor parte de clientes.
- Para efectos de este estudio comparativo se resalta el impacto de la potencia reactiva a nivel industrial, ya que a falta de la compensación de reactivos en la industria se presentan efectos negativos como la pérdida de potencia dentro de las instalaciones, caídas de tensión bajo operaciones pico y una de las más importantes, elevados costos a nivel de facturación. Por tanto, una vez finalizado este estudio se recomienda a cada una de las empresas realizar una compensación de reactivos con el fin de poder mitigar dichos efectos, lo cual da paso a una nueva investigación para futuros proyectos de grado, en los cuales se da solución a esta problemática latente en estas dos cargas industriales.

## REFERENCIAS

- Chapra, S., y Canale, R. (2007). *Métodos numéricos para Ingenieros*. México: McGraw Hill/Interamericana de México.
- Galvis Otálora, I., y Sandoval Macías, K. (2010). *Influencia del contenido armónico en un medidor electrónico de uso residencial monofásico de energía activa*. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, 8.
- IEEE Std 1459 (2010). *Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions*. IEEE Std 1459 2010, 1-50.
- IEEE Std 519 (2014). *519-2014-IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*. IEEE Std 519-1992, 1-112.
- Izar Landeta, J. M. (1998). *Elementos de métodos numéricos para ingeniería*. México:: Universidad Autónoma de San Luis de Potosí.
- NTC 2194, I. C. (s.f.) NTC 2194-Vocabulario de términos básicos y generales en metrología. 6-7.
- Ordóñez Plata, G. (2005). *Mitos y realidades en la medición de potencia y energía eléctrica*. III Simposio Internacional sobre Calidad de Energía Eléctrica SI-CEL 2005, 1-6.
- Quintana, P. (2005). *Métodos numéricos con aplicaciones en Excel*. México: Reverte Ediciones.
- Rodríguez Barrera, M. A. (2011). *Introducción a las medidas eléctricas*. Bogotá, D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Sadiku, M. (2010). *Elementos de electromagnetismo*. Madrid: Universidad Iberoamericana.
- Parra López, E. (2004.). *Análisis de armónicos en sistemas de distribución*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- León F., Cohen, J. (2000.). *Inconsistencias de las definiciones de potencia y factor de potencia en circuitos no lineales y/o desbalanceados. ¿Es la nueva norma IEEE1459-2000 la solución?* Reunión de verano del capítulo de potencia del IEEE sección México, julio 2002.

Petit, J.F., Ustáriz, A. (2001). *Propuesta de factores de discriminación en regímenes no senoidales*. Séptimas Jornadas Hispano-Lusas de Ingeniería Eléctrica. *Handbook for Electricity Metering*, 10th Edition, Edison Electric Institute, 2002.

Emanuel. E. Summary of IEEE Standard 1459: Definitions for the Measurement of Electric Power

Quantities Under Sinusoidal, Non sinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions. *IEEE Transactions On Industry Application*, vol. 40, No. 3, pp. 869–876, May/June 2009.





## Concepto de robot humanoide antropométrico para investigación en control

### Anthropometric humanoid robot concept for research in control

Fredy Hernán Martínez Sarmiento<sup>1</sup>, Edwar Jacinto Gómez<sup>2</sup>,  
Diego Alexander Zárate Díaz<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 14 de noviembre de 2014

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

**Cómo citar:** Martínez Sarmiento, F. H., Jacinto Gómez, E., & Zárate Díaz, D. A. (2015). Concepto de robot humanoide antropométrico para investigación en control. *Revista Tecnura*, 19, 55-65. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a04

#### Resumen

Para la futura investigación sobre el control de la marcha pasiva/activa, se representa en este artículo un prototipo mecánico de un robot antropomórfico bípedo que consta de 10 DOF (grado de libertad). Partiendo del concepto de que un robot que trabaje e interactúe con el ser humano debe interactuar con ambientes diseñados para el ser humano, se propone un diseño mecánico de robot bípedo inspirado en proporciones humanas. Dado que el propósito de este prototipo es el desarrollo de esquemas de control, el perfil de diseño se complementa con la selección de parámetros que faciliten el trabajo en laboratorio, como son tamaño, materiales y actuadores. Durante el desarrollo, se logra concretar el diseño de la estructura bípeda a partir de los criterios de diseño y de las conclusiones obtenidas a partir del análisis de diseños robóticos similares a nivel nacional e internacional. El diseño final se desarrolló en SolidWorks, y su dimensionamiento mecánico se afinó a partir de simulaciones dinámicas en MatLab.  
**Palabras clave:** diseño estructural, locomoción humana, robot bípedo.

#### Abstract

For the further research on passive/active walking control, an anthropomorphic mechanical prototype for a bipedal robot consisting of 10 DOF (degree of freedom) is represented in this article. Based on the concept that a robot that works and interacts with humans must interact with environments designed for humans, we propose a biped robot mechanical design inspired by human proportions. Since the purpose of this prototype is to develop control schemes, the profile of design is complemented by the selection of parameters to facilitate laboratory work, such as size, materials and actuators. During development, we managed to specific the biped structure design from design criteria, and the conclusions reached from the analysis of robotic designs related nationally and internationally. The final design was developed in SolidWorks, and the mechanical dimensioning was tuned from dynamic simulations in MatLab.

**Keywords:** bipedal robot, human locomotion, structural design.

<sup>1</sup> Ingeniero Electricista, Especialista en Gestión de Proyectos de Ingeniería, Ph.D.(c) en Ingeniería Sistemas y Computación, Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia. Contacto: [fhmartinezs@udistrital.edu.co](mailto:fhmartinezs@udistrital.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero en Control Electrónico e Instrumentación, Magister en Ciencias de la Información y Comunicaciones, Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia. Contacto: [ejacintog@udistrital.edu.co](mailto:ejacintog@udistrital.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniero en Electricidad, Consultor independiente, Bogotá D.C., Colombia. Contacto: [dalexanderzarate@gmail.com](mailto:dalexanderzarate@gmail.com)

## INTRODUCCIÓN

Por muchos años se ha sostenido que para una completa incorporación de los robots en la vida cotidiana del ser humano, lo óptimo es que estas máquinas posean esquemas de interacción similares a las humanas; esto incluye estructura morfológica, desplazamiento con patas, implementación de sensores que dupliquen las capacidades de los sentidos humanos, y la capacidad de acción equivalente (movimientos humanos) (Bergren, 2003).

El diseño morfológico del ser humano ha probado ser óptimo y altamente eficiente, no es gratuito el proceso evolutivo que lo refinó y le permitió sobrevivir en la Tierra desde hace 65 millones de años (Martínez, & Delgado, 2010). La locomoción por patas, y de estas la locomoción bípeda, significa un ahorro de energía que a la vez deja libre dos extremidades para poder realizar trabajos, hecho que tuvo un efecto fundamental en el desarrollo del ser humano.

El área de los robots bípedos es sin duda una de las de mayor investigación a nivel mundial, dado que constituye en sí un paradigma en cuanto a sistemas complejos y, por tanto, frontera de investigación. Dentro de este proceso existe la necesidad de disponer de una plataforma para su uso tanto en docencia como en investigación, a fin de lograr generar conocimiento propio en esta área. Es de particular interés el desarrollo de aplicaciones de control inteligente de agentes autónomos y algoritmos de inteligencia colectiva (Russell, & Norvig, 2002).

El artículo se organiza en la siguiente forma. La sección 2 presenta algunos antecedentes teóricos de diseño considerados como punto de partida y experiencias previas por considerar. La sección 3 presenta formalmente el diseño del prototipo bípedo y su simulación mecánica. Esta sección incluye no solo la geometría, sino también la selección de materiales y la definición de los DOF. La sección 4 presenta el prototipo y cada una de sus principales estructuras: la rodilla, el tobillo y la cadera. Finalmente, la sección 5 concluye el artículo.

## ANTECEDENTES TEÓRICOS DEL DISEÑO

Por siglos el ser humano ha construido máquinas que imitan el cuerpo humano. Los antiguos egipcios unieron brazos mecánicos a estatuas de dioses, los griegos construyeron estatuas que operaban con sistemas hidráulicos. El inicio de la robótica actual puede fijarse en la industria textil del siglo XVIII. Durante los siglos XVII y XVIII en Europa se construyeron muñecos mecánicos muy ingeniosos que tenían algunas características de robots. Jacques de Vaucansos construyó varios músicos de tamaño humano a mediados del siglo XVIII, esencialmente se trataba de robots mecánicos diseñados para diversión. En 1805 Henri Maillardet construyó una muñeca mecánica que era capaz de hacer dibujos, en la cual una serie de levas eran el sistema principal de control para que esta pudiese escribir y dibujar (Lui, Jiming, Wu Jianbing, 2001).

Los robots humanoides encontrados hoy día suelen carecer de la capacidad para operar en entornos no estructurados y desconocidos. Sensores de fuerza y control en cada unión del robot permitiría que este actuara con seguridad en estos entornos; sin embargo, estas características son difíciles de incorporar en los diseños, a tal punto que los prototipos actuales no pueden competir en capacidad de manipulación frente a un niño pequeño (Gupta, & Srivastava, 2006).

En la actualidad, la investigación y desarrollo de la robótica, más específicamente en el caso de robots bípedos, es muy amplia. Existen casos interesantes que vale la pena mencionar para esta investigación, que han servido de referente para el diseño propuesto. También se han tomado como referentes los criterios de pruebas internacionales como la RoboCup, y esquemas de diseño como el Hombre de Vitruvio, de Leonardo da Vinci.

### Robot BIP (Biped Robot)

Este fue un proyecto realizado en Francia en el Instituto de Investigación en Informática y Automatización, INRIA ([www.inrialpes.fr/bipop/](http://www.inrialpes.fr/bipop/)) (Herdt,

Diedam, Wieber, Dimitrov, Mombaur, & Diehl, 2010, pp. 719-737). Básicamente el proyecto consistió en crear un prototipo que recreara la parte inferior del cuerpo humano. Este robot consta de pelvis, tronco, dos piernas y sus respectivos pies, y fue diseñado con 15 articulaciones activas y dos pasivas, emulando en ellas torques similares a los producidos por un ser humano (figura 1). Este diseño sirvió de orientador en la estructura robótica de las extremidades inferiores.

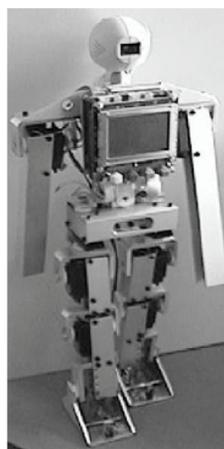
### El robot bípedo Jhonny-I y Jack-II (University of Western Australia)

Otra fuente de inspiración para la estructura bípeda en el diseño incluye los desarrollos mostrados por la University of Western Australia. Estos robots se construyeron a partir de 1999, y cuentan con un movimiento generado mediante nueve grados de libertad, seis en el eje imaginario X (producidos por las articulaciones de los tobillos, rodillas y cadera), dos en el eje Y (debido a la rotación de cadera en ese eje) y uno en el eje Z, también generado en la cadera (figura 2).



**Figura 1.** Fotografía del robot BIP.

**Fuente:** (Herdt et al., 2010)



**Figura 2.** Fotografías de los robots de la University of Western Australia. Izquierda: robot bípedo Jack-II. Derecha: sistema implementado en el tobillo para el robot bípedo Jhonny-I.

**Fuente:** (Ng, 1998)



**Figura 3.** LIMBO-plataforma bípeda, Universidad Javeriana (Colombia).

**Fuente:** (Vanegas, y Santacruz, 2006)

### LIMBO-plataforma bípeda

Este fue un proyecto realizado en Colombia por la Universidad Javeriana en el año 2006 (Vanegas, y Santacruz, 2006). El objetivo principal fue construir una plataforma bípeda que tuviera seis grados de libertad. La importancia de este trabajo para la investigación radica en que en principio el proyecto realiza un estudio detallado de las fases de caminado del ser humano, además de estudiar detalladamente el papel de cada articulación y componente del movimiento humano al caminar. Este estudio fue clave a la hora de seleccionar las articulaciones del prototipo (figura 3).

### Robot caminador Unroca-I

Otro antecedente importante en el estudio del proceso de caminata humana lo plantea el desarrollo del robot bípedo caminador Unroca-I, de la Universidad Nacional de Colombia (Parra, y Ramos, 2004). Si bien la concepción de este robot no se sustentó en la de un sistema autónomo (utiliza un soporte y contrapeso para el proceso de caminata),

sí planteó elementos importantes del proceso como tal en lo relacionado con los componentes necesarios para ser implementados en el robot: el contrapeso, el tipo de actuador, las articulaciones y la forma del pie, todos enfocados al proceso de la caminata (figura 4).

## RoboCup

Las dimensiones físicas de construcción del robot presentadas en la investigación se establecieron siguiendo los lineamientos de investigaciones internacionales. En particular, se observaron muy de cerca los criterios de diseño planteados en la liga *kid-size* de la RoboCup ([www.robocup.org](http://www.robocup.org)), de acuerdo con la actualización más reciente de las reglas para competencia (*RoboCup Soccer Humanoid League Rules and Setup for the 2013 competition*). Dicho cuerpo debe constar de dos piernas, dos brazos y una cabeza, la cual debe estar sujeta al tronco del robot (figura 5).

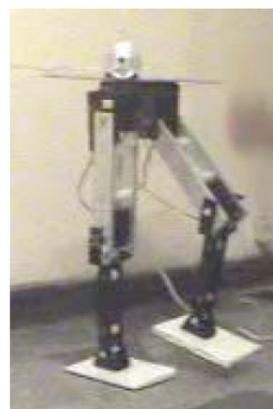
## El Hombre de Vitruvio

A fin de complementar los criterios de diseño morfológico del robot, se consideró también el *Studio* (Real Academia de Venecia) o, como también se conoce, El Hombre de Vitruvio, de Leonardo da Vinci (Cox, 1999). Este trabajo fue desarrollado por da Vinci en su búsqueda de una visión del hombre como centro del universo, al quedar inscrito en un círculo y un cuadrado (figura 6).

## DISEÑO Y SIMULACIÓN MECÁNICA

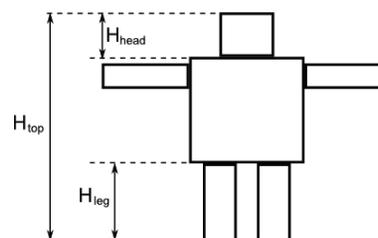
### Dimensiones establecidas para el diseño del prototipo

De acuerdo con los diseños humanoides previos, a las características del Hombre de Vitruvio tomadas como referente ideal del cuerpo humano, y las restricciones vistas en las reglas de la RoboCup, se establecen las dimensiones para el diseño del prototipo (ecuación (1))



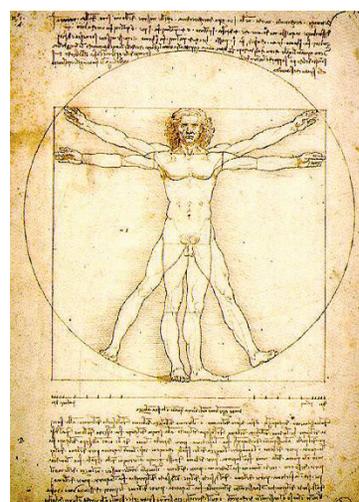
**Figura 4.** Unroca – I, plataforma bípeda, Universidad Nacional de Colombia.

**Fuente:** (Parra, y Ramos, 2004)



**Figura 5.** Ejemplo de un robot humanoide para la RoboCup kid-size.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 6.** Hombre de Vitruvio, de Leonardo da Vinci.

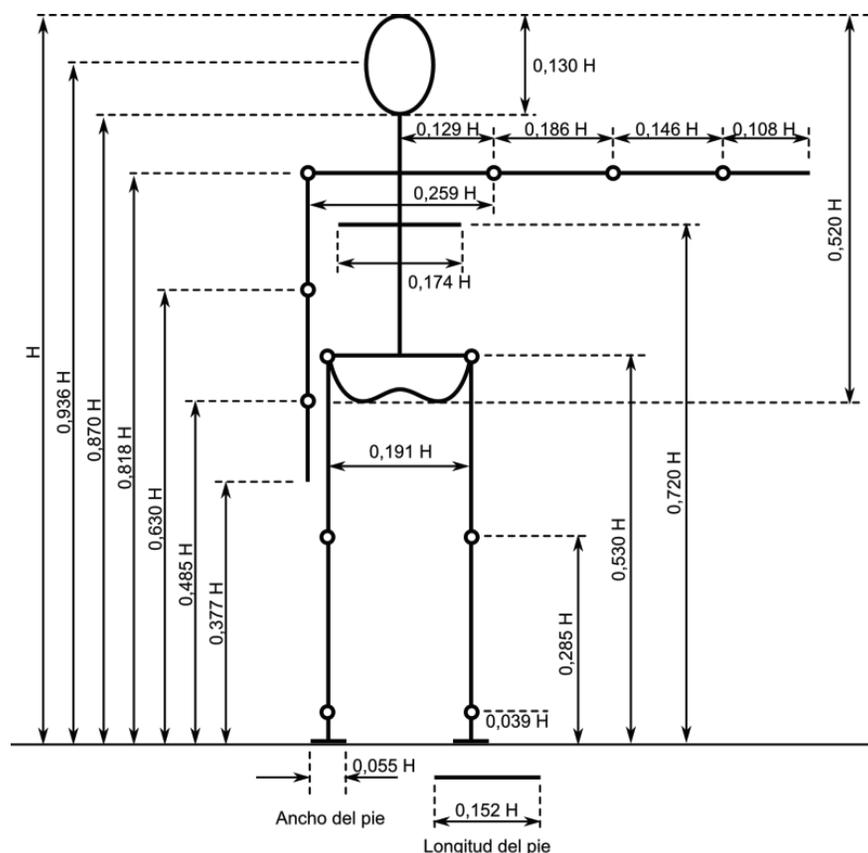
**Fuente:** (Cox, 1999)

$$30 \text{ cm} \leq H_{total} \text{ o } H_{top} \leq 60 \text{ cm} \quad (1)$$

La altura total ( $H_{total}$ ) se calcula para participar en la categoría *kid-size*. Para establecer este parámetro fue necesario tener en cuenta aspectos como el diseño de cada una de las articulaciones, y los actuadores utilizados para generar el movimiento en cada junta. Es necesario establecer el punto de ubicación de cada actuador, y el espacio que va a ocupar en toda la estructura. También es de suma importancia establecer la forma y dimensiones de cada uno de los eslabones que conforman el robot; con todos estos aspectos claros, se optó por establecer para el robot una altura total de 50 cm.

Tomando esta longitud como base, se puede calcular cada una de las dimensiones características del robot. El modelo antropométrico del ser humano asumido en este trabajo ha sido ampliamente evaluado e implementado en distintos modelos de robots bípedos; en la figura 7 se puede observar dicho modelo (Parra, Ramos, 2004, Contreras, 2004).

Para calcular cada una de las dimensiones de la figura 7 se utilizó el factor multiplicativo de cada longitud. En la tabla 1 se puede observar el detalle de las dimensiones seleccionadas para cada sección.



**Figura 7.** Modelo antropométrico para estudio de la marcha humana, gráfico de unión con proporciones.

**Fuente:** (Parra *et al.*, 2004)

**Tabla 1.** Dimensiones de las uniones según el modelo antropométrico asumido.

Dimensiones del Robot			
Longitud	Ecuación	Long. [m]	Long. [mm]
H	$H = \min(H_{top}, 2,2 * H_{com})$	0,5	500
H <sub>1</sub>	$H_1 = 0,377 * H$	0,189	189
H <sub>2</sub>	$H_2 = 0,485 * H$	0,243	243
H <sub>3</sub>	$H_3 = 0,630 * H$	0,315	315
H <sub>4</sub>	$H_4 = 0,818 * H$	0,409	409
H <sub>5</sub>	$H_5 = 0,870 * H$	0,435	435
H <sub>6</sub>	$H_6 = 0,936 * H$	0,468	468
H <sub>7</sub>	$H_7 = 0,191 * H$	0,0955	95,5
H <sub>8</sub>	$H_8 = 0,174 * H$	0,0870	87,0
H <sub>9</sub>	$H_9 = 0,259 * H$	0,130	130
H <sub>10</sub>	$H_{10} = 0,129 * H$	0,0645	64,5
H <sub>11</sub>	$H_{11} = 0,130 * H$	0,0650	65,0
H <sub>12</sub>	$H_{12} = 0,186 * H$	0,0930	93,0
H <sub>13</sub>	$H_{13} = 0,146 * H$	0,0730	73,0
H <sub>14</sub>	$H_{14} = 0,108 * H$	0,0540	54,0
H <sub>15</sub>	$H_{15} = 0,520 * H$	0,0260	26,0
H <sub>16</sub>	$H_{16} = 0,720 * H$	0,0360	36,0
H <sub>17</sub>	$H_{17} = 0,530 * H$	0,0265	26,5
H <sub>18</sub>	$H_{18} = 0,285 * H$	0,0143	14,3
H <sub>19</sub>	$H_{19} = 0,152 * H$	0,0760	76,0
H <sub>20</sub>	$H_{20} = 0,055 * H$	0,0275	27,5
H <sub>21</sub>	$H_{21} = 0,039 * H$	0,0195	19,5

## Vistas geométricas del bípedo

A partir del diseño dimensional se efectúa el diseño geométrico del prototipo en SolidWorks. A continuación, en las figuras 8(a) y 8(b) se puede observar las vistas geométricas del primer prototipo bípedo, en las cuales se identifica cada una de las distancias respectivas en los puntos de rotación de las articulaciones.

## Selección del material de la estructura

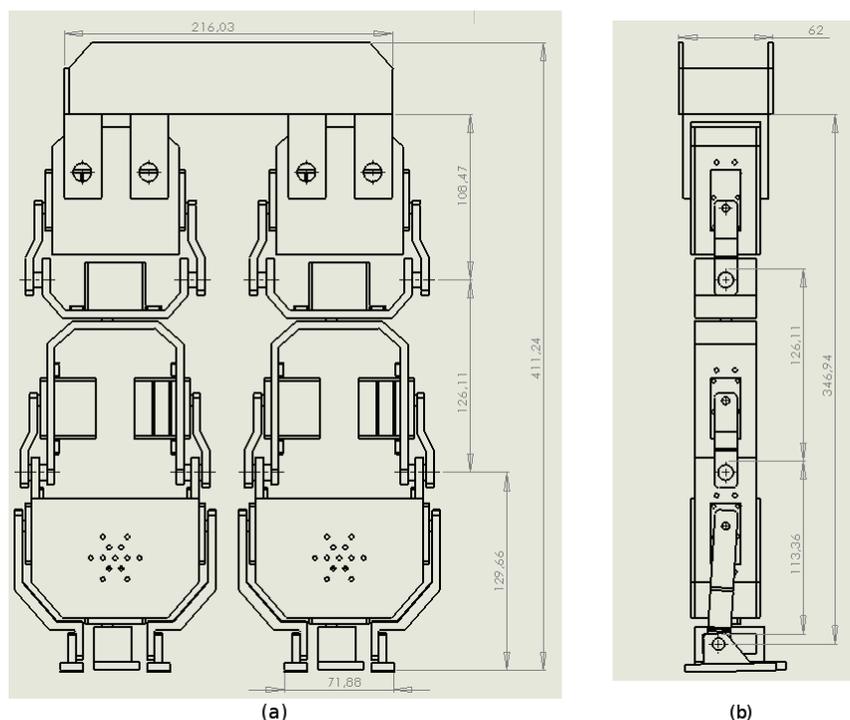
Como criterios de selección del material se consideró:

- Materiales livianos, económicos, de buena calidad y, lo más importante, adecuados para la labor que van a cumplir, y que garanticen resistencia y buena estabilidad.

- En lo posible, dejar múltiples ejes de rotación, y ubicar los motores adecuadamente para garantizar el centro de masa lo más alto posible.

Se decidió inicialmente utilizar aluminio como material principal para la estructura del robot, debido a que brinda grandes ventajas frente a otros materiales, entre las cuales están la disponibilidad, buena manipulación, y principalmente por ser ligero y resistente. Sin embargo, la primera versión del prototipo presentó bordes cortantes, lo que generó riesgos de manipulación. Además, la presentación estética visual no resultó agradable, y conformaba una caja negra para el usuario.

Como material de la versión final del prototipo se seleccionó metacrilato transparente (acrílico) de 3 mm de espesor. Este nuevo material eliminó el problema de riesgo de corte, así como la presentación estética. El material seleccionado es



**Figura 8.** (a) Vista frontal del prototipo; (b) vista lateral del prototipo.

**Fuente:** Elaboración propia.

translúcido, lo que permite además observar directamente sus actuadores.

### Elección de grados de libertad (DOF)

Los grados de libertad generados por el prototipo son 10 en total, y se dividen por cada articulación de acuerdo con la tabla 2.

**Tabla 2.** Distribución de los DOF del prototipo bípedo.

DOF del robot bípedo por cada extremidad	
Articulación	DOF
Cadera	2
Rodilla	1
Tobillo	2

### Simulación mecánica del sistema

De acuerdo con el perfil, se calculó por medio de la plataforma SolidWorks los esfuerzos

mecánicos y momentos de inercia para cada una de las articulaciones, asumiendo aluminio y metacrilato en su construcción y formas uniformes y simétricas, de acuerdo con las dimensiones físicas del robot detalladas en la tabla 1. Con estos resultados, se procedió a simular el modelo mecánico en SimMechanics de MatLab para obtener información sobre las exigencias mínimas de torque en cada unión, proyectando de esta manera el tamaño para cada motor del prototipo.

Es pertinente aclarar que los valores obtenidos corresponden únicamente a exigencias mínimas de acuerdo con las necesidades de locomoción del robot, pero las selecciones finales de motores corresponden a valores que superan estos datos de cuatro a seis veces, a fin de dar suficiente capacidad al prototipo (Reznik, 1997, McComb, Predko, 2006).

En la tabla 3 se puede apreciar los valores obtenidos de acuerdo con las dimensiones y masa del robot, la cual se estima en 4 kg. Estos datos sirven de referencia para calcular los valores previos a la

selección del motor en SimMechanics (Marghitu, 2009).

A cada uno de los bloques que conforman la estructura total del programa se le deben ingresar valores como: centro de masa, posición inicial, grados de libertad, momento de inercia. Para la generación de los movimientos rotacionales se utilizarán los bloques actuadores, en la librería *Sensors y Actuators* de SimMechanics, que permiten caracterizar parámetros como la velocidad y aceleración.

## PROTOTIPO

### Estructura mecánica de la rodilla

El movimiento generado en la articulación de la rodilla se desarrolla en el plano transversal. La implementación de este movimiento se efectúa a través de dos servos montados en las partes laterales de la estructura. Se optó por esta estrategia para evitar el inconveniente visto en otros trabajos, en donde se utilizaba un servo acoplado directamente a un lado de la estructura, lo que somete al eje de salida

a un esfuerzo de flexión grande por el exceso de peso en un solo punto de la estructura. Utilizar dos servomotores garantiza una mejor distribución del peso. Otra ventaja es la estabilidad que adquiere toda la estructura, dado que la distribución del peso estará equitativamente en toda la estructura, lo cual es muy importante cuando el robot se encuentra en su fase de soporte único (figura 9).

Otro detalle de gran relevancia en este diseño es que, a diferencia de otros diseños consultados, no existe conexión directa del eje de salida del servomotor a la articulación de rotación de la rodilla. Optar por implementar un eslabón de conexión entre el eje de salida y el eje de rotación garantiza reducir grandes esfuerzos de flexión generados durante la rotación de la estructura. En la mayoría de los servos comerciales el diámetro del eje de salida y la longitud son relativamente pequeños, por esta razón las cargas en estos puntos no deben ser muy grandes. Implementar un eslabón de conexión entre estos dos puntos soluciona este problema, la mayoría de los esfuerzos se transmiten a esta pieza.

**Tabla 3.** Relaciones de masa y localización de centros de masa en función de la altura y la masa del robot.

Segmento	Longitud segmento [mm]	Peso segmento para cualquier masa	Peso segmento [kg]
Pie	19,5	0,0145 * m	0,058
Pierna	123,5	0,0465 * m	0,0186
Muslo	122,5	0,100 * m	0,4
Pie y Pierna	143	0,061 * m	0,244
Total Pierna	265	0,161 * m	0,644

Segmento	Centro de masa dependiendo longitud segmento		Radio de giro/longitud del segmento en mm		
	Proximal	Distal	Centro de gravedad (CM)	Proximal	Distal
Pie	9,75	9,75	9,26	13,45	13,44
Pierna	53,48	70,02	37,30	65,20	79,41
Muslo	53,04	69,46	39,56	66,15	79,99
Pie y Pierna	86,66	56,34	59,45	105,10	81,79
Total Pierna	118,46	148,40	86,39	148,40	172,25

## Estructura mecánica del tobillo

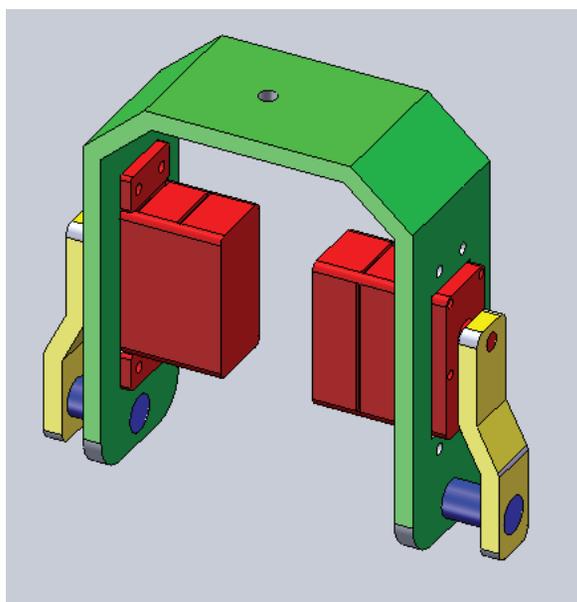
El diseño realizado para la articulación del tobillo cuenta con dos grados de libertad, de acuerdo con consideraciones del modelo; uno de ellos será la rotación que podrá realizar en el plano transversal al igual que el movimiento generado en la rodilla, y el otro estará en el plano sagital. La mayoría de los trabajos nacionales solamente establecían un DOF para esta articulación; implementar otro grado de libertad incrementa la dificultad en el diseño mecánico y complica significativamente la estructura del control por utilizar para la estructura.

En la figura 10 se muestra el prototipo ensamblado en acrílico de la estructura del tobillo junto con el pie. Este diseño semeja características propias del ser humano; por ejemplo, el eje de rotación de la articulación se dispuso totalmente descentrado del pie casi alineado a su cara posterior; es de notar que si se verifica en el modelo antropométrico, el cuerpo humano tiene una configuración similar. Para generar el movimiento de la articulación del tobillo en el plano transversal

se implementaron dos servomotores. Sus ejes de salida están completamente alineados y la generación del movimiento deberá ser en total sincronía para garantizar el desplazamiento simultáneo de los dos eslabones localizados cada uno en la vista lateral derecha y lateral izquierda de la estructura.

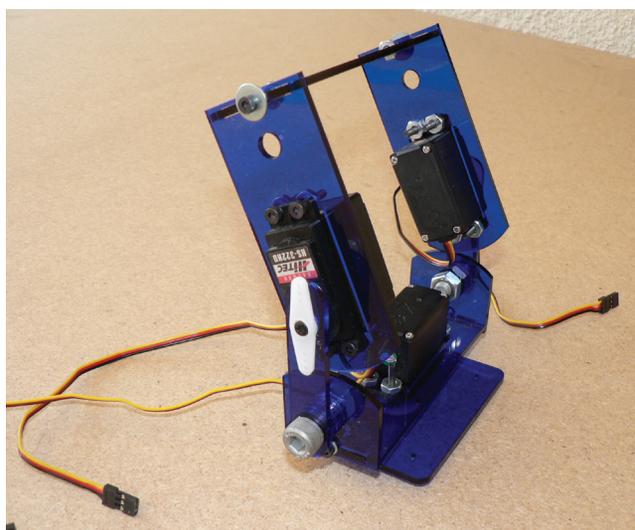
El grado de libertad adicional ubicado en el plano sagital estará controlado por un servomotor adicional, el cual está acoplado a un soporte mecánico; dicho soporte servirá como eslabón de transmisión entre el eje de salida del servo y la planta del pie.

Debido a la complejidad del diseño estructural de esta articulación, para establecer un grado de libertad nuevo el diseño contempla una restricción para realizar este movimiento. El control del servomotor situado en la cadera para generar este mismo movimiento en la parte superior de la estructura deberá estar en completa sincronía con el servo ubicado en el tobillo; esta acción garantiza una rotación simultánea de las dos articulaciones, algo que no es muy diferente a lo ocurrido en las mismas articulaciones del cuerpo humano.



**Figura 9.** Estructura de la rodilla.

**Fuente:** Elaboración propia.



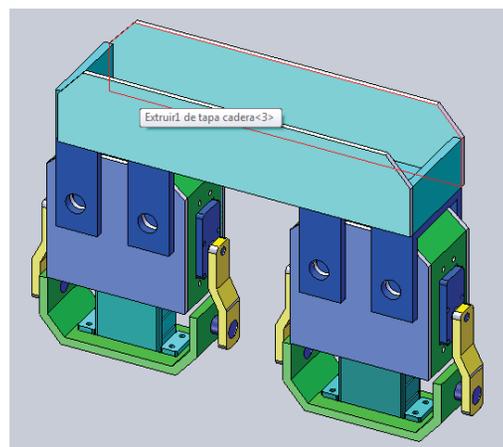
**Figura 10.** Estructura final ensamblada del tobillo.

**Fuente:** Elaboración propia.

## Estructura mecánica de la cadera

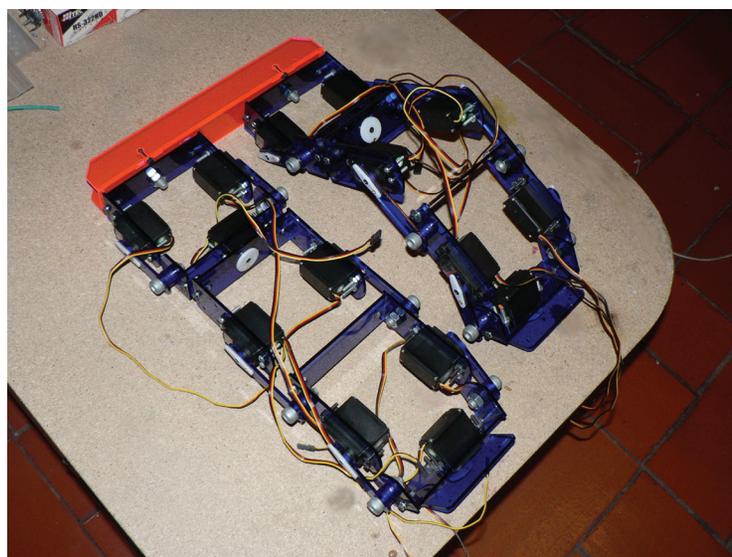
La cadera contará básicamente con los mismos dos grados de libertad generados en el tobillo. Para realizar la rotación en el plano transversal se usarán dos servomotores situados cada uno a un lado de la estructura de soporte, como se puede observar en la figura 11. Al igual que en las articulaciones de la rodilla y el tobillo, los ejes de salida están alineados con un eslabón de conexión, lo que hace que el principio de funcionamiento sea el mismo para los tres.

La figura 12 muestra el prototipo en acrílico completamente ensamblado. Los 10 DOF se implementan con un total de 16 servomotores.



**Figura 11.** Estructura de la cadera.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 12.** Estructura robótica bípida completamente ensamblada.

**Fuente:** Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Este trabajo presenta el diseño de un robot bípido para ser implementado por parte del grupo de investigación ARMOS para el desarrollo de aplicaciones de control inteligente. Se logró un diseño satisfactorio de un robot humanoide de acuerdo con las proporciones propias del ser humano, teniendo en cuenta criterios de optimización de

peso, soporte mecánico, capacidad de desplazamiento y tamaño de las secciones, respetando las medidas máximas y mínimas iniciales, así como realimentando investigaciones previas en el área, tanto nacionales como internacionales.

De acuerdo con el perfil inicial y el desempeño y características reportadas por robots similares, se hizo una determinación coherente de los grados de libertad para el funcionamiento de cada una

de las articulaciones del robot. De acuerdo con esto, y con el estudio realizado de las posibles articulaciones por implementar, se calculó mediante la plataforma SolidWorks los esfuerzos mecánicos, momentos de inercia, para cada una de las articulaciones, según las dimensiones físicas propias del robot. Con estos resultados se procedió a simular el modelo mecánico en SimMechanics de MatLab para obtener información sobre las exigencias mínimas de torque en cada unión, proyectando en esta forma el tamaño más adecuado para cada motor del prototipo.

Durante el diseño se consideraron parámetros importantes relacionados con la dinámica del cuerpo humano y la marcha, lo que afectó la concepción de la estructura.

## REFERENCIAS

- Bergren, C. M. (2003). *Anatomy of a Robot*. TAB Robotics, McGraw-Hill. New York.
- Martínez, F. H. & Delgado, A. (2010). Hardware Emulation of Bacterial Quorum Sensing. Lecture Notes in Computer Sciences LNCS, International Conference on Intelligent Computing, China.
- Russell, S. & Norvig, P. (2002). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Second Ed. Pearson-Prentice Hall.
- Lui, Jiming, Wu Jianbing (2001). *Multi-Agent Robotics System*. USA: CRC.
- Gupta, P., Tirth, V. & Srivastava, R. K. (2006). Futuristic Humanoid Robots: An Overview. Industrial and Information Systems. First International Conference. 8-11 Aug. 2006.
- Herdt, A., Diedam, H., Wieber, P. B., Dimitrov, D., Mombaur, K., & Diehl, M. (2010). Online Walking Motion Generation with Automatic Foot Step Placement. *Advanced Robotics*, 24.
- Hg, J. (1998). An Anthropomorphic Bipedal Robot. University of Western Australia.
- Vanegas, C., y Santacruz, C. (2006). LIMBO-Plataforma bípeda. Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
- Parra, C., y Ramos, C. (2004). Desarrollo y Optimización del Robot Caminador UNROCA – I. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- Cox, S. (1999). *Diccionario del Código Da Vinci*. EDAF.
- Contreras, L. (2004). Modelamiento de la Marcha Humana por Medio de Gráficos de Unión. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia.
- Reznik, L. (1997). *Fuzzy Controllers*. Newnes.
- McComb, G., & Predko, M. (2006). *Robot Builder's Bonanza*. USA: McGraw-Hill Companies.
- Marghitu, D. (2009). *Mechanism and Robots Analysis with MATLAB*. USA: Springer-Verlag London Limited.







## Using neural networks for face recognition in controlled environments

### Uso de redes neuronales para el reconocimiento de rostros en ambientes controlados

Holman Montiel Ariza<sup>1</sup>, Fernando Martínez Santa<sup>2</sup>, Diego Armando Giral Ramírez<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 12 de julio de 2014

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

**Cómo citar:** Montiel Ariza, H., Martínez Santa, F., & Giral, D. (2015). Using neural networks for face recognition in controlled environments. *Revista Tecnura*, 19, 67-77. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a05

#### Abstract:

This paper discusses the implementation and validation of neural networks for face recognition in controlled environments, an implementation strategy that consists of 3 stages: acquisition, extraction of facial parameters and validation using neural networks is presented. This paper seeks to validate the operation of two neural networks in particular for face recognition, these are the Perceptron and ART. We seek to analyze and validate through a series of tests the possible operation of this type of neural networks in biometric identification systems and access control.

**Keywords:** MLP, ART, Neural Network, Facial Parameters, Perceptron

#### Resumen:

Este artículo presenta la implementación y validación de redes neuronales para el reconocimiento de rostros en entornos controlados, se presenta una estrategia de implementación que consta de 3 etapas: adquisición, extracción de parámetros faciales y validación mediante redes neuronales. Este trabajo busca validar el funcionamiento de dos redes neuronales en particular para el reconocimiento de rostros, estas son el Perceptron y la ART. se busca analizar y validar mediante una serie de pruebas el posible funcionamiento de este tipo de redes neuronales en sistemas biométricos de identificación y control de acceso.

**Palabras claves:** MLP, ART, Red neuronal, Parámetros Faciales, Perceptrón

<sup>1</sup> Ingeniero en Control Electrónico e Instrumentación, especialización en Telecomunicaciones, master en Seguridad Informática. Docente Asistente Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [hmontiela@udistrital.edu.co](mailto:hmontiela@udistrital.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero en Control Electrónico e Instrumentación, magister en Ingeniería Electrónica y de Computadores. Docente Asistente Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [fmartinezs@udistrital.edu.co](mailto:fmartinezs@udistrital.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniero en Electricidad, candidato magister en Ingeniería Eléctrica. Docente tiempo completo Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [dagiralr@udistrital.edu.co](mailto:dagiralr@udistrital.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

La medición biométrica se ha venido estudiando desde tiempo atrás y se considera en la actualidad el método ideal de identificación humana (Tolosa Borja y Giz Bueno, s. f.)

Cada sistema biométrico utiliza una cierta clase de interfaz para recopilar la información sobre la persona que intenta acceder. Un software especializado procesará esa información en un conjunto de datos que se pueden comparar con los modelos de los usuarios que se han introducido previamente al sistema. Si se encuentra un “matching” o concordancia con la base de datos, se confirma la identidad de la persona y se concede el acceso (Tolosa Borja y Giz Bueno, s. f.)

Este artículo pretende validar el funcionamiento de redes neuronales para el reconocimiento de rostros previamente almacenados y bajo un ambiente controlado frente a condiciones lumínicas.

Este proceso se inicia con la adquisición de los rostros por identificar mediante una cámara digital; en este bloque se deben tener en cuenta las restricciones del proyecto, ya que al tomar una fotografía para el reconocimiento de rostros hay muchos parámetros que influyen en el desempeño del algoritmo de extracción de parámetros faciales, puesto que si no se tienen características como iluminación uniforme del rostro, un fondo uniforme o de color semejante al de la piel se tendrán dificultades en el reconocimiento. La relación entre el largo y ancho de las fotos siempre se debe mantener, se proyecta una resolución de trabajo de 1280 x 960 píxeles y mayores; se debe tener en cuenta que a mayor resolución tendremos un procesamiento más lento y si tenemos menos resolución se dificultará la extracción de los parámetros faciales.

Existen varios métodos y algoritmos para la compensación de iluminación, en este caso se implementó *White World (Perfect Reflector)*.

Este algoritmo toma una imagen, determina cuál es su mayor intensidad y define esta intensidad como el “blanco”. Para calcular el punto de

mayor intensidad lo que se hace es buscar el punto de menor distancia al blanco [255,255,255]. Cada uno de los canales de color R, G y B son normalizados con respecto al punto de “blanco” encontrado.

El algoritmo de compensación de iluminación que se utiliza es el propuesto por M. Abdel-Mottaleb y A. K. Jain (Hsu, Abdel-Mottaleb, & Jain, 2002, pp. 696-706); esta técnica usa un “blanco de referencia” para normalizar la apariencia del color.

Se consideran píxeles que estén en 5% del valor superior de la luminancia como “blanco de referencia”, solo si el número de estos píxeles es suficientemente grande (> 100). Las componentes RGB de la imagen se ajustan de manera que el valor medio de esos píxeles del “blanco de referencia” es escalado linealmente a 255; la imagen no se cambia si no se detecta un número suficiente de píxeles de “blanco de referencia” (Gámez Jiménez, 2009).

### Extracción de parámetros faciales

Esta etapa se divide en dos procedimientos, el primero identifica en la fotografía los posibles rostros y luego los procesa para identificar los parámetros faciales.

### Identificación de rostro

Una vez almacenada la fotografía, el software debe identificar los píxeles que contengan el color piel (Terrillon, Shirazi, Fukamachi, & Akamatsu, 2000, pp. 54-61). Se hace un estudio comparativo de nueve espacios de color distintos para la detección de caras y se concluye que el espacio TSL (tinte-saturación-luminancia) brinda los mejores resultados modelando las densidades de probabilidad de clústeres de piel y no piel, con dos gaussianas o con una mezcla de gaussianas. En este y otros espacios como el YCbCr la luminancia y la croma están en canales separados (Aguerreberre, Capdehourat, Delbracio, y Mateu, 2005). Sin embargo, este es solo el primer paso para la identificación del rostro; se utiliza un clasificador de piel, que define específicamente los límites de la

región correspondiente al color de la piel, a través de unas reglas numéricas. Este método es aplicable en diferentes espacios de color (Benito, 2005). La regla utilizada para una imagen en RGB es:

$$R > 95 \wedge G > 40 \wedge B > 20 \text{ y}$$

$$\max\{R, G, B\} - \min\{R, G, B\} > 15 \text{ y}$$

$$|R - G| > 15 \text{ y } R > G \text{ y } R > B$$

Una vez obtenida la clasificación de los colores de la imagen con base en el color piel, esta área debe pasar por un proceso de erosión y dilatación. Primero se realiza una apertura; aquí la erosión elimina las pequeñas y finas partículas que quedan de la etapa anterior y que no son más que componentes de ruido y tienen muy poca probabilidad de ser una cara. Luego la dilatación recompone los componentes que no son eliminados (Aguerreberre, Capdehourat, Delbracio, y Mateu, 2005) (figura 1).

### Selección de candidatos a cara

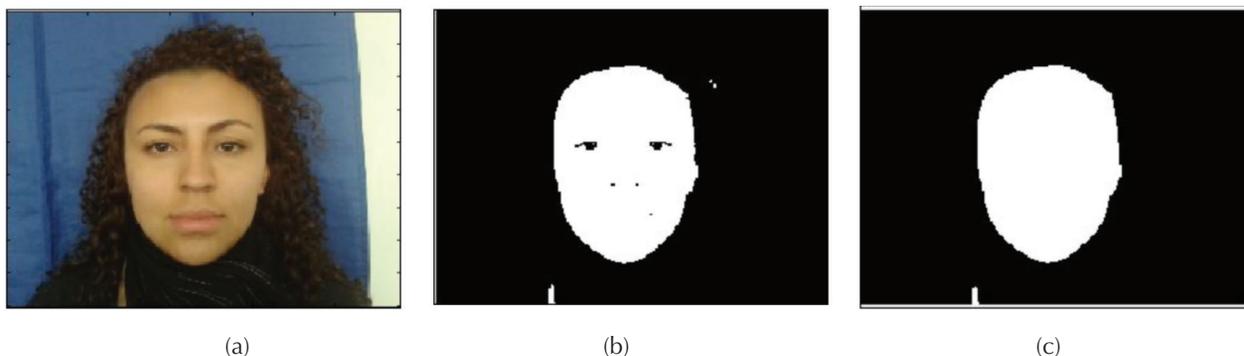
Para que una región de la imagen se considere un candidato a cara debe cumplir las siguientes condiciones:

**Área:** las regiones candidatas a cara deben tener un área mínima de 400 píxeles. Este valor permite eliminar regiones que son excesivamente pequeñas como para ser una cara. Este valor determina el tamaño mínimo que debe tener la cara para ser reconocida.

- **Factor de forma:** mide la regularidad de una región (ecuación (1)). Las caras son más o menos circulares, por lo que su factor de forma debería tender a 1, pero al detectar los píxeles de piel es muy probable que también se detecten zonas de cuello, por lo que la forma de la región será más alargada, más parecida a una elipse, por lo que el factor de forma se reduce. El valor de este parámetro debe ser superior a 0.1 (Gámez Jiménez, 2009).

$$ff = 4 * \pi * \frac{\text{área}}{\text{perímetro}^2} \quad (1)$$

- **Relación de aspecto:** es la relación entre el diámetro mayor y el diámetro menor de la región (ecuación (2)). Con este parámetro se tiene una medida cuantitativa de lo regular que es la región. Se ha determinado que el valor mínimo de esta propiedad debe ser 0.3 (Gámez Jiménez, 2009).



**Figura 1.** (a) Imagen RGB; (b) Clasificador de color piel; (c) Proceso de erosión y dilatación.

**Fuente:** elaboración propia

$$ra = \frac{\text{eje mayor}}{\text{eje menor}} \quad (2)$$

- **Solidez:** indica qué porcentaje de la región está dentro del cerco convexo de la misma. El cerco convexo es la mínima región convexa que contiene a la región. Su valor debe ser alto para regiones candidatas a cara, por lo que su valor mínimo se fija arbitrariamente en 0.52 (Gámez Jiménez, 2009).
- **Extensión:** da una medida del área que ocupa una región en el Bounding Box correspondiente. El Bounding Box es el rectángulo de menor tamaño que encierra a la región de interés. También se asume que las caras tendrán un valor alto de extensión (Aguerreberre, Capdehourat, Delbracio, y Mateu, 2005).

Si el área cumple con estas cinco condiciones se debe tomar como un candidato a cara, luego cada uno de los candidatos debe ser procesado para identificar candidatos a ojos y boca.

### Identificación de parámetros faciales

Entre las diversas características faciales, las más importantes para el reconocimiento de rostros son los ojos y la boca. La mayoría de los enfoques para la localización de ojos se basa en plantillas; sin embargo, se puede situar directamente los ojos,



**Figura 2.** Imagen RGB e imagen YCbCr.

**Fuente:** elaboración propia

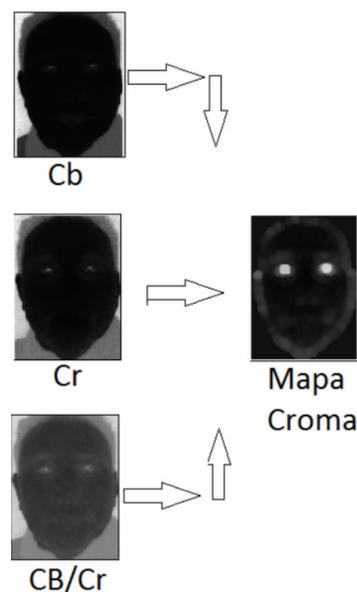
boca y contorno facial en función de sus características de mapas derivados tanto de Luma como de Croma de la imagen (Hsu, Abdel-Mottaleb, & Jain, 2002, pp. 696-706) (figura 2).

### Identificación de ojos

- Para poder efectuar la identificación de los ojos se deben realizar dos mapas de ojos por separado, uno de los componentes de luminancias y uno de los componentes de los cromas; una vez hechos los dos mapas, estos se combinan para obtener el mapa único de ojos. Basados en la observación se puede afirmar que los ojos tienen un alto componente de croma azul ( $C_b$ ) y un baj componente de croma rojo ( $C_r$ ) (figura 3). Con base en este análisis Hsu, *et al.* (Hsu, Abdel-Mottaleb, & Jain, 2002, pp. 696-706) proponen la ecuación (3).

$$\text{Mapa de ojo } C = \frac{1}{3} * \left\{ (C_b^2) + (255 - C_r^2) + \left( \frac{C_b}{C_r} \right) \right\} \quad (3)$$

Donde  $C_b$  y  $C_r$  deben ser normalizados en un rango de [0 , 255] (figura (3)).



**Figura 3.** Mapa de cromas.

**Fuente:** elaboración propia

Para implementar la segunda sentencia se utilizó morfología en escalas de grises. Para esto se utiliza un elemento de estructura hemisférica  $g_o$ . Lo que se propone es resaltar las zonas que tienen alto contenido de  $Y$  y que a su vez tienen vecinos cercanos con bajo contenido de  $Y$ . Para esto se dilata el componente  $Y$  (imagen de luma), obteniendo así una imagen que resalta las zonas en donde hay alto contenido de luma-brillos. Por otro lado, se erosionó la  $Y$ , resaltando (hacia el 0) las zonas en donde hay poco componente de luma. Si el elemento de estructura es suficientemente grande, las zonas que tienen alto y bajo componente de luma van a aparecer en las dos imágenes resaltadas (en el primer caso, resaltadas positivamente y en el segundo, negativamente). Luego se realizó la división entre la imagen dilatada y la erosionada, obteniendo así el mapa de ojos considerando la luma, la ecuación (4) rige el sistema.

$$\text{Mapa de ojo } L = \frac{Y(x,y) \oplus g_o(x,y)}{Y(x,y) \ominus g_o(x,y) + 1} \quad (4)$$

El tamaño del elemento de estructura utilizado es una medida del mínimo tamaño de ojo por encontrar en la imagen (figura 4); se estima a partir de la ecuación (5).

$$\sigma = \frac{\sqrt{W * H}}{2 * Fg} \quad (5)$$

Donde:  $W$ : ancho de la imagen (máscara);  $H$ : alto de la imagen (máscara);  $Fg$ : cociente entre máximo tamaño de ojo sobre tamaño promedio de cara. Tomamos  $Fg = 7$  píxeles,  $\oplus$ : dilatación,  $\ominus$ : erosión.

### Identificación de boca

Para construir el mapa de boca de la imagen se supone que en la boca existe mayor cantidad de croma roja  $Cr$  que de croma azul  $Cb$ . Hsu *et al.* (Hsu, Abdel-Mottaleb, & Jain, 2002, pp. 696-706) proponen la ecuación (6) y (7) en función de los cromas (figura 5).

$$\text{Mapa de boca} = C_r^2 * \left( C_r^2 - \eta * \frac{C_r}{C_b} \right)^2 \quad (6)$$

Donde:

$$\eta = 0.95 * \frac{\text{promedio}(C_r^2)}{\text{promedio}\left(\frac{C_r}{C_b}\right)} \quad (7)$$

Todos los componentes de la ecuación (6) y (7) deben ser normalizados a  $[0, 255]$  (figura 5).

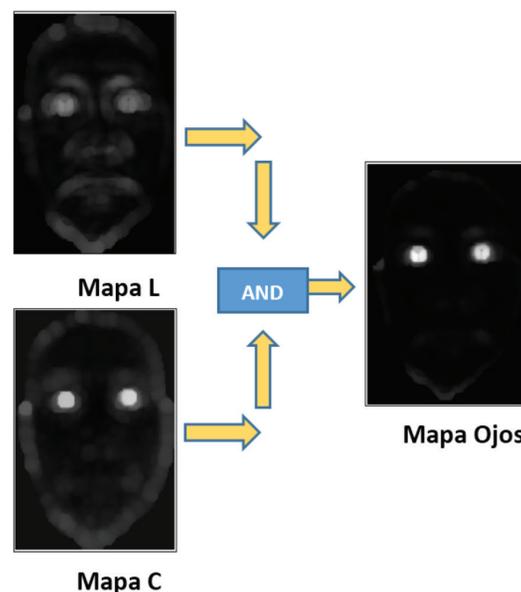


Figura 4. Mapa de ojos.

Fuente: elaboración propia



Figura 5. Mapa de boca.

Fuente: elaboración propia

## Validación por restricciones geométricas

Por último, se desarrolla una etapa que combina los resultados encontrados en las etapas anteriores con el fin de validar si la región de piel considerada es una cara o no. En el caso en que se considere como cara, se debe indicar la (mejor) ubicación de los ojos y la boca. Se realiza todas las combinaciones posibles entre los candidatos a ojos y boca hallados (*si hay  $n$  bocas,  $m$  ojos, entonces hay  $n$  combinaciones de  $m$  tomadas de a dos ternas posibles*). A cada combinación la se le denomina *candidato*.

Para cada candidato que supere un conjunto mínimo de restricciones se calcula un score que contempla qué tan *buen* candidato es.

Con cada par de ojos y cada boca se forma un triángulo, cuyos vértices son los centroides de las regiones asociadas a los ojos y boca en consideración. Primero se aplica una etapa denominada de **mínimas condiciones**, en la cual si un candidato no las cumple es eliminado. Esta consiste en:

- El triángulo formado por los tres centroides (2 ojos, 1 boca), debe ser agudo (no puede tener ninguno de sus ángulos superior a  $90^\circ$ ).
- El triángulo debe tener un área mínima de 100 píxeles (esta restricción está asociada al tamaño mínimo de cara por detectar).

### Score de simetría y orientación

Para el cálculo de este score se tuvo en cuenta dos aspectos:

- Simetría: qué tan isósceles es el triángulo formado (ángulo  $q_1$ ).
- Orientación: qué tan inclinado respecto a la vertical se encuentra (ángulo  $q_2$ ).

Para el cómputo del score se utilizó la ecuación (8).

$$ScOrienta = \prod_{k=1,2} e^{-3 \cdot \text{sen}^2\left(\frac{\theta_k}{2}\right)} \quad (8)$$

Está formado básicamente por gaussianas que dependen del cuadrado del seno del ángulo. El propósito es favorecer a las caras simétricas y a las que se encuentran muy cerca de la vertical.

### Score de simetría de tamaño de ojos

Se implementó un score que contempla positivamente el hecho de que las regiones formadas por cada ojo tengan áreas similares. El score es una campana descrita por la ecuación (9).

$$ScOrienta = \prod_{k=1,2} e^{\frac{Area_i - Area_j}{\min\{Area_i, Area_j\}}} \quad (9)$$

### Score de coherencia de tamaño de cara

Mediante un breve estudio estadístico se concluye que el área del triángulo formado por los ojos y la boca es 10% del área total de la cara. Si se aproxima el área de la cara al área de la máscara, se puede implementar un score para favorecer a los candidatos que cumplan esto (ecuación (10)).

$$ScOrienta = e^{-\sqrt{Area(Trgulo) - Area(Mask)}} \quad (10)$$

Luego, los tres scores se agrupan en un único score mediante una combinación lineal (ecuación (11)).

$$Sc = 0,5 \cdot ScOrienta + 0,25 \cdot ScAreaOjos + 0,25 \cdot ScTamaño \quad (11)$$

Es necesario tener en cuenta que el score más determinante para la validación de una cara es el de orientación y simetría.

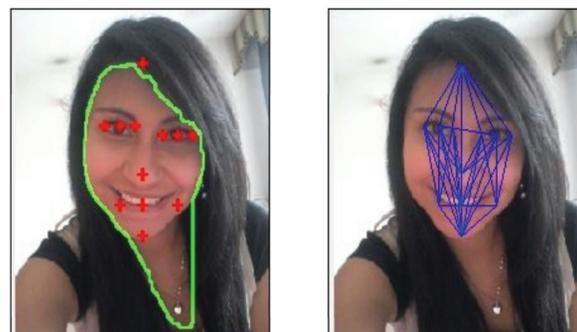
Por último, se devuelve como válido aquel candidato que tenga mayor score y cuyo valor sea superior a 0.6. Si no existen candidatos que tengan score superior a 0.6, se considera que el candidato no es una cara.

Una vez terminado el proceso de validación de los candidatos a cara, se obtienen 12 coordenadas de los puntos característicos del rostro. Para poder hacer el reconocimiento del rostro se deben tener magnitudes normalizadas, por lo cual las coordenadas no servirían debido a que en el momento de cambiar la fotografía o que el rostro estuviera más

lejos o cerca de la cámara, estas cambiarían, por lo cual se toman las distancias euclidianas entre cada punto de referencia (ecuación (12)).

$$d = \sqrt{(x1-x2)^2 + (y1-y2)^2} \quad (12)$$

Esta distancia se obtiene en pixeles; esta medida cambiará dependiendo de la resolución de la cámara y de la distancia que haya entre la cámara y el individuo, por lo cual no serviría como patrón para el reconocimiento; por este motivo esta distancia es normalizada con base en el área del rostro con el fin de que los patrones se vean menos afectados con los cambios de resolución y la distancia entre la cámara y el individuo. En la figura 6 se observan los puntos característicos y las distancias medidas.



**Figura 6.** Derecha: puntos característicos del rostro; izquierda: mediciones efectuadas para obtener el patrón

**Fuente:** elaboración propia

## REDES NEURONALES IMPLEMENTADAS

En general, cualquier sistema neuronal puede utilizar distintos paradigmas para el aprendizaje de la red, al igual que distintos algoritmos de entrenamiento. La figura 7 muestra el proceso de aprendizaje dividido en los paradigmas y algoritmos antes mencionados (Mejía Sánchez, 2004).

En las redes neuronales utilizadas se emplea el paradigma de aprendizaje supervisado y el algoritmo de corrección del error, algunas veces conocido como la regla Delta. Hablar de aprendizaje

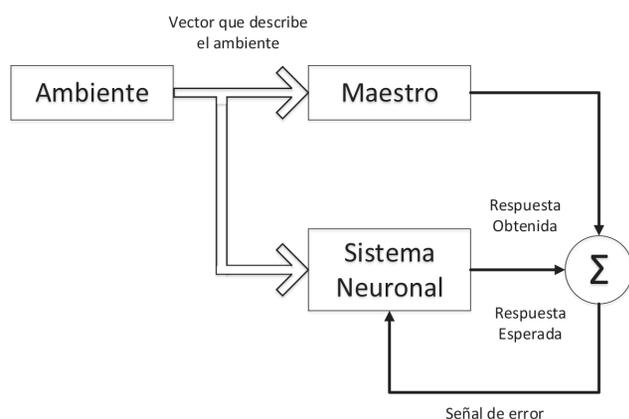
supervisado (supervised learning) hace referencia al tipo de entrenamiento en el cual se provee al sistema con información de las entradas, al igual que se proveen las salidas esperadas o destinos correspondientes a dichas entradas a fin de que el sistema tenga los destinos como punto de referencia para evaluar su desempeño con base en la diferencia de estos valores y modificar los parámetros libres con base en esta diferencia, como lo muestra la figura 8 (Mejía Sánchez, 2004).

Basados en estos criterios de operación y una vez normalizado un vector de entrada para los datos obtenidos en el proceso de identificación de parámetros faciales se evaluar dos tipos de redes neuronales, las cuales son:



**Figura 7.** Procesos de aprendizaje.

**Fuente:** elaboración propia



**Figura 8.** Diagrama de bloques del aprendizaje supervisado.

**Fuente:** elaboración propia

**MLP:** El perceptrón multicapa es una red de alimentación hacia adelante (feed-forward) compuesta por una capa de unidades de entrada (sensores), otra capa de unidades de salida y un número determinado de capas intermedias de unidades de proceso, también llamadas capas ocultas porque no tienen conexiones con el exterior (García García, 2013).

**ART2:** Este modelo se basa en la idea de hacer resonar la información de entrada con los prototipos o categorías que reconoce la red (Sesmero Lorente, 2012). Si entra en resonancia con alguno (es suficientemente similar), la red considera que pertenece a dicha categoría y se realiza una adaptación que incorpora algunas características de los nuevos datos a la categoría existente.

## ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LAS REDES NEURONALES

### *MLP-BackPropagation:*

Para el desarrollo del proyecto se planteó una red neuronal con dos capas ocultas; sin embargo, estas condiciones pueden ser modificadas para validar tiempos de respuesta e iteraciones. Primero se debe realizar la selección de valores aleatorios

para el número de neuronas de las capas ocultas; el único valor que se tiene predefinido es el número de neuronas de salida, el cual es igual al número de sujetos por identificar. Se efectuaron pruebas a 1.000 y a 10.000 iteraciones, las cuales no fueron favorables ya que con este número de iteración no se logró llegar al error estimado de 0.001. Una aproximación para calcular el número de neuronas de cada una de las capas ocultas depende del número de sujetos por identificar y del número de imágenes con que se cuenta de cada sujeto para el entrenamiento de la neurona. Las ecuaciones (13) y (14) permiten determinar las neuronas.

$$\#NO1 = 2 \cdot (s + 1) \quad (13)$$

$$\#NO2 = (s + f) \quad (14)$$

Donde:

#NO1 = número de neuronas de la capa oculta 1;  
 #NO2 = número de neuronas de la capa oculta 2;  
 s = número de sujetos por reconocer;  
 f = número de fotografías por sujeto.

En la tabla 1 se puede apreciar los datos obtenidos para algunas redes de prueba; allí se puede observar que en las redes seleccionadas se mejoró el entrenamiento en el primer caso cerca de 50%, y en el segundo caso cerca de 33%.

Se realizó el entrenamiento de una red neuronal para tres sujetos, esta red fue entrenada con 5 fotos de cada sujeto y el error resultado del entrenamiento fue de 0.001. Luego se verificaron los resultados con 10 fotos de cada sujeto, dando como resultado la tabla 2.

Como se observa en la tabla 2, la red solo cometió un error en la fotografía número 22, la cual se refería al sujeto número 1; los datos en cero son imágenes en las cuales no existen rostros. Esto nos indica que la red neuronal tuvo una efectividad de 96.66%. Este dato puede ser mejorado, solo se debe reentrenar la red neuronal con más fotografías de cada uno de los sujetos; sin embargo, esto implica un tiempo de entrenamiento mayor.

**Tabla 1.** Comparación del número de neuronas con respecto al error.

# Neuronas O1	# Neuronas O2	# Neuronas salida	# Iteraciones	Error mse
5	5	2	1000	0.277
5	5	2	10000	0.00147
8	7	2	1000	0.161
8	7	2	8214	0.001
5	5	3	10000	0.0228
5	5	3	1000	0.287
10	8	3	1000	0.0956
10	8	3	10000	0.00646

Fuente: elaboración propia

**Tabla 2.** Resultados de verificación del entrenamiento, Red MLP.

	S1	S2	S3	S1	S2	S3
1	0.99732671	5.5421E-08	0.04141823	1	0	0
2	0.0222233	0.99638852	0.02252849	0	1	0
3	0.02961242	7.2819E-05	0.96707754	0	0	1
4	0.92098959	0.00497382	0.03042537	1	0	0
5	0.0222233	0.99638852	0.02252849	0	1	0
6	0.02961242	7.2819E-05	0.96707754	0	0	1
7	0.99629076	4.6695E-08	0.07227149	1	0	0
8	0.0222233	0.99638852	0.02252849	0	1	0
9	0.02961242	7.2819E-05	0.96707754	0	0	1
10	0.994998	1.4536E-06	0.00085969	1	0	0
11	0.00058194	0.99996957	0.07923894	0	1	0
12	0.02961242	7.2819E-05	0.96707754	0	0	1
13	0.98716473	0.00580057	0.00176849	1	0	0
14	0.0222233	0.99638852	0.02252849	0	1	0
15	0.02961242	7.2819E-05	0.96707754	0	0	1
16	0.86376236	3.6642E-09	0.65972678	0	0	0
17	0.0222233	0.99638852	0.02252849	0	1	0
18	0.02961242	7.2819E-05	0.96707754	0	0	1
19	0.994998	1.4536E-06	0.00085969	1	0	0
20	0.25029691	8.5261E-06	0.61607902	0	0	0
21	0.02961242	7.2819E-05	0.96707754	0	0	1
22	0.07245527	0.98030011	0.02447715	0	1	0
23	0.0222233	0.99638852	0.02252849	0	1	0
24	0.02961242	7.2819E-05	0.96707754	0	0	1
25	0.994998	1.4536E-06	0.00085969	1	0	0
26	0.10562683	0.92410413	0.01244898	0	1	0
27	0.02961242	7.2819E-05	0.96707754	0	0	1
28	0.994998	1.4536E-06	0.00085969	1	0	0
29	0.89030601	7.7654E-07	0.27551846	0	0	0
30	0.02961242	7.2819E-05	0.96707754	0	0	1

Fuente: elaboración propia

## ART-2

El planteamiento de la red Art 2 es muy distinto al de la red MLP, debido a que la red ya no se entrena; esto se debe a que esta red pertenece a la familia de redes no supervisadas. Esta familia tiene las facultades de autoentrenarse a medida que los patrones van entrando; sin embargo, el resultado esperado con esta red no fue el óptimo. Esto se debe a que los datos obtenidos de la extracción de parámetros cambian dependiendo de la foto, inclusive siendo del mismo sujeto. La red ART 2 ajusta sus pesos utilizando la ecuación (15).

$$W_{ji}(t+1) = \frac{e_i^k + w_{ji}(t) * Num_j(t)}{Num_j(t) + 1} \quad (15)$$

La ecuación (15) describe el comportamiento de los patrones pertenecientes a la misma categoría; sin embargo, en el vector patrón proveniente del módulo de extracción, la máxima distancia en la que se encuentran los datos es de 0.0345. En este orden de ideas la red no reconocerá a la perfección los patrones entregados; si se aumentan los parámetros de vigilancia la red empezara a crear más clases de los mismos sujetos. En la tabla 3 se observa los datos de la prueba realizada con los mismos 3 sujetos con los que se entrenó la red MLP, se utiliza un parámetro de vigilancia de 0.06.

Para mejorar los datos obtenidos por esta red se requiere que las fotografías sean tomadas en entornos totalmente controlados, incluyendo iluminación, resolución, distancia, para una aplicación real estas condiciones no son fáciles.

**Tabla 3.** Resultados de las pruebas ART 2.

Iter.	Sujeto	Semejanza	Neurona	Iter.	Sujeto	Semejanza	Neurona
1	S1	0,22105323	1	23	S1	0,04386593	NN
2	S1	0	1	24	S2	0,00426833	2
3	S2	0,06375721	NN	25	S3	2.95E-03	3
4	S2	0	2	26	S1	0,06710177	NN
5	S3	0,04080242	NN	27	S2	0,00373479	2
6	S3	0	3	28	S3	2.95E-03	3
7	S1	0	1	29	S1	0	5
8	S1	5.42E-04	1	30	S2	0,10104278	NN
9	S2	2.60E-04	2	31	S3	2.86E-03	3
10	S2	4.77E-04	2	32	S1	0,02796869	2
11	S3	0	3	33	S2	0,00432322	2
12	S3	5.20E-04	3	34	S3	3.08E-03	3
13	S1	0,35881126	NN	35	S1	0	5
14	S1	0	4	36	S2	0,05587395	NN
15	S2	8.67E-05	2	37	S3	4.64E-03	3
16	S2	3.47E-04	2	38	S1	0	5
17	S3	0	3	39	S2	0,14013228	NN
18	S3	6.51E-04	3	40	S3	4.77E-03	3
19	S1	0	5	41	S1	0,09682883	NN
20	S1	0	5	42	S2	0,02522165	1
21	S2	0,02987835	2	43	S3	0,06988724	NN
22	S3	1.65E-03	3	44	S2	0,03943498	1

**Fuente:** elaboración propia

## CONCLUSIONES

Este artículo presenta los resultados obtenidos frente a la implementación de dos redes neuronales para el reconocimiento de rostros, determinando que el proceso de adquisición de parámetros faciales se puede lograr obteniendo una selección de puntos específicos o patrones de medición localizados en el rostro de una persona; dicho procedimiento se argumentó matemáticamente y fue probado mediante una herramienta computacional robusta como MATLAB. Frente a la eficacia de las redes neuronales se obtuvieron mejores resultados con el MLP que con la red ART2; este resultado se soporta sobre el hecho de que el perceptrón multicapa realiza un proceso más eficaz de entrenamiento en el que se debe tener una base de datos de fotografías de los sujetos amplia para disminuir el error en el entrenamiento; además, la composición de la red perceptrón puede cambiar con base en el número de sujetos y el número de imágenes que se tienen y, si se requiere ingresar un nuevo sujeto, es necesario hacer de nuevo todo el proceso de entrenamiento y calibración.

Mientras que con respecto al uso de la red AR podemos concluir que depende muy singularmente del parámetro de vigilancia establecido en su proceso de selección; si el vector de entrada establece una similitud enmarcada dentro del parámetro de vigilancia (tolerancia al error) reconocerá efectivamente el rostro de la persona, y a su vez recalculará los pesos de la red neuronal sin necesidad de una etapa previa de entrenamiento. Esta red facilita el proceso de creación de nuevos patrones sin necesidad de entablar etapas previas de entrenamiento.

## REFERENCIAS

Aguerreberre, Cecilia, Capdehourat, Germán, Delbraccio, Mauricio, y Mateu, Matías (2005). *Detección*

*de caras en Imágenes a Color*. Uruguay: Universidad de la República.

Benito, Darío de Miguel (2005). *Detección automática del color de la piel en imágenes bidimensionales basado en el análisis de regiones*. España: Universidad Rey Juan Carlos.

Cabello Pardos, Enrique (2004). *Técnicas de reconocimiento facial mediante redes neuronales*. Tesis doctoral. Archivo electrónico. España: Universidad Politécnica de Madrid.

Gámez Jiménez, Carmen Virginia (2009). *Diseño y desarrollo de un sistema de reconocimiento de caras*. España: Universidad Carlos III de Madrid.

García García, Pedro Pablo (2013). *Reconocimiento de imágenes utilizando redes neuronales artificiales*. Tesis, trabajo fin de máster. España: Universidad Complutense de Madrid.

Hsu, R.L., Abdel-Mottaleb, M., & Jain, A. K. (2002). *Face detection in color images*. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 24, n.º 5, pp. 696-706.

Mejía Sánchez, Juan Arturo (2004). *Sistema de detección de intrusos en redes de comunicaciones utilizando redes neuronales*. Mexico: Universidad de las Americas Puebla.

Palacios, Sandra María (2010). *Sistema de reconocimiento de rostros*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Archivo electrónico.

Sesmero Lorente, M. Paz (2012). *Diseño, análisis y evaluación de conjuntos de clasificadores basados en redes de neuronas*. España: Universidad Carlos III de Madrid.

Terrillon, J.C., Shirazi, M. N., Fukamachi, H., & Akamatsu, S. (2000). Comparative performance of different skin chrominance models and chrominance spaces for the automatic detection of human faces in color images. *Fourth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition Proceedings*, pp. 54-61.







## WEP, WPA and WPA2 encryption protocols vulnerability on wireless networks with Linux platform

### Vulnerabilidad de protocolos de encriptación WEP, WPA y WPA2 en redes inalámbricas con plataforma Linux

Wilmer Antonio Méndez Moreno<sup>1</sup>, Darin Jairo Mosquera Palacios<sup>2</sup>, Edwin Rivas Trujillo<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 12 de febrero de 2014

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

**Cómo citar:** Méndez Moreno, W. A., Mosquera Palacios, D. J., & Rivas Trujillo, E. (2015). WEP, WPA and WPA2 encryption protocols vulnerability on wireless networks with Linux platform. *Revista Tecnura*, 19, 79-87. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a06

#### Abstract

During the development of telecommunications, several encryption algorithms have been adopted and applied to wireless networks. In operating systems such as Linux, the tools for data transmission over wireless networks are reaching a level of sophistication in reference to other widespread operating systems that are supported by the manufacturers. Thus, designers of protocols for different operating systems, especially Linux, have made every effort to improve the shortcomings of the encryption algorithms. This article analyzes the performance of encryption algorithms which work on the protocols WEP, WPA and WPA2 to provide an overview of how and why wireless protocols and encryption protection must achieve a more scientific basis to detect and prevent attacks, in order to meet the shortcomings associated with encryption algorithms that are currently present.

**Keywords:** *Wireless Security, WEP, WPA, WPA2, 802.11i, 802.11X*

#### Resumen

Durante el avance de las telecomunicaciones, se han adoptado varios algoritmos de encriptación aplicados a las redes inalámbricas. En sistemas operativos como Linux, las herramientas para transmisión de datos en redes inalámbricas están alcanzando su nivel de perfeccionamiento en referencia a otros sistemas operativos más difundidos que cuentan con el soporte de los fabricantes. Por ende, los diseñadores de protocolos para diferentes sistemas operativos, en especial Linux, han desplegado todo su empeño en mejorar las falencias de los algoritmos de encriptación. En este artículo son analizados el funcionamiento de los algoritmos de cifrado sobre los cuales funcionan los protocolos WEP, WPA y WPA2 con el fin de proporcionar una visión de cómo y por qué protocolos inalámbricos de protección y cifrado deben lograr una base más científica para detectar y prevenir ataques, con el fin de suplir las falencias asociadas a los algoritmos de encriptación que se presentan en la actualidad.

**Palabras Clave:** *Seguridad inalámbrica, WEP, WPA, WPA2, 802.11i, 802.11X*

<sup>1</sup> Ingeniero en Telemática de la Universidad Distrital Francisco José de caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [wilmermen@gmail.com](mailto:wilmermen@gmail.com)

<sup>2</sup> Ingeniero de sistemas, magíster en telemática, docente e investigador de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. [djmosquerap@udistrital.edu.co](mailto:djmosquerap@udistrital.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniero electricista, magíster en sistemas de generación de energía eléctrica, máster en ingeniería eléctrica, electrónica y automática, docente e investigador de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. [erivas@udistrital.edu.co](mailto:erivas@udistrital.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

La comunicación inalámbrica es el proceso de comunicar información en los medios electromagnéticos sobre una distancia a través del entorno de espacio libre, en vez de a través de cable tradicional u otros conductos físicos.

La comunicación moderna por red inalámbrica esencialmente comenzó en 1997 con el estándar original 802.11. En 1999, de Protección de equivalencia a cableado (WEP) fue presentado como el primer intento de un algoritmo de seguridad para redes inalámbricas. En 2001 se encuentran defectos graves de seguridad en WEP. Wi-Fi Protected Access (WPA) fue introducido en 2003 como una medida provisional que reemplazó WEP, y fue seguido rápidamente por WPA2 en 2004, que aplicó plenamente el estándar 802.11i.

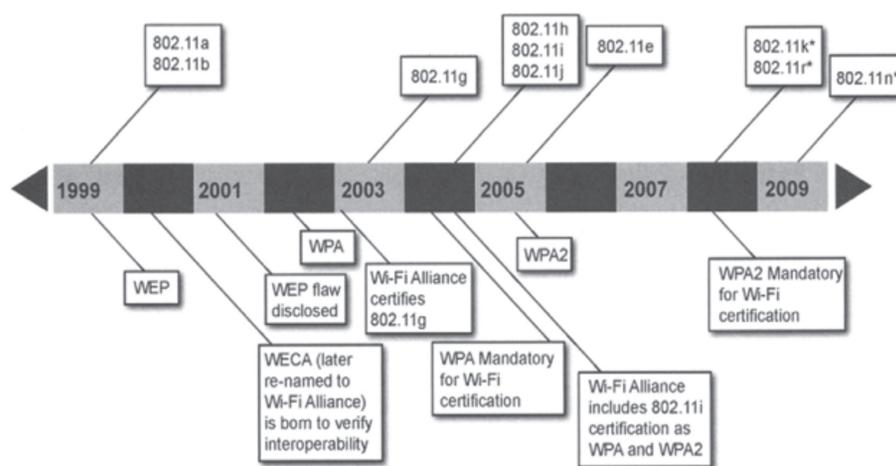
La figura 1 muestra la evolución de las normas inalámbricas desde 1999 hasta la actualidad.

Con el auge de las comunicaciones móviles, las redes inalámbricas se han popularizado, gracias a sus ventajas comparativas, referentes a movilidad, escalabilidad y facilidad de instalación con respecto a las redes convencionales. Además, en la

actualidad están pasando por un proceso de innovaciones rápidas, una mayor competencia y la diversidad en la oferta de servicios que genera una reducción de los precios para los consumidores y las empresas. Sin embargo, la información que se transmite a través de estas redes presenta una alta vulnerabilidad en comparación con las redes de cable convencionales dado que el espectro electromagnético por el cual se transmite la información se encuentra expuesto a agentes externos.

Por ejemplo, la comunicación inalámbrica puede ser perturbada por las ondas de radio, una tormenta eléctrica o bloqueada por objetos físicos, como montañas, rascacielos. Incluso peor, puede ser fácilmente atacada por virus informáticos, aparatos de espionaje y amenazas similares. En las comunicaciones inalámbricas la autenticación y el cifrado de datos (criptografía) son las áreas de interés.

Los organismos de normalización y fabricantes están gastando enormes cantidades de dinero y tiempo en el desarrollo y despliegue de soluciones de próxima generación frente a los crecientes problemas de seguridad de red inalámbrica, lo que ha motivado que la comunidad científica trabaje en pro de nuevos desarrollos para la comunicación en redes inalámbricas bajo la bandera de Linux.



**Figura 1.** Línea de tiempo de la evolución de las normas inalámbricas.

(Levy, Tran, et al., 2007, pp. 1-24).

Este artículo se centra en las vulnerabilidades que vienen con las comunicaciones inalámbricas y cómo ello se relaciona con las amenazas y los riesgos.

## ESTADO DEL ARTE

Muchos algoritmos de cifrado están ampliamente disponibles en las redes cableadas. Ellos se pueden clasificar en cifrado de clave simétrica y asimétrica. En el cifrado de clave simétrica o cifrado de clave secreta solo se utiliza una clave para encriptar o cifrar y desencriptar o descifrar datos y la clave debe ser distribuida antes de la transmisión entre las entidades. Se sabe que es muy eficiente ya que el tamaño de la clave puede ser pequeño, las funciones utilizadas para la encriptación son operaciones de hardware, y el tiempo de cifrado puede ser muy rápido. Sin embargo, en las redes de comunicación de gran tamaño, la distribución de la clave puede ser un problema significativo. El cifrado de clave asimétrica o el cifrado de clave pública se utiliza para resolver el problema de distribución de claves. Este utiliza dos claves, una para encriptación y otra para desencriptación, y no es necesario para la distribución de ellas antes de la transmisión. Sin embargo, el cifrado de clave pública se basa en funciones matemáticas, computacionalmente intensivas y no muy eficientes para pequeños dispositivos inalámbricos (Schneier, 1996).

Generalmente, la mayoría de los cifrados utilizados en los dispositivos inalámbricos se basan en el cifrado de claves simétricas. En las redes WLAN (*Wireless Local Area Networks*, redes de área local inalámbricas), la privacidad se consigue mediante la protección de datos con contenido cifrado. El cifrado es opcional en redes WLAN 802.11, pero sin ella cualquier otro dispositivo inalámbrico estándar puede leer todo el tráfico en la red. Hasta el momento existen tres generaciones principales para la seguridad en redes inalámbricas:

- WEP (Wired Equivalent Privacy), es la norma de seguridad 802.11.

- WPA (Wi-Fi Protected Access), es la norma 802.11i.
- WPA2/802.11i (Wi-Fi de Protected Access2).

Un primer intento de la seguridad de WLAN fue el protocolo WEP, desarrollado para proporcionar un modelo de transporte seguro en redes de área local (Nicopolitidis, Obaidat, et al., 2003, Obaidat, and Boudriga, 2007). El algoritmo utiliza el cifrado RC4, el cual es conocido por ser rápido y eficiente; además puede escribirse utilizando solo unas pocas líneas de código y requiere solo 256 bytes de RAM (Schneier, and Whiting, 1997, pp. 242-259).

WEP fue uno de los mejores esquemas de cifrado durante la última década. No obstante, Fluhrer y muchos investigadores han descubierto varias vulnerabilidades en el algoritmo (Fluhrer, Mantin, et al. 2001, pp. 1-24, Stubblefield, Ioannidis, Rubin, 2004, pp. 319-332).

Las debilidades en RC4 y en el protocolo WEP dieron lugar a un nuevo estándar para la seguridad en redes WLAN denominado WAP o conocido como TSN (Transition Security Network).

WPA aborda las debilidades de la privacidad de los datos de WEP mediante la incorporación del Protocolo de Integridad de Clave Temporal (TKIP), una implementación mucho más fuerte del algoritmo de cifrado RC4, además de un sofisticado sistema de claves dinámicas que mejora notablemente la privacidad de los datos y funciones de autenticación. En general, WPA es TKIP con IEEE 802.1X (Fluhrer, Mantin, et al. 2001, pp. 1-24), el cual se introdujo para tratar específicamente las funciones de autenticación en el entorno de red. El estándar IEEE 802.1X mejora el estándar IEEE 802.11i, con su potente autenticación, autorización, y las funciones de gestión de claves.

WPA puede ser violentado, es decir, se puede descubrir la clave cifrada a través de varios métodos; uno de ellos es un ataque de fuerza bruta con la herramienta Aircrack, la cual requiere un diccionario de posibles claves para penetrar la red, dado que WPA introduce mejoras significativas respecto a WEP.

En la actualidad el medio más eficiente de encriptación para redes inalámbricas es WPA2, el cual reemplaza el WPA e introduce el CCMP (Counter Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol), para reemplazar TKIP (el protocolo obligatorio en el WPA). CCMP proporciona una nueva forma de encriptación más segura basado en el cifrado por bloques AES. Este es un cifrado de bloques diseñado por Joan Daemen y Vincent Rijmen y que tiene una longitud variable clave de 128, 192, o 256 bits para cifrar bloques de datos de 128, 192, o 256 bits de largo. Tanto el bloque como la longitud de clave son extensibles a múltiplos de 32 bits. El cifrado AES es rápido y flexible, y puede ser implementado en varias plataformas, especialmente en dispositivos pequeños y la tarjeta inteligente (MacMichael, 2005). Además, AES ha sido rigurosamente probado para agujeros de seguridad durante algunos años antes de que fuera estandarizado por el NIST. S. A. E. y se considera muy seguro. Pero Bogdanov, A. *et. al.* (<https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/314284/1/aesbc.pdf>) pretenden demostrar un ataque para recuperar la contraseña sin procesos de fuerza bruta.

## METODOLOGÍA

En este apartado se presenta la metodología que han desarrollado organismos de normalización y fabricantes en el proceso de encriptación WEP y WAP.

### Proceso de encriptación WEP

En la figura 2 se ilustra el proceso de encriptación WEP, en el cual se genera una llave de 64 o 128 bits a partir de la contraseña introducida para la seguridad de la red. Al tamaño de la llave se le debe restar 24 bits del vector de inicialización, razón por la cual se utiliza contraseñas de 40 o 104 bits, o lo que es igual, 5 o 13 caracteres ASCII, dependiendo de la longitud con que se trabaje (Lashkari, Danesh, Samadi, 2009).

La llave se obtiene a partir de una semilla a través de una operación XOR realizada por una cadena de caracteres ASCII de 13 bits llamada *Mi Contraseña* escrita por el usuario. En la figura 1 se ilustra cómo a partir de una semilla, un generador aleatorio de números (PRNG) genera automáticamente 40 cadenas de 32 bits cada una. De cada cadena se toma un bit para generar 4 llaves, de las cuales se selecciona una para la encriptación (Lashkari, Danesh, Samadi, 2009).

Con base en el estándar 802.11 para redes inalámbricas, las tramas de la capa dos del modelo OSI contienen una cabecera y los datos. A las tramas se añade a través de un algoritmo llamado CRC un valor de chequeo de integridad o ICV, cuyo propósito es proporcionarle al paquete un identificador único, para verificar que los datos recibidos sean los mismos enviados. El vector de inicialización es un contador, el cual aumenta su valor en la medida en que se envían paquetes. Este vector conjuntamente con la llave seleccionada para encriptación se le aplica el algoritmo RC4, generando un flujo de llave; a este simultáneamente con el paquete de datos se le realiza una operación XOR, obteniendo un paquete de datos encriptado. Este último se concatena nuevamente con el vector de inicialización y la llave, quedando la trama completa.

En una red en donde exista un gran número de flujo de paquetes, el vector de inicialización se puede agotar rápidamente debido a que solo hay disponibles  $2^{24}$  posibilidades de envío de tramas. Esto origina que sea fácil detectar la clave de la red, provocando que sea vulnerable la seguridad de la misma (Lashkari, Danesh, Samadi, 2009).

### Debilidades de WEP

WEP tiene muchas debilidades asociadas, entre las cuales se destacan (Arash Habibi Lashkari, Towhidi, Hoseini, 2009):

- WEP no impide la falsificación de paquetes.
- WEP no previene los ataques de repetición. Un atacante puede simplemente grabar y reproducir

los paquetes como se desee y serán aceptados como legítimos.

- WEP utiliza incorrectamente RC4. Las claves utilizadas son muy débiles, y pueden ser violentadas usando software libre.
- WEP reutiliza vectores de inicialización. Diversos métodos disponibles pueden descifrar los datos sin conocer la clave de cifrado.
- WEP permite a un atacante modificar imperceptiblemente un mensaje sin conocer la clave de cifrado.

### Proceso de encriptación WPA y WPA2

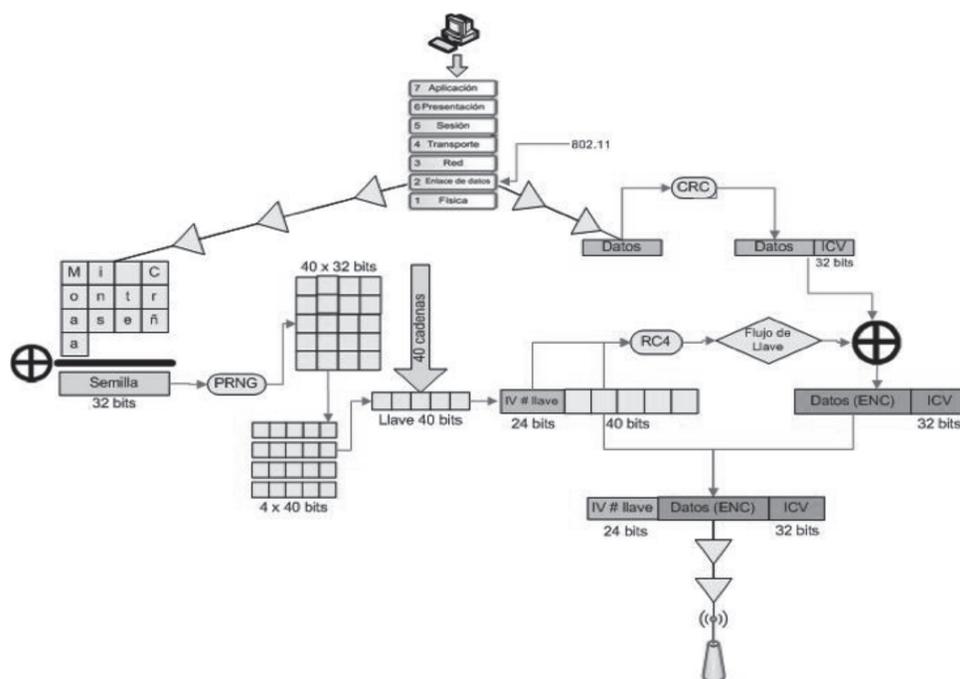
El proceso de encriptación de WPA se ilustra en la figura 3. En la primera fase se genera una cadena de caracteres con el password, la dirección MAC del emisor, y el vector de chequeo de inicialización. La dirección MAC es incorporada en la cadena de caracteres del emisor del mensaje, permitiendo que no se pueda descifrar por extraños.

En la segunda fase se añade la llave dinámica seleccionada combinándose con el número de paquetes que se envía (Fluhrer, Mantin, *et al.*, 2001, pp. 1-24).

A diferencia de WEP, WPA utiliza en la cabecera de la trama 48 bits para cada paquete transmitido, lo que le permite ser menos vulnerable que su antecesor.

Las claves WPA pueden ser encontradas haciendo un proceso de autenticación de un cliente a una red (handshake); para ello se puede usar búsquedas por fuerza bruta (Arash Habibi Lashkari, Towhidi, Hoseini, 2009), siendo esta una debilidad de la encriptación WPA, la cual puede ser subsanada utilizando claves más elaboradas (Arash Habibi Lashkari, Towhidi, Hoseini, 2009).

En la tabla 1 se muestra la evolución de los sistemas de encriptación inalámbricos con base en el algoritmo, características, longitud de las claves, vulnerabilidad y ataques conocidos.



**Figura 2.** Proceso WEP

**Fuente:** (Pau Oliva Fora. Inseguridad en redes 802.11b. 2003).

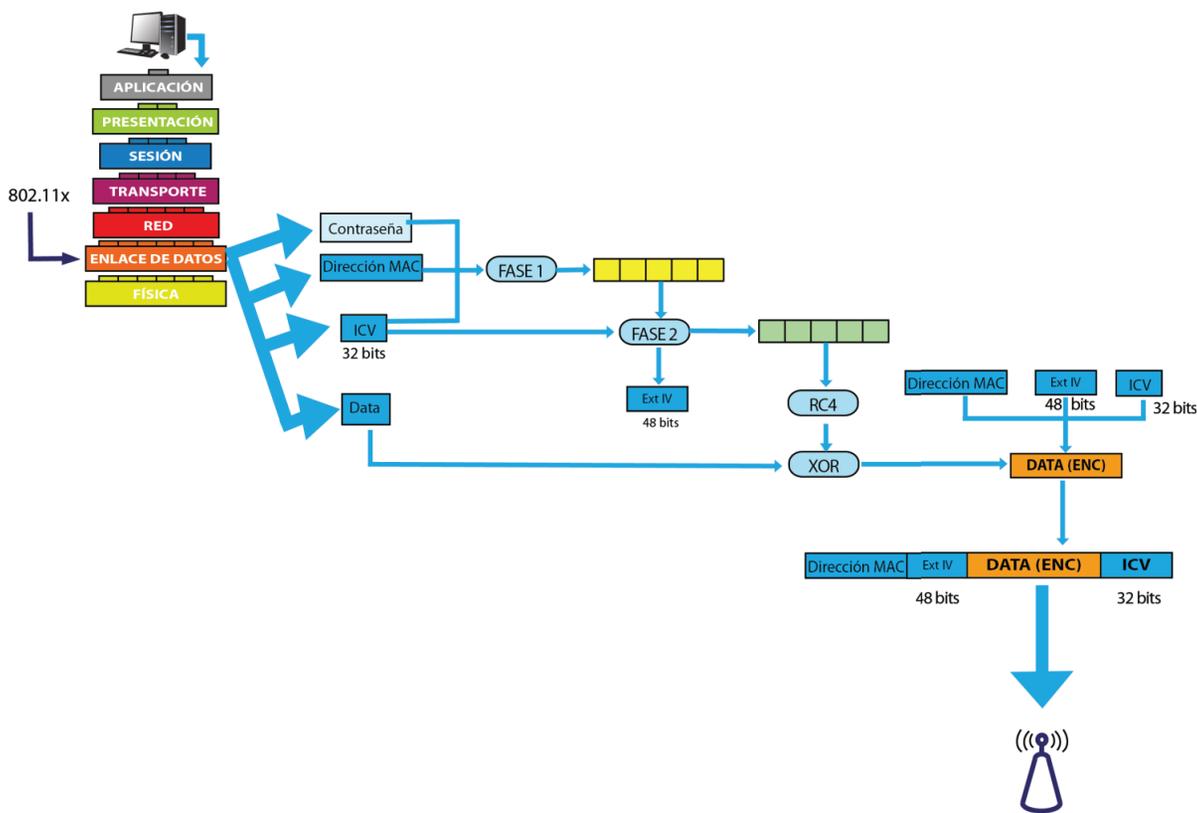


Figura 3. Encriptación WPA

Fuente: (Pau Oliva Fora. Inseguridad en redes 802.11b. 2003).

Tabla 1. Evolución de sistemas de codificación inalámbrica

Sistema de encriptación	WEP	WPA	WPA2
Estándar	802.11b	802.11g	802.11i
Algoritmo	RC4	RC4TKIP	AES (Rijndael)
Características	Protección a redes inalámbricas vulnerables	IV extendido Llaves dinámicas (TKIP) Incluye MAC del emisor	Número algoritmo de mayor complejidad Tramas convertidas por operaciones matriciales
<b>Longitud de claves</b>	<b>64 (40) o 128 (104) bits</b>	<b>128 a 256 bits</b>	<b>128 a 256 bits</b>
Vulnerabilidad	IV muy corto Llaves estáticas Claves cortas Chequeo de integridad independiente de datos cifrados	Autenticación por handshake auditable. Claves en diccionario, o reconocibles por atacante	Claves conocidas Rondas cortas en información muy confidencial Uso de claves en diccionario o conocidas por atacante
Ataques conocidos	FMS, por estadística de IV, muy exitoso, obteniendo gran cantidad de tramas con IV	Por fuerza bruta comparando claves con handshake, éxito dependiente de tener la clave en el diccionario	Por fuerza bruta muy lenta comparando directamente con la red claves de diccionario, muy poco éxito en bastante tiempo de ataque

Fuente: elaboración propia

## RESULTADOS

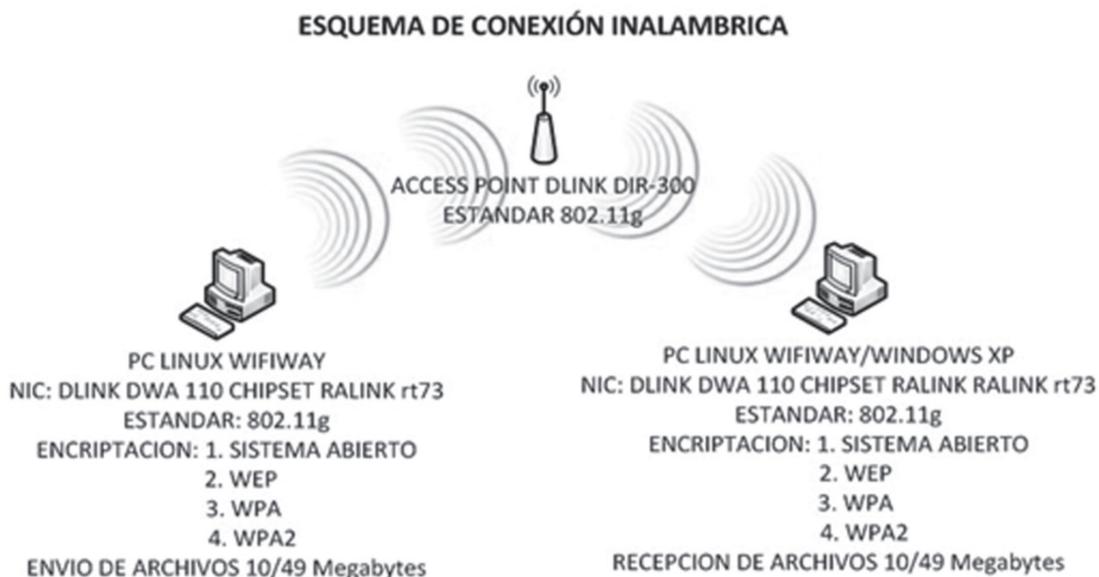
### Tasas de transmisión en redes inalámbricas Linux

En la figura 4 se muestra el esquema de conexión de red inalámbrica implementado para la transmisión de archivos entre nodos usando los diferentes sistemas de encriptación.

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos a partir de un archivo de 10 y 49 MB, respectivamente. Aunque no se encontraron resultados

concluyentes respecto a diferencias en los tiempos de transmisión comparando los distintos métodos de cifrado, se observó que la velocidad del canal usado por los dispositivos de conexión inalámbrica de 9 MB no fue usada en su totalidad, es decir, no llega a lo definido por el estándar 802.11g de 54 Mbps (Gurkas, Zaim, and Aydin, 2006, pp. 1-5).

Con las pruebas efectuadas con un tamaño de archivo de 10 MB siempre se obtuvo mayor velocidad de transmisión en equipos con sistema operativo Windows con respecto a los de sistema operativo Linux.



**Figura 4.** Esquema de conexión de red

**Fuente:** elaboración propia

**Tabla 2.** Tasas de transmisión en redes inalámbricas

Protocolos	Archivo de 49 MB		Archivo de 10 MB		N° de envíos
	Tiempo de transmisión Linux	N° de envíos	Tiempo de transmisión Linux	Tiempo de transmisión Linux/Windows	
1. Sistema abierto	25 s	10 trans.	145 s	15 s	20 trans.
2. WEP	1.620 s		310 s	10 s	
3. WPA	1.800 s		360 s	8 s	
4. WPA2	1.380 s		420 s	8 s	

**Fuente:** elaboración propia

## Resultados experimentales

Ante las vulnerabilidades de WEP se han generado aplicaciones para quebrantar su algoritmo de cifrado. Varias de estas herramientas, como Airodump, Aireplay y Aircrack se condensaron en Wifislax y Wifiway, distribuciones sobre Linux creadas específicamente con el objetivo de realizar estudios de la seguridad en redes tanto inalámbricas como cableadas (Arash Habibi Lashkari, Towhidi, Hoseini, 2009).

El principal problema que se presenta al implantar una red inalámbrica en Linux es que los chipset de muchas de las tarjetas de conexión que existen en el mercado no tienen compatibilidad, lo que implica que no existe un controlador para el buen desempeño. Las únicas tarjetas que funcionan en Linux contienen chipsets con código abierto, lo que permite a los desarrolladores generar el respectivo controlador de la tarjeta (Fluhrer, Mantin, *et al.*, 2001). Para demostrar las debilidades de la encriptación de WEP con aplicaciones Linux, se capturaron paquetes de un canal determinado almacenándolos en un archivo que contiene los vectores de inicialización con los cuales se hace la búsqueda de la clave.

La aplicación Aireplay realiza ataques a la red para que se transmitan suficientes paquetes de datos ARP lanzados por el cliente legítimamente conectado, esperando que el Access Point responda con paquetes que contienen vectores de inicialización (IV) que son almacenados en un archivo por el software Airodump.

La búsqueda de la clave se hace con los IV capturados en la red. El tiempo promedio para encontrar una clave de 64 bits es 3 a 10 minutos, dependiendo de los datos recopilados y el tipo de caracteres que tenga la clave; una de 128 bits en promedio puede tardar de 20 a 60 minutos en ser hallada con el software Aircrack. Para WPA por ser un protocolo más robusto que WEP se hace más complejo detectar la clave, y para encontrarla se siguen los mismos pasos que se dan para WEP, pero la clave debe encontrarse por fuerza bruta haciendo comparaciones en un diccionario (Gurkas, Zaim, and Aydin, 2006, pp. 1-5).

Para comenzar con el proceso se necesitó un handshake, este se consigue capturando un alto número de paquetes de tráfico WPA en la red. Con los paquetes almacenados, se hace un proceso en donde se comparan palabras de un diccionario hasta encontrar la clave que es compatible con el handshake; este método no es infalible si la red implementa una clave con caracteres especiales que no está en el diccionario (Gurkas, Zaim, and Aydin, 2006, pp. 1-5). Las pruebas que se ejecutaron solo son posibles para WEP y WPA, ya que las herramientas utilizadas solo funcionan con el algoritmo RC4; para el protocolo WPA2 que funciona con el algoritmo AES hasta el momento no existen formas plausibles de hallar las contraseñas.

## CONCLUSIONES

Desde la llegada de las redes inalámbricas en 1997, el progreso tecnológico en este campo ha sido enorme. Sin embargo, presenta problemas de vulnerabilidades en la seguridad. WEP estableció un método de protección para datos transmitidos por redes inalámbricas en sus inicios, pero actualmente es insuficiente ya que su algoritmo ha sido descifrado, y es posible romperlo en prácticamente cualquier situación de longitud de claves o uso privado. El sistema WPA ofrece algo más de protección con respecto a WEP, ya que aunque tiene el mismo algoritmo introduce mejoras que hacen un poco más complicado descifrarlo. El ataque a una red WEP o WPA requiere la recolección de gran cantidad de paquetes transmitidos, por lo que no es recomendable su uso en una red que tenga un tráfico alto a no ser que no exista otra opción, debido a que la cantidad de tiempo en que se hallará una clave será menor. WPA2 es el método de encriptar redes inalámbricas más seguro hasta la fecha, ya que su algoritmo es suficientemente complejo y con suficientes precauciones y prácticas de seguridad informática se hace más complicado obtener las contraseñas rápidamente sin ataques de fuerza bruta.

## FINANCIAMIENTO

Este proyecto ha sido financiado con recursos propios.

## REFERENCIAS

- Arash Habibi Lashkari, Towhidi, F., Hoseini, R.S. (2009). Wired Equivalent Privacy (WEP). IC FCC. Kuala Lumpur Conference.
- Fluhrer, S., Mantin, I., *et al.* (2001). Weaknesses in the key scheduling algorithm of RC4. In: Eighth Annual Workshop on Selected Areas in Cryptography. Toronto, Canada. Aug.
- Gurkas, G. Z., Zaim, A. H., and Aydin, M. A. (2006). Security Mechanisms and their Performance Impacts on Wireless Local Area Networks. International Symposium on Computer Networks, June, pp. 1-5. <https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/314284/1/aesbc.pdf>, abril 13 de 2013.
- Lashkari, A.H., Danesh, M.M.S., Samadi, B. (2009). FC-SIT. A survey on wireless security protocols (WEP, WPA and WPA2/802.11i). *Computer Science and Information Technology*. ICCSIT. 2nd IEEE International Conference.
- Levy, J., Tran, K., *et al.* (2007). Introduction to Secure Wireless Networking.
- Sonic WALL Secure Wireless Network Integrated Solutions Guide*.
- MacMichael, John L. (2005). Auditing Wi-Fi Protected Access (WPA) Pre-Shared Key Mode. *Linux Journal*.
- Nicopolitidis, P., Obaidat, M. S., *et al.* (2003). *Wireless Networks*. New York: Wiley.
- Obaidat, M. S., and Boudriga, N. (2007). *Security of e-Systems and Computer Networks*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- Schneier, B. (1996). *Applied Cryptography*. John Wiley & Sons, Inc.
- Schneier, B. and Whiting, D. (1997). Fast Software Encryption: Designing Encryption Algorithms for Optimal Software Speed on the {Intel Pentium} Processor. *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1267.
- Stubblefield, A., Ioannidis, J., Rubin, A.D. (2004). A key recovery Attack on the 802.11b Wired Equivalent Privacy Protocol (WEP). *ACM Transactions on Information and System Security*, Vol. 7, No. 2, May.







## Técnica para solución de recurrencias, usada en el análisis de la complejidad de algoritmos recursivos

### Technique for recurrences solving, used in recursive algorithm complexity analysis

Luis Emilio Montenegro Salcedo<sup>1</sup>, Luz Deicy Alvarado Nieto<sup>2</sup>

**Fecha de recepción:** 13 de septiembre de 2014

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

**Cómo citar:** Montenegro Salcedo, L. E., & Alvarado Nieto, L. D. (2015). Técnica para solución de recurrencias, usada en el análisis de la complejidad de algoritmos recursivos. *Revista Tecnura*, 19, 89-97. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a07

#### Resumen

Este artículo presenta un método alternativo, directo y poco común para solucionar recurrencias de primer orden, tanto homogéneas como no homogéneas; aplicable a ecuaciones que representan el comportamiento de algoritmos recursivos. Dicho método se asocia al funcionamiento computacional del algoritmo, facilitando su comprensión y el análisis de la complejidad. El proceso se ilustra con ejemplos de ecuaciones correspondientes a algoritmos muy conocidos y frecuentemente utilizados.

**Palabras Clave:** Algoritmos, análisis de algoritmos, cantidad de operaciones, complejidad algorítmica, eficiencia computacional, recurrencias, recursividad.

#### Abstract

This paper shows an alternative, direct and unusual method to solve both first order recurrences homogeneous and inhomogeneous; applicable to equations representing the behavior of recursive algorithms. Such method is associated with the performance of the computational algorithm, by facilitating the understanding and complexity analysis. The process is illustrated by examples of equations for well-known and frequently used algorithms.

**Keywords:** Algorithms, algorithmic complexity, Analysis of Algorithms, computational efficiency, operations number, recurrences, recursion.

<sup>1</sup> Licenciado en educación especialidad matemáticas, magister en auditoría de Sistemas y computación, especialista en edumática. Docente de la Universidad Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [emontenegro@udistrital.edu.co](mailto:emontenegro@udistrital.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniera de Sistemas, magister en Ingeniería de Sistemas, Doctor en Informática, con énfasis en Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial. Docente de la Universidad Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [lalvarado@udistrital.edu.co](mailto:lalvarado@udistrital.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista computacional, cuando se busca la solución de un problema es usual utilizar algoritmos, los cuales debido a los avances tecnológicos se espera que sean correctos, sencillos, claros, eficaces, eficientes y oportunos (Baase, 1999, 2002).

El análisis algorítmico busca determinar el comportamiento de los algoritmos en términos de memoria y tiempo (Aho, 1983, Brassard, 1997). Para ello, se define una medida del tamaño del problema (la cual depende de la naturaleza de dicho problema) -llámese  $N$ - y se busca una función  $f(N)$  que refleje el comportamiento del algoritmo con base en el tamaño definido (McConnell, 2007, Sedgewick, 2013). Es importante aclarar que el análisis se hace para un  $N$  muy grande. Cuando se define en términos de tiempo, la función es comúnmente denominada  $t(N)$ .

Ejemplos de funciones que representan el comportamiento de algoritmos hay muchos, entre ellos se pueden mencionar:  $t(N) = N + \log N$ ,  $t(N) = N + 5$ ,  $t(N) = N^2 + 3N + 3$ ,  $t(N) = a^N + N + 10$ .

Estas funciones, que evidencian de manera general el consumo de recursos por parte del algoritmo a medida que  $N$  crece, se pueden agrupar en "familias" representativas, de tal manera que es posible afirmar, por ejemplo, que un algoritmo tiene comportamiento exponencial, logarítmico, lineal, cuadrático, cúbico, etc. (Aho, Hopcroft, 1983, Baase, 1999, 2002, Brassard, 1997, Sedgewick, 2013).

Particularmente, en el caso de los algoritmos recursivos el comportamiento se expresa mediante relaciones lineales de recurrencia con coeficientes constantes (Baase, 1999, 2002, McConnell, 2007, Sedgewick, 2013). Una relación lineal de recurrencia implica que  $t(N)$  se expresa de la siguiente forma:  $t(N) = F(N) + a_1 t(N-1) + a_2 t(N-2) + \dots + a_c t(N-c)$ .

De manera particular, si en una relación lineal de recurrencia se encuentra que  $F(N) = 0$ , se dice que esta relación es homogénea. De lo contrario, dicha relación se considera no homogénea (Aho, 1983, Brassard, 1997).

En la definición de  $t(N)$  como una función de recurrencia, fácilmente se puede observar que la misma función  $t$  aparece aplicada a uno o varios valores de  $N$ , como ocurre en los siguientes casos:  $t(N) = t(N-1) + 1$ ,  $t(N) = 2 t(N-1) + N$ .

Los ejemplos anteriores corresponden a relaciones lineales de recurrencia de primer orden, pues el valor actual  $t(N)$  depende solamente del valor inmediatamente anterior  $t(N-1)$ . Sin embargo, algunos algoritmos también presentan comportamientos que pueden ser representados con relaciones lineales de recurrencia de segundo orden, en las cuales aparece dos veces la función  $t$ , es decir, el valor actual  $t(N)$  depende de los dos valores anteriores  $t(N-1)$  y  $t(N-2)$  (Sedgewick, 2013). Un caso concreto de esto es la representación del comportamiento para el algoritmo recursivo que halla el término  $n$ -ésimo de la sucesión de Fibonacci:  $t(N) = t(N-1) + t(N-2)$ .

Como se evidencia fácilmente, las relaciones de recurrencia están expresadas en términos recursivos, es decir, en términos de la misma función, pero con uno o varios tamaños menores. Sin embargo, en el análisis de algoritmos se espera que la función esté planteada únicamente en términos del tamaño del problema, es decir, hallar una expresión no recursiva de  $t(N)$ . Por tal motivo se hace indispensable aquí solucionar de la manera más sencilla y clara las relaciones de recurrencia, de forma que las ecuaciones sean expresadas en términos de  $N$ .

La primera parte de este artículo muestra algunas funciones de recurrencia para algoritmos típicos, posteriormente presenta ejemplos de la aplicación de técnicas tradicionales en la solución de relaciones de recurrencia tanto homogéneas como no homogéneas y, finalmente, propone un método inductivo, directo y concreto para hallar la solución de las recurrencias antes mencionadas.

## FUNCIONES QUE REPRESENTAN EL COMPORTAMIENTO DE ALGORITMOS RECURSIVOS COMUNES

En su libro Algoritmos en C++ (Sedgewick, 1995), el autor analiza el tema "recurrencias básicas" y

presenta lo que él denomina “fórmulas”, que describen los comportamientos más comunes de algunos algoritmos recursivos; entre ellas se encuentran las siguientes:  $t(n) = t(n - 1) + n$  para  $n \geq 2$  y  $t(1) = 0$ . En este caso se describe el comportamiento de un algoritmo que efectúa una operación sobre todos los datos de entrada para descartar uno de ellos, luego hace una llamada recursiva disminuyendo dicho dato. Un claro ejemplo de esto es el algoritmo de burbuja recursivo, en donde usando un ciclo se ubica el mayor o el menor elemento del arreglo, luego se hace una llamada recursiva disminuyendo en 1 el tamaño de dicho arreglo, es decir, tomando un dato menos.

$t(n) = t(n/2) + 1$  para  $n \geq 2$  con  $t(1) = 1$ . La función de recurrencia aquí presentada describe un algoritmo que hace una operación fundamental y posteriormente hace una llamada recursiva para la mitad de los datos de entrada, es decir, se queda solamente con la mitad de los datos. Un ejemplo de algoritmos que tienen este comportamiento es el de búsqueda binaria o la búsqueda en un árbol binario ordenado y balanceado.

$t(n) = t(n - 1) + 1$  para  $n \geq 2$  con  $t(0) = 0$ . Esta función de recurrencia representa el comportamiento de un algoritmo que realiza una única operación, la cual permite descartar un dato. Posteriormente hace una llamada recursiva, descartando dicho dato. Un ejemplo de este comportamiento lo presenta el algoritmo que efectúa el cálculo del factorial de manera recursiva.

$t(n) = 2t(n/2) + n$  para  $n \geq 2$  con  $t(1) = 0$ . En este caso, la recurrencia describe un algoritmo que hace dos llamadas recursivas, cada una con la mitad de los datos y antes, en medio o después de dichas llamadas, hace un recorrido por todos los datos. Un claro representante de este comportamiento es el algoritmo Mergesort; también podría considerarse el Quick sort, pero solo en el mejor caso, cuando el pivote siempre se ubica en la mitad de los datos.

$t(n) = 2t(n/2) + 1$  para  $n \geq 2$  con  $t(1) = 0$ . Finalmente, esta recurrencia describe un algoritmo que realiza una operación, divide los datos en 2 y hace una llamada recursiva para cada una de las

partes de la división. Los algoritmos recursivos de recorrido de un árbol binario balanceado o el conteo de sus nodos son algoritmos que ejemplifican este comportamiento. También puede considerarse dentro de este comportamiento el peor caso de búsqueda en un árbol binario no ordenado.

## TÉCNICAS TRADICIONALES DE SOLUCIÓN DE RECURRENCIAS

En general, se han establecido y generalizado dos métodos para resolver recurrencias, dependiendo de si estas clasifican como homogéneas o no (Aho, 1983, Brassard, Bratley, 1997, Cormen, 2009, Sedgwick, 2013).

### Recurrencias homogéneas

Para este caso se debe aplicar el siguiente procedimiento:

- Intuir o predecir cuál es el tipo de función que puede describir el comportamiento de la recurrencia. Pasa por una sospecha acerca de la complejidad posible del algoritmo. Por ejemplo, se asume que tiene un componente de tipo exponencial en las recurrencias de segundo orden.
- Se sustituye la función predicción en la recurrencia obteniendo la ecuación característica, la cual corresponde a las raíces de un polinomio.
- La solución de la ecuación característica permite encontrar un conjunto de soluciones particulares, de las cuales se puede inferir una familia de soluciones posibles.
- Se aplican las condiciones iniciales (correspondientes a las salidas no recursivas del algoritmo), con el fin de seleccionar el ejemplar más apropiado de esa familia, obteniéndose así la solución de la recurrencia.

El ejemplo típico de recurrencias homogéneas presentado en diferentes libros (Aho, Hopcroft, 1983, Brassard, 1997, Cormen, 2009, Sedgwick, 2013), es el algoritmo recursivo que permite

encontrar el término n-ésimo de la sucesión de Fibonacci, partiendo de las semillas 0 y 1, ecuación (1).

$$t(n) = \begin{cases} t(n-2) + t(n-1) & \text{Si } n > 1 \\ n & \text{Si } n = 0 \text{ o } n = 1 \end{cases} \quad (1)$$

- Se intuye, especialmente al ver el comportamiento del algoritmo, que la función debe ser de orden exponencial. Por tanto, la predicción es:  $t(n) = a^n$  siendo  $a > 0$ .
- Se observa que la recurrencia de la ecuación (1) es homogénea, dado que se puede escribir como  $t(n) - t(n-2) - t(n-1) = 0$  para el caso general,  $n > 1$ .
- Al sustituir  $t(n) = a^n$  en la ecuación homogénea se convierte en:

$$a^n - a^{n-2} - a^{n-1} = 0 \quad (2)$$

- Que equivale a:  $a^{n-2}(a^2 - a - 1) = 0$ . Al aplicar la condición  $a > 0$  se reduce a la llamada ecuación característica  $a^2 - a - 1 = 0$ .
- Las soluciones particulares se muestran en las ecuaciones (3) y (4).

$$t_1(n) = \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2}\right)^n \quad y \quad (3)$$

$$t_2(n) = \left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n \quad (4)$$

- A partir de las cuales se expresa la familia de soluciones mediante la ecuación (5).

$$t(n) = C_1 \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2}\right)^n + C_2 \left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n \quad (5)$$

- Como  $t(n)$  debe satisfacer las condiciones iniciales  $t(0) = 0$  y  $t(1) = 1$ , al sustituir  $n$  en la ecuación (5) se concluye que la solución es como se muestra en la ecuación (6).

$$t(n) = \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\frac{1+\sqrt{5}}{2}\right)^n - \frac{1}{\sqrt{5}} \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2}\right)^n \quad (6)$$

El método anterior se puede aplicar a todas las recurrencias homogéneas y se convierte en un

proceso meramente algebraico, aplicable sin mayores inconvenientes.

## Recurrencias no homogéneas

Sin embargo, para el caso de recurrencias no homogéneas, que entre otras cosas son las que más se presentan en los algoritmos recursivos, es necesario convertirlas a homogéneas aplicándoles un tratamiento matemático, el cual varía dependiendo de la forma que tenga dicha recurrencia. Para este caso se consideran los siguientes ejemplos típicos:

### Recurrencia del factorial

El algoritmo para calcular recursivamente el factorial de un número entero mayor o igual a cero da lugar a la recurrencia:  $t(n) = t(n-1) + 1$  Si  $n > 0$  con  $t(n) = 0$  cuando  $n = 0$ . La recurrencia se escribe en la ecuación (7).

$$t(n) - t(n-1) = 1 \quad (7)$$

Al no ser homogénea, con el término independiente constante, la ecuación (7) se puede desarrollar de la siguiente forma:

- Se reemplaza  $n$  por  $n-1$ , convirtiéndose en la ecuación (8).

$$t(n-1) - t(n-2) = 1 \quad (8)$$

- La diferencia de las ecuaciones (7) y (8) se puede escribir  $t(n) - 2t(n-1) + t(n-2) = 0$

Teniendo así una recurrencia homogénea con ecuación característica  $x^2 - 2x + 1 = 0$ .

Como la solución es múltiple  $x = 1$ , la solución general se expresa en la ecuación (9).

$$t(n) = c_1 1^n + n c_2 1^n \quad (9)$$

O simplemente:

$$t(n) = c_1 + c_2 n \quad (10)$$

Como solo se tiene una condición inicial y se requieren dos para encontrar las constantes, se puede aplicar la recurrencia y hallar  $t(1) = t(0) + 1 = 1$ .

Por tanto,  $c_1 = 0$  y  $c_2 = 1$  y al sustituir en la ecuación (10) se encuentra la solución mostrada mediante la ecuación (11).

$$t(n) = n \quad (11)$$

### Recurrencia del Quick sort

Para el algoritmo Mergesort y el mejor caso del algoritmo Quick sort se deduce la recurrencia:  $2t(n/2) + n$  Si  $n > 1$ , con  $t(0) = 1$

Con el fin de convertir la recurrencia  $t(n) = 2t(n/2) + n$  a homogénea, es necesario hacer dos cosas:

- La primera es un cambio de variable,  $n = 2^m$  en cuyo caso se restringe el proceso a los valores de  $n$  que sean potencias de 2. Entonces la recurrencia se escribe como se muestra en la ecuación (12).

$$t(2^m) = 2t(2^{m-1}) + 2^m \quad (12)$$

La cual también se puede escribir en forma simplificada:

$$t_m - 2t_{m-1} = 2^m \quad (13)$$

Haciéndose evidente que no es homogénea.

- La segunda acción es hacer que desaparezca el término  $2^m$  en la ecuación (13). De modo similar al ejemplo anterior, en este caso se reemplaza  $m$  por  $m-1$  y luego se multiplica por 2 (ecuación (14)).

$$2t_{m-1} - 4t_{m-2} = 2^m \quad (14)$$

- Al realizar la diferencia entre las ecuaciones (13) y (14).

$$t_m - 4t_{m-1} + 4t_{m-2} = 0 \quad (15)$$

La recurrencia (15) tiene ecuación característica  $x^2 - 4x + 4 = 0$  y por tanto,  $t_1 = 2^m$  y  $t_2 = m2^m$ . Con solución general  $t_m = c_1 2^m + c_2 m 2^m$

Al retornar a la variable inicial  $n = 2^m$  o su equivalente  $m = \log_2 n$

$$t(n) = c_1 n + c_2 n \log_2 n \quad (16)$$

Aplicando la condición inicial en la ecuación (16), se concluye que  $c_1 = 0$

La recurrencia original 3 se puede escribir:

$$n = t(n) - 2t(n/2) \quad (17)$$

Como (16) es una solución de la ecuación (17) se sustituye obteniendo la ecuación (18).

$$n = (c_1 n + c_2 n \log_2 n) - 2(c_1 \frac{n}{2} + c_2 \frac{n}{2} \log_2 \frac{n}{2}) \quad (18)$$

Cuya simplificación es  $n = c_2 n$ , para concluir que  $c_2$  debe ser igual a 1. Entonces la ecuación (19) muestra la solución correspondiente a las constantes  $c_1$  y  $c_2$  :

$$t(n) = n \log_2 n \quad (19)$$

Por supuesto, con el desarrollo de este apartado no se pretende aportar nada nuevo. Solo resaltar algunos ejemplos que ilustran la gran variedad de alternativas que pueden darse al solucionar recurrencias no homogéneas y lo artificiosos que pueden ser estos métodos.

## PROPUESTA

A continuación, se presenta un proceso algebraico general para solucionar recurrencias no homogéneas, el cual está íntimamente ligado al comportamiento del correspondiente algoritmo. No solo es una forma más sencilla de solución, sino que además facilita la comprensión del funcionamiento del correspondiente algoritmo recursivo.

## Recurrencia del factorial

En este caso se retoma la fórmula  $t(n) = t(n - 1) + 1$  si  $n > 0$  y  $t(n) = 0$  cuando  $n = 0$ .

Dado que para cualquier  $n > 0$

$$t(n) = t(n - 1) + 1 \quad (20)$$

Mientras que el parámetro de la función sea mayor que cero, se puede aplicar la fórmula de recurrencia, obteniéndose, a partir de la ecuación (20), la siguiente secuencia de remplazos:

Remplazo 1:  $t(n) = t(n - 1) + 1$  Llamado recursivo para calcular  $(n-1)!$

Remplazo 2:

$t(n) = [t(n - 2) + 1] + 1 = t(n - 2) + 2$  Llamado para calcular  $(n-2)!$

Remplazo 3:

$t(n) = [t(n - 3) + 1] + 2 = t(n - 3) + 3$  Llamado para calcular  $(n-3)!$

Remplazo 4:

$t(n) = [t(n - 4) + 1] + 3 = t(n - 4) + 4$  Llamado para calcular  $(n-4)!$

⋮

Remplazo k:  $t(n) = [t(n - k) + 1] + (k - 1)$  Llamado para calcular  $(n-k)!$

En general, se tiene:

$$t(n) = t(n - k) + k \quad (21)$$

El anterior conjunto de ecuaciones resulta al efectuar la sencilla sustitución de cada nuevo valor en la ecuación original. Además, cada línea describe el siguiente llamado recursivo. De tal forma que la ecuación (21) permite interpretar que en el paso k-ésimo, el algoritmo ha hecho k multiplicaciones y queda pendiente el cálculo de la cantidad de multiplicaciones restantes dado por  $t(n-k)$ , necesarias para calcular el factorial de  $n-k$ .

Se sabe que el algoritmo terminará los llamados y tendrá una salida no recursiva, en el paso k (caso base para algoritmos recursivos) correspondiente al llamado para hallar  $0!$ , es decir, cuando se cumpla que:

$$t(n - k) = t(0) \quad (22)$$

En tal caso se tendrá el número total de multiplicaciones requeridas para calcular el factorial del número entero positivo  $n$  dado.

La ecuación (22) se logra cuando  $k$  es igual a  $n$ , y se podrá reescribir la ecuación (21) de la siguiente forma:  $t(n) = t(0) + n$  Luego la solución a la recurrencia es la que aparece en la ecuación (23).

$$t(n) = n \quad (23)$$

## Recurrencia del Quick sort

$$t(n) = \begin{cases} 0 & \text{Si } n = 1 \\ 2t(n/2) + n & \text{Si } n > 1 \end{cases} \quad (24)$$

Para resolver esta recurrencia se procede en la misma forma. Para cada término  $t(\frac{n}{2})$  se aplica la fórmula de recurrencia con la condición de que  $\frac{n}{2}$  sea diferente de 1 ( $n > 1$ ), obteniéndose:

Llamado 1:  $t(n) = 2t(\frac{n}{2}) + n$

Describe las  $n$  comparaciones requeridas para clasificar el arreglo en los menores o mayores del pivote, más las comparaciones necesarias para ordenar los dos subarreglos resultantes, de tamaño  $\frac{n}{2}$  cada uno.

Llamado 2:  $t(n) = 2[2t(\frac{n}{4}) + \frac{n}{2}] + n = 4t(\frac{n}{4}) + 2n$

$2n$  es el acumulado de comparaciones para clasificar el arreglo inicial y los dos subarreglos de  $\frac{n}{2}$  cada uno y  $4t(\frac{n}{4})$  corresponderá a la cantidad de comparaciones requeridas para ordenar 4 subarreglos de tamaño  $\frac{n}{4}$  cada uno.

Llamado 3:  $t(n) = 4[2t(\frac{n}{8}) + \frac{n}{4}] + 2n = 8t(\frac{n}{8}) + 3n$

$3n$  es la cantidad de comparaciones para clasificar el arreglo inicial de tamaño  $n$ , los dos subarreglos de tamaño  $\frac{n}{2}$  y los cuatro de  $\frac{n}{4}$ . Ahora quedan por ordenar 8 subarreglos de tamaño  $\frac{n}{8}$  cada uno.

Se generaliza la fórmula para el k-ésimo llamado recursivo.

$$t(n) = 2^k t(\frac{n}{2^k}) + kn \quad (25)$$

La expansión máxima de la recursividad se logra en el paso k-ésimo, para el cual el arreglo se reduce a un elemento,  $\frac{n}{2^k} = 1$  (ya no hay nada que ordenar). En ese momento la salida es no recursiva y se habrán realizado todas las comparaciones requeridas.

$\frac{n}{2^k} = 1$ , equivale a  $2^k = n$ ; por tanto, se deduce que  $k = \log_2 n$  y la ecuación (25) se puede escribir de la siguiente forma:  $t(n) = nt(1) + n \log_2 n$ . Por último, como  $t(1) = 0$ , la recurrencia tendrá la solución presentada en la ecuación (26).

$$t(n) = n \log_2 n \quad (26)$$

### Otros ejemplos

A continuación se presentan otros ejemplos de recurrencias para ilustrar la solución por este método.

#### Ordenamiento por el método de burbuja recursivo

$$t(n) = \begin{cases} 0 & \text{Si } n = 1 \\ t(n-1) + (n-1) & \text{Si } n > 1 \end{cases} \quad (27)$$

Si el tamaño del arreglo es  $n = 1$ , se requieren 0 comparaciones,  $t(1) = 0$ , ya está ordenado. Para tamaños de  $n$  mayores que 1, se realizan  $n-1$  comparaciones para encontrar el mayor (o el menor) y mediante un llamado recursivo se ordenan los  $n-1$  elementos restantes, realizándose  $t(n-1)$  comparaciones.

Aplicando el método propuesto a la recurrencia de la ecuación (27), se tiene:

Reemplazo 1:

$$t(n) = t(n-1) + (n-1)$$

Reemplazo 2:

$$t(n) = [t(n-2) + (n-2)] + n-1 = t(n-2) + (n-2) + (n-1)$$

Reemplazo 3:

$$t(n) = [t(n-3) + (n-3)] + (n-2) + (n-1)$$

Equivale a:

$$t(n) = t(n-3) + (n-3) + (n-2) + (n-1)$$

⋮

Generalizando el proceso:

Reemplazo k:

$$t(n) = t(n-k) + (n-k) + \dots + (n-3) + (n-2) + (n-1)$$

El proceso termina en el k-ésimo llamado, para el cual el tamaño del arreglo se reduce a un elemento, es decir, cuando  $n-k = 1$ , o simplemente  $k = n-1$ . En tal caso la recurrencia se reescribe:

$$t(n) = t(1) + 1 + 2 + 3 + \dots + (n-3) + (n-2) + (n-1) \quad (28)$$

Es decir, la ecuación (28) se resume en  $t(n) = \sum i$ , y por tanto, se tiene como solución la ecuación (29).

$$t(n) = \frac{n(n-1)}{2} \quad (29)$$

#### Búsqueda en un árbol binario ordenado y balanceado

Este comportamiento también puede corresponder al algoritmo de búsqueda binaria en un arreglo, siendo  $t(n)$  la cantidad máxima de comparaciones requeridas.

$$t(n) = \begin{cases} 1 & \text{Si } n = 1 \\ t(n/2) + 1 & \text{Si } n > 1 \end{cases} \quad (30)$$

Si el árbol o el arreglo tienen solo un elemento, se requiere una comparación,  $t(1) = 1$ . Para una cantidad de elementos  $n$  mayor que 1,  $t(n) = t(\frac{n}{2}) + 1$ , es decir, una comparación con el elemento de la raíz (o el elemento medio) y de no coincidir, el proceso de búsqueda se reduce a la mitad de los elementos. Los menores o los mayores, pero no ambos. En este caso al aplicar a la ecuación (30) el proceso de solución planteado se obtiene:

Reemplazo 1:

$t(n) = t(n/2) + 1$ , corresponde al primer llamado recursivo.

Reemplazo 2:

$t(n) = [t(n/4) + 1] + 1 = t(n/4) + 2$ , segundo llamado recursivo.

Reemplazo 3:

$t(n) = [t(n/8) + 1] + 2 = t(n/8) + 3$ , tercer llamado recursivo.

⋮

Remplazo k:  $t(n) = t\left(\frac{n}{2^k}\right) + k$ .

En este caso, el proceso termina cuando  $\frac{n}{2^k} = 1$ , es decir,  $k = \log_2 n$  y la recurrencia se expresa  $t(n) = t(1) + \log_2 n$ . Por tanto, la solución es la ecuación (31).

$$t(n) = 1 + \log_2 n \quad (31)$$

### Búsqueda en un árbol binario balanceado no ordenado

Para este caso se puede plantear la recurrencia en la siguiente forma:

$$t(n) = \begin{cases} 1 & \text{Si } n = 1 \\ 2t(n/2) + 1 & \text{Si } n > 1 \end{cases} \quad (32)$$

La diferencia con el anterior (apartado 4.3.2), consiste en que al no estar ordenado el árbol, puede implicar hacer la búsqueda sobre los dos subárboles, cada uno con aproximadamente  $n/2$  elementos y, por tanto, la recurrencia planteada corresponde al peor caso de la búsqueda, cuando el elemento no está o por casualidad corresponde al último elemento posible de revisar. El desarrollo de la ecuación (32) será:

Remplazo 1:

$$t(n) = 2t\left(\frac{n}{2}\right) + 1$$

Remplazo 2:

$$t(n) = 2\left[2t\left(\frac{n}{4}\right) + 1\right] + 1 = 4t\left(\frac{n}{4}\right) + 2 + 1$$

Remplazo 3:

$$t(n) = 4\left[2t\left(\frac{n}{8}\right) + 1\right] + 2 + 1 = 8t\left(\frac{n}{8}\right) + 4 + 2 + 1$$

⋮

En general, para k:

$$t(n) = 2^k t\left(\frac{n}{2^k}\right) + 2^{k-1} + \dots + 4 + 2 + 1$$

La recurrencia se puede escribir  $t(n) = 2^k t\left(\frac{n}{2^k}\right) + 2^k - 1$ . Dado que  $\sum_{i=1}^k 2^i = 2^k - 1$ . Cuando  $\frac{n}{2^k} = 1$  o  $2^k = n$ , se logra  $t(n) = nt(1) + n - 1$

Obteniéndose la solución en la ecuación (33):

$$t(n) = 2n - 1 \quad (33)$$

## RESUMEN DEL PROCESO

El método para resolver recurrencias que se justifica y presenta en este artículo se puede resumir de la siguiente forma:

- Se escribe la fórmula de recurrencia por resolver, especialmente si es no homogénea, que es el más difícil de solucionar, como se muestra en el apartado 3.2. Para el caso de recurrencias homogéneas, la solución es más mecánica, dado que siempre se sigue el mismo proceso algebraico.
- Se reemplaza paso a paso en forma reiterada, aprovechando que la función es la misma.
- Se analiza su comportamiento y se generaliza, para cualquier paso K. Este punto es el más importante y debe llevar a simplificar por alguna propiedad matemática conocida.
- Por último, se aplica la condición inicial, la cual equivale a la salida no recursiva; esto permite encontrar la solución de la recurrencia, como una función en términos únicamente de n.

## CONCLUSIONES

Los algoritmos recursivos se utilizan cada vez con mayor frecuencia al ser soluciones elegantes, simples, modulares y bien estructuradas a problemas complejos. Para analizar el comportamiento de dichos algoritmos es necesario solucionar las ecuaciones de recurrencia que lo representan.

Como puede observarse, las recurrencias son indispensables en los procesos de análisis de algoritmos. Los métodos tradicionalmente usados para su solución tienden a desestimular a algunos ingenieros estudiantes, debido a la gran variedad de casos y formas de solución que se pueden presentar.

El método aquí expuesto plantea seguir el mismo proceso de solución en todos los casos y

generalmente no se requieren conocimientos muy avanzados de matemáticas. Dicho método promueve la observación y refuerza la exigencia de generalizar comportamientos. Siendo esta una destreza que se presume inherente a los diseñadores de algoritmos.

En resumen, a lo largo de este documento se ha presentado y justificado un proceso cuyo desarrollo resulta más natural para los ingenieros, debido a que está especialmente ligado a la lógica del algoritmo al cual corresponde la recurrencia.

## REFERENCIAS

- Aho, A., Hopcroft, J., Ullman, J. (1983). *Data structures and algorithms*. Massachusetts, U.S.A.: Addison Wesley.
- Baase S., Van, A. (1999). *Computer Algorithms: Introduction to design and analysis*. Massachusetts, U.S.A: Addison Wesley.
- Baase, S., Van, A. (2002). *Algoritmos computacionales: Introducción al análisis y diseño*. México DF, México: Addison Wesley.
- Brassard, G., Bratley, P. (1997). *Fundamentos de algoritmia*. Madrid, España: Prentice Hall.
- Cormen, T., Leiserson, C., Rivest, R., Stein, C. (2009). *Introduction to algorithms*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- McConnell, J. (2007). *Analysis of Algorithms: an active learning approach*. Ontario, Canada: Jones and Bartlett Publisher.
- Sedgewick, R. (1995). *Algoritmos en C++*. Massachusetts, E.U.A.: Addison-Wesley/Díaz de Santos.
- Sedgewick, R., Flajolet, P. (2013). *An introduction to the analysis of Algorithms*. Massachusetts: Pearson Education.







## Sistema de monitoreo para pacientes de alto riesgo integrando módulos GPS, GSM/GPRS y Zigbee

### Monitoring system for high-risk patients integrating GPS, GSM/GPRS and Zigbee modules

Olguer Sebastián Morales Valenzuela<sup>1</sup>, Julián Rolando Camargo López<sup>2</sup>,  
Elvis Eduardo Gaona García<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 13 de junio de 2013

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

**Cómo citar:** Morales Olguer, Camargo López, J. R., & Gaona García, E. E. (2015). Sistema de monitoreo para pacientes de alto riesgo integrando módulos GPS, GSM/GPRS y Zigbee. *Revista Tecnura*, 19, 97-111. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a08

#### Resumen

En el presente artículo se muestra el proceso de implementación de un sistema de monitoreo remoto de señales vitales en pacientes de alto riesgo, se describe el diseño de un oxímetro de pulso haciendo uso de las prestaciones de un microcontrolador y de un electrocardiógrafo analógico (derivaciones bipolares). Mediante el microcontrolador se configura el módulo GPS XM0110 para recibir las coordenadas de la posición actual del paciente y guardarlas en memoria para posteriormente transmitirla haciendo uso del modem AirPrime SL6087, junto al valor de la frecuencia cardíaca y el SaO<sub>2</sub>, así como la hora en la cual se tomó la medición, mediante un mensaje de texto. También, haciendo uso de un módulo ZigBee se transmiten inalámbricamente las señales tomadas a un computador en donde se procesan y visualizan mediante un

software diseñado en la programa LabView™. A su vez, se tiene la posibilidad de visualizar la señal ECG en una LCD gráfica.

**Palabras claves:** diseño de circuitos, dispositivos de microondas, instrumentos médicos, radiocomunicaciones.

#### Abstract

This article shows the design and implementation of a remote monitoring system for vital signs in high-risk patients, it is described the design of a pulse oximeter using a microcontroller and an analog electrocardiograph (bipolar leads). A GPS XM0110 module is configured by the microcontroller in order to receive data of the current position of the patient and store them in memory for subsequent release by making use of a AirPrime SL6087 modem, as well as the heart rate, the SaO<sub>2</sub> and the time in which the

<sup>1</sup> Ingeniero Electrónico y Especialista en Gestión de Proyectos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magister en Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Los Andes–Bogotá. Gerente de TI en Wavecom Corporación SAS (2012-2015). Actualmente cursa estudios de MBA a tiempo completo en la Universidad de Los Andes. Bogotá-Colombia. Contacto: [os.morales10@uniandes.edu.co](mailto:os.morales10@uniandes.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero Electrónico, Especialista en Telemática, estudios de maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones con énfasis en Telemática. Docente de planta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [jcamargo@udistrital.edu.co](mailto:jcamargo@udistrital.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniero Electrónico, especialista en Telecomunicaciones Móviles, magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, estudiante de doctorado en Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Docente Asociado de la Universidad Distrital Francisco José de caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [egaona@udistrital.edu.co](mailto:egaona@udistrital.edu.co)

measurement was taken, using a text message. Also, by making use of a ZigBee module the captured signals are transmitted wirelessly to a computer where they are processed and displayed using software

designed on LabVIEW. In turn, there is the possibility to view the ECG signal on a LCD graphic.

**Keywords:** circuit design, medical devices, microwave devices, radiocommunications.

## INTRODUCCIÓN

Monitorizar constantes vitales como frecuencia cardiaca, saturación de oxígeno en la sangre y temperatura corporal, brinda al personal de la salud la información clínica oportuna que permite dar un diagnóstico más rápido a cada situación. Los sistemas de monitorización de señales electrocardiográficas (Davis, 2008) en pacientes tienen actualmente un área de cobertura limitada al centro hospitalario, no ha habido desarrollos que permitan tener una cobertura con un sistema de posicionamiento global GPS (Amaya & Carrera, 2010) (blogElectronica.com, 2012) (Pozo, Ribeiro, & Sandoval, 2000), ni su transmisión a través de una red móvil GSM (Reyes, 2007) (Redl, 2002) (Siemens, 2011). Los desarrollos efectuados con sistemas de monitorización incluyen la medición de la oximetría de pulso (Ventositos, 2010), la transmisión de las mediciones de los datos de oximetría mediante Bluetooth (Mena, 2009), adquisición portátil con telemetría Bluetooth (Cabo, 2009) para señales biomédicas (Guyton & Hall, 2007), electrocardiógrafos que se conectan por medio físico a un computador (Vidal & Gatica, 2010), electrocardiógrafos portátiles (Gonzales, Martinez, Fernandez, Garrido, & Rodriguez, 2001), entre otros. A nivel industrial existen sistemas que hacen transmisiones inalámbricas con un área de cobertura específica y reducida a nivel de hospitales (Healthcare, 2012).

El presente artículo muestra la implementación de un prototipo que permita la medición remota de magnitudes fisiológicas y el posterior envío de la información hacia el operador del sistema, renovando la asistencia en el área de la salud, ya que permite acceder a los datos vitales del paciente mediante diversos dispositivos de visualización

de la información para propiciar una vigilancia constante. El artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección II se mencionan algunos trabajos previos relacionados con sistemas de medición y transmisión inalámbrica de registro de constantes vitales (ECG, plestimografía, entre otros). La metodología, diseño y construcción del proyecto se describen en la sección III. Los resultados se muestran en la sección IV y, finalmente, las conclusiones y los trabajos futuros se presentan en las secciones V y VI, respectivamente.

## INVESTIGACIONES RELACIONADAS

Para hacer la valoración inicial en pacientes de alto riesgo, al igual que para su seguimiento y sostenimiento, se han monitorizado distintas constantes vitales; entre las más importantes se encuentra la frecuencia cardiaca, hallada mediante un ECG para hacer diagnóstico médico de patologías (Uspenskiy, 2012), ya sea mediante un ECG típico o implementado mediante sistemas de alta resolución (Reyes Aguirre, 2012); también debido a su alto impacto se han hecho intentos para usar todo el potencial de los computadores con el fin de usarlos como plataforma de bajo costo para la visualización y procesamiento de electrocardiogramas (Pinciroli, 1990), así como para la implementación de un electrocardiógrafo fetal portátil (Fanelli, 2011). También se encuentra registro de trabajos en la búsqueda de transmitir datos de plestimografía mediante módulos Bluetooth (Cerny & Penhaker, Plethysmography Bluetooth Measurement, 2010) e incluso vía remota (Wireless) (Cerny & Mojziesik, 2010), como es el caso de la tecnología GPRS (Reyes, 2007). No se tiene registro de la construcción de un sistema completo de monitorización remota,

que daría un gran beneficio a los pacientes, siendo la motivación principal del desarrollo de este proyecto. La implementación de un sistema de monitorización remota de constantes vitales utilizando tecnología de última generación permite hacer el seguimiento de pacientes y facilita al personal médico el acceso en tiempo real a estas mediciones mientras el paciente se encuentra en su lugar de residencia, reduciendo con ello el tiempo del diagnóstico.

## METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para el diseño e implementación de un prototipo del sistema de monitorización fue necesario plantear una serie de actividades, determinando seis etapas: definición de los requerimientos técnicos, escogencia de métodos de medición, diseño, procesamiento y acondicionamiento de las señales, visualización y transmisión inalámbrica de la señal, y desarrollo de *software*. Definiendo así un diseño metodológico, representado en la figura 1, para cumplir con los requerimientos técnicos y obtener el resultado esperado.



Figura 1. Modelo de trabajo.

Fuente: elaboración propia

En la figura 2 se muestra en diagramas de bloque el sistema que se detallará en el presente trabajo.

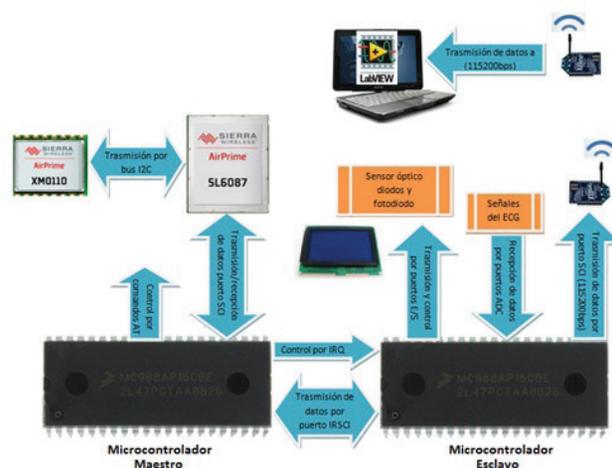


Figura 2. Diagrama general del sistema de monitorización.

Fuente: elaboración propia

## REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

De acuerdo con las recomendaciones de la Association for the Advancement of Medical Technology (AAMI, 2012), se tienen los siguientes requerimientos de diseño para que el equipo pueda ser homologado según estos estándares:

- **Ancho de banda:** debe estar entre 0,14 Hz y 100 Hz, pero se toma con un ancho de banda superior, situado entre 1,59 Hz y 150 Hz; esto con el fin de que el equipo pueda ser útil en pruebas de esfuerzo o en equipos ambulatorios en futuras aplicaciones.
- **Impedancia de entrada:** recomienda valores de impedancia de ingreso al sistema de medición mayor a 5 mΩ; para esto se implementó amplificadores de aislamiento entre el paciente y el amplificador de instrumentación usando amplificadores operacionales constituidos por FET, como el LF353.
- **Rango dinámico de entrada y ganancia:** recomienda que el equipo responda a variaciones

diferenciales entre 0,5 y 10 mVpp y que se disponga de valores de ganancia de 500, 1.000 y 2.000; esto se cumple con un amplificador de instrumentación diseñado para aplicaciones de ECG como el AD620 de Analog Devices, junto con el uso de etapas de amplificación posteriores.

- **CMRR:** recomienda un CMRR mínimo de 100 dB; para cumplir con este requerimiento se utilizó el AD620, que es un amplificador de instrumentación diseñado para aplicaciones biomédicas y que garantiza un CMRR mínimo de 100 dB.
- **Protección al paciente:** recomienda proteger al paciente ante cualquier fuga de corriente superior a 20  $\mu$ A a través del uso de fuentes aisladas en el caso de tomar la alimentación para el equipo a través de la red eléctrica o el uso de baterías; para lograr dicho aislamiento se escogió la segunda opción, operando el equipo a través de baterías recargables.

La American Heart Association (AHA, 2013) recomienda una resolución de 8 bits y una frecuencia de muestreo de 250 Hz como requerimientos mínimos para un ECG computarizado. Para cumplir con esta recomendación se efectuará una conversión a 10 bits.

## MÉTODO DE MEDICIÓN

### ECG

Estos miden la actividad eléctrica generada por la suma total de la capacidad cardiaca en un momento concreto; para hacer un dispositivo de bajo costo se utilizaron electrodos de superficie ya que son más económicos que los de inserción y no son tan incómodos para el paciente (Electromedicina, 2011). Cabe mencionar que las señales adquiridas son señales eléctricas provenientes del corazón presentes en la superficie corporal, y que son del rango de 0,5 a 4 mV, siendo bastante difícil diferenciarlas del ruido, además de ser afectadas

fácilmente por ondas electromagnéticas, la red eléctrica, las contracciones musculares, el contacto entre el electrodo y la piel, la respiración y la transpiración del paciente, entre otros; esto se soluciona pasando las señales adquiridas por diferentes etapas de amplificación y filtraje, para así finalmente digitalizarlas.

*Adquisición de la señal ECG:* Las señales se obtuvieron a partir de electrodos conectados en las 4 extremidades del cuerpo, para obtener así las derivaciones dipolares I, II y III:

- $I = LA - RA$
- $II = LL - RA$
- $III = LL - LA$

Donde RA (brazo derecho), LA (brazo izquierdo) y LL (pierna derecha).

Se utilizaron cables desoxigenados para conectar los electrodos a los amplificadores de instrumentación, esto con el propósito de aprovechar su blindaje y de esta manera minimizar interferencia en la adquisición de las señales. Las señales bipolares de las derivaciones I, II y III se obtuvieron de la diferencia de voltaje entre dos electrodos localizados en partes específicas del cuerpo (muñeca, tobillo, entre otros).

### Pulsioxímetro

Es posible hacer una medida muy exacta de la fotocorriente total inducida en el fotodetector, haciendo uso de un simple temporizador y de las prestaciones del microcontrolador, gracias a que el fotodiodo se puede modelar por el circuito equivalente que se observa en la figura 3.

La mayoría de oxímetros de pulso en la actualidad están formados por una configuración LED-LED\_IR-Fotodiodo, donde los Led son los emisores de luz y los fotodiodos [generalmente diodos p-n o diodos p-i-n (tipo p – intrínseco – tipo n)] actúan como fotodetectores. Típicamente se utilizan componentes para el acondicionamiento de la señal de

interés, tales como amplificadores operacionales y conversores analógico a digital de alta resolución (Siemens, 2011). Estos otros componentes no solo incrementan la complejidad del sistema y el costo total, sino también el tamaño y la disipación de energía, factores importantes en cualquier diseño. La técnica de detección propuesta es digital y se basa en la conversión del voltaje a duración de pulso, eliminando de esta manera la necesidad de ADC de alta resolución y amplificadores analógicos. A continuación se presenta el diseño usando el método de interfaz directa (ver la figura 4). En este caso, la salida del sensor óptico se conecta directamente al microcontrolador y este procesa la señal y envía los datos a un PC, por lo que solo se requiere un par de Led, un fotodetector y el microcontrolador.

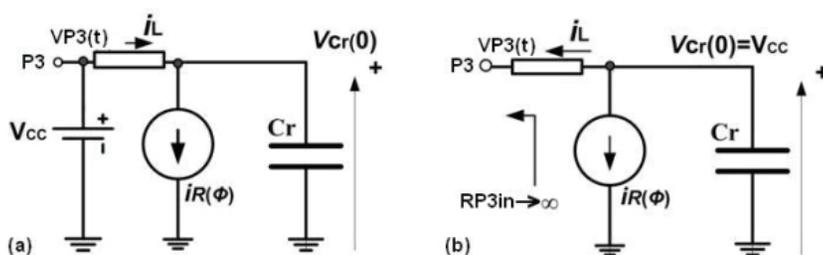
## DISEÑO

### ECG

*Amplificación diferencial:* Para el proceso de adquisición se hizo la implementación de tres etapas de amplificación; la primera, de pre-amplificación, que se lleva a cabo mediante un amplificador de instrumentación AD620 (Analog-Devices, 2011), con capacidad de amplificación de 1 a 1.000 V/V, se efectuaron los cálculos pertinentes para obtener una ganancia aproximada de 20 V/V, el valor de la  $R_G$  se calcula mediante la ecuación (1).

$$R_G = \frac{49,4k\Omega}{G-1} \quad (1)$$

De donde se obtiene el valor de  $R_G$  igual a 2,7 k $\Omega$ . Luego se diseñó un circuito integrador



**Figura 3.** Circuito equivalente del fotodiodo. (a) Proceso de carga. (b) Proceso de descarga.

**Fuente:** (Ventositos, 2010)



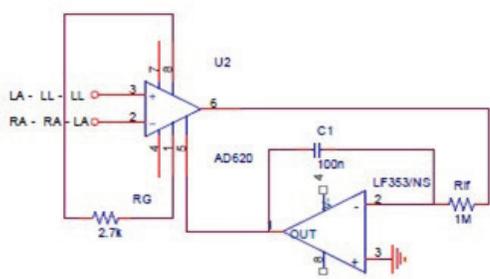
**Figura 4.** Diagrama de bloques del sistema de oximetría basado en interfaz directa.

**Fuente:** elaboración propia

de realimentación para el amplificador de instrumentación (figura 5), con una frecuencia de corte  $F_c = 1,59 \text{ Hz}$ , calculado a partir de la ecuación (2).

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2)$$

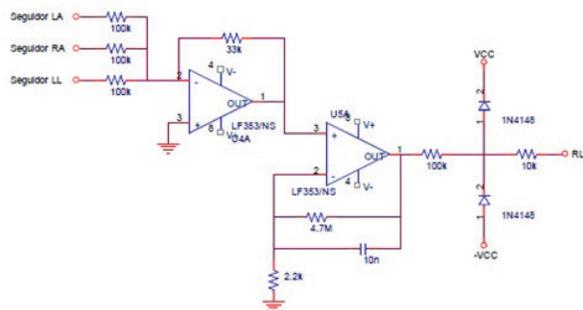
Se escogió un valor de condensador igual a 100 nF (es un valor comercial muy usado y de fácil acceso), con el cual se obtiene un valor de resistencia igual a  $R_{IN} = 1 \text{ M}\Omega$ .



**Figura 5.** Amplificador de instrumentación y circuito integrador de realimentación.

**Fuente:** elaboración propia.

*Circuito de pierna derecha:* Se promedian los ingresos de los tres puntos en donde se adquiere la señal, que son brazo derecho, brazo izquierdo y pierna izquierda a través de un sumador inversor, la señal resultante es posteriormente amplificada y reinyectadas al paciente a través de la pierna derecha (RL) (figura 6).

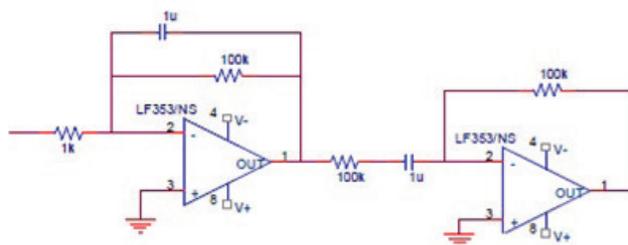


**Figura 6.** Circuito de pierna derecha.

**Fuente:** elaboración propia.

- *Filtro pasa-banda:* La frecuencia de cada filtro se calcula de acuerdo con la ecuación (2), cuyas frecuencias de corte se ajustan según los estándares que se aplican en electromedicina. Este filtro se construye a partir de un filtro pasa bajas y un filtro pasa-altas.
- *Filtro pasa-bajas:* se asume un condensador de 10 nF, la resistencia de realimentación de 100 kΩ y la resistencia de entrada del amplificador de 1 kΩ, con lo cual se tiene:  $F_{CLPF} = 159,15 \text{ Hz}$  y  $G_{LPF} = -100$ .
- *Filtro pasa-altas:* con un condensador de 1 μF, una resistencia de entrada y de realimentación de 100 kΩ, se tiene:  $F_{CHPF} = 1,59 \text{ Hz}$  y  $G_{HPF} = -1$ .

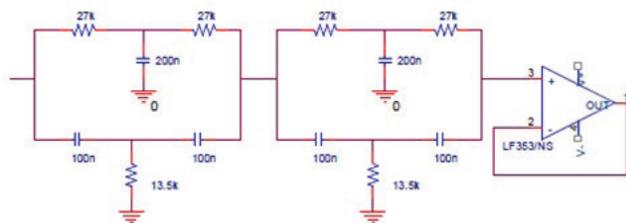
Con esto se obtiene el ancho de banda del equipo entre 1,59 Hz y 159 Hz aproximadamente, y la ganancia es de  $G_{BPF} = 100$ . El circuito resultante se puede observar en la figura 7.



**Figura 7.** Filtro pasa-banda.

**Fuente:** elaboración propia.

*Filtro Notch:* Durante el desarrollo del módulo analógico se encontró en la señal ECG componentes de frecuencia que oscilan alrededor de 60 Hz, provenientes de agentes externos de ruido; este ruido se eliminó pasando la señal por un filtro Notch pasivo. Se utilizaron dos filtros Notch en cascada para obtener un mejor desempeño. Después de los filtros se implementó un amplificador operacional como seguidor para hacer un acople de impedancias con la etapa de acondicionamiento de la señal (figura 8).

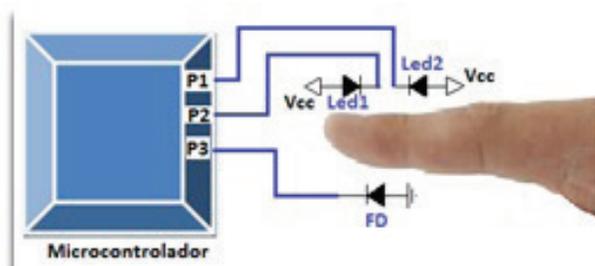


**Figura 8.** Filtro Notch y amplificador operacional para acoplar impedancias.

**Fuente:** elaboración propia.

### Pulsioxímetro

*Sensor óptico:* La configuración del sensor se basa en dos Led, de longitudes específicas [660 nm (rojo) y 940 nm (infrarrojo cercano)] y un fotodetector que capta la luz que incide en él, como se muestra en la figura 9. La luz emitida por los Led es reflejada, absorbida y dispersada por la sangre y los tejidos. La luz resultante modulada emergente se mide usando un fotodetector.

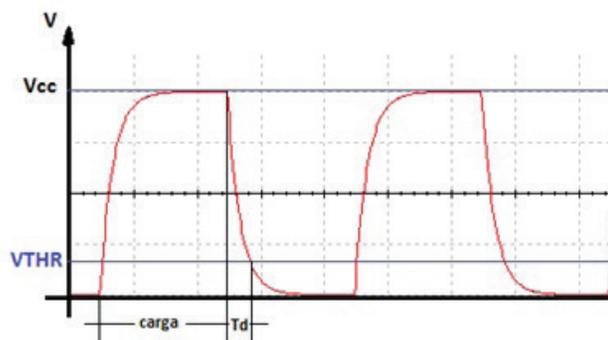


**Figura 9.** Configuración del sensor haciendo uso de la interfaz directa.

**Fuente:** (Ventositos, 2010).

Estos fotodiodos detectores no suelen ser espectralmente selectivos y detectan un amplio rango del espectro de luz que va desde los rayos UV hasta el infrarrojo cercano; sin embargo, permite trabajar con un solo fotodetector para las dos longitudes de

onda usadas. El primer paso es encender uno de los dos Led y alimentar el fotodiodo mediante el microcontrolador, para de esta manera modelarlo como el circuito de la figura 3(a). En este momento P3 actúa como salida y se carga el “condensador”. Los pines P1 y P2 (ver la figura 9) se configuran como salidas, uno se hace cero P1 = “0” y el otro se hace uno, P2 = “1”. Luego se debe declarar el pin 3 como salida y ponerlo en uno P3 = “1”. De este modo la capacidad del fotodetector se carga. Para asegurar que la carga es máxima se deben esperar aproximadamente 200  $\mu$ s (Ventositos, 2010). Una vez la carga es máxima, se declara P3 como entrada [para modelar el fotodiodo como el circuito de la figura 3(b)] y se inicia el conteo con el temporizador. Debido al estado de alta impedancia de los pines del microcontrolador (HI\_Z) (la impedancia es muy grande y tiende a infinito), la capacidad del fotodetector se descarga a través de P3 con mayor o menor velocidad, dependiendo de la fotocorriente inducida en el fotodiodo  $i_p(\psi)$ , (debido a la luz que atraviesa el dedo procedente del Led encendido), hasta llegar a la tensión umbral  $V_{THR}$ . Esta tensión  $V_{THR}$  (figura 10), es la tensión a partir de la cual el microcontrolador deja de ver un “1” lógico y pasa a ver un “0” lógico en el puerto en donde se aplica la señal, y viceversa.  $T_d$  es el tiempo de decaimiento.



**Figura 10.** Carga y descarga del “condensador” (modelo simple de fotodiodo).

**Fuente:** elaboración propia.

El proceso de descarga del fotodiodo, suponiendo que la fotocorriente inducida  $i_{R(\varphi)}$  tiene un valor constante, puede expresarse a partir de la ecuación (3).

$$v_{ps} = V_{cc} - \frac{1}{C_T} \int_0^t i_R(\varphi) dt = V_{cc} - \frac{i_R(\varphi)}{C_T} t \quad (3)$$

La ecuación (3) muestra que la descarga disminuye linealmente en el tiempo. También se puede apreciar que cuando la cantidad de luz aumenta, el "condensador" se descarga más rápidamente y, por tanto, es de esperar que el tiempo de decaimiento  $T_d$  (tiempo de descarga hasta llegar a un umbral  $V_{THR}$ ) disminuya, y viceversa (Ventositos, 2010).

Mediante el módulo de temporización del microcontrolador se almacenará en un registro de 16 bits el número de ciclos de máquina que utilizó el fotodiodo para "descargarse".  $T_d$  se calculó mediante la ecuación (4).

$$T_d = N_{conteo} \cdot \frac{1}{P_{ree} \cdot f_{bus\ intermo}} \quad (4)$$

Donde  $N_{conteo}$  representa el número entero de los recuentos del contador,  $P_{ree}$  es el factor de pre-escalado y  $f_{bus\ intermo}$  es la frecuencia de trabajo del bus interno del microcontrolador (8,27 MHz). Una vez se calculó el tiempo  $T_d$  mediante el microcontrolador, para evitar que la descarga se prolongue infinitamente se deben apagar el Led y el fotodetector. Una vez ha finalizado este proceso, este se debe repetir de nuevo, íntegramente, con el Led restante para posteriormente empezar todo el proceso con los dos LED de nuevo continuamente. Los valores del tiempo de decaimiento ( $T_d$ ) para las distintas longitudes de ondas se envían a un PC a través del módulo SCI (Serial Communication Interface) del microcontrolador. El procedimiento descrito anteriormente implementado en el microcontrolador se puede observar en el diagrama de flujo de la figura 11.



**Figura 11.** Diagrama de flujo de las tareas que realiza el microcontrolador para el control de los diodos, el fotodiodo y la transmisión de los datos hacia el computador.

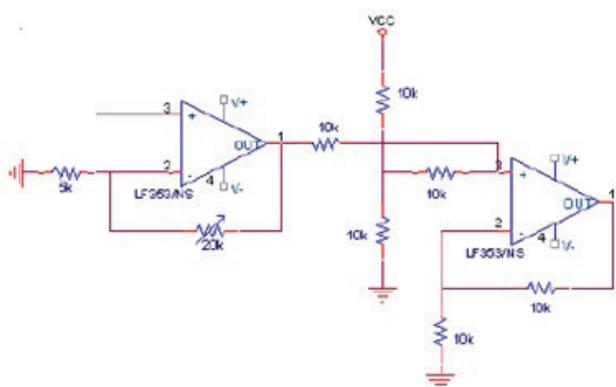
**Fuente:** elaboración propia.

## PROCESAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE LAS SEÑALES

### ECCG

Se amplificó la señal usando un amplificador no inversor con una resistencia de realimentación variable; para esto se escogió un trimmer (ya que es

necesario que esta amplificación sea lineal), con el fin de tener un rango de ganancias variable, ya que la amplitud de las señales electrocardiográficas varía en cada paciente. Posteriormente se adicionó a la señal un nivel DC de 2,5 voltios (la mitad de la ventana del rango de conversión del ADC del microcontrolador) (figura 12), esto debido a que el microcontrolador trabaja únicamente con voltajes positivos de 0 a 5 V. Usando la ecuación de ganancia para un amplificador no inversor: se escoge una resistencia R1 de 5 kΩ, y para Rf se utiliza un trimmer de 20 kΩ, con lo que se tiene un rango de ganancias entre 1 y 5 veces.



**Figura 12.** Circuito de acondicionamiento.

**Fuente:** elaboración propia.

*Conversión analógico-digital:* Una vez terminado el tratamiento analógico en donde se adquirió y procesó la señal ECG de acuerdo con las normas de la AAMI mencionadas en los requerimientos de diseño, se procede a digitalizar la señal a través del convertidor analógico a digital del microcontrolador; la conversión se realizó a 10 bits. El convertidor analógico-digital (ADC) incluido en este microcontrolador tiene diferentes velocidades de conversión que varían desde 500 kΩ a 2 MHz y el error de conversión es  $\frac{1}{2}$  LSB. Para esta aplicación se configuró para que trabajara a una velocidad de conversión de 1,8 Mhz.

## Pulsioxímetro

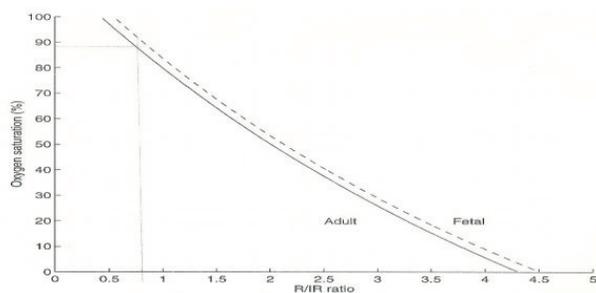
Los valores de  $Td$  (tiempos hallados por el microcontrolador), son enviados por la interfaz RS-232, y se procesan para mostrarse en el panel gráfico. Inicialmente se separarán los datos que recibe el PC en dos vectores de datos distintos, uno para cada longitud de onda, y a partir de ellos se crean dos señales fotopletismográficas (PPG) distintas. Las señales PPG tienen dos componentes: una componente DC y una componente AC con información sobre la frecuencia cardíaca y relacionada con el volumen de sangre arterial. La amplitud de la componente AC es generalmente de 1 a 2% del valor de la componente DC. Estas dos componentes pueden determinarse y usarse para calcular el Ratio normalizado (ecuación (5)), que posteriormente permitirá calcular la SaO<sub>2</sub>.

$$Ratio = R = \frac{Red}{IR} = \frac{\frac{AC_{red}}{DC_{red}}}{\frac{AC_{IR}}{DC_{IR}}} \quad (5)$$

Las señales PPG obtenidas se pasan por una serie de filtros digitales para eliminar tanto la componente DC de las señales como posibles interferencias a frecuencias no deseadas; para ello se usa un filtro pasa-banda con frecuencias de corte de 0,4 Hz y 4 Hz (el margen de valores común de la frecuencia cardíaca está entre 60 y 190 pulsaciones por minuto, y por tanto, el rango de frecuencias útil está entre 0,67 Hz y 3,16 Hz (Electromedicina, 2011)). De esta manera se puede trabajar con cualquier frecuencia cardíaca y eliminar las interferencias que la luz ambiental puede provocar en el sistema a 50 Hz ya que este tipo de sistema es muy sensible a ella (Gonzales, Martinez, Fernandez, Garrido, & Rodriguez, 2001).

*Calibración de los niveles de SaO<sub>2</sub>:* Se hace con los valores máximo y mínimo en cada período de las dos señales con el fin de calcular su ratio (R) y así estimar el valor correspondiente de SaO<sub>2</sub> a partir de la curva de calibración de la saturación de oxígeno.

En la figura 13 se muestra la curva de calibración de los resultados de la SaO<sub>2</sub> (%) en función del Ratio (R/IR). Estas gráficas empíricas se obtienen a partir de diversos métodos de calibración y testeo y varían entre ellas, dependiendo del fabricante que las elabore y emplee.

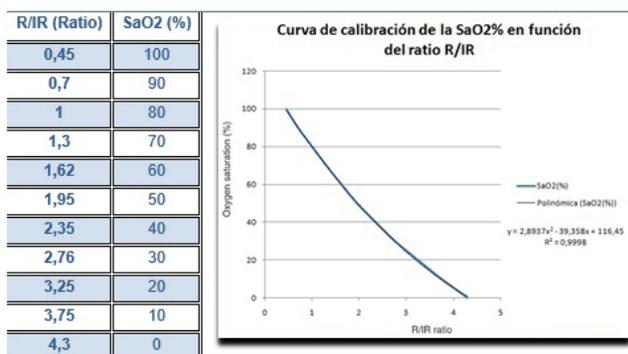


**Figura 13.** Curva de calibración de la SaO<sub>2</sub> % en función del ratio R/IR.

**Fuente:** (Ventositos, 2010).

Utilizando una aproximación con un polinomio de segundo orden (obtenido a partir de puntos tomados de la figura 13), se obtuvo la ecuación (6) para el cálculo del porcentaje de saturación del oxígeno. La respectiva grafica de la ecuación (6) se puede observar en la figura 14.

$$SaO_2(\%) = 2,893 \cdot R^2 - 39,358 \cdot R + 116,45 \quad (6)$$

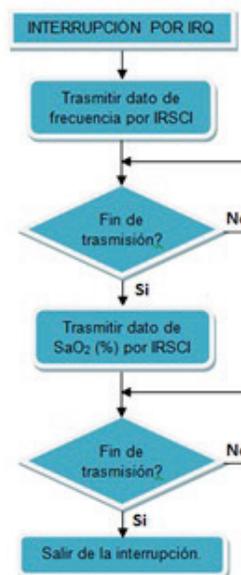


**Figura 14.** Curva de calibración de la SaO<sub>2</sub> en función del Ratio.

**Fuente:** elaboración propia.

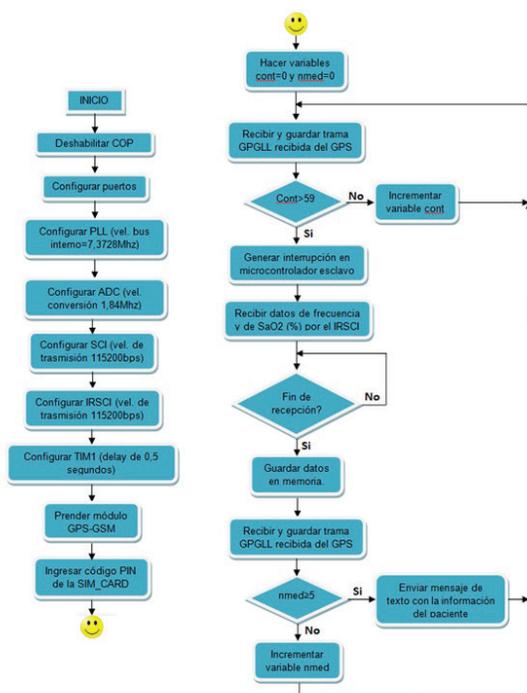
## VISUALIZACIÓN Y TRASMISIÓN INALÁMBRICA DE LA SEÑAL

Para hacer la conversión analógica-digital, la transmisión serial [transmitir inalámbricamente las señales a un computador mediante módulos Zigbee (Figueroa, 2010)] y la configuración de la GLCD (Longtech-Optics, 2012) para visualizar las señales, se usó un microcontrolador de la familia MC68HC908AP16 (FreescaleTM, 2007); este se escogió por su bajo costo, su escalabilidad, además de poseer un ADC de 10 bits de resolución y dos módulos SCI, lo cual es adecuado para suplir a cabalidad los requerimientos de diseño. Las funciones mencionadas anteriormente se describen con mayor detalle en las figuras 15, 16 y 17.



**Figura 15.** Diagrama de flujo Interrupción por IRQ.

**Fuente:** elaboración propia.

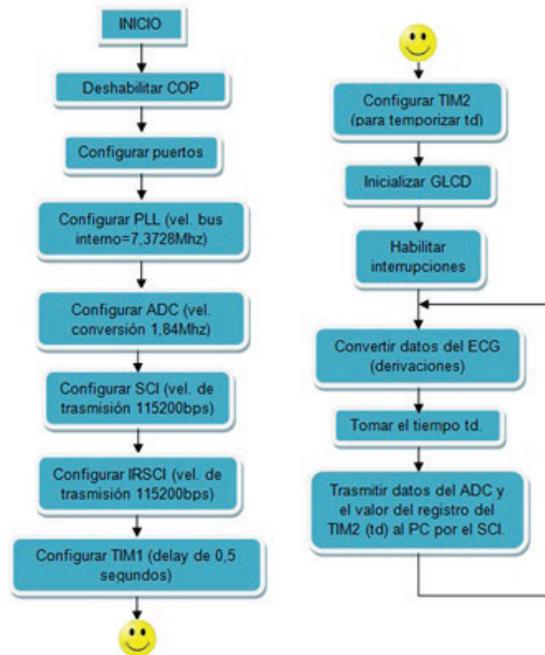


**Figura 16.** Diagrama de flujo de las funciones que realiza el microcontrolador maestro.

**Fuente:** elaboración propia.

## DESARROLLO DE SOFTWARE

El primer paso por realizar con LabView (National\_Instruments, 2012) es la lectura de los datos enviados al PC desde el microcontrolador mediante el puerto serial. Para su correcta lectura se debe adoptar en LabView la misma configuración del puerto serie que se había usado en el microcontrolador para el envío de los datos. Para ello se debe dotar al panel frontal de unos controles desde los que se puede hacer dicha configuración. Una vez configurado el modo de recepción, se empiezan a recibir los datos, de 8 bits en 8 bits, por lo que hay que separar los datos de a 8 bits para formar las señales. Después de haber efectuado la conversión de los datos de ASCII a decimal, se procede a pasar las señales por los filtros necesarios para reconstruirla; luego se hacen los cálculos para hallar las variables que se desea mostrar y finalmente se visualiza toda la información en el panel frontal de



**Figura 17.** Diagrama de flujo de las funciones que realiza el microcontrolador esclavo.

la aplicación; este procedimiento se puede ver en un diagrama de flujo en la figura 18.



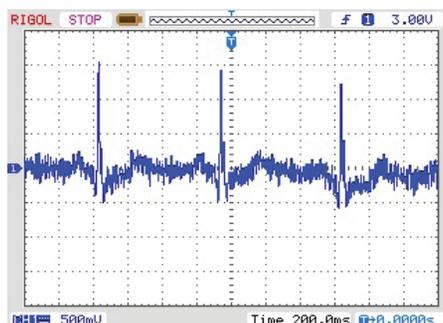
**Figura 18.** Diagrama de flujo de las funciones que realiza el software diseñado en LabViewTM.

**Fuente:** elaboración propia.

## RESULTADOS SEÑAL ECG

En las figuras 19 y 20 se observa la segunda derivación (D2) o señal electrocardiográfica adquirida de una persona; previamente han pasado por el amplificador de instrumentación, los filtros pasa banda y notch, un acondicionamiento que incluye una amplificación y la suma de un offset para ajustarla a la ventana de conversión del microcontrolador (0-5 V).

En la figura 21 se observa la señal electrocardiográfica en una pantalla que hace parte de la interfaz del programa diseñado en LabView.



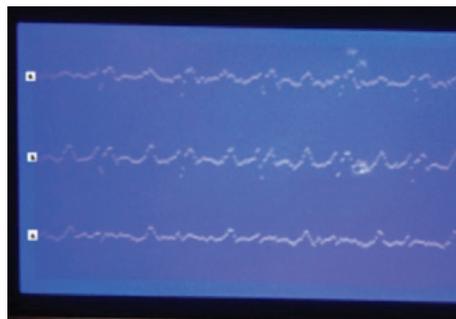
**Figura 19.** Derivación 2 (DII).

**Fuente:** elaboración propia.

## Señal PPG

En la figura 22 se observa la señal PPG formada con los tiempos adquiridos por el microcontrolador (Td). Posteriormente la señal PPG pura se pasó por un filtro pasa-banda, y se obtuvo la señal PPG requerida para hacerle un posterior análisis (figura 23).

*Localización de posición y envío de mensaje SMS:* Mediante el uso de un terminal, se monitorizó la comunicación entre el microcontrolador y los módulos GPS y GSM. En la figura 24 se observa la trama de localización del paciente (trama Nmea GPGLL), y posterior envío de un mensaje

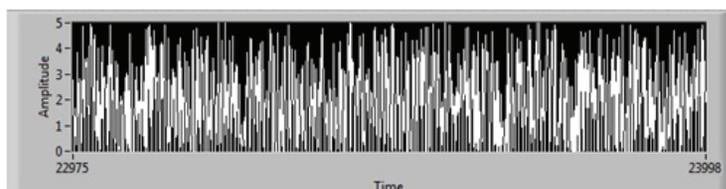


**Figura 20.** Visualización de las señales ECG en la GLCD.



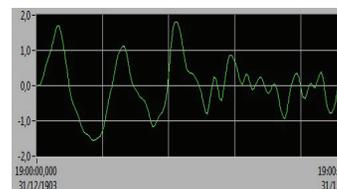
**Figura 21.** Ventana de interfaz de la aplicación ECG.

**Fuente:** elaboración propia.



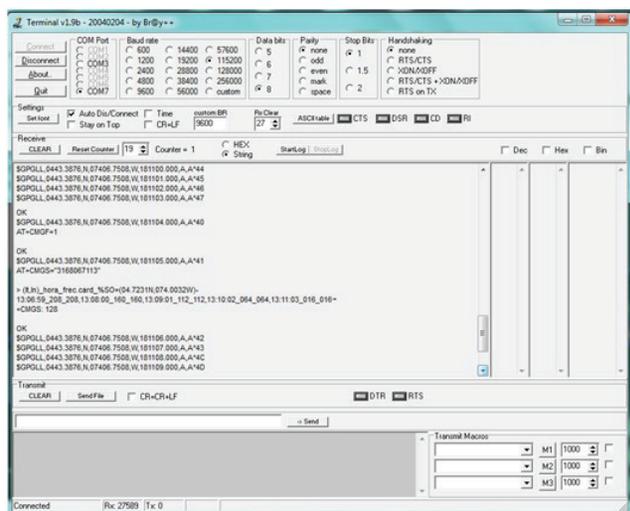
**Figura 22.** Señal PPG (sin filtros digitales).

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 23.** Señal PPG.

de texto con la información de frecuencia y SaO<sub>2</sub> del paciente.

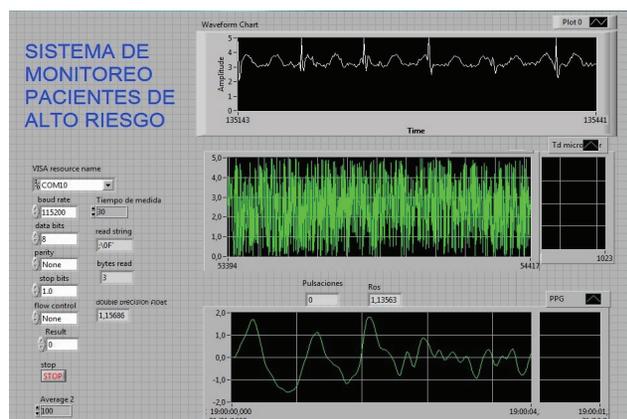


**Figura 24.** Monitorización de posición y envío de mensaje de texto.

Fuente: elaboración propia.

## INTERFAZ DE USUARIO

En la figura 25 se puede observar la interfaz de usuario del sistema de monitorización.



**Figura 25.** Interfaz gráfica.

Fuente: elaboración propia.

## PROTOTIPO FINAL

Se puede observar en la figura 26 el prototipo terminado, con los diferentes sensores, la pantalla GLCD y la antenas de GSM y de GPS.



**Figura 26.** Prototipo final.

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

La posibilidad de transmitir señales ECG y PPG de manera inalámbrica (mediante el protocolo XBee que trabaja a 2,4 GHz) en tiempo real hace que el equipo pueda emplearse para la toma de datos en múltiples estudios; al cumplir con los estándares dados por la AAMI (Association for the Advancement of Medical Instrumentation) y la AHA (American Heart Association), permite usarse para el desarrollo de investigaciones y la posterior validación de resultados. El poder visualizar las señales electrocardiográficas en una GLCD brinda un apoyo diagnóstico a la hora de la captura de señales, así como la posibilidad de realizar una monitorización en cualquier lugar sin necesidad de tener acceso a tomas de corriente ni a un computador. En el diseño del oxímetro de pulso se hizo uso de las prestaciones del microcontrolador, en especial la alta impedancia de entrada de los pines entrada/salida. La técnica de detección propuesta es digital

y se basa en la conversión de voltaje a duración de pulso, eliminando de esta manera la necesidad de ADC de muy alta resolución. Se ha comprobado que la tecnología GSM empleada para la transmisión de la información es idónea para esta clase de dispositivos gracias a su robustez, ya que la velocidad de transmisión es rápida y de fácil comprensión, garantizando la fiabilidad de la información que llega al personal encargado.

## TRABAJOS FUTUROS

Aunque los componentes utilizados en el diseño han sido seleccionados para un bajo consumo, los avances de la electrónica hacen que cada día aparezcan componentes con mayores prestaciones. Así pues, una de las líneas futuras del proyecto pasaría por reducir el tamaño y el consumo del dispositivo. Otra de las mejoras por incorporar consiste en la creación de un portal web para visualizar la información del paciente online en tiempo real usando la información transmitida mediante el módem por protocolo GPRS a la nube de internet.

## FINANCIAMIENTO

El diseño, construcción y ensamble del prototipo descrito en el presente artículo fueron financiados en su totalidad por los autores.

## Referencias

- AAMI (junio 2012). *Association for the Advancement of Medical Technology*. Retrieved from: <http://www.aami.org/>
- AHA (mayo 2013). *American Heart Association*. Retrieved from: [http://www.heart.org/HEARTORG/HealthcareResearch/Healthcare-Research\\_UCM\\_001093\\_SubHomePage.jsp](http://www.heart.org/HEARTORG/HealthcareResearch/Healthcare-Research_UCM_001093_SubHomePage.jsp)
- Amaya, C., y Carrera, D. (2010). *Sistema de monitoreo pasivo para vehículos mediante GPS*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Analog-Devices (junio 2011). *Analog Devices*. Retrieved from: [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD620.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD620.pdf)
- blogElectronica.com (marzo 2012). *Blog personal sobre alta tecnología y dispositivos electrónicos avanzados. Especialidad M2M*. Retrieved from: <http://www.blogelectronica.com/el-gps-sistema-de-posicionamiento-global/>
- Cabo, J. (2009). *Universidad Politécnica de Cataluña*. Retrieved from: Sistema de adquisición portátil con telemetría Bluetooth para señales Biomédicas: Desarrollo de un equipo médico de monitorización, procesado y almacenamiento de la señal de ECG y de la actividad física mediante registro Holter: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6927/1/Memoria%20Holter.pdf>
- Cerny, M., & Mojziesik, J. (2010). *Roedunet International Conference (RoEduNet)*, 414-417.
- Cerny, M., & Penhaker, M. (2010). Plethysmography Bluetooth Measurement. *Mechanical and Electronics Engineering (ICMEE), 2nd International Conference on (Volume 1)*, V1-337-V1-339.
- Davis, D. (2008). *Interpretación del ECG: Su dominio rápido y exacto*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
- Electromedicina, A. (mayo 2011). *Bioingeniería y Biosensores*. Retrieved from: <http://aplicacioneselectromedicina.wordpress.com/>
- Fanelli, A. (2011). Telefetalcare: A first prototype of a wearable fetal electrocardiograph. *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC*, 6899- 6902.
- Figueroa, J. (2010). *Módulos de radiofrecuencia XBee/ XBee-PRO*. Ecuador: ESPE.
- Freescale, TM (enero 2007). *Freescale Semiconductors*. Retrieved from: [http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data\\_sheet/MC68HC908AP64.pdf](http://www.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC68HC908AP64.pdf)
- González, R., Martínez, J., Fernández, A., Garrido, H., y Rodríguez, J. (2001). *Memorias II Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica. La Habana*. Retrieved from: <http://www.hab2001.sld.cu/arrepdf/00423.pdf>

- Guyton, A., y Hall, J. (2007). *Tratado de Fisiología Médica*. Barcelona: Elsevier.
- Healthcare, G. (marzo 2012). *GE Healthcare*. Retrieved from: [http://www3.gehealthcare.es/es-ES/Productos/Categorias/Patient\\_Monitoring/Wireless\\_Networks/ApexPro\\_Telemetry\\_System](http://www3.gehealthcare.es/es-ES/Productos/Categorias/Patient_Monitoring/Wireless_Networks/ApexPro_Telemetry_System)
- Longtech-Optics (enero 2012). *Sigma Electrónica*. Retrieved from: <http://www.sigmaelectronica.net/manuals/LGM240128A.pdf>
- Mena, A. (junio 2009). *Escuela Técnica Superior De Ingeniería (ICAI)*. Retrieved from: Transmisión inalámbrica de datos de oximetría: <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/4a4664b4dc634.pdf>
- National\_Instruments (2012). *Aprenda LabView*. Retrieved from: <http://www.ni.com/academic/students/learn-labview/esa/>
- Pinciroli, F. (1990). A low-cost and ready to run package to transform a laptop into an advanced electrocardiograph. *Computers in Cardiology. Proceedings*, 629-632.
- Pozo, A., Ribeiro, A., y Sandoval, F. (2000). *Sistema de posicionamiento global (gps): descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro*. España: Mundo Electrónico.
- Redl, S. M. (2002). *An introduction to GSM*. Artech House.
- Reyes Aguirre, E. (2012). Design and Construction of an Electrocardiograph Prototype with Touch Screen Interface and Embedded System with 16-bit resolution. *Image, Signal Processing, and Artificial Vision (STSIVA)*, 202-207.
- Reyes, D. (2007). *Repositorio Digital. Escuela Politécnica del Ejército*. Retrieved from: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/93/1/T-ESPE-014604.pdf>
- Siemens (julio 2011). *Arrow Components*. Retrieved from: [http://www.arrowar.com/iweb/files\\_registro/26czoyOToiY2ludGVyaW9uK3krbGFzK3JlZGVzK2dzbS5wZGYiOw%3D%3D.pdf](http://www.arrowar.com/iweb/files_registro/26czoyOToiY2ludGVyaW9uK3krbGFzK3JlZGVzK2dzbS5wZGYiOw%3D%3D.pdf)
- Uspenskiy, V. (2012). Diagnostic system based on the information analysis of Electrocardiograph. *Embedded Computing (MECO)*, 74-75.
- Ventositos, S. (abril 2010). *Universidad Politécnica de Cataluña*. Retrieved from: Sistema óptico autónomo para la medida de parámetros biomédicos: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9542/1/memoria.pdf>
- Vidal, C., y Gatica, V. (2010). Diseño e implementación de un sistema electrocardiográfico digital. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia*, 99-107.







## Metodología para documentación 3D utilizando fotogrametría digital

### Methodology for 3D documentation using digital photogrammetry

Badwin Arévalo Vera<sup>1</sup>, Eduar Bayona Ibáñez<sup>2</sup>, Isbelia Karina Rincón Parada<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 2 de octubre de 2014

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

**Cómo citar:** Arévalo Vera, B., Bayona Ibáñez, E., & Rincón Parada, I. K. (2015). Metodología para documentación 3D utilizando fotogrametría digital. *Revista Tecnura*, 19, 113-120. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a09

#### Resumen

El presente artículo utiliza la metodología de documentación 3D empleando software especializado en fotogrametría digital de rango corto, el cual permite generar un modelo 3D texturizado realista; este modelo se obtiene a partir de un conjunto de imágenes que brindan la información necesaria para que el volumen y profundidades del objeto sean representados como una nube de puntos, que posteriormente serán convertidos en una malla y esta será revestida con una textura obtenida también a partir de las imágenes utilizadas. Este tipo de objetos permiten una fácil difusión y acceso, además de la generación de ortofotos, las cuales se utilizan para realizar mediciones confiables del objeto tratado.

**Palabras clave:** fotogrametría digital, modelos 3D, ortofotos, patrimonio.

#### Abstract

This article shows a methodology of 3D documentation using software specialized in close-range Digital Photogrammetry, which allows generating a realistic 3D textured model, this model is obtained from a set of images that provide the necessary information for calculate the volume and depth of the object and represented them as a cloud of points, which will be subsequently converted in a mesh and coated with a texture obtained also from the images used. This type of objects allows an easy dissemination and access, as well as the generation of orthophotos, which are used to make reliable measurements of the treated object.

**Keywords:** 3D Models, Digital Photogrammetry, Orthophoto, Patrimony.

<sup>1</sup> Ingeniero de sistemas, especialista en práctica docente universitaria. Docente de la Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña, Colombia. Contacto: barevalov@ufpso.edu.co

<sup>2</sup> Ingeniero de sistemas, especialista en auditoría de sistemas. Docente de la Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña, Colombia. Contacto: ebayonai@ufpso.edu.co

<sup>3</sup> Ingeniero de sistemas, magíster en entornos virtuales. Docente de la Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña, Colombia. Contacto: ikrincomp@ufpso.edu.co

## INTRODUCCIÓN

Los modelos en 3D han permitido la interactividad entre objetos y personas, generando una relación que va mucho más allá de la visualización directa a una visualización virtual, la cual permite explorar y estudiar el objeto de interés (piezas patrimoniales, mapas, construcciones) sin alterarlo y sin que la perspectiva de la visión humana tienda a deformarlo.

La utilización de modelos 3D ha permitido realizar observaciones y estudios en diversas disciplinas, como en el caso de la fuente de la calle de los Cristos en Málaga, España, en donde utilizaron fotogrametría digital para analizar en profundidad detalles que a simple vista no se pueden reconocer. En este trabajo (Caro, 2012) se indica que los objetos obtenidos mediante fotogrametría digital se pueden incluir en diferentes documentos estándar como PDF accesibles a través de la web e incluso aplicables a sistemas de realidad aumentada, mas no sustituyen la tradicional documentación, pero sí aportan un grado más de percepción tanto del patrimonio mobiliario como inmobiliario.

Esta misma técnica fue aplicada en Malasia para analizar las malformaciones en la estructura del asfalto, con el fin de hacer estudio de los deterioros que sufren los pavimentos con el paso del tiempo, sin exponer a los investigadores a los peligros de la carretera; de esta manera los estudios se hacen en forma más fácil y sistemática. La fotogrametría es una alternativa a la inspección visual convencional de los distintos niveles de daños sufridos en los pavimentos (Beraldin, Guidi, Ciofi, & Atzeni, 2002) (Martinez, Ortiz, & Gil, 2013) (Torres Prada, Mendoza Priesseng, & Marin Riveros, 2011); así mismo, la utilización de esta técnica incluye exactitud, confiabilidad y menor duración en comparación con el método convencional (Liq, Mustaffar, & Hainin, 2012).

Continuando con la revisión de las investigaciones empíricas relacionadas con el tema, se encontró que se utilizó la fotogrametría para documentar construcciones vernáculas, lo que permitió establecer una metodología apropiada de

conservación, y estrategias de tratamiento en caso de encontrar deterioros en las fachadas (Akbaylar & Hamamcioglu-Turan, 2007).

De acuerdo con los estudios efectuados por la American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, ASPRS, la fotogrametría es el arte, la ciencia y la tecnología de obtener información fidedigna de objetos físicos y su entorno mediante procedimientos de grabación, medida e interpretación de imágenes fotográficas; así mismo (Caro, 2012) indica que la fotogrametría es una técnica que permite hacer medidas 3D y obtener volúmenes a partir de fotografías. Esta técnica (la denominada fotogrametría aérea) ha sido tradicionalmente empleada en la creación de mapas y su correspondiente levantamiento en 3D usando modelos digitales del terreno; sin embargo, hoy día la capacidad de cálculo que tiene un computador y la mejora en los algoritmos de reconocimiento de patrones en imágenes digitales ha hecho posible que esta técnica se incorpore para la generación de modelos tridimensionales, la cual se denomina fotogrametría de alcance corto; esta técnica no posee medidas reales pero sí medidas relativas que pueden ser transformadas a medidas reales y proporciona un modelo de la realidad en forma de puntos y polígonos, que posteriormente se puede escalar para conseguir una malla completa (Mohr, Quan, & Veillon, 1995).

En este artículo se pretende exponer tanto la metodología de trabajo utilizada, así como la técnica de realización de la fotogrametría y de la ortofoto aplicada al conocimiento, documentación e intervención del patrimonio cultural.

## METODOLOGÍA

Cuando se hace una documentación 3D por medio de fotogrametría digital, lo recomendado es contar con un guion de trabajo y con equipos especializados como cámaras métricas, lentes específicos para las mismas, set de luces para contrarrestar posibles sombras muy marcadas, entre otros; para la elaboración de esta investigación se trabajó con

los parámetros estipulados por las reglas 3x3 expuestas por (Waldhausl & Ogleby, 1994). Estas reglas son las siguientes:

Tres (3) geométricas:

- Tomar varias distancias e identificar o materializar líneas aplomadas.
- Tome una foto cada 10° o cada 1/10 a 1/15 de la distancia.
- Mientras pueda, tome fotos normales al objeto.

Tres (3) fotográficas:

- Mantenga fijos los parámetros internos (no use zoom, mantenga el enfoque fijo o en infinito).
- Evite sombras duras, trate de buscar luz homogénea.
- Use una buena cámara. La foto es sagrada. No se edita ni se transforma o recorta.

Tres (3) organizativas:

- Planifique y haga croquis de su trabajo.
- Escriba lo que ha hecho y hágalo hoy (metadatos).
- Revise con cuidado cuanto haga antes de archivarlo.

## Preparación y toma de imágenes

Se realizó como prueba la documentación de una vasija artesanal, con el fin de obtener un modelo 3D completo con sus respectivas texturas y posteriormente la generación de ortofotos (Tabares, Fernández, & Ballesteros, 1999) que faciliten futuros estudios del objeto.

Para el caso particular de la documentación 3D de la vasija artesanal, se optó por utilizar un espacio exterior, el cual se adaptó de manera tal que permitiera la realización del trabajo; al estar en un espacio abierto se ha prescindido del set de luces y en su lugar se ha aprovechado la luz natural que brindaba el lugar; adicionalmente, la cámara rotó alrededor del objeto en vez de que este rote sobre su eje, con la finalidad de que el fondo sea variante y

se pudiera tener más información sobre el volumen del objeto con base en la profundidad del entorno; además ello permitiría detectar mayor cantidad de 'matches' o puntos en común entre fotografías, facilitando así la alineación de las mismas.

En la toma de fotografías se utilizó una cámara convencional, que pese a las limitaciones de configuración para la captura de imágenes adecuadas para la fotogrametría digital, brindó una aceptable profundidad de píxeles, resolución y óptica.

En total se utilizaron 100 imágenes para la generación del modelo final, siguiendo las recomendaciones de las reglas 3x3, que brindaron información del objeto desde la mayor cantidad de ángulos posibles, como se puede observar en la figura 1, en donde se presentan algunas de las fotografías utilizadas.



**Figura 1.** Muestra de fotografías usadas.

**Fuente:** elaboración propia

*Alineación de imágenes y nube de puntos.* Para la interpretación de las imágenes y la generación de los diversos elementos que permiten obtener el resultado final existen diversos paquetes

de software especializados, como Pix4D, VisualSFM, PPT GUI, 123D Catch, Photoscan, entre otros; en el caso de esta investigación se utilizó Agisoft Photoscan, la cual es una herramienta integral que permitió realizar cada uno de los pasos requeridos para el proceso fotogramétrico sin necesidad de utilizar otro software.

Una vez capturadas las imágenes, se ingresan a photoscan y se le indica al programa que detecte

los puntos en común que existen entre las imágenes y de esta manera las alinee. Los algoritmos usados para este fin descartan las imágenes que no logren coincidir con al menos una imagen más y genera una nube de puntos de baja densidad, como se muestra en la figura 2, que evidencia cómo han quedado finalmente alineadas las imágenes; así mismo, la figura 3 permite ver la nube de puntos de baja densidad.

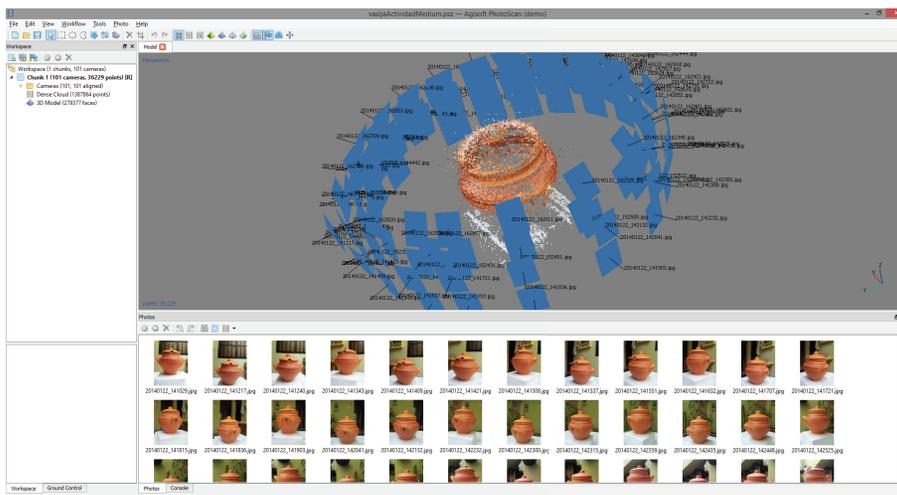


Figura 2. Alineación de las fotografías.

Fuente: elaboración propia

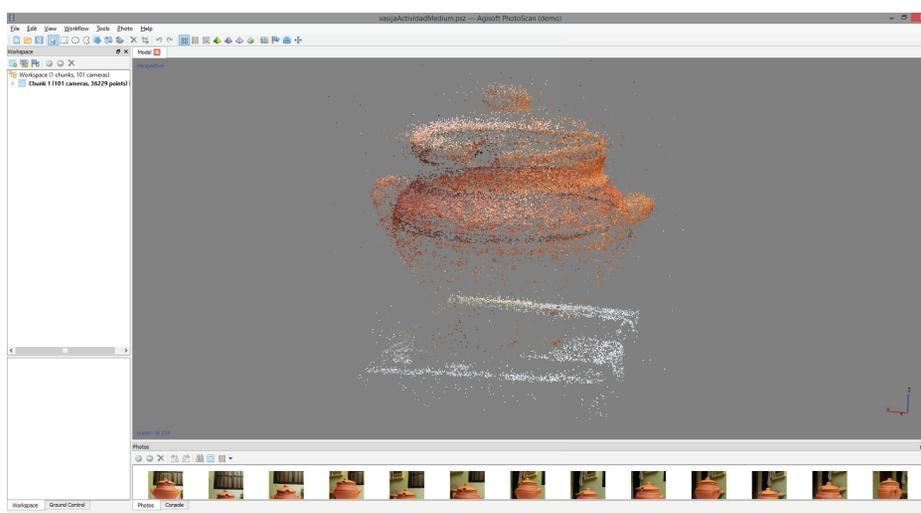


Figura 3. Nube de puntos de baja densidad.

Fuente: elaboración propia

## Generación de nube de puntos densa

Antes de generar la nube de puntos densa se debe verificar que todas las imágenes estén correctamente alineadas; una vez efectuado este paso, se genera el cálculo de la nube densa, la cual da como resultado una pre-visualización del objeto con mucho mayor detalle que con la nube de baja densidad; para este caso de estudio, la representación de la vasija generó 1.387.864 puntos, como se muestra en la figura 4.

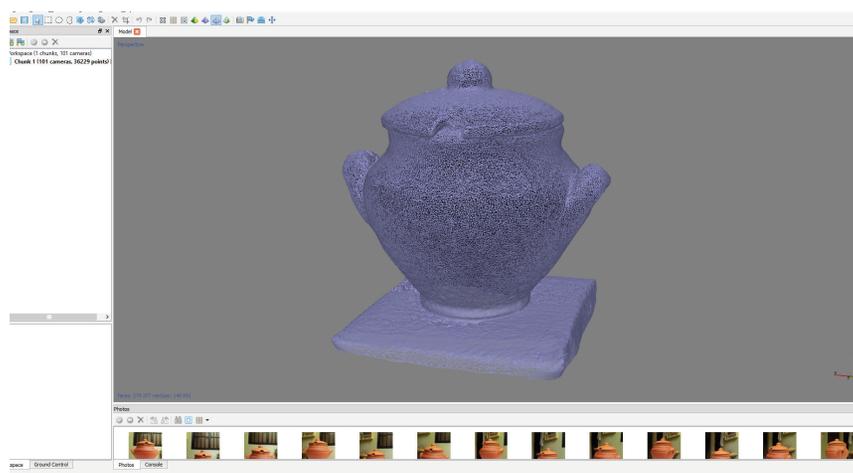
## Generación de la malla

Para generar la malla, el software hizo cálculos que crearon aristas y caras triangulares mediante las cuales el objeto adquiere una superficie, dejándolo preparado para la aplicación de texturas. Para el modelo de la vasija se generaron 279.377 caras, como se muestra en la figura 5.



**Figura 4.** Nube de puntos densa.

**Fuente:** elaboración propia



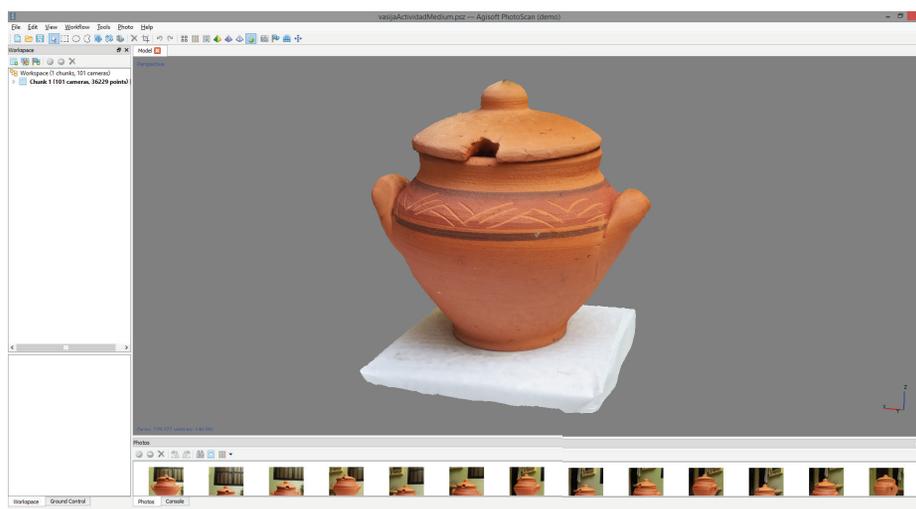
**Figura 5.** Malla generada para la vasija.

**Fuente:** elaboración propia

## Generación de texturas

En esta fase se generó una imagen de textura que se aplica al modelo por medio de un sistema de coordenadas; esta imagen está compuesta por la

proyección de las fotos alineadas en cada una de las caras del objeto; al ser tomadas directamente de las referencias fotográficas se imprime mayor realismo al modelo final con la textura aplicada, como se presenta en la figura 6.



**Figura 6.** Malla texturizada.

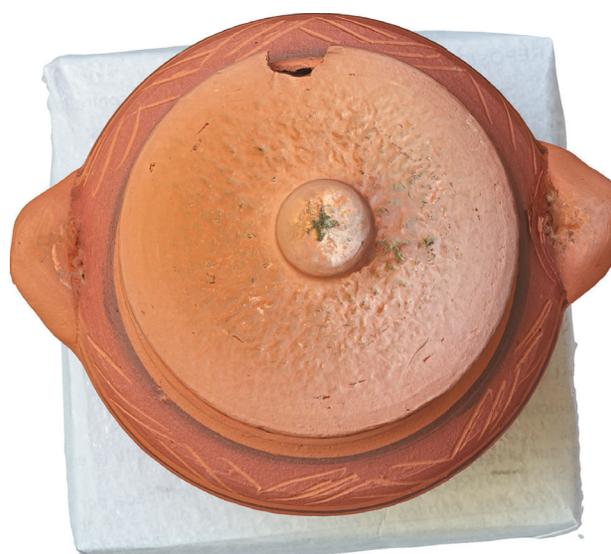
**Fuente:** elaboración propia

## Extracción de ortofoto

Partiendo del modelo 3D se pueden generar ortofotos, que son imágenes tomadas en vista ortogonal y no en perspectiva como comúnmente se observa en el entorno. Gracias a estas imágenes se pueden realizar estudios y medición más exacta, debido a que los objetos están representados sin las deformaciones que genera la vista perspectiva; un ejemplo de esto se presenta en la figura 7, la cual fue extraída del modelo generado para conocer la distancia existente entre las asas de la vasija.

## RESULTADOS

El resultado obtenido tras efectuar todos los pasos necesarios es un modelo 3D generado con gran similitud al real, que permite ser visualizado en 360 grados, como se muestra en la figura 8.



**Figura 7.** Ortofoto, vista cenital.

**Fuente:** elaboración propia



**Figura 8.** Diversas vistas de la vasija generada.

**Fuente:** elaboración propia

## CONCLUSIONES

Para la documentación fotogramétrica, aunque es recomendable, no es estrictamente necesaria la utilización de equipos profesionales para la captura de imágenes; se pudo demostrar que con pocos recursos y un especial cuidado en el seguimiento de las reglas 3x3 es posible generar modelos 3D de calidad aceptable.

El uso de la fotogrametría digital permite la generación de objetos tridimensionales (3D) interactivos, los cuales brindan la posibilidad de manipularlos y estudiarlos, permaneciendo de este modo inalterado el objeto original.

La utilización de esta técnica posibilita una mayor difusión y fácil acceso a objetos de gran valor cultural o patrimonial. El uso de ortofotos nos permite observar y estudiar objetos anulando las deformaciones inherentes a un lente fotográfico, o al ojo humano.

## FINANCIACIÓN

Este proyecto fue financiado por la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña; perteneciente al grupo de investigación GRUCITE y a la línea de desarrollo e implantación de plataformas informáticas y sistemas de visión por computador.

## REFERENCIAS

- Akbaylar, I., & Hamamcioglu-Turan, M. (octubre de 2007). *Documentation of a vernacular house with close-range digital photogrammetry*. Obtenido de: cipa.icomos.org: <http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/ATHENS/FP010.pdf>
- Beraldin, J., Guidi, G., Ciofi, S., & Atzeni, C. (2002). Improvement of metric accuracy of digital 3D models through digital photogrammetry. A case study: Donatello's Maddalena. *3D Data Processing Visualization and Transmission, 2002. Proceedings. First International Symposium on* (pp. 758-761). Ottawa: IEEE.
- Caro, J. (2012). Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística. *Congreso Turismo y Tecnologías de la información y las comunicaciones. Málaga: Universidad de Málaga*.
- Liq, P., Mustaffar, M., & Hainin, M. (2012). Road surface assessment of pothole severity by close range digital photogrammetry method. *World Applied Sciences Journal*, 867-873.
- Martínez, S., Ortiz, J., y Gil, M. L. (2013). Aplicación de la fotogrametría digital automatizada para la documentación técnica de pavimentos históricos. Caso particular de Santiago de Compostela. *Spanish Journal of Rural Development*, IV (2), 131-144.
- Mohr, R., Quan, L., & Veillon, F. (1995). Relative 3D reconstruction using multiple uncalibrated images. *International Journal of Robotics Research*, 619-632.
- Tabares, G., Fernández, C., y Ballesteros, E. (1999). *La fotogrametría y la ortofoto: técnica y aplicación práctica al proyecto de investigación e intervención*

*del retablo mayor de la Capilla Real de Granada.*  
Madrid: Siglo XXI.

Torres Prada, A. C., Mendoza Priesseng, C. L., y Marin Riveros, N. E. (2011). Aplicación de la fotogrametría digital de rango cercano en un ensayo triaxial

para determinar los parámetros elásticos de una muestra de suelo. *Revista Epsilon* (17), 105-120.

Waldhausl, P., & Ogleby, C. (1994). Close Range Techniques and Machine Vision. *ISPRS Commission V Symposium*. Melbourne: CIPA Symposium.





## La computación ubicua: omnipresencia en los sistemas de información

Pervasive computing:  
omnipresence in information systems

Carlos Augusto Sánchez Martelo<sup>1</sup>

**Fecha de recepción:** 21 de noviembre de 2013

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

**Cómo citar:** Sánchez Martelo, C. A. (2015). La computación ubicua: omnipresencia en los sistemas de información. *Revista Tecnura*, 19, 121-128. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a10

### Resumen

La computación ubicua se puede definir en términos referidos a la Omnipresencia. La *Omnipresencia* es la capacidad que tiene una entidad de estar presente en varias partes de manera simultánea. En este trabajo se realiza un análisis de la Computación Ubicua y la Omnipresencia aplicadas a los sistemas de información. Se parte de una revisión de material bibliográfico referente al tema hasta llegar a la construcción de un modelo en el cual se aplica la teoría a sistemas de información reales. El esquema general nos presenta la interacción de componentes ubicuos inteligentes dentro de un ambiente de Omnipresencialidad, que permiten la adquisición de la información a través de múltiples formas, el uso, procesamiento y generación de respuestas autónomas en la realización de tareas de alto nivel.

**Palabras Clave:** Computación Ubicua, Omnipresencia, Sistemas de Información.

### Abstract

Ubiquitous computing can be defined in terms referring to the Omnipresence. *Omnipresence* is the ability of an entity to be present in several places simultaneously. In this paper an analysis of Ubiquitous Computing and Omnipresence applied to information systems is performed. It starts with a review of bibliographic material concerning the subject up to the construction of a model in which the theory applies to real information systems. The general scheme presents the interaction of intelligent ubiquitous components within an environment of Omnipresentiality, allowing the acquisition of information through multiple forms, use, processing and generating autonomic responses in conducting high-level tasks.

**Keywords:** Information Systems, Omnipresence, Ubiquitous Computing.

<sup>1</sup> Ingeniero de Sistemas, magister en diseño, gestión y dirección de proyectos, candidato a doctor en pensamiento complejo. Docente de la Universidad Manuela Beltrán. Bogotá, Colombia. Contacto: [carlos.sanchez@umb.edu.co](mailto:carlos.sanchez@umb.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se evidencia que la tecnología está siempre conectada, permitiendo generar entornos cada vez más inteligentes, capaces de interactuar con el ser humano de manera natural, simulando la percepción de la realidad humana representada por un sistema de información, lo cual implica la generación de un aprendizaje para adaptarse a las características del contexto y a los agentes del entorno.

Encontramos algunos entornos inteligentes, como: GAIA y Oxigen.

La computación ubicua, conocida por sus siglas en inglés *Pervasive computing* o computación pervasiva, es una tendencia de todas las cosas hacia la conexión en red, usando como base los sistemas de información. También podemos definirla como la integración de los sistemas de información en el mundo real. De esta forma los computadores dejan de ser objetos diferenciados y se logra el acceso a la información en cualquier momento y a través de diversos dispositivos, dando paso a la generación de la tecnología ubicua, en donde se encuentra inmersa la tecnología y el ser humano (Weiser, 1991), permitiendo que la tecnología se adapte al ser humano y no de manera contraria. En la informática se presentan tres fases:

- 1ª. fase: La era de los Mainframe, en donde un solo recurso computacional era compartido por muchas personas.
- 2ª. fase: La era de los PC o de la computación personal, en donde encontramos un computador por cada persona como objetos diferenciados.
- 3ª. fase: La computación ubicua, la tecnología y el ser humano dejan de ser objetos diferenciados para estar compenetrados e integrados como un sistema.

## PRINCIPIOS QUE DESCRIBEN LA COMPUTACIÓN UBICUA SEGÚN WEISER

Entre los principios mencionados por Weiser encontramos:

- El propósito de un computador es ayudar a hacer otra cosa.
- El mejor equipo es un servidor silencioso e invisible.
- Cuanto más intuitivo es el uso de la tecnología, esta se considera más inteligente.
- La tecnología debe brindar calma (tranquilidad, confiabilidad y usabilidad) a los usuarios.
- *"The most profound technologies are those that disappear. Such a disappearance is a fundamental consequence not of technology, but of human psychology"*. (Weiser, 1991).

El Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) ha sido protagonista de significativos aportes a esta disciplina, entre los que destacan los del consorcio de Hiroshi Ishii Things That Think, del Media Lab y la iniciativa *Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory* (CSAIL) materializada en el proyecto Oxygen. (Jimdo, 2002).

El escritor estadounidense *Adam Greenfield*, en un artículo publicado en 2004, acuñó el ingenioso término **everyware** para las tecnologías que incorporan: computación ubicua, inteligencia ambiental o medios tangibles. A continuación vuelve a utilizar el término en su libro *Everyware: The Dawning Age of Ubiquitous Computing* (Greenfield, 2006), en el que el autor describe el paradigma de interacción entre la computación ubicua como: "Una mezcla de procesamiento de información en el comportamiento", poniendo como ejemplo del mundo real el sistema de tarjeta pulpo utilizado en Hong Kong Octopuscard. (Jimdo, 2002).

El desafío de la computación ubicua se refleja en un impacto social, científico, tecnológico y económico.

## OBJETIVOS DE LA COMPUTACIÓN UBICUA

El objetivo fundamental de la computación ubicua consiste en la integración de dispositivos tecnológicos anulando la diferenciación entre el dispositivo y el ser humano, permitiendo una



Los diferentes sistemas ubicuos pueden integrarse debido a la existencia de los elementos *middleware*, administrando los distintos sistemas y permitiendo la debida comunicación e interacción entre los componentes.

Estructuralmente los componentes del entorno físico incluyen:

La red ubicua: que permite la integración y comunicación de dispositivos.

- El middleware: que permite la ejecución de las aplicaciones contenidas en los dispositivos ubicuos mediante el uso de la red.

## ENTORNOS ACTIVOS

Estos constan de una infraestructura física, con la capacidad de adaptarse al ser humano a través de la interacción. Los entornos activos se consideran “*aplicaciones sensibles al contexto*”. Esta infraestructura es compartida gracias al conjunto de aplicaciones, dispositivos y personas dentro del entorno ubicuo.

“Los entornos inteligentes se muestran como un área clave de investigación dentro de la computación ubicua”, según Mahadev Satyanarayanan.

El objetivo de estos entornos es la integración y adaptabilidad de los dispositivos que forman parte de la vida cotidiana del ser humano.

Los entornos activos tienen la capacidad de interactuar de manera natural con el ser humano, ayudando a las labores y tareas cotidianas (Haya, 2006).

Al hablar de entornos inteligentes es necesario hacer mención a la evolución producida (Haya, 2006). Una aproximación, en un intento de clasificación de estos entornos, sería:

### Primeros entornos

Los primeros entornos inteligentes se encuentran relacionados con proyectos de trabajo colaborativo, como: resultados de reuniones de trabajo, tareas de videoconferencia, entre otros. Por ejemplo, el caso del proyecto denominado TELEPRESENCE

(Cooperstock, Tanikoshi, Beirne, Narine, & Buxton, 1994) de la Universidad de Ontario, el proyecto MEDIA SPICES (Harrison, 2009), el proyecto IIF (Integrado Interactivo Intermedia Fondo de Europarc) de Xerox Parc (Buxton & Moran, 1990).

### Oficina

Hace referencia al desarrollo de entornos inteligentes para oficina; por ejemplo, los aplicados en edificios inteligentes, aunque aún se pueden mejorar a través de la creación de un *ente inteligente* con capacidad de responder a las necesidades del ser humano. Existe un caso de aplicabilidad de los entornos inteligentes en el proyecto *Responsive Environment* (R., G., S., & M., 1993), el cual aplicó los principios de la computación ubicua en dichos entornos.

### Hogar

Existe actualmente un gran adelanto a través del uso de la domótica, la cual se define como la capacidad de automatizar el hogar; esta puede considerarse como el intento inicial para la aplicación de componentes ubicuos en el hogar; sin embargo, es necesario pensar en un **ente inteligente** al igual que en el caso de los edificios u oficinas, que tenga la capacidad de administrar eficientemente todos los sistemas ubicuos del hogar, desde los electrodomésticos hasta los sistemas energéticos y de consumo. En este caso se ha acuñado el término CASA REAL para los hogares con entornos inteligentes; por ejemplo, el proyecto *The Neural Network House* (Mozer, 1998) de la Universidad de Boulder, el cual, a través de las redes neuronales reconoce los patrones de actividad de los habitantes del hogar, permitiendo predecir tareas del usuario.

### Objetos ubicuos

Los objetos del entorno deben contener un sistema inteligente y flexible, que aprenda lo necesario y pueda llegar a unas conclusiones de cómo se realizan las cosas. Por consiguiente, es necesario que

todos los componentes sean capaces de estar interconectados al sistema en general formando parte del mismo.

### Interacción persona – entorno

Esta parte del sistema general se encarga de la forma como el entorno inteligente, constituido por objetos ubicuos, elimina la barrera existente entre persona y objeto, permitiendo finalmente que dejen de ser objetos diferenciados.

## ARQUITECTURA PARA LA COMPUTACIÓN UBICUA

Ya presentada la aplicación de la computación ubicua, ahora se presenta la arquitectura de la misma que incluye los componentes de un entorno inteligente, analizando la capa física e intermedia (ESIDE, 2006).

Una definición de la IEEE 1471 para el término *arquitectura* sería:

“La organización fundamental de un sistema según sus componentes, las relaciones entre los mismos y el entorno, y los principios que guían su diseño y evolución” (IEEE, 1995).

A continuación se presenta una clasificación para la arquitectura del sistema ubicuo propuesto (Los Santos Aransay, 2009).

### Capa física

Está relacionada con los componentes tangibles que permiten un acercamiento e interacción con el entorno, como son: los sensores, sistemas de chip, interfaces perspícaras, materiales inteligentes, procesadores reconfigurables, sistemas de reconocimiento del habla y señas, tanto para la obtención de información del usuario como para recibir respuesta del sistema; entre estos sensores encontramos los visuales, de audio, actuadores, entre otros.

Esta capa tiene la responsabilidad de administrar la información de entrada y salida que hace parte del entorno inteligente. Esto incluye redes de datos y dispositivos conectados a ella.

La capa física contiene las tecnologías relacionadas y necesarias para la implementación de una **aplicación sensible al contexto**. Estas tecnologías se pueden agrupar en los siguientes bloques:

#### *Tecnologías de adquisición*

Relacionadas con los sensores que capturan información del mundo físico.

En la adquisición de información o del contexto se pueden emplear sensores, etiquetas y videocámaras.

Los **sensores** tienen la capacidad de detectar eventos en el mundo físico; de acuerdo con la funcionalidad se tienen sensores de contacto, de gases, luminosos, de humedad, incendio, inundación, temperatura, tensión, velocidad, aceleración movimiento, presión, lluvia-nieve, ruptura de cristales, sonido, entre otros.

Las **etiquetas** son una especie de sensores que tienen capacidad de localizar un objeto que tenga una marca específica dispuesta previamente. Así, cuando el objeto se mueve, puede ser detectado.

Las **etiquetas** pueden clasificarse como activas y pasivas; la diferencia entre ellas radica en el uso de la fuente de alimentación; por ejemplo, las etiquetas activas emplean dispositivos activos como antenas, emisoras de señales de radiofrecuencia.

Las **videocámaras** son dispositivos que nos permiten la captura de información tanto estática como en movimiento, permitiendo ver la información como la ve el ojo humano.

#### *Tecnologías de comunicación*

Se relacionan con las tecnologías aplicadas a las redes de comunicación, a través de la distribución de la información adquirida en el mundo físico.

#### *Tecnologías de actuación*

Conformadas por los dispositivos que tienen acciones sobre el mundo físico, entre ellos están los denominados actuadores.

Las redes de datos son parte esencial del sistema ubicuo, estas permiten la comunicación a través de un medio físico cableado. Las redes se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Redes LAN:** conocidas como redes de área local (*Local Area Network*), muy utilizadas para interiores, por ejemplo, en hogares u oficinas. Las redes LAN permiten el envío y recepción de la información en los sistemas sensibles al contexto.
- **Redes MAN:** son redes de área metropolitana (*Metropolitan Area Network*), se consideran de alta velocidad, permiten una cobertura superior a las redes LAN y a su vez permiten la integración de múltiples servicios como datos, voz y video. Estas redes permiten la comunicación y acceso a la nube.
- **Red WAN:** Es la red de área amplia (*Wide Area Network*), cubre distancias de 100 Km a 1.000 Km aproximadamente; permite la interconexión con otros países.
- **Red PAN:** Es una red de área personal (*Personal Area Network*), usada para comunicación en el área de una persona.
- **Red SAN:** Conocida como *Storage Area Network*, se emplea para conectar servidores, arreglos de disco y librerías de soporte.
- **Red CAN:** Por sus siglas en inglés, de *Campus Area Network*; son redes LAN interconectadas

en un área geográfica limitada, como campus universitario, bases militares u hospitales.

A continuación, en la Tabla 1 se comparan las redes LAN, MAN y WAN de acuerdo con la restricción geográfica, velocidad de transmisión y privacidad.

Por otro lado, se puede usar la modalidad de redes *Wireless*; son las mismas redes, aunque con el componente inalámbrico. Entre ellas están las redes WPAN y WLAN.

Para efectos de captura de contexto se puede usar una red PAN para la adquisición de información, para luego conectarla a una red LAN y así pasar la información a la red WAN y lograr una comunicación a través de la nube.

El **Bluetooth** hace parte de los sistemas de redes inalámbricas; permite la conexión de dispositivos con esta tecnología y es buena opción para los dispositivos ubicuos en sistemas distribuidos.

### Capa intermedia

Esta capa la constituyen los componentes de software del sistema. Concilia la información obtenida en la capa física y envía esta a la capa de aplicación; teniendo en cuenta que la capa física contiene o utiliza diversos componentes tecnológicos, es necesario que la capa intermedia realice

**Tabla 1.** Cuadro comparativo de redes LAN, MAN y WAN.

TIPO DE RED	RESTRICCIÓN GEOGRÁFICA	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	PRIVACIDAD	TASA DE ERROR
LAN	200 metros, con repetidores podría llegar a la distancia de 1 kilómetro.	1 Gbps	Privada	Baja
MAN	Alcanza un diámetro en torno a 10 km.	10 Gbps	Puede ser privada o pública	Media
WAN	Son redes que se extienden sobre un área geográfica extensa capaz de cubrir distancias desde 100 hasta 1.000 km.	1 Tbps	Pública	Alta

**Fuente:** (Perez, 2011).

una integración de la información obtenida. Incluye nuevas funcionalidades además de las ofrecidas por la capa física; por ejemplo, la abstracción de la información. Las capas intermedias se pueden clasificar en tres tipos: orientadas a la computación ubicua, para el contexto y para entornos inteligentes.

## CAPAS INTERMEDIAS ORIENTADAS A LA COMPUTACIÓN UBICUA

Se procederá a describir las capas intermedias que han sido desarrolladas para facilitar la construcción de sistemas ubicuos. Algunas de estas tecnologías permiten la asociación de los dispositivos físicos con un localizador de recursos uniforme, *Uniform Resource Locator* (URL). Los dispositivos móviles cuentan con ciertos sensores que permiten la recolección de URL para lograr el acercamiento a los objetos.

Entre estas tecnologías se encuentran las siguientes:

*Cooltown*: Proyecto de HP sobre un modelo Web para un escenario de computación móvil.

*Corba*: Definida por sus siglas en inglés, de *Common Object Request Broker Architecture*: arquitectura común de intermediarios en peticiones a objetos. Es una capa intermedia genérica y estándar, la cual se basa en objetos distribuidos. Permite diversos componentes de software escritos en múltiples lenguajes de programación.

*Hive*: Proyecto del MIT Media Lab, es una plataforma de agentes móviles, compuesta de 3 elementos: celdas, sombras y agentes. Las celdas son una infraestructura que aporta recursos variables de celda en celda y soporta a los agentes (Kotz & Mattern, 2000).

*IBM Websphere*: Conjunto de soluciones bajo un esquema cliente-servidor de IBM, proporciona soporte a aplicaciones móviles e interface vocales (IBM, 2013).

*Jini*: Desarrollado por Sun Microsystems, bajo lenguaje Java; convierte la red en un sistema flexible (Prnewswire, 2013).

*OneWorld*: Desarrollado por la universidad de Washington, bajo el esquema de proyecto Portolano; es un modelo de programación que aborda requisitos como el cambio, la composición *ad hoc* y el intercambio generalizado. (ACM, 2004).

## Capa de aplicación

En esta capa se incluyen los agentes inteligentes, así como los procesos y las tareas involucradas con cada uno de los procesos, con la finalidad de ofrecer los servicios necesarios.

## CONCLUSIONES

El esquema ubicuo nos presenta la interacción de componentes inteligentes dentro de un ambiente de omnipresencialidad, que permiten la adquisición de la información a través de múltiples formas, en las que el sistema utiliza, procesa y emite respuestas autónomas en la realización de tareas de alto nivel ubicuo.

En la actualidad los componentes ubicuos utilizados para manipular e interactuar con el sistema de información son los *SmartPhones* (sistemas móviles). Los otros componentes, como materiales inteligentes, sistemas móviles, *tablets*, portátiles, *Cup Coffe*, escritorios, pantallas flexibles, ventanas inteligentes (cristales), son utilizados por el sistema para analizar y comprender el contexto.

La tecnología en la actualidad tiene una tendencia hacia el manejo de la no diferenciación entre el ser humano y los componentes tecnológicos que lo rodean.

La tecnología permite la mejora en la calidad de vida del ser humano; los componentes ubicuos inteligentes (llamados en la actualidad objetos del Internet de las cosas, IoT) a través de la computación ubicua apoyan esta tendencia.

La computación ubicua permite proyectar los sistemas de información futuros y cómo se pueden integrar estos sistemas con componentes inteligentes, con el objetivo de facilitar las condiciones de vida del ser humano y generar

confort y transparencia en el manejo de las nuevas tecnologías.

Simular la inteligencia humana es un proyecto no concluido de la inteligencia artificial y las ciencias de la computación.

## REFERENCIAS

- ACM (2004). System Support for Pervasive Applications. *ACM*, 421-486.
- Buxton, B., y Moran, T. (1990). Integrado Interactivo Intermedia Fondo de Europarc (III). *Elsevier Science Publishers BV*, 11-34.
- Cooperstock, J., Tanikoshi, K., Beirne, G., Narine, T., y Buxton, W. (1994). Conferencia sobre Factores Humanos en Sistemas de Informática. *ACM*, 170-177.
- deusto.es (2006). Recuperado en 10, 15, 2013, de deusto.es: [http://paginaspersonales.deusto.es/dipina/doctorado/presentaciones/Aura\\_Gaia.pdf](http://paginaspersonales.deusto.es/dipina/doctorado/presentaciones/Aura_Gaia.pdf)
- ESIDE (2006, 06). *Paginaspersonales*. Recuperado en 12 09, 2013, de: [http://paginaspersonales.deusto.es/dipina/doctorado/presentaciones/Aura\\_Gaia.pdf](http://paginaspersonales.deusto.es/dipina/doctorado/presentaciones/Aura_Gaia.pdf)
- Greenfield, A. (2006). *Everyware: The Dawning Age of Ubiquitous Computing*. United States: New Riders Publishing.
- Harrison, S. (2009). *Media Space 20+ Years of Mediated Life*. London: Springer-Verlag.
- Haya, P. (2006). *Tratamiento de Información Contextual en Entornos Inteligentes*. Madrid: Escuela Politécnica Superior.
- IBM (2013, 10 03). *IBM*. Recuperado en 11 13, 2013, de IBM: <http://www-01.ibm.com/software/co/websphere/>
- IEEE (1995). *IEEE Standard for a High Performance Serial Bus*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- Jimdo (2002). *Compubicua*. Recuperado en 10 11, 2014, de Compubicua: <http://compubicua.jimdo.com/antecedentes-historicos/>
- Kotz, D., & Mattern, F. (2000). *Agent Systems, Mobile Agent and Applications*. Zurich: Volume Editors.
- Los Santos Aransay, A. (2009, 06). *Albertolsa*. Recuperado en 10 17, 2013, de Albertolsa: [http://www.albertolsa.com/wp-content/uploads/2009/07/interraccion\\_albertolossantos.pdf](http://www.albertolsa.com/wp-content/uploads/2009/07/interraccion_albertolossantos.pdf)
- Mozer, M. (1998). The Neural Network House: An environment that adapts to its inhabitants. *M. Coen*, 110-114.
- Perez, M. (2011, 09 20). *Livebits*. Recuperado en 12 11, 2013, de Livebits: <http://livebits.blogspot.com/2011/09/lan-man-y-wan-tabla-comparativa.html>
- Prnewswire (2013, 10 19). Recuperado en 2013, de Prnewswire: <http://www.prnewswire.com/news-releases/sun-microsystems-moves-jinitm-network-technology-forward-with-release-of-jini-technology-starter-kit-55446242.html>
- R., C., G., H., S., E., & M., D. (1993). Responsive office environments. *Communications of the ACM*, 84-85.
- Smartmatic (2014). *Ciudades Inteligentes*. Recuperado en 02 20, 2014, de Ciudades Inteligentes: <http://ciudadesinteligentes.smartmatic.com/wp-content/uploads/2012/06/sistemas-domoticos.jpg>
- Stanford (1999, 04 29). *stanford.edu*. Recuperado en 10 16, 2013, de stanford.edu: <http://www-sul.stanford.edu/weiser/Bio.html>
- Weiser, M. (1991). The Computer for the 21st Century. *Scientific American*, 78-89.





## Metodología para evaluar el factor confiabilidad en la gestión de proyectos de diseño de equipos industriales

### Methodology to assess the reliability factor in management of industrial equipment designing

Wilmer Guevara<sup>1</sup>, Andrónico Valera Cárdenas<sup>2</sup>, July Andrea Gómez Camperos<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 21 de octubre de 2014

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

**Cómo citar:** Guevara, W., Valera Cárdenas, A., & Gómez Camperos, J. A. (2015). Metodología para evaluar el factor confiabilidad en la gestión de proyectos de diseño de equipos industriales. *Revista Tecnura*, 19, 129-141. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a11

#### Resumen

Actualmente la complejidad que han alcanzado los procesos industriales y los equipos que en ellos se desempeñan hace que no todos los patrones de falla de un activo puedan ser manejados fácilmente a través de las actividades de mantenimiento efectuadas después de su fabricación y puesta en marcha, por lo que la eliminación de ciertas necesidades de mantenimiento debería abordarse desde las mismas fases de diseño del activo, para evitar que se presenten fallas de alto impacto (en términos de producción, calidad, seguridad, ambiente, costos, entre otros), difíciles de identificar y atacar por parte del usuario. Esto involucra llevar conceptos y herramientas propias del mantenimiento industrial y de la ingeniería de confiabilidad, a la gestión de los proyectos de diseño de equipos. Por lo anterior, la correcta gestión de proyectos en el diseño de equipos industriales es crucial para la vida útil de los mismos, incrementando así la satisfacción de los clientes; es por ello que este trabajo tiene como objetivo presentar una metodología para evaluar el factor de confiabilidad

en la gestión de proyectos de diseño de equipos industriales. Se empleó una metodología descriptiva y un diseño fundamentado en el trabajo de campo. Se identificaron los elementos y prácticas de la confiabilidad operacional que deben ser considerados en la gestión de un proyecto de diseño de activos industriales. Además, se identificaron las etapas de diseño de un activo y la integración a ellas de herramientas de confiabilidad, para evaluar la criticidad de los sistemas del activo.

**Palabras claves:** confiabilidad, criticidad, diseño, mantenimiento, metodología, perfil funcional.

#### Abstract

Nowadays the complexity of several industrial procedures and the equipment required establishes that not all assets failure patterns may be easily handled through maintenance service activities done after its manufacturing and use. In order to avoid all kind of high impact failures to use the product, there must be a stage of elimination by removing some maintenance needs, and it should be done considering

<sup>1</sup> Ingeniero en mecatrónica, magíster en mantenimiento industrial; dinamizador TecnoParque, Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, Regional Norte de Santander, Ocaña, Colombia. [ing\\_wguevara@misena.edu.co](mailto:ing_wguevara@misena.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero mecánico, magíster en ingeniería industrial; docente, investigador, Universidad Nacional Experimental del Táchira San Cristóbal, Venezuela. [avarelac@unet.edu.ve](mailto:avarelac@unet.edu.ve)

<sup>3</sup> Ingeniera mecatrónica, magíster en control industrial (c), gestora sénior TecnoParque, Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, Regional Norte de Santander, Ocaña, Colombia. [julyandregomez@misena.edu.co](mailto:julyandregomez@misena.edu.co)

their own foundations from the very first moment where the asset is designed and produced. These failures might emerge in production, quality, safety, environment and costs, among others, which are hard to identify and to control. All this requires different concepts and tools in industrial maintenance service and Engineering reliability straight to designing area. Hence, the right management of projects related to industrial equipment designing is essential to delimit the service life of them. Besides, customer's satisfaction gets increased this way. Therefore, the purpose of this work is to introduce a methodology to measure the credibility factor of Industrial equipment designing

projects management; which uses a descriptive methodology along with a design based on fieldwork. As a result, we could identify the elements and practice of the operational reliability that must be taken into account when starting a new project related to Industrial assets. Furthermore, we could identify all stages involved when designing an asset including several reliability tools in order to assess the products' systems criticality. It also allowed us to identify its functional profile, potential failures and the analysis of reliability, maintainability and availability.

**Keywords:** criticality, design, functional Profile, maintenance, reliability.

## INTRODUCCIÓN

A través del presente trabajo se propone una metodología para evaluar el factor confiabilidad en la gestión de proyectos de diseño de equipos industriales, lo cual es una marcada necesidad en la industria actual, producto de alto nivel de complejidad y el riesgo asociado a los procesos industriales de hoy día, que demanda equipos confiables, mantenibles y seguros durante toda su vida útil.

Para el desarrollo de la metodología se establecieron las etapas que se siguen en la gestión de un proyecto de diseño de activos industriales, y se identificaron las herramientas del mantenimiento industrial y de la ingeniería de confiabilidad que deben ser involucradas en cada etapa a fin de mejorar la toma de decisiones y hacer las correcciones necesarias en la propuesta desarrollada, a fin de que el producto por obtener cumpla con los requisitos de confiabilidad, mantenibilidad y seguridad establecidos.

El mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantienen en, o se restablece a, un estado en el que se puede realizar las funciones designadas (Duffuaa, Raouf, & Campbell, 2002), o como el conjunto de acciones que permite

conservar o restablecer un sistema productivo a un estado específico para que pueda cumplir un servicio determinado (COVENIN, 1993).

El aumento de los niveles de calidad, efectividad y productividad que han alcanzado los procesos industriales hoy día ha estado acompañado también de un aumento de la complejidad de los equipos y sistemas, y de los riesgos asociados a su operación; por lo que la gestión de mantenimiento se ha visto en la obligación de implementar metodologías y herramientas que le permitan garantizar un desempeño confiable de los procesos (Creus Solé, 2005). La mayoría de estas herramientas y metodologías buscan alcanzar la mejor relación costo/riesgo /beneficio en las acciones emprendidas para conservar y restablecer la función de los activos, lo cual se logra con un adecuado análisis de los patrones de falla de los principales elementos que componen el equipo y del impacto de su función en la operación.

Un proyecto consiste en un conjunto de actividades por desarrollar en un tiempo definido, con la finalidad de utilizar los recursos en la forma más eficiente para lograr un objetivo, siguiendo un esquema planificado y organizado. En tal sentido, la gestión de proyectos se enfoca en planificar las actividades, programarlas y luego, mientras se está

en el proceso de ejecución, controlar dichas actividades, con la finalidad de garantizar un cumplimiento de los objetivos del proyecto.

En concreto, los proyectos de diseño de equipos industriales tienen por objetivo desarrollar un activo capaz de desempeñar de modo confiable y seguro la función deseada por el usuario; para lograrlo se requiere tomar en primer lugar un conjunto de previsiones en la fase de diseño, que permitan garantizar al usuario que los patrones de falla de los diferentes elementos que componen el equipo podrán ser atendidos con actividades de mantenimiento que ofrezcan una correcta relación costo/riesgo/beneficio, y luego del diseño la planificación y ejecución de un plan de mantenimiento ajustado a las necesidades reales del activo en su contexto.

Los antecedentes de la investigación se refieren a trabajos previos realizados en torno al asunto objeto de estudio. En este sentido, se revisaron los siguientes trabajos:

(Espinosa, Dias, & Black, 2008) en su artículo *Un Procedimiento de Evaluación de las Condiciones Necesarias para Innovar la Gestión de Mantenimiento*, abordan el tema de la gestión de mantenimiento desde el punto de vista de la situación actual de una empresa que necesita evaluar las condiciones necesarias para enfrentar un proceso de innovación en el sistema de gestión del mantenimiento. En el trabajo se desarrolla un procedimiento que permite obtener una base de conocimientos del sistema técnico de la empresa y de la gestión actual del mantenimiento. El procedimiento está compuesto de una auditoría y un análisis experto basado en reglas que abarcan aspectos relacionados con la gestión de activos, el nivel tecnológico de los equipos productivos, el grado de madurez de la organización, las metas para el mantenimiento y los requerimientos físicos y financieros para implementar las concepciones seleccionadas. Este procedimiento permite identificar las debilidades y fortalezas del sistema productivo y del mantenimiento para planificar en forma óptima el proceso de innovación de la gestión del mantenimiento.

Otro aporte importante es el de (Cardona, 2009) con su trabajo presentado en el XI Congreso de Mantenimiento ACIEM: Implementación de la confiabilidad operacional desde el diseño, cuya finalidad fue aplicar técnicas de confiabilidad operacional desde la etapa del diseño de infraestructura, buscando asegurar los principales objetivos de toda organización de mantenimiento de una instalación industrial, como son: asegurar la eficiencia y disponibilidad requerida por el proceso productivo con el costo óptimo de mantenimiento requerido por los accionistas. Se desarrolló a través del Modelo COPI (Confiabilidad Operacional en Proyectos de Ingeniería), aplicado en Gestión de la Información de la Confiabilidad y Mantenimiento para Activos Productivos (RIM), Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Modelamiento de Confiabilidad y Costo de Ciclo de Vida, Contratación de Bienes y Servicios, Confiabilidad Humana.

(Aguilar, Torres, & Magaña, 2010) en su artículo *Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (FMECA) para la Planeación del Mantenimiento Empleando Criterios de Riesgo y Confiabilidad*, señalan la importancia dentro de la planificación del mantenimiento, de aplicar una herramienta de confiabilidad, como el AMEF, donde además de asegurar un impacto de las acciones de mantenimiento en el rendimiento de los activos, se tenga un impacto en la seguridad al disminuir, evaluar y controlar el riesgo, mediante acciones que pudiesen apuntar incluso al rediseño del activo.

(Ríos & Roncancio, 2007) en su artículo *Análisis y Desarrollo de un Programa de Selección Rápida de Factores de Seguridad, para Diseño de Elementos Mecánicos*, presenta un resumen metódico de los principales criterios de autores para la selección de un buen valor de factor de seguridad para la etapa de diseño de una parte de máquina, elemento estructural o sistema mecánico; dichos criterios son: el grado de incertidumbre de la carga, grado de incertidumbre en la resistencia del material, incertidumbre en relación con las cargas aplicadas con respecto a la resistencia del material, consecuencias de la falla, seguridad humana

y económica y el costo por proporcionar un factor de seguridad elevado y mediante un programa de computación basándose en los criterios de Fairnes, de Kimbal, Norton, Vidosic, Pugsley, de Oberg y Jones, entre otros. Se obtuvo una metodología de selección apropiada para diferentes elementos mecánicos en el diseño.

Este artículo aporta las bases para generar un modelo de factor de seguridad para la etapa de diseño de una parte de máquina, elemento estructural o sistema mecánico.

El presente trabajo, de acuerdo con el nivel de profundidad del conocimiento, se circunscribe en una investigación de tipo descriptivo, la cual de acuerdo con (Tamayo, 2007) “comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o proceso de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre cómo una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente”.

El diseño de esta investigación se realizará bajo la modalidad de investigación proyectiva o proyecto factible. Para (Balestrini, 2006) la investigación proyectiva o proyecto factible consiste en la elaboración de una propuesta o modelo para solucionar un problema, intenta responder preguntas sobre sucesos hipotéticos del futuro o del pasado a partir de datos actuales.

La bibliografía acerca de la evaluación de factores de confiabilidad es muy amplia y extensa, por lo que solamente se mencionan aquí algunos trabajos por estar entre los más representativos. (Bottini, 2010), (Gutiérrez, Aguero, & Calixto, 2007), (Pascual, 2002), (Rodríguez, 1983) y (Zambrano & Leal, 2005).

## METODOLOGÍA

### Etapas que componen la gestión de un proyecto de diseño de equipos industriales

Para la generación de la metodología que permitirá evaluar el factor de confiabilidad en la gestión de proyectos de diseño de equipos industriales

se trabajó con dos dimensiones: la dimensión 1, compuesta por las fases del desarrollo del diseño del equipo, y la dimensión 2, compuesta por los elementos de confiabilidad operacional por incluir en las fases de diseño del equipo. En cuanto a la dimensión 1, el diseño de activos industriales de acuerdo con la metodología establecida por el Centro de la Industria, la Empresa y los Servicios de TecnoParque Colombia, permite distinguir las etapas mostradas a continuación en la figura 1.



**Figura 1.** Etapas que componen la gestión de un proyecto de diseño de equipos industriales.

**Fuente:** elaboración propia.

En cada una de estas etapas se pueden distinguir un conjunto de elementos necesarios para su adecuado desarrollo; dichos elementos y los resultados esperados en cada una de las fases se presentan a continuación en la tabla 1.

### Metodología propuesta para evaluar el factor confiabilidad en la gestión de proyectos de diseño de equipos industriales

Esta metodología busca aplicar de la mejor manera las herramientas de confiabilidad en las etapas de la gestión del proyecto de diseño, esto se desarrollará a partir de las siguientes fases descritas en la figura 2.

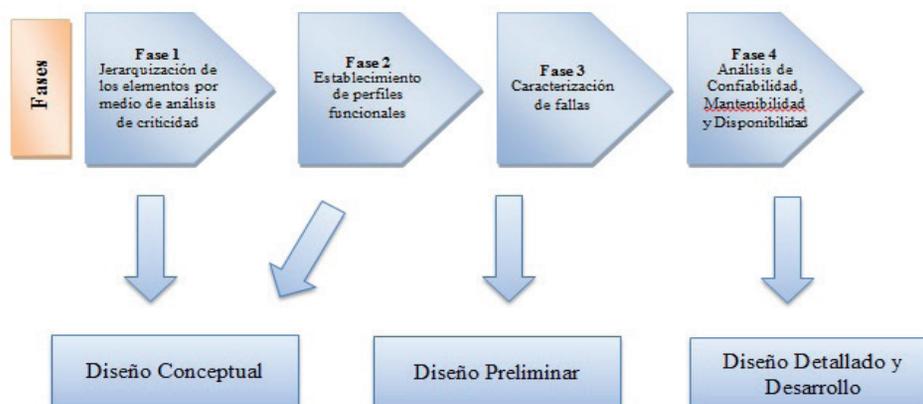
#### *Fase 1. Jerarquización de los sistemas y elementos del diseño mediante el Análisis de criticidad*

De acuerdo con la figura 2 presentada anteriormente, en la etapa del proyecto correspondiente al

**Tabla 1.** Elementos que componen las etapas del diseño de activos industriales.

Etapa	Elementos	Productos esperados de la etapa
Identificación de necesidad u oportunidad	1. Necesidad del cliente.	Conocimiento de la necesidad del cliente o empresa.
	2. Recolección de la información requerida.	Información necesaria para el diseño del equipo industrial.
	3. Requerimientos del negocio.	Perfiles del recurso humano, competencias y análisis económico administrativo.
	4. Requerimientos operacionales.	Infraestructura, cambios del contexto operacional, análisis económico operacional.
Diseño conceptual	1. Diseño conceptual del activo, simulación. 2. Identificación de los componentes del equipo.	Elementos necesarios para el desarrollo del equipo industrial.
Diseño preliminar	1. Planeación del diseño preliminar del equipo industrial.	Modelado del equipo e interpretación de los requisitos y las especificaciones del mismo.
Diseño detallado y desarrollo	1. Ejecución del diseño y desarrollo de prueba del equipo industrial en prototipo, verificando y comparando los resultados del estudio realizado en el diseño conceptual.	Prototipo del equipo.

Fuente: elaboración propia.



**Figura 2.** Fases de la metodología para evaluar el factor de confiabilidad.

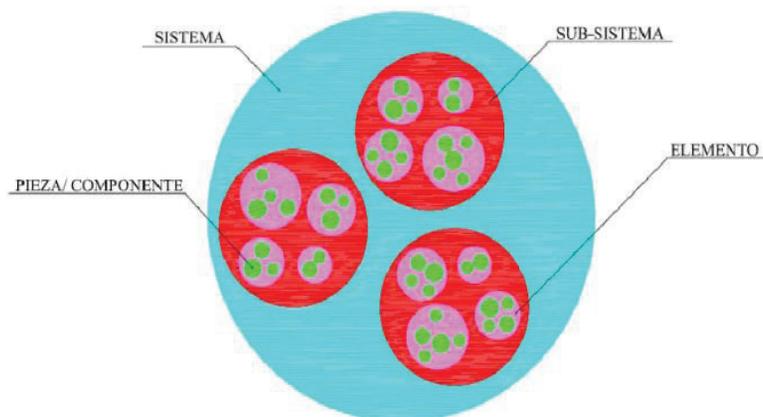
Fuente: elaboración propia.

diseño conceptual, se efectuará la jerarquización de los sistemas y elementos que componen el diseño mediante el uso de la herramienta Análisis de criticidad; es necesario en primer lugar identificar, como lo establece la Norma SAE JA1012, el nivel en que se desarrollará el análisis, lo cual depende básicamente del tipo de proyecto analizado.

El análisis se desarrollará al nivel de conjuntos del equipo o “subsistemas” (ver la figura 3) Fragmentación de los sistemas. Sobre cada uno de estos subsistemas se aplicarán los factores de criticidad definidos a continuación, lo cual permitirá su jerarquización y

clasificación como de alta, mediana o baja criticidad, para posteriormente darles un tratamiento diferenciado según su criticidad. Para proyectos atípicos que deban ser manejados, el nivel de análisis puede cambiar de subsistemas a sistemas (o equipos) cuando se diseñe una instalación industrial, o a componentes, cuando se diseñe un subsistema.

El siguiente paso consiste en seleccionar los factores que se utilizarán para el análisis. Estos factores deben ser seleccionados por los analistas de cada proyecto, de acuerdo con las características propias del proyecto y con la influencia que ejerce



**Figura 3.** Fragmentación de los sistemas.

**Fuente:** (Tamayo Durango, 2010).

cada uno de los factores en los criterios de aceptación del desempeño del activo diseñado.

Una vez definidos los factores por considerar, el equipo de analistas del proyecto definirá la forma de medir cada uno de los factores, es decir, qué criterios permitirán clasificar como de alta, mediana o baja criticidad los subsistemas analizados, y procederá a recopilar información por cada subsistema a partir de datos reales de desempeño, bases de datos genéricas de acuerdo con el tipo de subsistema, bancos de información de equipos con características similares desarrollados en TecnoParque; también se puede solicitar reseñas a juicio de expertos que conozcan ese tipo de subsistemas para que ayuden a recopilar la información.

Como ejemplo se presenta a continuación en la tabla 2 los factores, criterios y rangos para la ejecución de un Análisis de criticidad en el diseño de un equipo industrial.

El diseñador puede definir los puntajes dando un peso relativo a los factores involucrados en el análisis del diseño conceptual, así cada pregunta tiene una serie de respuestas con una ponderación diferente, y le asigna un valor específico a cada valor o parámetro dependiendo de las características

del subsistema por evaluar. La información obtenida al aplicar los criterios de evaluación a cada subsistema del equipo debe documentarse en el formato que se presenta en la tabla 3, el cual debe incorporarse a la documentación normalizada manejada por TecnoParque en la etapa del diseño conceptual del activo. Este formato también contiene en su parte final la valoración de la criticidad del subsistema, obtenida mediante la multiplicación del puntaje asignado a la frecuencia de falla por la sumatoria de los otros factores considerados en el análisis, los cuales están asociados al impacto o consecuencia.

Una vez recopilada la información para todos los subsistemas que componen el equipo, estos se ordenan de mayor a menor de acuerdo con los puntajes obtenidos, lo cual permitirá obtener una lista jerarquizada de los subsistemas del activo, necesaria para darles un tratamiento diferenciado a partir de las técnicas y herramientas que serán incorporadas en las fases siguientes de la metodología. Los resultados obtenidos del análisis pueden representarse gráficamente a partir de una matriz como la presentada a manera de ejemplo en la figura 4.

**Tabla 2.** Ejemplo de evaluación de factores para un Análisis de criticidad en el diseño de un equipo industrial.

<b>Factores, criterios y rangos para un Análisis de criticidad</b>	
<b>1. FRECUENCIA DE FALLA</b> (para todo tipo de falla del subsistema, evaluada a partir de información obtenida mediante: bases de datos genéricas, bancos de información de Tecnoparque, juicio de expertos)	<b>Puntaje</b>
No más de 1 por año	1
Entre 1 y 4 por año	2
Entre 4 y 12 por año	3
Entre 12 y 52 por año	4
Más de 52 por año (más de una parada semanal del subsistema )	5
<b>2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR</b> (para todo tipo de falla del subsistema, evaluada a partir de información obtenida mediante: bases de datos genéricas, bancos de información de Tecnoparques, juicio de expertos)	<b>Puntaje</b>
Menos de 4 horas	0
Entre 4 y 8 horas	1
Entre 8 y 24 horas	2
Entre 24 y 48 horas	3
Más de 48 horas	4
<b>3. IMPACTO SOBRE LA EJECUCIÓN DE LA TAREA DEL EQUIPO</b> (Producción o prestación del servicio, estimado a través de los Requerimientos Operacionales de la Primera Etapa de Diseño)	<b>Puntaje</b>
No afecta la función del equipo	0
Afecta parcialmente el cumplimiento de la función	2
Afecta totalmente el cumplimiento de la función	4
<b>4. COSTOS DE REPARACIÓN</b> (promedio para todo tipo de falla del subsistema, evaluada a partir de información obtenida mediante: bases de datos genéricas, bancos de información de Tecnoparques, juicio de expertos)	<b>Puntaje</b>
Menos de 100.000 pesos	0
Entre 100.000 y 1.000.000 de pesos	2
Más de 1.000.000 de pesos	4
<b>5. IMPACTO AMBIENTAL</b> (para las fallas típicas del conjunto, evaluada a partir del juicio de expertos o herramientas específicas de análisis de riesgo)	<b>Puntaje</b>
No origina ningún impacto ambiental	0
Contaminación reversible de bajo impacto, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro del equipo y no viola estándares legales	1
Contaminación ambiental reversible de mediano impacto, no rebasa los límites del equipo y no viola estándares legales	2
Contaminación ambiental irreversible de alto impacto, rebasa los límites del equipo y viola estándares legales	4
<b>6. IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL</b> (para las fallas típicas del conjunto, evaluadas a partir del juicio de expertos o herramientas específicas de análisis de riesgo)	<b>Puntaje</b>
No tiene impacto sobre salud y seguridad de personas que interactúan con el equipo	0
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes y sin pérdida de tiempo sobre personas que interactúan con el equipo	2
Puede ocasionar lesiones o heridas graves incapacitantes y con pérdida de tiempo sobre personas que interactúan con el equipo	4
<b>7. IMPACTO SATISFACCIÓN DEL CLIENTE</b> (subsistemas que dependen de su funcionamiento)	<b>Puntaje</b>
No ocasiona pérdidas económicas en los otros subsistemas del equipo	0
Puede ocasionar pérdidas económicas hasta de 5 SMMLV	1
Puede ocasionar pérdidas económicas superiores a 5 y menores que 25 SMMLV	2
Puede ocasionar pérdidas económicas superiores a 25 SMMLV	4

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 3.** Resultados del análisis de la tabla criticidad.

<b>Equipo diseñado:</b>		
<b>Subsistema del equipo:</b>		
<b>Factor</b>	<b>Respuesta</b>	<b>Puntaje</b>
1. Frecuencia de falla	En esta sección se debe seleccionar un criterio por cada uno de los factores dependiendo del análisis o evaluación de cada subsistema del equipo mediante el juicio de expertos, recopilación de bases de datos de equipos similares o del diseñador.	En esta sección se debe escribir el puntaje perteneciente al criterio seleccionado por cada uno de los factores, dependiendo del análisis o evaluación de cada subsistema del equipo mediante el juicio de expertos, recopilación de bases de datos de equipos similares o del diseñador, quien empleó su propia ponderación.
2. Tiempo promedio para reparar		
3. Impacto sobre la ejecución de la tarea del equipo		
4. Costos de reparación		
5. Impacto ambiental		
6. Impacto en salud y seguridad personal		
7. Impacto satisfacción del cliente		
Evaluación de la Criticidad: Puntaje de frecuencia de fallas * Sumatoria de puntajes de los otros factores analizados		
Analista / Fecha del análisis:		

**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 4.** Matriz de criticidad.

**Fuente:** (Princast, 2011).

**Fase 2. Establecimiento de los perfiles funcionales del equipo**

La fase 2 se diseñó a partir de la Norma SAE JA1012, tomando en cuenta su nivel de criticidad evaluado en el punto anterior. El diseñador debe comenzar primero por la descripción del contexto ya que el conocimiento del mismo es necesario para definir la función.

Además de definir el perfil funcional del equipo en conjunto que se está diseñando, es necesario identificar el perfil funcional por subsistema, teniendo en cuenta principalmente los subsistemas que

presentan mayor criticidad observados en la fase 1 del diseño conceptual. Seguidamente se identifica el impacto de la función sobre la operación global del equipo; a continuación, en la tabla 4, se presenta un formato para ingresar la información.

**Fase 3. Caracterización de fallas**

Una vez elaborado el perfil funcional, se prosigue a la caracterización de fallas para identificar los patrones de falla predominantes del equipo en el proceso del diseño preliminar, la cual corresponde a la fase 3 de la metodología. En esta fase se

utilizará un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF). De igual manera se debe tener en cuenta la importancia de los subsistemas afectados por esos modos de falla identificados antes mediante el Análisis de criticidad.

Los modos potenciales de falla identificados en la fase de diseño preliminar serán clasificados de acuerdo con su "Nivel de prioridad", y esto permitirá identificar si se deben efectuar acciones correctivas sobre el diseño para eliminarlos, o si se pueden sugerir acciones de mantenimiento para prevenirlos o mitigarlos. La información se debe recolectar en la tabla 5.

Una vez identificados y clasificados todos los modos de falla, los de prioridad alta y media deben ser revisados y tratados mediante el rediseño de la propuesta para disminuir las consecuencias de sus fallas, siempre y cuando la relación costo/riesgo/beneficio lo permita, o sugerir acciones de mantenimiento para prevenirlos. Respecto a las acciones de mantenimiento por proponer, las mismas se deben ajustar a la causa del modo de falla, así los modos de falla relacionados con el desgaste deben tratarse con mantenimiento preventivo (por tiempo o por condición, dependiendo de la facilidad para identificar el avance del mecanismo

asociado a la causa), los aleatorios con mantenimiento detectivo o por avería.

**Fase 4. Análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad**

Inicialmente el analista debe identificar los diferentes subsistemas o elementos que componen el equipo que está diseñando en el cuestionario para identificar el perfil funcional y el contexto operacional del equipo; seguidamente, el analista recolecta información sobre los parámetros estadísticos asociados al comportamiento de cada uno de los elementos o subsistemas en:

Historiales de fallas de equipos similares disponibles en Tecnoparque.

- Bases de datos genéricas.
- Opinión de expertos.

De acuerdo con el tipo de equipo caracterizado en cada base de datos genérica, la información disponible sobre los parámetros estadísticos puede ser:

- Tasa de fallas (para subsistemas con comportamiento ajustado a una distribución exponencial).

**Tabla 4.** Identificación del impacto de la función sobre la operación global del equipo por subsistema.

SUBSISTEMA	FUNCIÓN	IMPACTO DE LA FUNCIÓN SOBRE LA OPERACIÓN GLOBAL DEL EQUIPO
.....	.....	.....

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 5.** Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF).

Nombre del equipo que se va a diseñar						
Función	Fallas funcionales	Modos de fallas	Subsistema	Causa de falla	Efecto de falla	Nivel de prioridad de modo de falla
1	2	3	4	5	6	7

Fuente: elaboración propia.

- Forma y escala (para elementos ajustados a una distribución weibull).
- Media y desviación estándar (ajuste a distribución normal).
- Media logarítmica y desviación estándar logarítmica (ajuste a una distribución log

## RESULTADOS

Un ejemplo se realizó para una bomba; el historial del equipo fue tratado en este caso con ayuda del programa CrystalBall, que permitió estimar los parámetros de distribución como la media y la desviación estándar que representan el tiempo medio para la falla del ejemplo de sistema de bombeo: De igual manera se puede utilizar para cualquier otro equipo que el diseñador requiera.

Una bomba de productos químicos tiene registrados en su historial de fallas los tiempos que se expresan en la figura 5. Indique cuál es la distribución estadística que mejor se ajusta a los datos de la bomba, cuál es su tiempo medio entre fallas, cuál es la confiabilidad de la bomba a las 100, 1.000 y 5.000 horas de operación.

La distribución estadística que mejor representa el comportamiento de los datos de tiempo hasta la falla es la *exponencial*. La media de la distribución (634 horas) representa el tiempo medio para la falla del sistema de bombeo.

Para estimar la confiabilidad a las 500, 1.000 y 5.000 horas de operación utilizamos la ecuación

Tiempos hasta la Falla
2668
657
214
420
78
699
137
476
957
766
5
851
1888
253
203

Figura 5. Historial de fallas.

Fuente: elaboración propia.

de confiabilidad que corresponde a la distribución exponencial (figura 6).

Obteniendo el resultado fallas/hora de los elementos o componentes del equipo, y analizando su configuración (en serie, paralelo, mixto), se procede a hallar la confiabilidad del equipo.

Para evaluar la mantenibilidad se pueden emplear las mismas fuentes propuestas en la evaluación de la confiabilidad: historial de equipos similares, bases de datos genéricas o juicio de

Distribución	$f(t)$ : Distribución de Frecuencia Relativa	$F(t)$ : Distribución Acumulada Directa	$C(t)=1-F(t)$ : Distribución Acumulada Inversa
Exponencial	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$	$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$	$C(t) = e^{-\lambda t}$

Figura 6. Parametrización de la distribución.

Fuente: elaboración propia.

expertos; el procedimiento que deberá seguir el analista es el mismo.

En la figura 7 se presenta un ejemplo de la evaluación del tiempo medio para reparar y la mantenibilidad a partir del juicio de expertos (este mismo procedimiento se puede seguir para la evaluación del tiempo medio entre fallas a partir del juicio de expertos).

Para estimar el tiempo empleado en la reparación de las bombas, a partir del juicio de expertos se puede solicitar a estos los valores máximo y mínimo del tiempo que a su criterio se emplea y luego este puede analizarse mediante el uso de la distribución lognormal; si los expertos dan los valores

mínimo, máximo y más probable, entonces se puede utilizar para el análisis la distribución beta pert.

La distribución utilizada para el análisis es la Lognormal (recomendada para tratar juicio de expertos en donde solo hay dos valores: mínimo y máximo).

La duración más probable de la reparación (tiempo medio para reparar) es el valor de la media de la distribución, es decir, 26,3 horas.

El software efectúa la simulación; puede tomar varios segundos o incluso minutos, dependiendo de lo complejo del sistema, de las horas de la simulación, del número de simulaciones, de las características del PC, como muestra la figura 8.

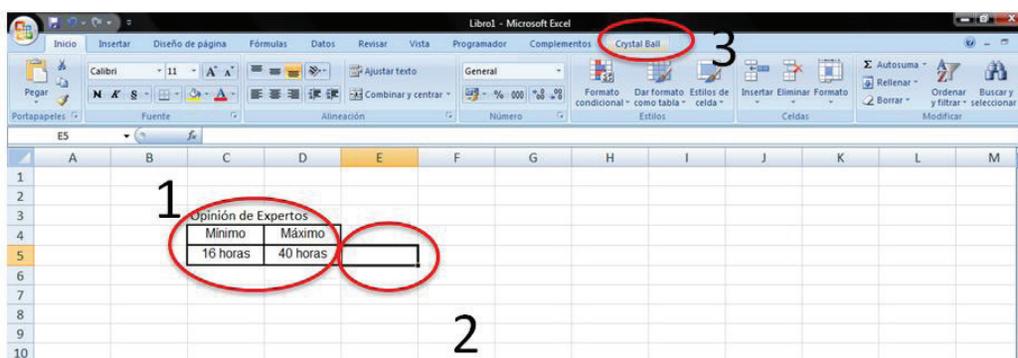


Figura 7. Caracterización probabilística del tiempo para reparar.

Fuente: elaboración propia.

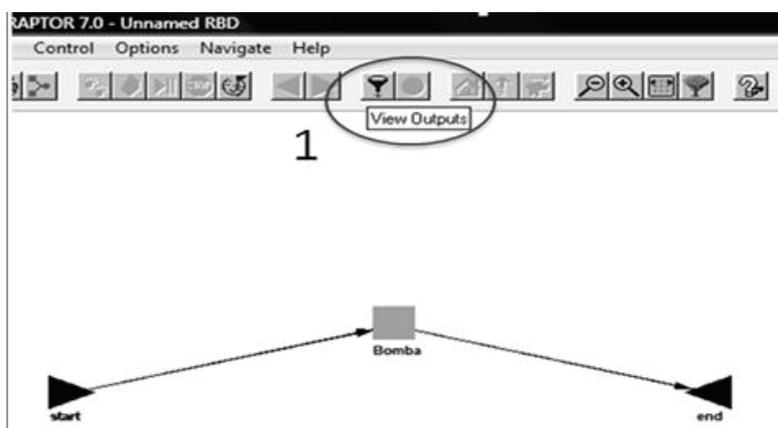
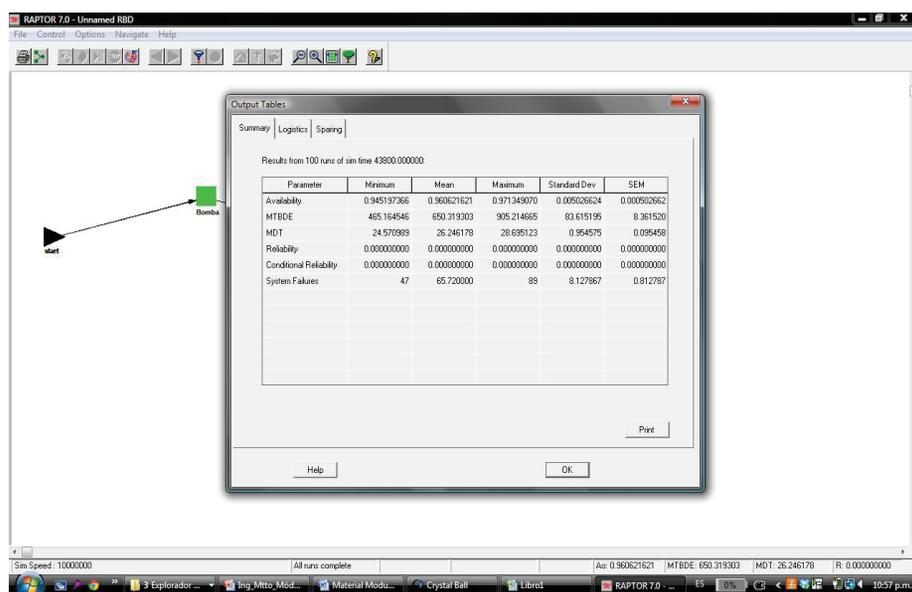


Figura 8. Software RAPTOR.

Fuente: elaboración propia.



**Figura 9.** Resultados de parámetros de fallas.

**Fuente:** elaboración propia.

La ventana que se abre muestra la tabla de resultados, en donde se puede observar la disponibilidad, el tiempo medio entre fallas, el tiempo medio para reparar y el número de fallas del sistema para el tiempo de la simulación, como se muestra en la figura 9.

Finalmente, a partir de la información obtenida al evaluar los tiempos entre fallas y los tiempos de reparación de los elementos que componen el equipo diseñado (distribución estadística y parámetros característicos), se puede estimar la disponibilidad y el número esperado de fallas que tendrá el equipo diseñado en un determinado tiempo misión; esto puede hacerse utilizando el software RAPTOR.

## CONCLUSIONES

Se identificaron las etapas que componen la gestión de un proyecto de diseño de equipos industriales trabajando con dos dimensiones; la dimensión 1, compuesta por las fases del desarrollo del diseño del equipo, y la dimensión 2, compuesta por los elementos de confiabilidad

operacional por incluir en las fases de diseño del equipo. En esta etapa se identifica la necesidad del cliente, se realiza el planteamiento del proyecto, se recolecta la información requerida, se observan los requerimientos del negocio y los operacionales; en el diseño conceptual se definen los requerimientos del diseño, determinando la función del equipo para satisfacer las necesidades del cliente o usuario de acuerdo con la metodología de Tecnoparque; en el diseño preliminar se incluyen las especificaciones de los elementos o subsistemas como las dimensiones funcionales; el diseño detallado se hace con el fin de obtener las especificaciones técnicas del mismo, y de esta manera identificar los materiales, medidas y acople de cada uno de los elementos y subsistemas, para planificar la fabricación de prototipos; finalmente, se definen los elementos y prácticas de confiabilidad operacional en cada etapa de la gestión del proyecto.

Seguidamente se diseñó la metodología para evaluar el factor confiabilidad en la gestión de proyectos de diseño de equipos industriales, mediante la jerarquización de los sistemas y elementos del

diseño por medio del análisis de Criticidad, se establecieron los perfiles funcionales del equipo, se hizo la caracterización de fallas y finalmente, se efectuó el análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

Como resultado de la investigación presentada, es posible concluir que los proyectos de activos industriales diseñados y desarrollados en Tecnoparque que incluyan la metodología propuesta, tendrán un aumento considerable en su confiabilidad operacional, disminuyendo tiempos de falla, la cual repercute en costo-riesgo-beneficio para los clientes finales.

El uso de la metodología para evaluar el factor confiabilidad en la gestión de proyectos de diseño de equipos industriales brindará al talento Tecnoparque las herramientas necesarias para tomar la decisión adecuada en políticas de mantenimiento desde el planteamiento inicial del proyecto, teniendo en cuenta las fallas y riesgos potenciales de acuerdo con su severidad y probabilidad de ocurrencia.

## FINANCIACIÓN

Este artículo es producto de la investigación de la tesis de maestría titulada "Metodología para evaluar el factor confiabilidad en la gestión de proyectos de diseño de equipos industriales", y la financiación está a cargo de dos instituciones públicas: el Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, y la Universidad Nacional Experimental del Táchira, UNET.

## REFERENCIAS

- Aguilar, J., Torres, R., y Magaña, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMEF) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 15-26.
- Balestrini, M. (2006). *Cómo se elabora el proyecto de investigación*. Caracas: Consultores Asociados BL.
- Bottini, R. (2010). *Mantenimiento y confiabilidad: Modelos de optimización*. Obtenido de: [http://www.uruman.org/3er\\_congreso\\_docs/trabajos\\_tecnicos/UA-Presentacion%20URUMAN-3.pdf](http://www.uruman.org/3er_congreso_docs/trabajos_tecnicos/UA-Presentacion%20URUMAN-3.pdf)
- Cardona, C. (2009). *Implementación de la Confiabilidad Operacional desde el Diseño*. Congreso de Mantenimiento ACIEM.
- COVENIN (1993). *Normas de mantenimientos y definiciones*. Caracas: Fondonorma.
- Creus Solé, A. (2005). *Fiabilidad y Seguridad*. Madrid: Marcombo S.A.
- Duffuaa, S., Raouf, A., y Campbell, J. (2002). *Sistemas de mantenimiento: planeación y control*. México: Limusa.
- Espinosa, F., Dias, A., y Black, N. (2008). Un procedimiento de evaluación de las condiciones necesarias para innovar la gestión de mantenimiento de una empresa. *Información Tecnológica*, 97-104.
- Gutiérrez, E., Aguero, M., y Calixto, I. (mayo-junio de 2007). *Análisis de criticidad integral de activos*. Obtenido de: [www.reliarisk.co](http://www.reliarisk.co): [http://r2menlinea.com/w3/PT/PT013\\_Analisis\\_de\\_Criticidad\\_Integral\\_de\\_Activos.pdf](http://r2menlinea.com/w3/PT/PT013_Analisis_de_Criticidad_Integral_de_Activos.pdf)
- Pascual, R. (2002). *Gestión Moderna de Mantenimiento*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Princast (2011). *princast*. Recuperado el 23 de octubre de 2014, de: <http://web.educastur.princast.es/eoi/eoicangas/images/tablasavanzado.pdf>
- Ríos, L., y Roncancio, E. (2007). Análisis y desarrollo de un programa de selección rápida de factores de seguridad para diseño de elementos mecánicos. *Scientia Technica*, 255-260.
- Rodríguez, G. (1983). *Manual de diseño industrial*. México: G. Gili S.A. de C.V.
- Tamayo Durango, D. N. (2010). *Diseño de árboles de fallos en instalaciones comunes de los edificios de vivienda (DAFICEV)*. Valencia: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Tamayo, M. (2007). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa.
- Zambrano, S., y Leal, S. (2005). *Fundamentos básicos de mantenimiento*. Caracas: FEUNET.







## Demostración y análisis del golpe de ariete por el método de los promedios aritméticos

### Demonstration and analysis of water hammer using the arithmetic means method

Fernando González Casas<sup>1</sup>, Eduardo Zamudio Huertas<sup>2</sup>, César Augusto García Ubaque<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 15 de septiembre de 2014

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

**Cómo citar:** González Casas, F., Zamudio Huertas, E., & García Ubaque, C. A. (2015). Demostración y análisis del golpe de ariete por el método de los promedios aritméticos. *Revista Tecnura*, 19, 143-151. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a12

#### Resumen

En este artículo se presenta la solución al cálculo de sobrepresiones y variación de caudal al cerrar válvulas, con la hipótesis de variación lineal en la relación entre sobrepresión y distancia recorrida por la onda de celeridad. Los problemas del golpe de ariete comenzaron a estudiarse en profundidad en el simposio realizado en 1933 [1]. El estudio de la variación lineal en la relación sobrepresión y distancia recorrida aparece desarrollado con base en la teoría del análisis matemático en el "Tratado de Hidráulica Aplicada" de Calvin Victor-George Rich, editorial Labor de Barcelona España en el año 1956 [2] y en la obra "Water-Hammer analysis by the Laplace-Mellin Transformation, Trans., ASME, 1945, de George R. Rich [3], profesor de la universidad de Columbia. En esta publicación se desarrolla la demostración de esta ecuación usando el teorema  $\pi$  de Vaschy-Buckingham, que utiliza los principios

del análisis dimensional a la solución de problemas físicos.

**Palabras clave:** conducciones, golpe de ariete, presión hidráulica, tuberías.

#### Abstract

This article presents the calculation of overpressures and variation of discharge when closing valves, with the hypothesis of linear variation in the relation between overpressure and distance travelled by the wave of swiftness. The problem of the Water Hammer was firstly studied in the symposium realized in 1933 [1]. The demonstration of the formula with the hypothesis of linear variation in the relation between overpressure and distance travelled is developed from the theory of the mathematical analysis in the text "Treaty of Applied Hydraulics" by Calvin Victor -George Rich, published by the Labor of Barcelona Spain in 1956 [2], and also in the

<sup>1</sup> Ingeniero civil, Universidad Nacional de Colombia; magíster en recursos hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia; profesor asistente, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia; integrante del Grupo GIICUD; director del semillero en investigación UDENS. [fgonzalezc@udistrital.edu.co](mailto:fgonzalezc@udistrital.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero civil, Universidad Nacional de Colombia; especialista en estadística y magíster en recursos hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia; profesor asistente, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia; integrante del Grupo GIICUD; miembro del semillero en investigación UDENS. [ezamudioh@udistrital.com](mailto:ezamudioh@udistrital.com)

<sup>3</sup> Ingeniero civil, Universidad Nacional de Colombia; especialista en manejo integrado del medio ambiente, magíster en ingeniería civil con énfasis en ambiental y doctor en ingeniería, Universidad de los Andes; docente, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia; director del Grupo GIICUD. [cagarciau@udistrital.edu.co](mailto:cagarciau@udistrital.edu.co)

work "Water-Hammer analysis by the Laplace-Mellin Transformation, Trans.", ASME, year 1945 by the professor of the university of Columbia, George R. Rich [3]. In this publication we develop the demonstration of this equation using Vaschy-Buckingham's

$\pi$  theorem, which uses the principles of dimensional analysis for solving physical problems.

**Keywords:** Water Hammer, conductions, hydraulic pressure, pipelines.

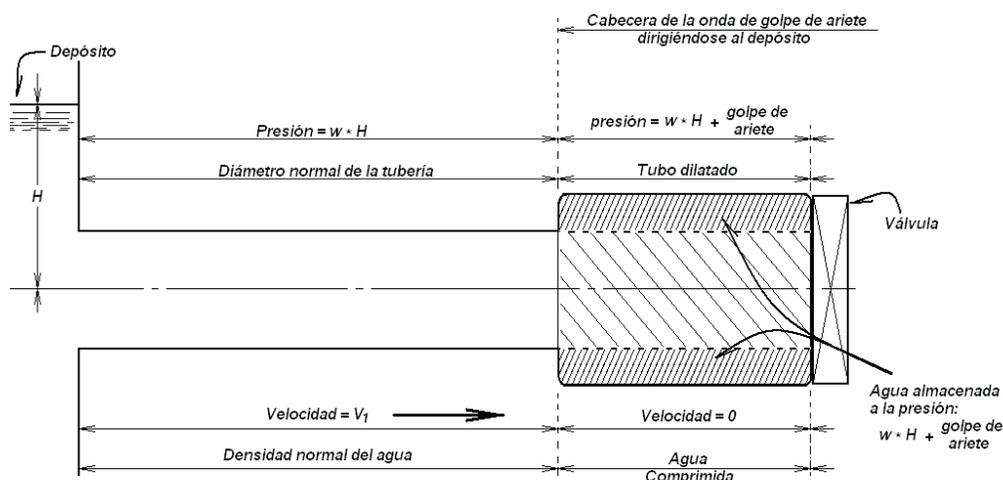
## INTRODUCCIÓN

La necesidad de conducir agua a presión justifica el uso de tuberías en las instalaciones hidráulicas. Y además, se requieren válvulas bien sea para la regulación del flujo durante las operaciones o para los procedimientos de mantenimiento. Y cuando se modifica bruscamente la velocidad de un fluido en movimiento dentro de un tubo, se produce un violento cambio de presión; este fenómeno se denomina *golpe de ariete*. Por tanto, a lo largo de la tubería se propagan ondas de sobrepresión y de depresión a la velocidad de la onda en el fluido; las depresiones pueden crear bolsas de aire o cavitación peligrosa y las sobrepresiones pueden romper la tubería.

## MECANISMO DE OCURRENCIA DEL GOLPE DE ARIETE

Las consecuencias del golpe de ariete en las tuberías a presión son una clase especial de una familia de movimientos ondulatorios mecánicos conocidos como *fenómenos de transición*. El golpe de ariete no está relacionado con variaciones graduales en la presión y/o la velocidad del fluido, sino con un cambio brusco. Este tipo de fenómenos se propaga aproximadamente a la velocidad del sonido: se inicia por el cierre de una válvula, y termina desvaneciéndose por el amortiguamiento o fricción en la tubería a presión.

Ahora bien, en general las depresiones del golpe de ariete solo son importantes en las operaciones



**Figura 1.** Onda directa positiva parte de la válvula.

Fuente: (Calvin, 1986).

de cierre rápido; sin embargo, se producen cambios de presión considerables, aunque graduales, aun si el cierre es lento.

Al cerrarse una válvula, una onda de presión positiva se dirige hacia aguas arriba con la velocidad del sonido. En el extremo, la velocidad en el conducto se reduce a cero (véase la figura 1); como resultado, se comprime el agua y se dilata la pared de la tubería. Si se imagina un tanque o depósito allí, la onda de depresión cambia de signo al llegar y disminuye su magnitud a la presión en el tanque; por tanto, la presión del agua contenida

en la tubería expandida desciende (véase la figura 2), y se produce una nueva onda de presión negativa hacia aguas abajo, que transforma la velocidad en el conducto de cero a  $-V$  en dirección contraria (véase la figura 3).

Cuando la onda negativa llega a la válvula cerrada en el extremo inferior del conducto, absolutamente toda el agua de la tubería se desplaza hacia aguas arriba a una velocidad  $-V$  (véase la figura 4); por la inercia del agua, la velocidad de esta onda disminuye y será reflejada en la válvula. Aguas debajo de la onda negativa reflejada, la

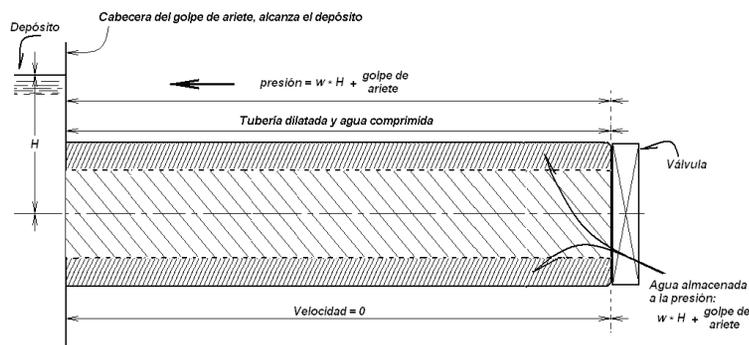


Figura 2. La onda directa positiva alcanza el depósito.

Fuente: (Calvin, 1986).

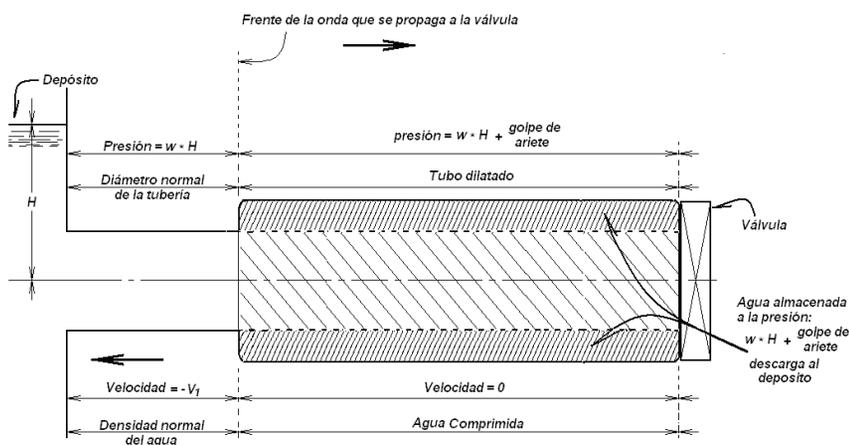
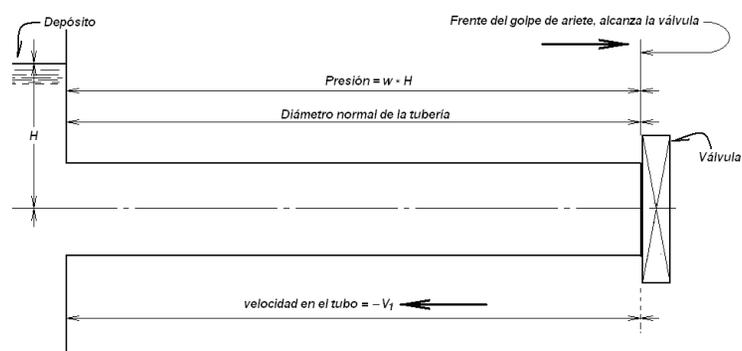


Figura 3. La onda negativa reflejada parte del depósito.

Fuente: (Calvin, 1986).

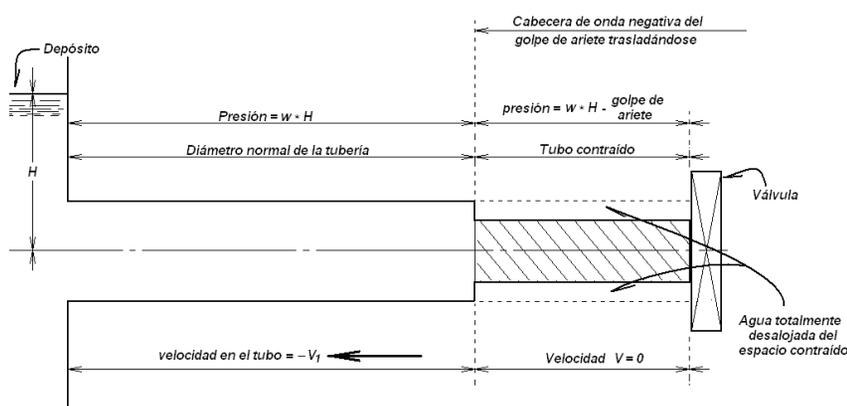
velocidad en el conducto se reduce proporcionalmente respecto a su valor original (véase la figura 5), así se garantiza el volumen de agua necesario para conservar la velocidad  $-V$  en el frente de onda hasta que la onda alcanza el tanque; así, cuando esta onda negativa llega al tanque, la presión se reduce dentro de la tubería, desalojando agua del espacio contraído y disminuyendo la velocidad media del flujo a cero (véase la figura 6).

Inmediatamente después se propaga una onda de presión positiva hacia aguas abajo elevando la presión a nivel del depósito a lo largo de la tubería (véase la figura 7), la velocidad  $V$  desde y detrás del frente de onda alcanza todos los puntos de la tubería en el momento en que el frente de onda positiva llega a la válvula completando un ciclo (véase la figura 8).



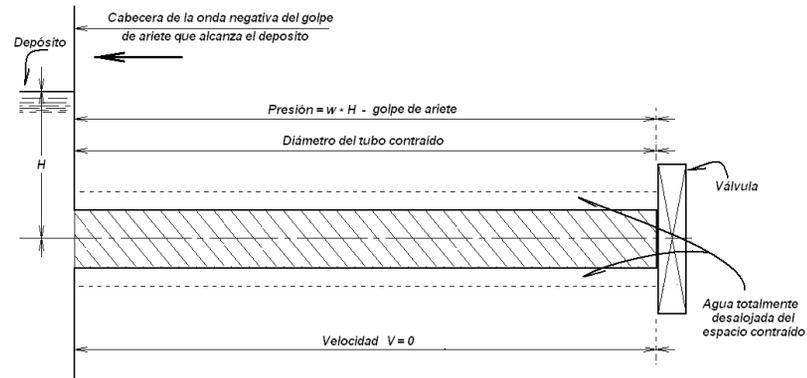
**Figura 4.** La onda negativa reflejada alcanza la válvula.

Fuente: (Calvin, 1986).



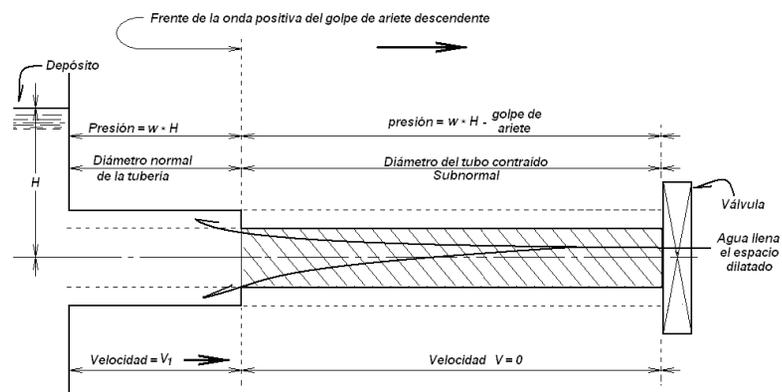
**Figura 5.** La onda negativa reflejada hacia el depósito desde la válvula con signo negativo.

Fuente: (Calvin, 1986).



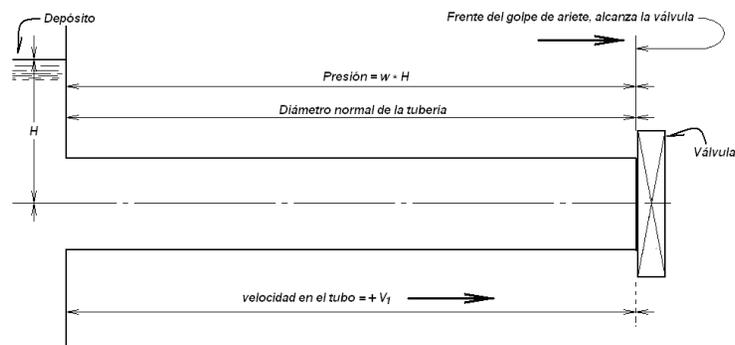
**Figura 6.** La onda negativa reflejada alcanza el depósito.

Fuente: (Calvin, 1986).



**Figura 7.** La onda negativa reflejada con signo positivo desde el depósito.

Fuente: (Calvin, 1986).



**Figura 8.** La onda negativa reflejada alcanza la válvula completando un ciclo.

Fuente: (Calvin, 1986).

## DEMOSTRACIÓN DE LA FÓRMULA PARA CÁLCULO DEL GOLPE DE ARIETE, MÉTODO DEL PROMEDIO ARITMÉTICO EMPLEANDO EL TEOREMA II DE VASCHY-BUCKINGHAM

El teorema  $\pi$  de Vaschy-Buckingham establece que en un problema físico en el que intervienen  $n$  magnitudes denominadas variables, con  $m$  dimensiones independientes, las  $n$  magnitudes pueden agruparse en  $n-m$  parámetros adimensionales, conformados con las variables originales (Streeter, 2002).

Este teorema proporciona un método de construcción de parámetros adimensionales, incluso cuando la forma de la ecuación es desconocida (Acosta, y de Azevedo, 1975).

La ecuación que se va a obtener requiere el conocimiento de las variables en el problema; en el caso del golpe de ariete, la variación de velocidad del flujo en el fluido ( $\Delta v$ ), que ocurre por el cierre de una válvula, depende de la variación en la distancia recorrida por la onda de presión ( $\Delta x$ ), de la variación en la sobrepresión generada por el efecto del golpe de ariete ( $\Delta h$ ), de la aceleración de la gravedad ( $g$ ) y del intervalo de tiempo en que ocurre el fenómeno ( $\Delta t$ ).

Es decir, la variable dependiente ( $\Delta v$ ) se puede representar con la ecuación (1).

$$\Delta v = f\left(\Delta t, g, \frac{\Delta h}{\Delta x}\right) \quad (1)$$

Siendo:

$\Delta v$  = delta de velocidad del fluido en la tubería

$g$  = aceleración de la gravedad

$\Delta x$  = delta de distancia recorrida por la onda

$\Delta h$  = delta de cabeza de sobrepresión generada por el cierre de la válvula

$\frac{\Delta h}{\Delta x}$  = gradiente de sobrepresión respecto a la distancia  $x$

Sin embargo, ( $\Delta h/\Delta x$ ) es adimensional porque es la relación de dos longitudes, es decir,

esta relación es el primer parámetro buscado ( $\pi_1$ ) (ecuación (2)).

$$\pi_1 = \frac{\Delta h}{\Delta x} \quad (2)$$

Los otros posibles parámetros adimensionales deben estimarse aplicando el teorema  $\pi$  de Buckingham y con base en las variables restantes que tienen dimensiones, resolviendo la ecuación (3).

$$\Delta v = F(\Delta t, g) \quad (3)$$

Se tienen en la anterior ecuación tres variables ( $n = 3$ ) que no son independientes porque dimensionalmente aparecen en función de la longitud ( $L$ ), y el tiempo ( $T$ ) (ecuaciones (4), (5) y (6)).

$$g = \left[\frac{L}{T^2}\right] \quad (4)$$

$$\Delta t = [T] \quad (5)$$

$$\Delta v = \left[\frac{L}{T}\right] \quad (6)$$

Por tanto ( $m = 2$ ), debido a que las variables en la ecuación (3) se expresan con máximo dos dimensiones, la longitud ( $L$ ) y el tiempo ( $T$ ).

Según el teorema de  $\pi$  Buckingham, existe un parámetro adimensional como representación de la ecuación (3), porque ( $n-m$ ) es igual a uno (1). Obsérvese que ( $n = 3$ ) y ( $m = 2$ ).

En resumen:

Número de variables 3: ( $\Delta v$ ;  $g$ ;  $\Delta t$ )

Número de dimensiones 2: (*longitud y tiempo*)

El parámetro adimensional es:

$$\pi_2 = [g^x \Delta t^y \Delta v] \quad (7)$$

Remplazando las ecuaciones (4, 5 y 6) en la ecuación (7):

$$\pi_2 = \left[\frac{L}{T^2}\right]^x [T^y] \left[\frac{L}{T}\right] \quad (8)$$

Ahora operando:

$$\pi_2 = L^{x+1} T^{y-2x-1} \quad (9)$$

Como  $\pi_2$  es adimensional:

$$x + 1 = 0 \quad (10)$$

$$y - 2x - 1 = 0 \quad (11)$$

Resolviendo las ecuaciones simultáneas (10) y (11) se obtienen las ecuaciones:

$$[x = -1] \quad (12)$$

$$[y = -1] \quad (13)$$

Al sustituir las ecuaciones (12), (13) en (7).

$$\pi_2 = [g^{-1} \Delta t^{-1} \Delta v] \quad (14)$$

$$\pi_2 = \frac{\Delta v}{g \Delta t} \quad (15)$$

Se tienen entonces dos parámetros adimensionales:

$$\pi_1 = \frac{\Delta h}{\Delta x}, \quad \pi_2 = \frac{\Delta v}{g \Delta t} \quad (16)$$

Experimentalmente los dos parámetros anteriores se convierten de hecho en:

$$\frac{\Delta v}{g \Delta t} = -\frac{\Delta h}{\Delta x} \quad (17)$$

De donde la función  $\Delta v$  queda:

$$\Delta v = -g \frac{\Delta h \Delta t}{\Delta x} \quad (18)$$

## FASES O PERÍODOS DE LA TUBERÍA

La fase o período de la tubería (T) es el tiempo en que la onda de sobrepresión va y vuelve de una extremidad a otra, siendo (L) la longitud de la tubería y (C) la velocidad de propagación de la onda en el fluido, conocida como celeridad.

$$T = \frac{2L}{C} \quad (19)$$

La onda al regresar cambia de sentido, efectuando el mismo recorrido que en la ida en el mismo tiempo T, bajo la forma de onda de depresión (Streeter, 2002).

Si el cierre de la válvula es muy rápido, quedará completamente cerrada antes de actuar la onda de depresión; y si la válvula se cierra lentamente, existe un tiempo para que la onda de depresión actúe previamente a la obturación completa, por lo que la operación de cierre se puede clasificar como lenta y rápida.

La maniobra es rápida si el tiempo de cierre de la válvula ( $t$ ) es menor que la fase o período de la tubería (T); en este caso ocurre sobrepresión máxima [4], ya que aún no ha actuado la onda de depresión (Rodríguez y Pallares, 2007).

$$t < \frac{2L}{C} \quad (20)$$

La maniobra es lenta si el tiempo de cierre de la válvula ( $t$ ) es mayor que la fase o período de la tubería (T):

$$t > \frac{2L}{C} \quad (21)$$

Si el cierre o apertura de la válvula es brusco, es decir, si el tiempo de cierre es menor que el tiempo que tarda la onda en recorrer la tubería ida y vuelta, la sobrepresión máxima se calcula como: (Streeter, 2002).

$$ha = \frac{C V}{g} \quad (22)$$

En esta expresión, (V) es la velocidad media del agua, (ha) es el aumento de la presión en metros de agua y (g) es la aceleración de la gravedad.

Si el cierre es lento, la sobrepresión se puede estimar con las fórmulas de Michaud-Vensano:

$$ha = \frac{2LV}{gt} \quad (23)$$

La velocidad de la onda (C) se calcula con base en la expresión de Allievi, muy útil en el cálculo de la velocidad de onda en agua, en donde (k) es un

coeficiente relacionado con el módulo de estabilidad del material con que se fabrica la tubería; (e) es el espesor del tubo y (D) es el diámetro de la tubería (Vallamino Cánovas, 1999, Maganto, 2002).

$$C = \frac{9900}{\sqrt[2]{48,3 + K \frac{D}{e}}} \quad (24)$$

## APLICACIÓN A UN PROBLEMA TÍPICO

Sea una tubería de longitud 1.524 metros, diámetro de 4,57 metros que transporta un caudal de 60 m<sup>3</sup>/s y salto inicial o diferencia de nivel entre la lámina de agua en el tanque y el eje de la tubería en la descarga, de 305 m; la velocidad media con la válvula totalmente abierta es de 3,66 m/s, el tiempo de cierre de la válvula es de 10 s y la celeridad de la onda es de 915 m/s. Calcular la variación de caudales y sobrepresiones hasta que la válvula se cierre completamente (Calvin, 1986).

### Solución

Los parámetros correspondientes según el enunciado son: L = 1.524 m; D = 4,57 m; Q = 60 m<sup>3</sup>/s; H<sub>0</sub> = 305 m; V = 3,66 m/s; t = 10 s; C = 915 m/s

$$\text{período} = T = \frac{2L}{C} = 3,33 \text{ s}$$

Como el tiempo de cierre de la válvula es 10 segundos, el cierre es lento; por facilidad se escoge para el valor del intervalo Δt un submúltiplo de L/C, tal como L/2C, así Δx es la longitud de tubería a presión recorrida por la onda del golpe de ariete en el tiempo Δt. (Calvin, 1986).

$$\frac{T}{2} = \text{tiempo de ida de la onda} = 1,67$$

$$\Delta t = \frac{T}{4} = 0,833 \text{ s}$$

Como 2L se recorre en 3,33 segundos, se concluye que para un delta de tiempo Δt de 0,833 segundos el delta de distancia recorrido por la onda Δx es L/2, es decir, 762 metros aproximadamente.

Se aplica el principio de que el método de cálculo se basa en el concepto de integración como un proceso de adición (Calvin, 1986), en este caso por tanteo, estableciendo los valores en cada instante sucesivo de (h) y de (V) que satisfagan las ecuaciones (25), (26) y (27).

**Tabla 1.** Cálculo del golpe de ariete.

Tiempo [s]	Intervalo de tiempo [s]	V [m/s]	Δv [m/s]	Δh [m]	Q= 176,72*V [m <sup>3</sup> /s]	2Δh [m]	Salto total H <sub>0</sub> + h [m]	Abertura de la válvula	Q [m <sup>3</sup> /s]
0	0	3,66	0	0	60,00	0	305	1,000	60,00
0,83	0,83	3,506	-0,152	28,43	57,51	0	333,43	0,917	57,506
1,67	0,84	3,336	-0,170	31,82	54,72	0	365,24	0,833	54,716
2,5	0,83	3,147	-0,189	35,38	51,62	0	400,62	0,750	51,574
3,33	0,83	2,931	-0,216	40,43	48,08	0	441,05	0,667	48,101
4,17	0,84	2,587	-0,344	64,39	42,43	-56,85	448,58	0,583	42,446
5	0,83	2,228	-0,359	67,19	36,55	-63,64	452,14	0,500	36,527
5,83	0,83	1,854	-0,374	70,00	30,41	-70,75	451,39	0,417	30,414
6,67	0,84	1,468	-0,386	72,25	24,08	-80,86	442,78	0,333	24,10
7,5	0,83	1,100	-0,368	68,88	18,04	-70	441,66	0,250	18,05
8,33	0,83	0,720	-0,380	71,12	11,81	-87	425,79	0,167	11,815
9,17	0,84	0,366	-0,354	66,26	6,00	-52	440,04	0,083	6,0058
10	0,83	0,000	-0,366	68,50	0		508,55	0,000	0

Fuente: adaptado de (Calvin, 1986).

$$\Delta v = -g \frac{\Delta h \Delta t}{\Delta x} \quad (25)$$

$$Q = A \left( V + \sum \Delta V \right) \quad (26)$$

$$Q = \frac{Q_0 A v \sqrt{H_0 + \sum \Delta h}}{A v \sqrt{H_0}} \quad (27)$$

## CONCLUSIONES

Se ha presentado en este artículo el modelo lineal o de los promedios aritméticos para el cálculo de sobrepresiones en movimientos transitorios en conducciones a presión sustentado en el enfoque del análisis dimensional, facilitando la obtención de la ecuación.

Este modelo es útil para la estimación de la sobrepresión con grandes variaciones en la velocidad, presión y reducción del caudal, ocasionados por el cierre de válvulas en instalaciones hidráulicas.

Como el fenómeno del golpe de ariete aparece en maniobras como el cierre y apertura de válvulas, arranque de bombas, detención de bombas y llenado inicial de tuberías, que son operaciones necesarias para el adecuado manejo y conservación de sistemas a presión, su frecuencia es importante y no es un fenómeno eventual, por lo cual

no se deben escatimar esfuerzos para la correcta comprensión de los principios o fundamentos y la aplicación de los modelos de cálculo.

## REFERENCIAS

- Acosta A., G. y de Azevedo N, J.M. (1975). *Manual de Hidráulica*. Sexta ed. México, D.F.: Editorial Harla.
- Calvin D., V. (1986). *Tratado de Hidráulica Aplicada*. Quinta ed. Barcelona: Editorial Labor S.A.
- Guitelman, A. y Pérez F., L. (2005). *Estudio de Transitorios: Golpe de ariete*. Primera ed. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Maganto, F. (2002). Límites de estabilidad de un grupo hidroeléctrico conectado a una red aislada. *Revista Ingeniería Civil*, No.127 (julio-septiembre).
- Rich R., G. (1951). *Hydraulic Transients*. Primera ed. New York: McGraw-Hill Book Company Inc.
- Rodríguez C., W., y Pallares, M.R. (2007). Modelo numérico del golpe de ariete con SCILAB. *Revista Ingeniería e Investigación*. Universidad Nacional de Colombia, Vol. 27, No. 3.
- Streeter L., V. (2002). *Mecánica de Fluidos*. Octava ed. México, D.F.: McGraw- Hill.
- Vallamino Cánovas del Castillo, E. (1999). El golpe de ariete-solución gráfica. *Revista de Obras Públicas*. Versión electrónica. Colegio de caminos y puertos. España, No. 2758.







## Composición química de los aceites esenciales de *Cavendishia compacta* y *Cavendishia guatapeensis* (Ericaceae)

### Chemical composition of the essential oils *Cavendishia compacta* and *Cavendishia guatapeensis* (Ericaceae)

William Fernando Castrillón Cardona<sup>1</sup>, Javier Andrés Matulevich Peláez<sup>2</sup>,  
Laura Ximena Díaz Barrera<sup>3</sup>, Soranlly Paola Vasco Zamudio<sup>4</sup>

**Fecha de recepción:** 27 de agosto de 2014

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

**Cómo citar:** Castrillón Cardona, W. F., Matulevich Peláez, J. A., Díaz Barrera, L. X., & Vasco Zamudio, S. P. (2015). Composición química de los aceites esenciales de *Cavendishia compacta* y *Cavendishia guatapeensis* (Ericaceae). *Revista Tecnura*, 19, 153-157. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a13

#### Resumen

A partir de hojas frescas de las especies vegetales *Cavendishia compacta* y *Cavendishia guatapeensis* se obtuvieron los aceites esenciales por arrastre de vapor con agua, y su determinación se efectuó por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM), comparación de los índices de retención, los espectros de masas y los datos reportados en la literatura. Los aceites esenciales de *Cavendishia compacta* y *Cavendishia guatapeensis* se obtuvieron con un rendimiento de 0.27% y 0.30%, respectivamente, en los que se identificaron cerca de 22 componentes en cada uno, los cuales constituyen cerca de 77% y 73%, respectivamente, de la composición relativa total de los aceites, siendo el cariofileno el sesquiterpeno de mayor porcentaje en cada uno de ellos.

**Palabras clave:** aceite esencial, *Cavendishia compacta*, *Cavendishia guatapeensis*, CG-EM, monoterpenos, sesquiterpenos.

#### Abstract

From fresh leaves of plants *Cavendishia compacta* and *Cavendishia guatapeensis* were obtained essential oils by steam with water, its determination was performed by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS), compare index retention, and mass spectral data reported in the literature. Essential oils of *Cavendishia compacta* and *Cavendishia guatapeensis* were obtained in a yield of 0.27% and 0.30% respectively, in which 22 components were identified in each; which constitute about 77% and 73% respectively of the total relative composition of the oils, the sesquiterpene caryophyllene being the highest percentage in each of them.

**Keywords:** *Cavendishia compacta*, *Cavendishia guatapeensis*, essential oil; GC-MS, monoterpenes, sesquiterpenes.

<sup>1</sup> Químico, Especialista en Edumatica, Magister en ciencias ambientales. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [wcastrillon@udistrital.edu.co](mailto:wcastrillon@udistrital.edu.co)

<sup>2</sup> Licenciado en Química, Especialista en Análisis Químico Instrumental, Magister en ciencias biológicas. Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [jamatulevichp@udistrital.edu.co](mailto:jamatulevichp@udistrital.edu.co)

<sup>3</sup> Licenciada en Química. Investigadora del Grupo de Investigación en Productos Naturales Vegetales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas Bogotá, Colombia. Contacto: [lauris2714@gmail.com](mailto:lauris2714@gmail.com)

<sup>4</sup> Licenciada en Química. Investigadora del Grupo de Investigación en Productos Naturales Vegetales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: [spvascoz@gmail.com](mailto:spvascoz@gmail.com)

## INTRODUCCIÓN

El género *Cavendishia*, con cerca de 150 especies, pertenece a la familia Ericaceae que contiene cerca de 125 géneros y 4.500 especies, siendo este el género que tiene mayor número de especies en el neotrópico. Su rango de distribución geográfica abarca desde México hasta Bolivia y el norte de Brasil. La mayor concentración de especies se encuentra en Colombia, especialmente hacia la vertiente Pacífica de la cordillera occidental. Especies de este género se caracterizan por ser plantas leñosas que crecen principalmente como arbustos, son epífitas o terrestres (Salinas & Betancur, 2005). En la *Cavendishia compacta* las hojas son coriáceas y subcoriáceas, elípticas, basalmente redondeadas, ampliamente cuneadas (Luteyn J. L., Taxonomy Details, 1995). La *Cavendishia guatapeensis* es un arbusto de 2 m de alto con ramas maduras, corteza gris, grietas en tiras longitudinales, ramitas cilíndricas, estriadas, de color marrón rojizo. Sus hojas son ovadas, oblongo o elíptico-ovadas, rara vez elípticas y basalmente redondeadas (Luteyn J. L., Taxonomy Details., 1995). Algunos aceites esenciales de la familia *Ericaceae* se han utilizado en el tratamiento de enfermedades respiratorias como la rinitis crónica y además como antiinflamatorios, antisépticos y analgésicos (Equateq, 2011).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los aceites esenciales fueron obtenidos a partir de 300 g de hojas frescas de cada especie por destilación con arrastre de vapor, obteniéndose 0,2 mL de cada aceite. La determinación de la composición química relativa del aceite esencial se hizo mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM) en un equipo SHIMADZU QP2010 plus, empleando una columna capilar de sílice fundida, HP-5MS (J & W Scientific, Folsom, CA, EE.UU.) de 30 m x 0,25 mm x 0,25  $\mu$ m, con fase estacionaria 5% fenilpolimetilsiloxano. La programación de temperatura del horno fue de 45 °C (5 min) @ 5 °C/min, hasta 60 °C

(1 min) @ 30 °C/min, hasta 130 °C (0 min) @ 4 °C/min, hasta 190 °C (2 min) @ 40 °C/min, hasta 285 °C (0 min). Los espectros de masas se obtuvieron por ionización electrónica (IE) de energía de 70 eV. Las temperaturas de la cámara de ionización y de la línea de transferencia fueron de 230 y 325 °C, respectivamente. El gas de arrastre utilizado fue helio (grado 5.0), con flujo constante de 1,2 mL/min. Los índices de retención (IR) se calcularon teniendo en cuenta los tiempos de retención de una serie homóloga de patrones de hidrocarburos desde  $C_7$  hasta  $C_{24}$ , analizados por CG-EM bajo las mismas condiciones que los aceites esenciales.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los aceites esenciales de hojas de *Cavendishia compacta* y *Cavendishia guatapeensis* se obtuvieron con un rendimiento de 0,27% y 0,30%, respectivamente. La identificación de los componentes presentes en cada uno de ellos se realizó comparando los índices de retención, los espectros de masas y los datos reportados en la literatura (Adams, 1995). Se determinó la presencia de monoterpenos y sesquiterpenos, los cuales constituyen cerca de 77% y 73%, respectivamente, de la composición relativa total de los aceites. En la Tabla 1 se presentan los compuestos identificados por comparación con los índices de retención y la librería NIST 08; se reportaron los compuestos que por comparación presentaban más de 90% de coincidencia con el espectro de la librería; también se presentan las cantidades relativas que corresponden al porcentaje de abundancia de cada componente dentro del aceite esencial.

Los aceites esenciales de hojas de *Cavendishia compacta* y *Cavendishia guatapeensis* se obtuvieron como un líquido transparente. Al determinar los componentes del aceite esencial de la *Cavendishia compacta* se observa que 77% de la muestra está distribuida entre 22 compuestos, de los cuales 17 compuestos principales son de tipo sesquiterpeno y 5 compuestos de tipo monoterpeno. Los cinco compuestos presentes en mayor porcentaje son

**Tabla 1.** Composición química de los aceites esenciales de *Cavendishia compacta* y *Cavendishia guatapeensis* obtenidos en la columna RTX-5.

No. Señal	IR cal	IR Ref	Nombre	*	% Área	% Área
					C. compacta	C. guatapeensis
1	1001	1001	(+)-2-Careno	M	-	1,47
2	1030	1031	D-Limoneno	M	0,55	0,87
3	1193	1193	Ácido butanoico, 4 hexen-1-il- ester	M	2,03	-
4	1242	1243	cis-3-hexenil-alfa-metil butirato	M	1,16	-
5	1319	1309	(-)-trans-Pinocarvil acetato	M	0,87	1,47
6	1340	1339	delta-elemeno	S	0,87	-
7	1361	1351	alfa-Cubebeno	S	4,65	-
8	1382	1376	Copaeno	S	11,04	4,96
9	1388	1381	(-)-cis-Mirtanil acetato	M	2,32	3,30
10	1389	1384	Beta-Bourboneno	S	0,87	1,83
11	1393	1393	Longipineno	S	2,03	-
12	1403	1402	Longifoleno	S	0,87	0,73
13	1409	1403	Isocomeno	S	-	0,55
14	1418	1418	Cariofileno	S	18,02	16,54
15	1425	1420	alfa-santaleno	S	1,45	-
16	1429	1436	trans-alfa-Bergamoteno	S	-	0,55
17	1443	1454	alfa-Humuleno	S	3,48	2,75
18	1449	1440	Humuleno-(v1)	S	-	3,86
19	1469	1480	Germacreno D	S	5,23	1,28
20	1473	-	Limoneno-6-ol, pivalato	S	-	0,91
21	1480	1488	(Z,E)-alfa-Farneseno	S	4,36	16,36
22	1499	1511	delta-Cadineno	S	5,23	1,47
23	1540	1533	trans-Z-alfa Bisaboleno epóxido	S	1,16	-
24	1542	1534	Nerolidol, acetato	S	-	7,16
25	1544	1534	+/--trans-Nerolidol	S	3,77	-
26	1582	1583	(-)-Globulol	S	-	3,30
27	1583	1590	Viridiflorol	S	4,65	-
28	1603	1618	Ledol	S	0,58	0,73
29	1628	1640	alfa-Cadinol	S	1,45	-
30	1650	1652	Selina-6-en-4-ol	S	-	1,28
31	1752	1763	Lanceol, cis	S	-	1,47

**IR cal:** Índice de retención calculado; **IR Ref:** Índice de retención de referencia. Columna DB5; \* **M:** Monoterpeno, **S:** Sesquiterpeno. **% Área:** Porcentaje relativo en el aceite esencial.

**Fuente:** elaboración propia.

sesquiterpenos, de los cuales se destacan: cariofileno (18,02%), copaeno (11,04%), germacreno-D (5,23%), cadineno (5,23%) y viridiflorol (4,65%).

En cuanto al aceite esencial de hojas de *Cavendishia guatapeensis*, se observó que 73% de la

muestra está distribuida entre 21 compuestos de los cuales 17 compuestos principales son de tipo sesquiterpeno y 4 compuestos son de tipo monoterpeno. Los compuestos encontrados en mayor porcentaje corresponden a sesquiterpenos como

cariofileno (16,54%),  $\alpha$ -farneseno (16,36%), acetato de nerolidol (7,16%), copaeno (4,96%) y humuleno (3,86%).

Al comparar los componentes encontrados en cada una de las especies analizadas se hallaron 12 compuestos en común del tipo monoterpeno y sesquiterpeno. De acuerdo con lo anterior, el aceite esencial de la *Cavendishia compacta* y el aceite esencial de la *Cavendishia guatapeensis* presentan gran similitud cualitativa con respecto a la composición química, lo que puede ser característico ya que ambas especies pertenecen a la familia Ericaceae.

Con relación a los componentes mayoritarios de los aceites esenciales, se encontró que el cariofileno coincide como compuesto mayoritario para la *Cavendishia compacta* y la *Cavendishia guatapeensis*. Al comparar la proporción de los componentes mayoritarios ya mencionados de los aceites esenciales de las especies analizadas en este trabajo con los reportados en otros estudios de especies de la familia Ericaceae, se encontró que en el género *Rhododendron* aparecen como compuestos comunes el cariofileno y el humuleno; así mismo los compuestos del tipo monoterpeno y sesquiterpeno son los principales componentes de los aceites esenciales de las especies examinadas pertenecientes a este género (Doss, Hatheway, & Hrutfiord, 1986). De igual manera, para las especies *Bejaria resinosa*, *Arctostaphylos uva-ursi* y *Vaccinium vitis-idaea* de la familia Ericaceae se encuentran como compuestos comunes el cariofileno,  $\alpha$ -farneseno, humuleno y además un porcentaje de sesquiterpenos muy cercano entre ellos (Radulovic et al., 2010, (Matulevich, 2013).

## CONCLUSIONES

Del aceite esencial obtenido por arrastre de vapor a partir de las hojas de las especies *Cavendishia compacta* y *Cavendishia guatapeensis* cultivadas en la región de La Sierra, Santander, Colombia, se identificó como principal constituyente volátil el sesquiterpeno conocido como cariofileno, con

una concentración relativa de 18,02% y 16,54%, respectivamente.

El análisis comparativo de la composición química de los aceites esenciales obtenidos a partir de hojas de *Cavendishia compacta* y *Cavendishia guatapeensis* permitió identificar 31 componentes, de los cuales 12 constituyen compuestos en común para las dos especies, por lo cual se pueden sugerir estos compuestos como posibles marcadores quimi-taxonómicos para el género *Cavendishia*.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

## REFERENCIAS

- Adams, R. (1995). *Identification of essential oil components by gas chromatography / mass spectroscopy*. USA: Allured Publishing Corporation.
- Babushok, V., & Zenkevich, I. (2009). Retention Indices for most frequently reported essential oil compounds in GC. *Chromatographia*, 69, 257-269.
- Canna, F. (2009). *Los Terpenos*. Recuperado el 18 de abril de 2014, de: <http://www.fundacion-canna.es/los-terpenos>
- Díaz, I. (2009). *Terpenos*. Recuperado el 29 de abril de 2014, de: [www.nbmñ.ñ-çÑ.com](http://www.nbmñ.ñ-çÑ.com)
- Doss, R. P., Hatheway, W. H., & Hrutfiord, B. F. (1986). Composition of essential oils of some lipidote Rhododendrons. *ScienceDirect*, 1637-1640.
- Equateq (2011). *EQUATEQ: Salud y bienestar. Gaultheria*. Recuperado el 10 de abril de 2014, de: <http://www.equateq.com/gaulteria-artritis-a04057960.htm>
- Garden, T. N. (1925). *Taxonomy Details*. Recuperado el 20 de abril de 2014, de: <http://sweetgum.nybg.org/ericaceae/taxon.php?irn=111523>
- Garden, T. N. (2014). *Taxonomy Details*. Recuperado el 20 de abril de 2014, de: <http://sweetgum.nybg.org/ericaceae/taxon.php?irn=111474>
- Goodner, K. (2008). Practical retention index models of OV-101, DB-1, DB-5, and DB-Wax for flavor and

- fragrance compounds. *LWT—Food Science and Technology*, 41, 951-958.
- Luteyn, J. (1995). *Ericaceae*. *New York: Organization for Flora Neotropica*. New York: New York Botanical Garden.
- Luteyn, J. L. (1983). *Ericaceae Part I-Cavendishia*. *Flora Neotropica*.
- Luteyn, J. L. (1995). *Taxonomy Details*. Recuperado el 20 de abril de 2014, de: *Ericaceae. Cavendishia compacta*. A. C. Sm.: <http://sweetgum.nybg.org/ericaceae/taxon.php?irn=111474>
- Luteyn, J. L. (1995). *Taxonomy Details*. Recuperado el 20 de abril de 2014, de: *Ericaceae. Cavendishia guatapeensis* Mansf.: <http://sweetgum.nybg.org/ericaceae/taxon.php?irn=111523>
- Matulevich, J. A. (2013). *Composición química del aceite esencial de las hojas de Bejaria resinosa (Ericaceae)*. Bogotá.
- Radulovic, N., Blagojevic, P., & Palic, R. (2010). Comparative study of the leaf volatiles of *Arctostaphylos uva-ursi* (L) Spreng and *Vaccinium vitis-idaea* L. (Ericaceae). *Molecules*(15), 6168-6185.
- Salinas, N., y Betancur, J. (2005). *Las ericáceas de la vertiente pacífica de Nariño, Colombia*. Bogotá.
- SENA, y Agricultores, F. (2005). *Aceites Esenciales y Plantas*. Recuperado el 15 de abril de 2014, de: [http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21\\_1/alephe/www\\_f\\_spa/icon/17028/index.html#](http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa/icon/17028/index.html#)







## Un enfoque de buenas prácticas de gobierno corporativo de TI

### Model for implementation of IT corporate governance

Torcoroma Velásquez Pérez<sup>1</sup>, Andrés Mauricio Puentes Velásquez<sup>2</sup>,  
Yesica María Pérez Pérez<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 2 de octubre de 2014

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

**Cómo citar:** Velásquez Pérez, T., Puentes Velásquez, A. M., & Pérez Pérez, Y. M. (2015). Un enfoque de buenas prácticas de gobierno corporativo de TI. *Revista Tecnura*, 19, 159-169. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a14

#### Resumen

Teniendo en cuenta las buenas prácticas, este trabajo plantea un marco conceptual de gobierno de Tecnología de la Información, en donde se estructura la organización en cuatro niveles: Nivel de los procesos de la empresa, sistemas de información integrado, sistemas de apoyo y nivel de tecnología de la información y comunicación, se incorporan los dominios de control de COBIT 4.1 y se evalúan de los niveles de madurez CMMI. Se diseña e implementa una guía para establecer los lineamientos de gobernanza de tecnología de la información, con la aplicación de esta guía se inicia el proceso de validación con los proyectos del laboratorio de auditoría desde el año 2012 en diferentes sectores productivos de la región de Ocaña y zonas aledañas. A través de la aplicación y evaluación del modelo se desarrollan propuestas para las empresas donde se incorporan estándares como COBIT 5.0, e ISO/IEC 38500. Para este trabajo se utilizó una metodología descriptiva, la cual permite identificar el modelo presentado.

**Palabras clave:** CMMI, COBIT 5.0, Gobierno de TI, ISO/IEC 38500

#### Abstract

In accord with the good practices, this paper presents a conceptual framework for IT Governance, where four levels of the organization: TICs, support applications, architecture / IT and business model are structured, incorporating domains of COBIT 4.1 and CMMI for evaluating maturity levels. Implementation guidance is designed to establish criteria for applying IT Governance framework and its validation starts from the year 2012 in different productive sectors of the province of Ocaña and its hinterland. Through the implementation and evaluation of the proposed model for companies where standards like COBIT 5.0 and ISO / IEC 38500 are incorporated. For this work, a descriptive methodology is used to identify the presented models.

**Keywords:** CMMI, COBIT 5.0, IT Governance, ISO/IEC 38500

<sup>1</sup> Ingeniera de sistemas, especialista en ingeniería de software; magister en ciencias computacionales; doctorado en educación (c). Grupo de investigación de tecnología y desarrollo en ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ocaña, Colombia, [tvelasquezp@ufps.edu.co](mailto:tvelasquezp@ufps.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero de sistemas, especialista en docencia universitaria; magister en ingeniería de sistemas y computación (c). Grupo de investigación de tecnología y desarrollo en ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ocaña, Colombia. [ampuentesv@ufps.edu.co](mailto:ampuentesv@ufps.edu.co)

<sup>3</sup> Ingeniera de sistemas, especialista en auditoría de sistemas; magister en dirección estratégica (c). Grupo de investigación de tecnología y desarrollo en ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ocaña, Colombia. [ymperezp@ufps.edu.co](mailto:ymperezp@ufps.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

En lo que respecta a tecnologías de la información las organizaciones deben tomar cinco tipos de decisiones correspondientes a 111 principios de TI: a) arquitectura de las TI, b) infraestructura de TI, c) aplicaciones de negocio, d) priorización y e) inversiones en TI (Weill, 2003). Según la RAE, *gobernanza* es definido como el arte o la manera de gobernar (Real Academia Española, 2001). La *gobernanza* corporativo busca a través de la monitorización del desempeño y la definición de estructuras asegurar el cumplimiento de los propósitos misionales (Garbarino, 2010); no se ve muy claro a nivel internacional un modelo unificado de *gobernanza* empresarial, diferentes esquemas establecen una junta supervisora que se responsabiliza de proteger los derechos de todas las partes interesadas; el equipo directivo, como agente de la junta, articula estrategias y conductas deseables a fin de cumplir los mandatos de la junta. Debe existir un marco de trabajo común en el cual la corporación debe estar unida y alineada con el gobierno de TI; el equipo directivo, como agente de la junta, articula estrategias y conductas deseables a fin de cumplir los mandatos de la junta. Cada empresa tiene su propia cultura o conducta organizacional, éstas hacen referencia no a estrategias, sino a la generación de valores institucionales.

Son seis activos (Garbarino, 2010), mediante los cuales las empresas pueden alcanzar sus objetivos y al mismo tiempo logran valor empresarial, los equipos directivos crean las directrices que permiten controlar y usar estos activos. Se incluyen como elementos clave de cada activo: a) activos humanos como personas, habilidades, trayectoria profesional, entrenamiento, presentación de informes, aptitud, tutoría, etc.;, b) activos financieros como dinero, inversiones, obligaciones financieras, flujo de dinero, entradas, etc., c) edificios, fábricas, equipamiento, mantenimiento, seguridad, utilización, etc.;, que corresponden a activos físicos; d) los activos de propiedad intelectual- PI- incluyen productos, servicios y procesos de saber cómo

formalmente patentados, registrados o incluidos en el personal o la tecnología de la empresa; e) en los activos de información de TI se encuentra la información digitalizada, información y conocimiento sobre los clientes, desempeño de procesos, finanzas, sistemas informáticos, etc; f) los activos incluyen el relacionamiento dentro de la empresa, con la marca, y la reputación entre los clientes, proveedores, unidades empresariales, reguladores, competidores, canal de socios, etc.

La definición de *gobernanza* se remonta a los años 90, el término fue utilizado para hacer referencia a la gestión de forma igualitaria, transparente, honesta, responsable y eficiente intentando un nuevo estilo de *gobernanza* de la administración pública, (Jhonson I, 1997). La Real Academia Española define de dos maneras el término *gobernanza*; por una parte, como la manera de gobernar para que éste genere desarrollo duradero en términos económicos, sociales o institucionales, generando un equilibrio sano entre el gobierno, la sociedad y la economía; y por otra parte, como la acción de gobernarse (Real Academia Española, 2001). El gobierno corporativo para la CAF (Corporación Andina de Fomento), es un conjunto de prácticas, que gobiernan las relaciones entre los administradores y todos los recursos en la empresa, incluidos principalmente accionistas y acreedores. Para el IFC (International Finance Corporation), la *gobernanza* empresarial identifica las estructuras y los procesos para una adecuada dirección y control en las organizaciones, contribuyendo a la generación de valor y a su desarrollo sostenible, al mejorar su performance y su acceso a las fuentes de capital, mientras que el *IT Governance Institute* lo define como las responsabilidades y prácticas que ejerce el consejo y la dirección ejecutiva de la empresa, con el propósito de proporcionar direccionamiento estratégico, asegurando el cumplimiento de los propósitos institucionales, la gestión de riesgos y de recursos (ISACA, 2012).

Según (Garbarino, 2010), la *gobernanza* corporativa está formada por las reglas, explícitas que llevan a una gestión transparente del negocio,

favoreciendo las relaciones entre los distintos actores intervinientes, mejorando las oportunidades de crecimiento y captación de capital para el logro de las metas estratégicas corporativas. El comité directivo de la empresa y el comité ejecutivo de TI (ISACA, 2012) son los responsables de la *gobernanza* de la tecnología de la información, la *gobernanza* debe incluir el liderazgo, debe verificar que las estructuras organizacionales y los procesos de la organización de TI sostengan y extiendan el direccionamiento estratégico de la empresa.

Diversas organizaciones empiezan a utilizar el concepto entre ellas el Banco Mundial, quien define la *gobernanza* como la forma de poder, que se ejerce en la gestión de los recursos sociales y económicos del país. Se hace una clara distinción entre las dimensiones políticas y económicas de la gobernabilidad (Jhonson I, 1997). El Doctor José Manuel Ballester Fernández miembro de ISACA define el gobierno corporativo de TIC las funciones de la junta directiva y la administración ejecutiva que definen una serie de responsabilidades y de prácticas para proveer direccionamiento estratégico.

Para que exista *gobernanza* de TI, debe existir *gobernanza* corporativa, la cual define unas estructuras y supervisar el rendimiento a fin de asegurar que los objetivos se cumplan (ECONOMICO OECD, 2004), La *gobernanza* de las TIC incluye la especificación del conjunto de derechos facilitando la toma de decisiones y favorece una buena práctica que apoye el uso de las TIC. La *gobernanza* de la seguridad de la información y tecnologías afines, establece una estructura que proporciona garantía para que las buenas prácticas asociadas a la seguridad de la información sean aplicadas correctamente, conformes con la ley y las regulaciones aplicables (ISACA, 2012).

Para Gartner Group la gobernabilidad de TI corresponde a las responsabilidades de decisión que se indican para generar un comportamiento empresarial del manejo de la tecnología (Weill, 2003), para (Dunod, 2006) las tecnologías dentro de la empresa son un recurso estratégico. *Gobernanza*

de TI implica que la organización utilice al máximo sus recursos, maximizando sus beneficios a través de unos lineamientos claros y definidos lo que origina un mejor posicionamiento. Existen diferencias entre los términos gobernabilidad de TI y administración de tecnología; la gobernabilidad de TI hace referencia a “los derechos de decisión y a quién se asigna la responsabilidad de las decisiones”, mientras que la administración de TI se refiere a “la implementación de las decisiones específicas sobre TI” (Weill, 2003).

## METODOLOGIA

En el Grupo de investigación de tecnología y desarrollo en ingeniería (GITYD), Desde la línea de investigación de gobierno de TI, se han desarrollado proyectos encaminados al establecimiento de políticas internacionales en las organizaciones desde la aplicación y evaluación de un marco conceptual de gobierno de TI y su guía de implementación, desarrollado con el aporte de los trabajos de la especialización en auditoria de sistemas.

### Diseño de un modelo de gobierno de TI

Tomando los dominios de COBIT, los niveles de madurez de CMMI, se crea un marco conceptual de gobierno de TI, identificando cuatro niveles dentro de las organizaciones el nivel 1 de las TIC, el nivel 2 de sistemas de apoyo, el nivel 3 de sistemas integrados y el nivel 4 modelo de negocio; en los niveles se integran los dominios de COBIT teniendo presente en cada uno de ellos la seguridad de la información. Se aplica el modelo para el establecimiento de los criterios de gobierno de TI en las empresas Colombianas (Velasquez, 2010) .

Tomando los objetivos de control de COBIT y la evaluación de los niveles de madurez, se plantea el Marco conceptual de Gobernabilidad de TI (Velasquez, 2010). Los componentes comprenden procesos de modelado de negocios, arquitectura de SI, aplicativos de apoyo y tecnologías de información y comunicación (Ver figura 1),



**Figura 1.** Marco conceptual de gobernabilidad

**Fuente:** (Velasquez, 2010).

En el Nivel 4 o mayor nivel se encuentra la estructura de la organización, donde se definen los lineamientos estratégicos de la empresa determinando las directrices a seguir. Acá es importante el modelamiento del negocio, definir su cadena de valor, modelar sus procesos principales y sus subprocesos definiendo en ellos su normativa, que objetivos ayuda a cumplir, que elementos requiere y se genera del proceso; quien ejecuta, quien apoya y quien supervisa. Se define modelo de objetivos, modelo de actores, estableciendo su estructura orgánica general y la estructura de TI. Para este nivel se incorporan elementos asociados como la correcta administración y gestión de proyectos con los criterios de PMI teniendo presente los recursos, tiempo y costes, servicios, terceros, así como el control interno y también el cumplimiento regulatorio.

En el Nivel 3 o siguiente nivel, se incluye lo correspondiente a la *Arquitectura tecnológica*, en este nivel es importante conocer cuál es la tecnología asociada en la organización que apoya la cadena de valor, se tienen en cuenta los sistemas informáticos integrados. Se debe revisar cada proceso, tanto principal como de apoyo y describir cuales son los sistemas de información que integran el movimiento de la empresa incorporando lo transaccional, la toma de decisiones o los sistemas estratégicos de la organización. Es importante

conocer dentro de la empresa cual es la arquitectura tecnológica presente como se integran y convergen los sistemas de información y que procesos apoya dentro del direccionamiento estratégico de la empresa. Para este nivel se incluyen los objetivos de control planear y organizar, adquirir e instrumentar, entregar y dar soporte y monitorear y evaluar.

En el Nivel 2 o correspondiente a los *aplicativos de apoyo* se incorporan los elementos que sirven de estructura a los sistemas de información integrado permitiendo su funcionamiento entre ellos tenemos los SGBD los sistemas de gestión de bases de datos, y otras herramientas como los lenguajes de marcado de hipertexto XML o los SGWF entre otros. Incluye los objetivos de control adquirir e instrumentar para facilitar la operación y el uso, administrar cambios e instalar y acreditar soluciones y cambios. En entregar y dar soporte se incluye la revisión de la integridad de la configuración, la administración de la información, permitiendo garantizar la continuidad del servicio y de los sistemas entre otros.

El primer nivel o Nivel 1 de *Tecnología de información y comunicación (TIC)* incluye todos los elementos tecnológicos presentes en la institución, incluida su estructura, funcionalidad y la distribución gráfica. Todos estos componentes son importantes porque en ellos que genera toda la comunicación que mantiene y soporta la arquitectura tecnológica. Incluye los objetivos de control adquirir e instrumentar (infraestructura tecnológica y recursos de TI); entregar y dar soporte donde se debe garantizar la continuidad del servicio y la seguridad de los sistemas y la Administración del ambiente físico. Se definen como variables para el marco conceptual (Velásquez T, 2010) los objetivos planteados en COBIT como son: (PO) Planificar y organizar, (ME) monitorear y evaluar, (DS) entregar y dar soporte, y (AI) adquirir e instrumentar; en la tabla se relacionan los objetivo de control identificando en cada nivel. (Ver tabla 1)

En las empresas se tiene la necesidad de entender el estado de la TI existente y de decidir el

**Tabla 1.** Relación variables en cada nivel.

RELACION VARIABLE/NIVEL				
	TIC	Aplicativo de apoyo	Arquitectura tecnológica	Proceso de negocio
NIVEL	PO		I	I
	AI	I	I	
	DS	I	I	I
	ME			I

**Fuente:** Los autores

nivel de administración que se debe proporcionar, para saber dónde se encuentra actualmente y si se requieren mejoras, haciendo monitorización continua al proceso. El marco propone una evaluación por cada componente (TIC, aplicativos de apoyo, arquitectura SI/TI y modelado de negocio), en cada uno de ellos se debe medir los objetivos de control presentes; asignándole un grado de madurez en cada nivel.

El nivel o grado de madurez muestra una estructura que permite comparar el nivel de desarrollo, para establecer la capacidad de administración de proyectos en una empresa o negocio; este consiste en el proceso que explica el camino que debe emprender la empresa para alcanzar la excelencia. El modelo de madurez permite reconocer en dónde está en determinado momento la empresa y como puede alinear los procesos tecnológicos con el direccionamiento estratégico de la organización. Son modelos de seguridad informática (ACIS, VIII) NIST-CSEAT, CITI-ISEM, COBIT Maturity Model, ISM3, SSE-CMM, CERT-CSO. El ISM3 Information Security Management Maturity Model, el modelo NIST-CSEAT: National Institute of Standards and Technology-Computer Security Expert Assist Team que incluye cinco niveles de madurez progresiva como política, procedimiento, implantación, prueba e integración.

El modelo NIST-CSEAT evalúa políticas, procedimientos, implementación, evaluación e Integración. Incluye aspectos como manejo y cultura, planes, entrenamiento y educación, presupuesto y recursos, manejo de ciclo de vida, responsabilidad

en incidentes y emergencias, controles de seguridad operacional, seguridad física y controles de seguridad de TI. En los niveles de madurez de COBIT, va desde el nivel inexistente hasta el nivel optimizado; en el nivel inicial puede la empresa haber reconocido las necesidades de estructurar los procesos, pero no existen estándares, ni proceso formal, se manejan enfoques ad-hoc que generalmente se realizan de forma individual, presentándose gestión desordenada. En el nivel repetible el proceso se encuentra suficientemente desarrollado y varias personas ejecutan casi los mismos procedimientos, aunque carece de un entrenamiento formal y comunicación en los procedimientos siendo esto responsabilidad individual; el mayor problema radica en la dependencia del individuo (trabajador) existiendo una considerable probabilidad de error considerable. En el nivel definido, ya encontramos procesos estandarizados, documentados, bien difundidos a través de entrenamiento formal, el problema radica en el criterio para su adopción. En el siguiente nivel de madurez el gestionado, se pueden tomar decisiones ya que se monitorea y mide la aplicación de los procedimientos, se presenta mejora continua, los procesos se realizan de forma automática. En el nivel de madurez optimizado, o nivel de mejores prácticas, el proceso se basa en la mejora continua, las tecnologías se usan de forma integral, se incluyen herramientas que mejoran la calidad y efectividad, permitiendo aumentar la capacidad de adaptación de la organización y por ende la alineación de las tecnologías con las estructuras organizacionales.

## IMPLEMENTACIÓN

Aunque diversos tipos de asociaciones en el país vienen promocionando las buenas prácticas en las organizaciones, específicamente el término de gobernabilidad de TI no es muy conocido, especialmente en la zona de influencia de la universidad. El trabajo desarrollado como estándar de gobernabilidad de TI pretende llegar a ser un modelo que permita ser una guía para adoptar buenas prácticas en la región; para aplicar esta propuesta de sectorizar las empresas de la región estableciéndose los sectores Educación, Instituciones Financieras, Salud, Comunicaciones, Transporte, Penitenciario y Ambiental como los más representativos de la región.

Para la guía de aplicación (Velasquez & Puentes, 2011) se definen una serie de etapas, donde se inicia con la identificación del esquema conceptual de *gobernanza* de TI, el modelamiento de la organización, el uso de instrumentos de acuerdo con los escenarios y en forma evolutiva se aplican instrumentos, se hace un diagnóstico para evaluar de los niveles de madurez, las recomendaciones para avanzar y se inicia un nuevo ciclo con la aplicación de instrumentos, haciendo una clasificación por tipo de empresas; esto permitió validar y refinar el modelo refinándolo por cada tipo.

En el reconocimiento del marco conceptual de gobernabilidad, se debe socializar adecuadamente dentro del personal que conforma el equipo de trabajo el objetivo del trabajo por desarrollar, así como la conceptualización del marco conceptual, la definición de los niveles y de las variables definidas. En el Reconocimiento de la organización se incluye su organigrama, sus objetivos misionales, la misión y visión, para el modelamiento de los procesos se recomienda el método del modelado del negocio BMM, donde se modelan los procesos principales, los subprocesos y los procesos de apoyo. Es importante una revisión de la estructura tecnológica y los perfiles del área tecnológica más acordes para la organización, pero que respondan

a las buenas prácticas. Incluyendo ejecutivo del negocio, director de información, jefe de operaciones, arquitecto en jefe, jefe de desarrollo, jefe de administración de tecnología; para la administración y gestión de proyectos es importante la instalación de una oficina para la administración de proyectos (PMO).

En el diseño de instrumentos es importante definir cuáles son las variables por evaluar así como los escenarios en donde se va a realizar el respectivo estudio. Para evaluar la madurez en los respectivos niveles se tiene en cuenta la tabla de valores y significados de cada uno de ellos dentro del modelo de madurez, referenciado en COBIT 4.0 con los valores entre 0 y 5 que contempla desde no existe hasta optimizado. Se diseñan las tablas en donde se encuentran los indicadores de cada uno de los niveles del marco conceptual de gobernabilidad TI, desde el nivel 1 TIC hasta el nivel 4 o del modelo del negocio. Se hacen las entrevistas al personal encargado, posteriormente se valida la información mediante la comprobación de la misma.

Con una población objetivo, se seleccionó la muestra, entrevistando al personal que maneja cada uno de los niveles pertenecientes al modelo de gobernabilidad TI, y la valorización que hace el evaluador, se compara con la observación de documentación existente y procesos mecánicos que se lleven a cabo dentro de la empresa, teniendo como referencia la tabla de valores y significados de cada uno de ellos dentro del modelo de madurez, referenciado en COBIT 4.0.

Los resultados obtenidos corresponden a lo observable, si existen diferencias entre lo entrevistado y lo observado se hace una retroalimentación con el personal para explicar algunos conceptos en los que no hay claridad. Se toma cada nivel y se promedia, para establecer la madurez promedio en cada nivel del marco conceptual de Gobernabilidad de TI; dicho resultado sirve de insumo para establecer los lineamientos para avanzar en el nivel de madurez de forma escalada.

## RESULTADOS

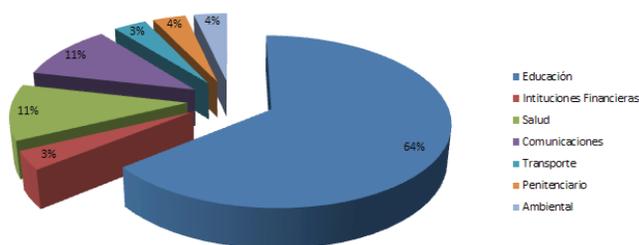
Desde el año 2012 se han venido implementando este marco de gobierno a través de los proyectos realizados en el laboratorio de auditoría con cuatro cohortes de la especialización en auditoría de sistemas, que han tenido aplicación en los departamentos de Norte de Santander y sur del Cesar. Se sectorizaron los tipos de empresa de la región (ver la figura 2). En el sector educación se han realizado trabajos en empresas del sector educativo presentándose trabajos como la evaluación del nivel de madurez, políticas de seguridad de la información, diseño de modelos de gestión de riesgos, diseño de planes estratégicos, guías de control interno y manuales de gestión de continuidad del negocio.

En Instituciones Financieras se hizo un trabajo en la empresa CREDISERVIR con el diseño de una guía de implementación para conformar el área de auditoría de sistemas. En el sector salud se creó una propuesta de un plan de gestión de residuos eléctricos y electrónicos en el Hospital Emiro Quintero Cañizares Ocaña.

El diseño de plan estratégico para la tecnología de la información, se ha realizado en el

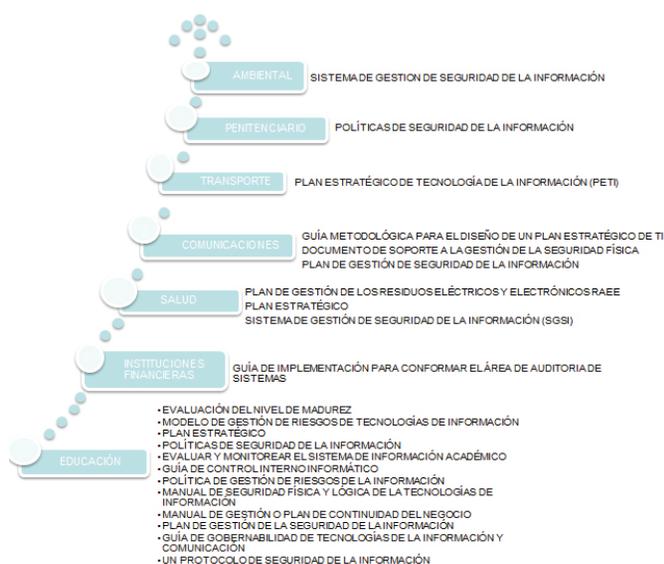
sector comunicaciones con empresas como TM-TEK S.A.S, en empresas del sector educativo como la universidad e instituciones educativas, en el sector transporte en la empresa cooperativa de transporte COOTRANS-HACARITAMA Ltda, y en el sector salud en Vital Medical Care S.A.S.

Los trabajos de diseño de políticas de seguridad de la información, se han propuesto en diferentes sectores como son en las empresas INGEPEC Ltda; en el establecimiento penitenciario y carcelario de Aguachica, en la empresa Corporación Autónoma de la Frontera Nororiental Territorial Ocaña y en el E.S.E. Hospital local de Rio de Oro, Cesar.



**Figura 2.** Sectores empresariales en donde se han desarrollado proyectos.

**Fuente:** Los Autores



**Figura 3.** Proyectos desarrollados por sectores empresariales

**Fuente:** Los Autores

## Desarrollos actuales

La investigación sobre el gobierno corporativo está tomando varias direcciones, avanzando en forma vertiginosa como se aprecia en (Morten, 2005) y en (Verdun & Rubio, 2012) con las propuestas de procesos integrados de gobernanza y gestión de TI. En la (CRUE) conferencia de rectores de las universidades españolas, se promueve el diseño e implementación de un esquema de *gobernanza* de TI. En el artículo (Fernández, 2011) se presenta el trabajo efectuado por los investigadores, en donde analizaron las experiencias existentes en implantación de gobierno de las TI en universidades, establecieron la situación de partida del gobierno de las TI a nivel internacional y en el SUE, y diseñaron y validaron un modelo de referencia de gobierno de las TI para Universidades (MGTIU).

El marco de *Gobernanza* corporativo busca lograr los propósitos de la empresa, clasificándose en cuatro categorías; a nivel alto se tiene la estrategia alineados con la misión de la empresa; y vinculados al uso eficaz y eficiente de los recursos las operaciones; los objetivos de fiabilidad de la información suministrada y con el cumplimiento de leyes y normatividad aplicable. El marco de gobierno corporativo incorpora ocho elementos, derivados de la dirección de la organización y su integración con el proceso de gestión (Fernández, 2011).

Como modelos, estándares o buenas prácticas se encuentran hoy en día COBIT 5, ISO/IEC 38500, e ITIL. COBIT 5 es general y se puede adaptar en todo tipo de empresas, desde el sector comercial, productivo, con o sin ánimo de lucro, empresas públicas o privadas. Está basado en cinco elementos claves para el gobierno y la gestión de las tecnologías empresariales. El principio uno tiene que ver con la satisfacción de las necesidades de las partes interesadas; el principio dos cubre a la organización extremo a extremo; el principio tres ubica un marco de referencia integrado único; el principio cuatro revisa el enfoque holístico; y el principio cinco separa la *gobernanza* de la gestión (ISACA, 2012). La versión 5 de COBIT, permite que las tecnologías sean gobernadas y gestionadas por toda la organización de forma holística, cubre a la empresa completa de inicio a fin, incluye áreas funcionales que involucran responsabilidad de tecnología de la información, se considera los intereses relacionados con tecnología de los componentes interesados tanto internos como externos.

El objetivo de la norma ISO/IEC 38500 (ISO/IEC, 2008) es proporcionar un estándar para que los directores evalúen, dirijan y monitoreen el manejo de la tecnología de la información (TI) en sus organizaciones. El marco para el buen gobierno corporativo de las TI establece 6 principios, aplicables a la mayoría de las organizaciones. Los principios son

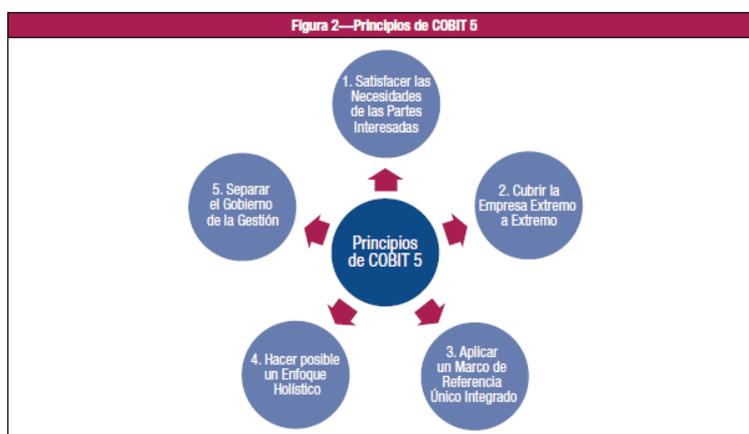


Figura 4: Principios de COBIT 5

responsabilidad, en donde los individuos y grupos de la empresa deben comprender y aceptar las responsabilidades relacionadas con la oferta y la demanda de TI; en la estrategia se consideran planes estratégicos y tácticos de tecnología de la información, para satisfacer las necesidades tanto actuales como futuras que se generan de la estrategia de negocio.

La biblioteca de Infraestructura de TI-ITIL o framework de las mejores prácticas para el desarrollo, la gestión de servicios y operaciones relacionadas con TI. La versión 3 de ITIL apoya el alineamiento e integración de la tecnología de la información con la organización, se establece en esta versión un marco de procesos, de roles y las funciones necesarias para una correcta ejecución de TI, está basado en el concepto de ciclo de vida de servicios. ITIL está organizado en 5 fases que van desde la estrategia hasta la mejora continua. *Service strategy (SS)* representa y conceptualiza el conjunto de servicios, incluye la generación de la estrategia, la gestión financiera, la gestión de Portafolio de servicios y la gestión de la demanda. *Service design (SD)* diseña los servicios, teniendo presente los objetivos de utilidad y garantía, incluye las gestiones de catálogo de servicios, nivel de servicio, de la capacidad, de la disponibilidad y la continuidad del servicio de tecnología de la información.

*Service Transition (ST)* incluye la puesta en marcha en el ambiente de producción del servicio, incluye planificación y apoyo de transición, gestión del cambio, servicio activo y configuración, entrega y despliegue, validación del servicio y pruebas, evaluación y la gestión del conocimiento. Mejora continua del servicio (CSI) evalúa los servicios, incorpora procesos de mejora, medición de servicio y servicio de informes, identifica nuevas formas de mejorar la utilidad y la garantía.

### Modelo para la implementación de gobierno corporativo de TI

Se plantea un modelo para la implementación de gobierno corporativo de TI, se incorpora una

guía que tiene como objetivo apoyar a la institución en el uso eficiente, eficaz, y aceptable de las TI, equilibrando riesgos inherentes a los procesos y promoviendo las oportunidades originadas del uso de las tecnologías de la información se muestran los resultados desarrollados y los trabajos futuros planteados. se propone la incorporación de COBIT 5.0, planteando un modelo de guía para la implementación de gobierno corporativo de TI, en donde se recomienda que se utilice la estrategia Top – Down, en la que se inicia con acciones formativas de la alta gerencia, donde se promulgue las ventajas de un estándar de *gobernanza* de las TI en la empresa, proponiendo las acciones necesarias para que la iniciativa trascienda en cascada por cada dependencia de la empresa, facilitando la implementación del gobierno de TI. Para la creación del modelo para la implementación de gobierno corporativo de TI, se toma cada meta del negocio, identificando por cada una las metas de TI y sus respectivos objetivos de control.

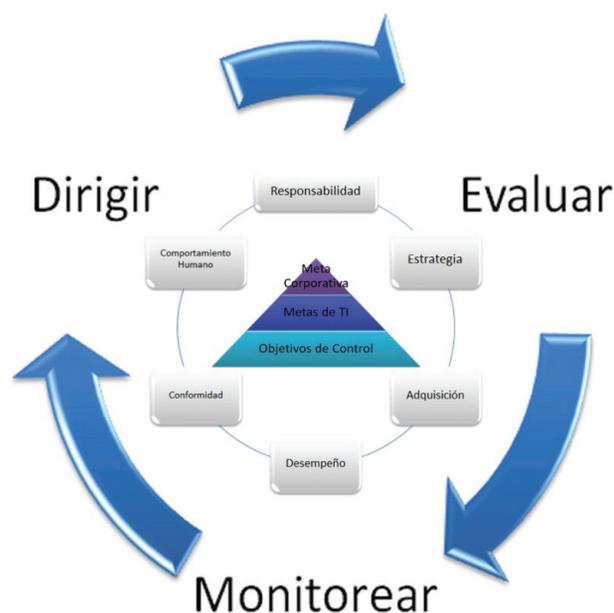


Figura 5: Modelo de Guía para la implementación de Gobierno Corporativo de TI

## CONCLUSIONES

Se tiene un modelo para el establecimiento de criterios de gobernabilidad de TI que tiene cuatro niveles en la organización TIC's, aplicativos de apoyo, arquitectura tecnológica y Modelo de la empresa, se incorporan COBIT 4.1 con sus los objetivos de control, teniendo presente en cada uno de ellos la seguridad y con los conceptos de CMMI se evalúan los niveles de madurez por cada dominio y por cada nivel establecido en la empresa.

Se empieza a validar el modelo aplicándolo en las zonas de Norte de Santander y Cesar, para lo cual se establecen los sectores más representativos y se crea una guía para implementar el modelo planteado que inicia desde el conocimiento del modelo, el reconocimiento incluido el modelado de procesos de la organización, el diseño y aplicación de instrumentos, su evaluación y se indica como escalar en los niveles de madurez propuestos. Con el aporte de los trabajos desarrollados en la especialización en auditoría de sistemas se evalúan diferentes tipos de empresas y se diseñan propuestas encaminadas al establecimiento de buenas prácticas en su gran mayoría seguridad de la información, planes estratégicos de TI, lineamientos para la conformación de áreas de auditoría para las empresas, manejo de residuos eléctricos y electrónicos, entre otros.

Se generan propuestas como modelos de gestión de riesgos y la incorporación de estándares como COBIT 5.0, e ISO/IEC 38500 para el diseño de modelo de guía para la implementación de gobierno corporativo de TI, para la incorporación de los principios de responsabilidad, estrategia, adquisición, desempeño, conformidad y comportamiento humano, dentro de los cuales se encuentran las metas corporativas de la organización, las metas de TI y los objetivos de control de COBIT 5.0, enmarcados bajo las tres tareas principales evaluar, dirigir y monitorear propuestas en ISO/IEC 38500 del modelo de gobierno corporativo de TI.

## FINANCIACION

El proyecto que permitió generar el actual artículo es financiado por la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Surge como resultado del proyecto de investigación "Establecimientos de TI para la Provincia de Ocaña y su Zona de Influencia", el cual está en curso.

## REFERENCIAS

- Agent Consulting Service. (2008). *ITIL Information Technology Infrastructure Library*.
- Alexander, A. (2007). *Diseño de un sistema de gestión de seguridad de información Óptica ISO 27001:2005*. Alfaomega.
- Dunod, F. (2006). *Management stratégique d'un système d'information*. IT Gouvernance. FRANCIA.
- ECONOMICO OECD. (2004). *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Principios de Gobierno Corporativo de la OCDE*. OECD Publications.
- Fernández, A. (2011). *Gobierno de TI en las Universidades Españolas*. Universidad de Almería.
- Garbarino, E. (2010). *Gobierno de TI, Organización, Administración, Gestión y Control de las TI un encuadre de PyMEs*. Universidad ORT.
- ISACA. (2006). *COBIT 4.0*. Tratto da [http://www.itgi.org/Template\\_ITGI.cfm?Section=ITGI&Template=/ContentManagement/ContentDisplay.cfm](http://www.itgi.org/Template_ITGI.cfm?Section=ITGI&Template=/ContentManagement/ContentDisplay.cfm)
- ISACA. (2012). *COBIT 5 Un marco de negocio para el gobierno y la gestión de la TI de la empresa*.
- ISO/IEC. (2008). *38500 Corporate governance of information technology*.
- ISO/IEC. (2008). *Corporate governance of information technology*. Canadian International Development.
- Morten, H. (2005). *Accountability and Creating Accountability: a Framework for Exploring Behavioural Perspectives of Corporate Governance* British Journal of Management.
- Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la lengua española*. Madrid, España.
- Velasquez, T. (2010). *Establecimiento de criterios de gobernabilidad de TI*. Merida, Venezuela.

Velasquez, T., & Puentes, A. M. (2011). La gobernabilidad, una estrategia para optimizar la administración de tecnología e información. Colombia.

Verdun, J., & Rubio, A. (2012). Modelo de Procesos Integrado de Gobernanza y Gestión de TI. Madrid, España: Universidad Politecnica de Madrid.

Weill, P. (2003). *Effective IT Governance by Design* Gartner Group. Tratto da [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=664612](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=664612)







## Tecnologías y sistemas de información como soporte al proceso de gestión del conocimiento

### Technology and information systems to support the process of knowledge management

Omaira Manzano Durán<sup>1</sup>, Yolanda González Castro<sup>2</sup>, Marta Milena Peñaranda Peñaranda<sup>3</sup>

**Fecha de recepción:** 2 de octubre de 2014

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

**Cómo citar:** Manzano Durán, O., González Castro, Y., & Peñaranda Peñaranda, M. M. (2015). Tecnologías y sistemas de información como soporte al proceso de gestión del conocimiento. *Revista Tecnura*, 19, 171-177. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a15

#### Resumen

La gestión del conocimiento en las empresas ha evolucionado con el uso de las tecnologías de la información y la comunicación. Por tal razón, este artículo presenta los resultados de una investigación cuantitativa no experimental de tipo transversal-descriptiva realizada en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander, Colombia, sobre la influencia que tienen las TIC en los procesos de gestión del conocimiento dentro de las organizaciones. Los resultados del análisis, demostraron el impacto de las TIC en los procesos de adquisición, distribución y memoria del conocimiento.

**Palabras claves:** análisis de varianza, conocimiento, empresas, gestión del conocimiento, tecnologías de la información.

#### Abstract

The knowledge management in the enterprises has evolved with the use of the information and communication technologies. For that reason, this article presents the results of a non-experimental quantitative investigation of type transversal-descriptive made in the city of Ocaña, Norte de Santander, Colombia, about the influence that have the TIC in the process of knowledge management inside of the organizations. The analysis results, show the impact of the TIC in the acquisition, distribution and memory of knowledge.

**Keywords:** analysis of variation, knowledge, enterprises, knowledge management, information technologies.

<sup>1</sup> Licenciada en matemáticas y física, magister en administración de empresas, candidata a doctor en Administration Management Specialization. Docente asistente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Ocaña, Colombia. Contacto: [omaira.manzano@unad.edu.co](mailto:omaira.manzano@unad.edu.co)

<sup>2</sup> Administradora de empresas, magister en recursos humanos y gestión del conocimiento, candidata a doctor en Administration Management Specialization. Docente asistente Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Pamplona, Colombia. Contacto: [yolanda.gonzalez@unad.edu.co](mailto:yolanda.gonzalez@unad.edu.co)

<sup>3</sup> Magister en administración de las organizaciones, contadora pública, especialista en finanzas, especialista en docencia universitaria. Docente auxiliar Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña, Colombia. Contacto: [mmpenarandap@ufps.edu.co](mailto:mmpenarandap@ufps.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

Existen dos tipos de conocimiento, el explícito y el tácito. El primero puede ser almacenado y distribuido porque posee una estructura mientras que el segundo hace parte de la experiencia de cada individuo, por lo tanto su almacenamiento y distribución se dificulta (Ruzafa, 2011). Al pasar de un tipo de conocimiento a otro se genera la gestión del conocimiento mediante procesos de socialización, exteriorización, combinación e interiorización (Fariñas, 2011).

Ahora bien, las teorías cognitivas estudian el efecto de las tecnologías de la información y comunicación en los procesos de creación, distribución, interpretación y almacenamiento del conocimiento (Nonaka & Teece, 2001). La mayoría de los trabajos de este enfoque afirman la existencia de un efecto positivo de las TIC en estos procesos de gestión del conocimiento (Bueno, 2000). En definitiva, tanto la evolución teórica del estudio de las TIC, como su aplicación indican una convergencia entre TIC y gestión del conocimiento (Pérez & Dressler, 2007).

En este artículo se presenta una revisión documental de la influencia de las TIC en la gestión del conocimiento (GC) y a su vez se realiza un análisis empírico en la ciudad de Ocaña Colombia para determinar la influencia de las TIC en los procesos de GC dentro de las empresas.

## METODOLOGÍA

El estudio se efectuó en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander, Colombia, mediante una investigación con enfoque cuantitativo no experimental de tipo transversal-descriptivo. La investigación no experimental es aquella que se hace sin manipular variables. El carácter transversal-descriptivo es porque se recolectan datos en un tiempo único (Hernández, Fernández & Baptista, 2006).

Se calculó la muestra con el uso de la fórmula para poblaciones finitas, con un error de estimación

del 7% y un nivel de confianza del 95%, arrojando un total de 134 empresas por encuestar, como se aprecia en la Tabla 1. El plan de muestreo restringido que se aplicó en la investigación es el muestreo aleatorio estratificado.

**Tabla 1.** Subsector económico al que pertenecen las empresas de la ciudad de Ocaña delimitadas para el estudio.

Categoría	Frecuencia
Actividades de fabricación alimentos y bebidas	15
Actividades de calzado	3
Actividades de maderas	5
Actividades de confecciones	7
Actividades de metalmecánica	7
Actividades de servicios	43
Actividades comerciales	54
TOTAL	134

**Fuente:** elaboración propia

Para valorar los procesos de gestión del conocimiento llevados a cabo por las organizaciones se abordaron cuatro variables dependientes: Adquisición, distribución, interpretación y memoria del conocimiento y una variable independiente TIC, acorde a una valoración de la inversión hecha en software, hardware y capacitación al personal para uso de las TIC. Adicionalmente se aplicó un instrumento de medición empleado en el trabajo de Pérez (2011).

En la primera fase de la investigación se hizo una revisión bibliográfica sobre la gestión del conocimiento y las TIC.

En la segunda fase se realizó el trabajo de campo, la recolección de la información se hizo a través de una encuesta al gerente o administrador de la empresa mediante un cuestionario tipo Likert.

La tercera fase de la investigación consistió en el análisis estadístico de la información empleando el software SPSS, para encontrar relación entre las variables.

Finalmente, con los resultados obtenidos se procedió a responder las preguntas de investigación y elaborar las conclusiones.

## RESULTADOS

### Resultado de la revisión teórica

Los procesos de competitividad involucran el uso adecuado de las tecnologías de la información y la comunicación en un entorno global. Se espera mediante esta relación crear valor y diferenciación para las organizaciones (Pérez, 2005).

Para completar esta relación se hace necesario diseñar sistemas de información que permitan tanto el almacenamiento como la distribución y recuperación de datos e información con facilidad y eficacia para la toma de decisiones (Canals, 2002). En tal sentido las TIC se convirtieron en un apoyo para las organizaciones y son las responsables en gran parte de la evolución organizacional, sostenibilidad y sustentabilidad en el tiempo a la vez que permiten la creación de redes y alianzas estratégicas para minimizar los costos y alcanzar resultados de forma rápida (Peña, 2006).

Como lo señala Behl (2013), la revolución de la información empieza a afectar la competencia en forma directa; hoy día no se puede concebir ninguna empresa de éxito sin el uso de las TIC. Además, a partir de teoría de los sistemas y la teoría de la complejidad aparece lo que se denomina inteligencia de negocios o Business Intelligence (BI), para la creación de valor en las organizaciones y va más allá de mejorar los sistemas de información de los negocios, apoyando en forma sostenible la competitividad de las empresas; se trata de un análisis que permite descubrir relaciones entre variables y tendencias donde todos los miembros de la organización pueden compartir los mismos datos e información para transformarla en conocimiento (Cano, 2007).

En este sentido, las TIC permiten la digitalización de información de diferentes niveles, el diseño de herramientas para la gestión empresarial y de simulación (Pérez & Dressler, 2007)

Así también las empresas de base tecnológica son un claro ejemplo de la diversidad empresarial que se puede gestar a partir de la electrónica, la informática, las telecomunicaciones y el software, con un alto componente de conocimiento e innovación (Morales & Castellanos, 2007).

En cuanto a la aplicación de las tecnologías para pronósticos empresariales y tendencias, se encuentran técnicas de análisis como la bibliometría, la cienciometría y la patentometría, que dan una evolución al tratamiento de la información permitiendo efectuar análisis de gran cantidad de información ya sea sobre clientes, proveedores, competidores, o aquellos que puedan condicionar el futuro y de esta manera influyen en la toma de decisiones (Fúquene, Ramírez, & Castellanos, 2009).

Por otra parte la teoría general de sistemas permite ver a la organización en sus elementos y sus relaciones internas y externas integrados en forma dinámica para el cumplimiento de objetivos comunes (Cuervo, 2001). En adición, Suárez y Gómez (2003), afirman que los sistemas de información en las organizaciones interrelacionan a las personas, los medios y los procedimientos. En la Tabla 2 se aprecian los diferentes tipos de sistemas de información que se pueden incorporar en las organizaciones:

La evolución de la internet ha permitido la masificación del uso de las tecnologías, ejemplo de ello se encuentra en la aparición de la computación en la nube, con oportunidades para el desarrollo de memorias de la organización y gestión del conocimiento (De la Hoz, Carrillo, & Gómez, 2012). En definitiva, las TIC son importantes por sus capacidades estructurales en la GC, apoyando las actividades principales del conocimiento, en su creación, distribución y aplicación (Gold, Malhotra, & Segars). Todo lo anterior nos indica que las tecnologías de la información están facilitando la gestión del conocimiento. Estas aplicaciones están acercando la inteligencia empresarial a la gestión del conocimiento y propiciando una convergencia entre ambas (Orozco, 2005).

**Tabla 2.** Tipos de sistemas

Tipos de sistemas	Características
Sistema de procesamiento de transacciones (TPS)	Recoge, almacena, modifica y recupera los datos de las operaciones de una organización. Están diseñados para procesar las transacciones de rutina eficiente y precisa. Se utiliza en ventas, producción, contabilidad y finanzas y recursos humanos
Sistema de Información Gerencial (SIG)	Se ocupa principalmente de fuentes internas de información. El SIG generalmente toma los datos del procesamiento de transacciones. Vigila y controla las operaciones día a día para asignar eficazmente los recursos. Se utiliza en el nivel de control de la gestión y para producir informes.
Sistemas de Automatización de Oficina (OEA)	Son soluciones de sistemas de información que tienen como objetivo mejorar la productividad de los empleados de una organización. Eficaces para tratar los datos personales y de organización, realizar cálculos y crear documentos. Se utilizan para aumentar la productividad y reducir el papeleo de la transformación de importantes trabajos electrónicamente, como los sistemas de comunicación y de groupware.
Sistemas de Soporte a la Decisión (DSS)	Es ampliamente utilizado para situaciones de toma de decisiones estructuradas, semi-estructuradas y no estructuradas. A menudo DSS implica el uso de modelos matemáticos, estadísticos y financieros.
Sistemas Expertos (SE)	Es un sistema informático o un programa que utiliza técnicas de inteligencia artificial para resolver los problemas que normalmente requiere un ser humano bien informado. Los sistemas expertos ayudan a guiar a los usuarios a encontrar soluciones a los problemas que de otro modo necesitan asesoramiento de expertos. Son útiles en el diagnóstico, el seguimiento, la selección, el diseño, la predicción y la capacitación.
Sistemas de trabajo del conocimiento (KWS)	Existen para ayudar a la organización crear y compartir información. Se utilizan típicamente en un negocio en donde los empleados crean nuevos conocimientos y la experiencia puede ser compartida por otras personas de la organización para crear nuevas oportunidades de negocio

**Fuente:** los autores a partir de (Behl, 2013).

## Análisis estadístico en las empresas de la ciudad de Ocaña

Con el objetivo de contrastar las hipótesis de investigación que hace referencia a si las TIC tienen alguna influencia en los procesos de gestión del conocimiento: adquisición, distribución, interpretación y almacenamiento, se hicieron varios modelos ANOVA. En este caso, se dividió la muestra en dos grupos: Alta inversión en TIC que hace referencia a las empresas que más invierten en hardware, software y capacitación de personal y otro grupo de Baja inversión en TIC que son las empresas que invierten muy poco anualmente en estos aspectos considerados o no invierten.

Es necesario aclarar que en Ocaña son minoría las empresas que realizan grandes inversiones

en TIC, pues afirman que su situación económica no es alta para tales inversiones (Manzano & González, 2011). En la Tabla 3 se muestran los resultados para la media en cada una de las variables dependientes.

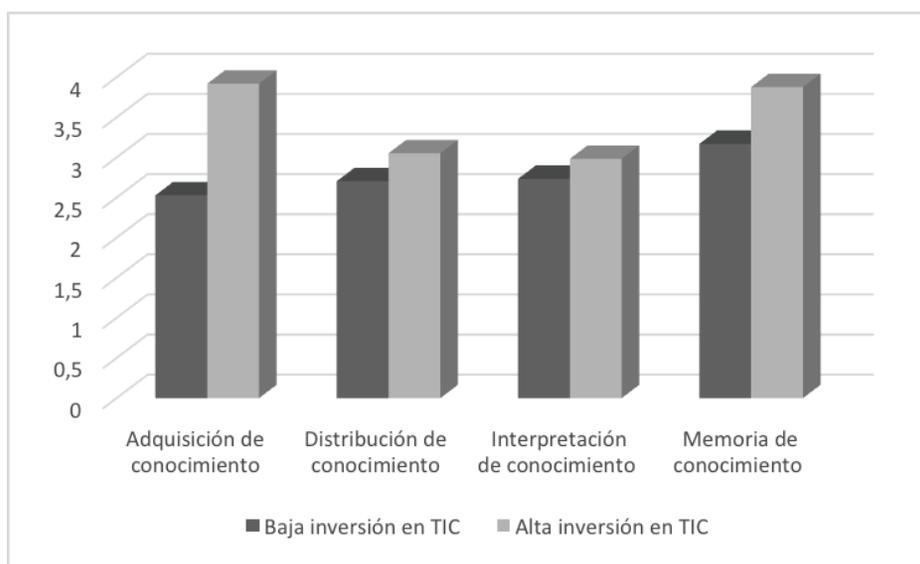
En la figura 1, se observa que existe una diferencia en la media de los dos grupos referidos para cada uno de los procesos de gestión del conocimiento; por tanto fue necesario verificar si esta diferencia es estadísticamente significativa, para lo cual se realizaron varios ANOVA con un nivel de confianza de 95%, obteniendo para la variable adquisición del conocimiento los siguientes resultados:

En el ANOVA la variable Adquisición del conocimiento, arrojando un valor de F igual a 182,51 y un valor P menor que 0,05; existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre la media de

**Tabla 3.** Resumen estadístico para las variables dependientes

TIC	Recuento	Promedio adquisición de conocimiento	Promedio distribución de conocimiento	Promedio interpretación de conocimiento	Promedio memoria de conocimiento
1 (Baja inversión en TIC)	98	2,52857	2,70408	2,73367	3,16939
2 (Alta inversión en TIC)	36	3,91944	3,05278	2,98333	3,87778
Total	134	2,90224	2,79776	2,80075	3,3597

Fuente: elaboración propia

**Figura 1.** Promedio de las variables dependientes acorde a la inversión realizada en TIC

Fuente: elaboración propia.

Adquisición del conocimiento y las TIC, como se observa en la Tabla 4.

Es decir, se demuestra empíricamente el efecto positivo que tienen las TIC en las estrategias emprendidas con el propósito de capturar información procedente del exterior.

También quedó demostrado que el principal origen del conocimiento se hace al interior de las empresas; las pequeñas empresas de la ciudad de Ocaña con un uso adecuado de las TIC podrán acercarse al conocimiento procedente del exterior y aprovechar el conocimiento del entorno como una oportunidad a la vez que contrarrestan las amenazas que puedan encontrar en un análisis anticipado.

Igualmente se realizó la ANOVA para la variable Distribución del conocimiento y se pudo demostrar que existe una diferencia estadísticamente significativa de la media de Distribución del conocimiento entre las empresas con alta y baja inversión en TIC, por lo tanto se puede considerar que las empresas que utilizan correo electrónico, web, intranet, etc., tienen una política interna que permite una mejor comunicación entre las diferentes dependencias.

Por otra parte, para la variable Interpretación del conocimiento se obtuvo un valor P mayor que 0.05, lo que nos indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa en la media de

**Tabla 4.** ANOVA para Adquisición del conocimiento por TIC

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	50,9329	1	50,9329	182,51	0,0000
Intra grupos	36,8364	132	0,279064		
Total (Corr.)	87,7693	133			

**Fuente:** elaboración propia a partir del SPSS.

**Tabla 5.** ANOVA para Interpretación del conocimiento por TIC

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,64105	1	1,64105	3,44	0,0659
Intra grupos	62,9689	132	0,477037		
Total (Corr.)	64,6099	133			

**Fuente:** elaboración propia.

Interpretación del conocimiento entre los diferentes grupos como se puede observar en la tabla 5.

En este sentido, no se pudo evidenciar que las TIC estén apoyando a las empresas para que el conocimiento organizacional tenga una misma interpretación por todos los miembros. Se hace necesario el empleo intensivo de las TIC para el trabajo en equipo, comunicar experiencias y aprender de otros.

Finalmente, se realizó el ANOVA para la variable Memoria del conocimiento y se demostró que existe una diferencia significativa para la media entre los diferentes niveles de inversión en TIC; por tanto, las empresas de la ciudad de Ocaña deben invertir en tecnologías que faciliten la memoria del conocimiento organizacional para que esté disponible cuando se necesite.

Este resultado es coherente con la investigación hecha por (Alavi & Leidner, 2001), quienes afirman que existe efectividad de las TIC en el almacenamiento y recuperación de la información para la memoria organizacional. Así también, estudios como el de Fensel *et al.* (2000) argumentan que para el éxito de una memoria organizacional se requiere comprender las propiedades de los recursos del conocimiento.

## CONCLUSIONES

Los sistemas de información y las comunicaciones tienen en la organización una función importante no solo para gestionar información sino también conocimiento, logrando transformar el conocimiento en nuevos productos, servicios y procesos.

Las tecnologías para la gestión del conocimiento deben reunir ciertas características para que tengan éxito dentro de la empresa. Estas tecnologías deben de fácil acceso y seguras, permitiendo a la organización contar con un sistema de gestión óptimo y una realimentación de los procesos en el momento que se requieran.

El aprendizaje organizacional genera conocimiento de los cambios del entorno y requiere una planeación y organización adecuada para esos cambios. Cuando este conocimiento se apoya en herramientas tecnológicas fortalece la adecuada toma de decisiones.

Entre las principales conclusiones en cuanto a la investigación empírica, se pudo demostrar la relación que tienen las TIC en los procesos de gestión del conocimiento principalmente en las fases de adquisición, distribución y memoria del

conocimiento. Es decir, los ANOVA desarrollados permitieron comprobar estadísticamente que cuando se hace una mayor inversión en TIC se mejoran la gestión del conocimiento dentro de las empresas.

## FINANCIAMIENTO

Este artículo se deriva de la investigación denominada gestión del conocimiento en las empresas de Ocaña, avalado por la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

## REFERENCIAS

- Alavi, M., & Leidner, D. (2001). Knowledge management and Knowledge management systems: Conceptual foundations and research Issues. *MIS Quarterly*, 25 (1), 107-136.
- Behl, R. (2013). *Information technology for management*. Mc Graw Hill.
- Bueno, E. (2000). Enfoques principales y Tendencias en Dirección del Conocimiento. En: *Gestión del Conocimiento, Desarrollos Teóricos y Aplicaciones*. La Coria.
- Canals, A. (2002). E-learning y Gestión del conocimiento. En: P. p. IV (Ed.).
- Cano, J. (2007). *Business Intelligence: Competir con información*. Banesto, Fundación Cultural.
- Cuervo, A. (2001). *Introducción a la administración de empresas*. Citiva.
- De la Hoz, F., Carrillo, E., y Gómez, L. (2012). Memorias organizacionales en la era del almacenamiento en la nube. (18 Ed.) *Tecnura*, 115-126.
- Fariñas, G. (2011). *La teoría procesal de la empresa basada en el conocimiento. Una aproximación cognitiva (tesis doctoral, Pamplona, Universidad de Navarra)*. Obtenido de: <http://dadun.unav.edu/bitstream/10171/20870/1/Tesis%20doctoral%20Fari%C3%B1as.pdf>
- Fensel, D., Van Harmelen, F., Klein, M., & Akkermans, H. (2000). On-To-Knowledge: Ontology-based Tools for Knowledge Management. *eBusiness and eWork*. Cheshire Henbury.
- Fúquene, A., Ramírez, A., y Castellanos, O. (2009). Pronóstico para el fortalecimiento del. *Ing. Investig.*, 102-108.
- Gold, A., Malhotra, A., & Segars, A. Knowledge management: an organizational capabilities perspective. *Journal of Management Information Systems*, 18 (1), 185-214.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Manzano, O., y González, Y. (2011). La gestión del conocimiento como generador de valor. *Libre empresa*, 8 (2), 69-80.
- Morales, M., y Castellanos, O. (2007). Estrategias para el fortalecimiento de las Pyme. *Innovar*, 17 (29), 115-136.
- Nonaka, I., & Teece, D. (2001). Research Directions for knowledge Management. *SAGE*, 330-335.
- Orozco, S. (2005). *Entorno conceptual y práctico de la inteligencia empresarial y la gestión del conocimiento en cuba*. Obtenido de: [http://www.xploorew.com/VSSST/Colloque/01-Barcelone/Tome%20/Tome%20I\\_Chap%2018.pdf](http://www.xploorew.com/VSSST/Colloque/01-Barcelone/Tome%20/Tome%20I_Chap%2018.pdf)
- Peña, A. (2006). *Tecnologías de la información: su alineamiento al negocio de las*. Obtenido de <http://www.hacienda.go.cr/cifh/sidovih/spaw2/uploads/images/file/Tecnologias%20de%20la%20informacion.pdf>
- Pérez, D. (2005). *Contribución de las tecnologías de la información a la generación de*. Obtenido de [http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10587/3de8.DPG\\_capt3.pdf?sequence=4](http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10587/3de8.DPG_capt3.pdf?sequence=4)
- Pérez, D., y Dressler, M. (2007). Tecnologías de la Información para la gestión del. *Intangible Capital*, 15 (3), 31-59.
- Ruzaña, J. (2011). *Implantación de un Sistema de Gestión del Conocimiento en una Administración Local*. Obtenido de: [http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/9981/1/jruzañas\\_TFM\\_092011.pdf](http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/9981/1/jruzañas_TFM_092011.pdf)
- Suárez, J. C., y Gómez, A. (2003). *Sistemas de información, herramientas prácticas para la gestión empresarial*. Madrid: Ra-Ma.







## El animal se está comiendo su cola. La génesis y evolución de un proyecto educativo de Educación Superior\*.

### The animal is eating its tail. Genesis and evolution of a educational project in Higher education.

David Navarro Mejía<sup>1</sup>

**Fecha de recepción:** 12 de febrero de 2015

**Fecha de aceptación:** 18 de agosto de 2015

**Cómo citar:** Navarro Mejía, D. (2015). El animal se está comiendo su cola. La génesis y evolución de un proyecto educativo de Educación Superior. *Revista Tecnura*, 19, 179-190. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.SE1.a16

#### Resumen

En el artículo se aborda el origen y vicisitudes de la Facultad Tecnológica, en tanto se concibe como un proyecto de educación superior que muestra las fortalezas y debilidades a tener en cuenta cuando se trata de decidir opciones de ampliar cobertura y mejorar calidad en el acceso a la Educación Superior. Se describe y analiza ese proceso en el marco del rol que desempeñan las Instituciones de Educación Superior, en especial el que podrían cumplir las Universidades del Estado, en tanto ha sido un territorio académico que ha tenido cubierto la educación privada. Se muestra también la necesidad de tener claridad respecto al modelo curricular que se decide para los programas a ofertar y el campo de conocimiento en el que deben moverse las comunidades académicas que surjan de dicho proceso.

**Palabras clave:** Instituciones de Educación Superior (IES), Educación Superior por Ciclos, Educación tecnológica, Educación en ingenierías, Tecnología.

#### Abstract

This article deals with the origin and vicissitudes of Faculty of Technology whereas it is conceived as a Higher education project that shows its strengths and weaknesses to be taken into account when making decisions regarding widening coverage and improving quality in access to Higher education. The process is described and analyzed within the framework of the role performed by the Higher education institutions, specially the role that State universities might have, as it has been an academic space occupied by private education. It is also highlighted the need for clarity regarding the curricular model chosen for the offered programs and the field of knowledge in which academic communities emerging from the process must interact.

**Keywords:** Higher education institutions, Cycles Higher Education, Education in technology, Education in engineering, Technology.

\* Un borrador del presente texto fue leído en un Seminario organizado por la decanatura de la Facultad Tecnológica a principios del mes de diciembre de 2010 en la ciudad de Girardot, Cundinamarca. El presente es un texto más depurado y ajustado a la evolución de lo que ha sido la Facultad Tecnológica hasta la fecha.

<sup>1</sup> Lic. En lingüística y literatura. Ms. En investigación social, Universidad Distrital F.J.C.; Ph. D. en ciencias de la información-periodismo, Universidad Complutense de Madrid.

## INTRODUCCIÓN

La educación superior en Colombia ha tenido, con la expedición de la Constitución de 1991 y la promulgación de la ley 30 de 1992 que la reguló, un incremento notable de su cobertura. No así mismo su calidad, pero se ha visto favorecida por la creación de mejores condiciones para lograrla, pese a la autoflagelación a que solemos acudir cuando se conocen indicadores en contravía de la misma, verbigracia el *ranking* de lugares en que aparecen nuestras universidades, los reclamos reiterados y continuos del empresariado respecto a las competencias de los profesionales, o la desarticulación que muestra el sistema entre educación técnica, educación tecnológica, educación profesional y educación avanzada o de posgrados.

Si se analiza el asunto desde el punto de vista geográfico, el incremento de su cobertura se ha logrado en su gran proporción por efecto de lo que se podría llamar la *profundización y ampliación* de sus instituciones ya establecidas de tiempo atrás. La institución estatal más nueva que registra la condición de universidad, por ejemplo, es la Universidad del Pacífico y su fundación es de 1988.<sup>1</sup> Por el lado no estatal se crearon varias nuevas IES que ubicaron su nicho en la educación técnica y tecnológica. Caso aparte merece el SENA, que multiplicó su matrícula y cobertura, cumple un papel destacado en la llamada educación para el trabajo, pero ha hecho también esfuerzos significativos por ofertar y reconfigurar sus programas acercándolos a un nivel de formación que aspira a competir y a legitimar comparativamente con los programas que se ofrecen desde las instituciones de educación superior, IES, incluyendo las universidades.

De ahí que resulte aleccionador y productivo conocer las experiencias de caso que en las propias IES se han abierto paso, pese a las resistencias y los intereses que conspiran para establecer nuevas universidades y proyectos educativos

superiores que potencien la cobertura y prefiguren una manera distinta de hacer educación superior con los atributos y perfiles que de allí se derivan. Este es el caso del proyecto de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

## ORIGEN DE LA FACULTAD TECNOLÓGICA

En momentos distintos y por motivaciones variadas se ha intentado explicar desde la propia Facultad Tecnológica su origen y lugar en la Universidad Distrital. Legalmente el proyecto nació en junio de 1994. Su origen estuvo precedido, sin embargo, por la convicción de algunos de sus actores internos, de descentralizar la presencia de la Universidad Distrital en Bogotá, la ciudad capital de Colombia.

Algunos hechos que testimonian ese querer fue la oferta durante varios años, de cursos no formales que la Universidad ofreció en la localidad de Kennedy,<sup>2</sup> cursos en especial del área de informática. De hecho, esta localidad siempre ocupó la preferencia prioritaria para descentralizar la Universidad.

Hay también otros argumentos que se pueden ofrecer para explicar su nacimiento: el alto costo y el largo período con que se venían graduando los estudiantes de los programas clásicos de ingeniería que ofrecía la Universidad Distrital mostraba un crecimiento irrelevante de su matrícula. También las regulaciones establecidas por la ley 30 de 1992 y la ley 115 de 1994 daban lugar a pensar en ofertar programas que hasta ese momento no se habían explorado como una posibilidad para ampliar cobertura y potenciar su desarrollo.

El país además comenzaba una suerte de transformación económica con el impulso de la llamada

<sup>1</sup> Las otras universidades estatales más recientes son la Sur Colombiana de Neiva, la Amazonía, de Florencia, en 1976, y la Universidad de los Llanos en 1974.

<sup>2</sup> *Localidad* es una figura jurídica que sustenta la división político-administrativa como se gestiona territorialmente en Bogotá. Hay en la capital actualmente 20 localidades que reúnen la población estimada cercana a 8 millones de habitantes. En otras ciudades de Colombia se les llama Comunas, o Zonas. Es algo similar a lo que en otras ciudades capitales del mundo llaman Distritos.

Apertura Económica del gobierno de César Gaviria desde 1990; apertura que dejaba atrás el paradigma de la sustitución de importaciones y se abría más la economía al mercado internacional, con lo que la necesidad de ofrecer capacitación en sectores directamente relacionados con la gestión y el desarrollo tecnológico no era posible de cumplir con la sola presencia de las tradicionales carreras de ciclo largo de ingenierías. Se requerían entonces más tecnólogos en la sociedad y en el mercado. Y a nivel de Bogotá, también el Congreso de la República promulgó para Bogotá en 1994 su Estatuto Orgánico, el cual organizó territorial y administrativamente mejor la ciudad, amén de que sus finanzas comenzaron a ser saneadas y la dotó de herramientas legales para gestionarlas de maneras más equitativas.

Adicionalmente, algunos han ofrecido explicaciones que tenían en cuenta las tendencias internacionales en la educación superior. El profesor Luis Alfonso Ramírez, uno de los gestores del proyecto de la Facultad Tecnológica, así lo expresó cuando en su momento se le preguntó por las razones que motivaron la creación de la Facultad Tecnológica y manifestó que la formación a nivel tecnológico facilitaba que los estudiantes accedieran rápidamente al mercado laboral y les permitía luego a los que lo quisieran, regresar a culminar sus estudios de ingeniería.<sup>3</sup>

Y también sectores políticos y sociales de algunas comunidades del Distrito, si bien con cálculos electorales, solicitaban de algún modo la posibilidad de ofrecer en sus respectivas localidades programas de la Universidad Distrital, pero de todos maneras operaron al final como un elemento positivo para concretar una nueva presencia de la Universidad en la ciudad capital.

<sup>3</sup> Información recabada a través de un cuestionario de preguntas y remitida vía correo electrónico a este autor. La información es de noviembre de 2008. Según él, en 1998, en la Conferencia Mundial de Educación Superior celebrada en París, en donde participó como rector de la Universidad Distrital y presidente de ASCUN, le dio un impulso a la educación tecnológica y a una política generalizada de la educación de ingeniería por ciclos.

Percibir en esa coyuntura la suma de factores que maduraron la idea de llevar la Universidad a localidades populares del Distrito fue quizá la mayor virtud del equipo de Dirección de la Universidad que en ese momento decidió aventurar la presencia descentralizada de la Universidad Distrital en lugares que, en principio, podían llenar de dudas y temores a quien tomara esa decisión.<sup>4</sup>

La Facultad Tecnológica, sin embargo, nació a contracorriente de las creencias más comunes sobre cómo realizar proyectos educativos. Es un hecho de sentido común que por las características de los programas que ofrecería la nueva Facultad,<sup>5</sup> lo práctico hubiera sido que la tradicional Facultad de Ingeniería de la Universidad, que ya tenía un recorrido y un prestigio ganado, liderara ese proceso. Pero es evidente que el proyecto no hubiera nacido por la fuerza de las creencias señaladas que pesan poderosamente como un transatlántico en el imaginario de los docentes de las ingenierías tradicionales y en los gremios y asociaciones que los agrupan.

Eso explica por qué la Facultad nació con programas académicos producto de convenios con otras Instituciones de Educación Superior. Y por qué hubo de acudir a entidades como ASESEL, dirigida por un ingeniero ex profesor de la Universidad, para que se viera su factibilidad, se propusiera un esquema de funcionamiento del proyecto y se recomendaran algunos programas académicos que fueran pertinentes con la coyuntura económica del país y la capital.

<sup>4</sup> La Facultad Tecnológica está situada en la localidad de Ciudad Bolívar, que a comienzos de la década de 1990 y todavía a fecha de 2014 es percibida en Bogotá como una de las zonas de la capital en donde se concentran todas las fuentes de conflictos sociales, pobreza y violencia y es una de las localidades más conflictivas y pobres de la capital de la república.

<sup>5</sup> La Facultad Tecnológica comenzó a funcionar en 1995 con la oferta de los programas de Tecnología en Electricidad, Tecnología Industrial y Tecnología en Mecánica, producto de una alianza con la Universidad Tecnológica de Pereira, y Tecnología Electrónica en alianza con las Unidades Tecnológicas de Santander, UTS. Luego en 1996 inició con los programas en Tecnología en Sistematización de Datos y Tecnología en Construcciones Civiles en alianza con el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid; esta última institución y las UTS no tenían el carácter de universidades.

La nueva Facultad además incursionaría con programas de nivel tecnológico que, si bien no era una novedad, porque otra Facultad de la Universidad (la que fue después Medio Ambiente y Recursos Naturales), llevaba años ofreciendo esos niveles en la modalidad semipresencial con los programas de Servicios Públicos y Gestión Ambiental); de todos modos eran programas que habían funcionado por años sin un interés real de lo que su modalidad podía significar para el desarrollo de la Facultad de ingeniería y de la Universidad en general.

Y se sabe además que si bien hoy la educación tecnológica ha tomado impulso como nunca en Colombia, pesa aún el prejuicio sobre su calidad y el prestigio social que ostentan quienes egresan de sus programas. No era pues bien visto por la Facultad de Ingeniería ofrecer programas tecnológicos, ya que lo veían como una merma de su estatus y prestigio. Los profesores además no estaban dispuestos a ir a un sector de la ciudad en donde había serios temores de trabajar, como era y es la localidad de Ciudad Bolívar.

## LA FACULTAD COMO UN PROYECTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA EN EDUCACIÓN

En el país ahora se habla mucho de gestión tecnológica; no obstante, en rigor los primeros proyectos de este tipo se puede decir que son los educativos, pues se trata en ellos de habilitar a los potenciales estudiantes como usuarios de nuevas tecnologías, pese a que lo hagan con un saber científico que los diferencia de los usuarios corrientes.

En este sentido, la Facultad Tecnológica ofrece un modelo de cómo gestionar proyectos de educación universitaria en el ámbito de la educación tecnológica en sectores populares. En primer lugar, el proyecto fue concebido para impulsarlo sin tener las condiciones adecuadas para su funcionamiento. En el diseño se trataba de poner a andar varios programas de pregrado y algunas especializaciones como se establece en el Acuerdo de creación

de junio de 1994, expedido por el Consejo Superior Universitario. Como se ha dicho, se dispuso a través de Asesel varios programas de especializaciones que serían continuación de los niveles de tecnologías que se ofrecieron en Convenios. Luego, desde la rectoría se dispuso la creación de algunas plazas de docentes para ser asignadas y cubiertas para la nueva Facultad.<sup>6</sup> No obstante, el proyecto tuvo que sobreponerse en primer lugar a la resistencia interna. Hubo la intención de ganar a profesores de la Facultad de Ingeniería para que lideraran el proyecto, pero pronto la inexistencia de una sede, de espacios físicos académicos y de oficinas, generó las primeras dificultades con la negativa a ir a donde no había nada que referenciara la presencia de la Universidad en Ciudad Bolívar.<sup>7</sup> También hubo que luchar contra la creencia de los propios habitantes del sector que, en sana lógica, no concebían una universidad que no contaba con una sede de referencia clara y creíble. Sin embargo, el proyecto remontó dichos obstáculos con la convicción de que era posible asignar recursos económicos y humanos que pronto harían viable su realización y presencia física. Pronto la Facultad empezó a funcionar en una escuela de primaria, en salones comunales del barrio Candelaria Nueva, en un colegio del sector, el Rodrigo Lara Bonilla, y en instalaciones de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, antes de que contara con su sede propia en 1997.

En segundo lugar, la nueva Facultad tuvo que sortear cómo vincular nuevos profesores que la echaran a andar. Esta dificultad, si se observa hoy,

<sup>6</sup> Tengo muy presente dicha información, ya que en virtud de mi calidad de asesor de la rectoría de entonces se me encomendó disponer la parte logística y organizativa para abrir los concursos docentes que debían llenar las plazas docentes que se habían dispuesto para el nuevo proyecto. Fueron cuatro las plazas y buscaban que los ganadores se encargaran de la Coordinación de los nuevos Proyectos Curriculares: Tecnología Electrónica, Tecnología en Electricidad, Tecnología Mecánica y Tecnología Industrial.

<sup>7</sup> El proyecto contaba en su comienzo con que el profesor Álvaro Betancur, de la Facultad de Ingeniería, fuera el decano de la nueva Facultad, pero una sola visita a la zona bastó para que anunciara que no aceptaba la decanatura del nuevo proyecto. En su remplazo se acudió al profesor Roberto Vergara, quien era en ese momento jefe de la Oficina de Control Interno de la Universidad y hoy rector encargado de la Universidad

está aún presente, pese a que la Facultad Tecnológica es ahora un proyecto visible y en cierta manera consolidado. Desde mi condición de secretario de la nueva Facultad y de docente que he sido de ella, puedo atestiguar que a muchos profesores no solo se les vinculó a ella por sus títulos académicos que los habilitaban para enseñar, sino también, muchas veces, por la cercanía y amistad con los que habían fundado el proyecto, pues no era fácil convencerles de que vinieran a una localidad en donde a los propios profesores de educación básica y media que estaban en la zona se les computaba su experiencia laboral por el doble de la que trabajaban, pues se consideraba esta una zona de riesgos como muchas de la Colombia violenta que se conoce.

En tercer lugar, había que trabajar por una identidad propia de la Facultad y los programas que ofrecíamos dado que sus orígenes se ubicaban en otras ciudades y regiones. Y sobre todo porque la Universidad, por entonces, comenzó a impulsar una reforma de los currículos de sus programas que, en esencia, pretendía hacerlos más flexibles, pertinentes y adecuados a las exigencias de los nuevos procesos de aseguramiento de la calidad que se preveían desde el Estado.

## EL MODELO CURRICULAR DE LA FACULTAD TECNOLÓGICA

Esta es quizá la exigencia y el asunto más insuperable que ha tenido en su historia breve la Facultad Tecnológica, pues su propio desarrollo siempre se ha visto interferido por factores externos que la hacen por eso un proyecto en permanente construcción, pero sin que muchos de sus procesos encuentren la maduración suficiente para hacerla más visible y ejemplarizante a los ojos de la comunidad interna y ante las comunidades académicas de las IES, universidades estatales del país y de la sociedad en general.

La Facultad nació con una vocación clara de ofrecer educación tecnológica de calidad, pero en medio de sus dificultades para resolver una sede

propia, darse su propio perfil e identidad, se arribó a diciembre de 1997 con la prefiguración de una primera reforma curricular de los programas ofertados cuando ya se tenía a las puertas la primera cohorte de egresados. La etapa siguiente que se había dispuesto de mucho antes, eran las especializaciones en Sistemas Avanzados de Producción, en Procesos, en Diseño y Construcción de Vías, en Control Electrónico e Instrumentación, en Redes de Computadores y en Distribución y Redes Eléctricas. Este dato puede resultar irrelevante ahora, pero no lo es. Se registra para anotar una realidad que se elude ahora porque los hechos muestran lo contrario: la Facultad no pretendió en sus orígenes ofrecer programas de Ingeniería como lo hace en la actualidad y lo ha venido haciendo.<sup>8</sup>

Esta última evidencia resultó impuesta por la fuerza de las circunstancias y no como una meta establecida por la propia Facultad. La idea implícita en la fundación de la Facultad Tecnológica era ofrecer educación superior por ciclos, entendiendo que un primer ciclo era el tecnológico y un segundo ciclo eran las especializaciones tecnológicas que se llegó a tener registradas ante el MEN. El dato que obligó a desandar el camino fue la incertidumbre y la imposición de las regulaciones del Ministerio de Educación que establecieron unas denominaciones para los nuevos programas de Ingeniería que se ofertaran a partir del Decreto 792 de 2001. Pero sobre todo, la indefinición en la que dejó a las especializaciones tecnológicas pues nunca se estableció en las regulaciones si eran programas de carácter pregradual o de posgrados. En la Facultad Tecnológica se intentó mostrar que aquellas podían concebirse como posgrados, pero

<sup>8</sup> No obstante que la Facultad Tecnológica ofertó en sus inicios programas que no nacieron de su seno, cabe precisar que en ellos, como en los que después construyó ella misma, el modelo curricular que se estructuró tenía una preferencia tácita por la educación integral de los estudiantes. Había materias de lo que después se ha definido como las áreas socio-humanísticas, de ciencias básicas, de económico-administrativas, de básicas profesionales y profesionales aplicadas. Pero el énfasis real parecía más inclinado a una formación profesionalizante que a una educación integral, tal como se le exige en la actualidad por algunos estudiosos del currículo (Toro, 2014, pp. 235-243).

la verdad es que nunca hubo una posición de consenso sobre el particular.

Por último, en medio de esa indefinición se empezó a abrir paso la oferta de programas de ingeniería por ciclos, como lo llamamos en un comienzo. La necesidad, sin embargo, de darles un carácter distinto a nuestros programas con respecto a los que ofrecía el resto de la Universidad, llevó a una reflexión de cómo precisar lo que estábamos ofreciendo por la fuerza de las circunstancias. Y desde ese momento, la Facultad Tecnológica empezó a perder su razón de ser original y comenzó además, como paradoja, a ofrecer argumentos a los que siempre habían visto el proyecto con desconfianza o extrañeza, tanto internamente como en el exterior a ella.

## LA PÉRDIDA DEL RUMBO DE LA FACULTAD

Un dato que se subestimó a partir de la oferta de los programas de ingeniería fue la transformación que sufría la Facultad Tecnológica, sin que se advirtieran sus consecuencias tanto positivas como negativas. Fue evidente que para los egresados de los programas de Tecnologías era positivo que la Facultad les permitiera la posibilidad de continuar sus estudios de ingeniería. También lo era que se intentaba un modelo distinto de formar ingenieros y de igual modo era estimulante para los profesores verse en condiciones de enseñar a nivel de ingenierías cuando de modo tácito percibían que desde la Facultad de Ingenierías se les veía como docentes de programas de menor calidad, pese a que la fuerza de los hechos demostraba lo contrario.

No obstante, desde la Facultad empezó a circular una serie de conceptos un tanto ambiguos o extraños que, de algún modo, hoy explican los errores y las dificultades para hacer valer el modelo de educación tecnológica que se ha prefigurado y construido. Esa percepción se puede constatar en un primer momento en el texto compilado por la profesora Mirna Jirón, en cuyo apartado sobre el marco conceptual de la educación tecnológica

se designa que la “Facultad Tecnológica concibe el ciclo tecnológico (...) como una alternativa de educación superior no terminal” (2004, p. 39) en tanto se concibe que prepara para el ciclo de ingeniería. Pero dicho concepto entraba en contradicción seguidamente con una afirmación que postulaba que el ciclo de ingeniería no era necesariamente consecuencia del ciclo tecnológico. Estas afirmaciones es evidente que fueron más declarativas y, expresadas bajo el sobreentendido de que eran claras, no se creyó conveniente intentar una explicación detallada sobre su contenido y significado real.

Del documento de reforma curricular de 1998 que recoge el libro mencionado de la profesora Jirón se relaciona también el concepto de educación tecnológica que retoma y echó a circular inicialmente la profesora de la Facultad Ruth Esperanza Román a partir de las reflexiones de Víctor Manuel Gómez (1995, p. 7). Se dice así que

En la mayoría de los países industrializados se entiende por educación tecnológica una modalidad de formación en un nivel del conjunto de las profesiones técnicas, las cuales se estructuran en un *continuum* que se inicia con el profesional técnico y culmina con el nivel de ingeniero. En muchos países, la educación tecnológica constituye el primer ciclo de formación en ingeniería, de tal manera que el título de tecnólogo es equivalente al ingeniero de primer ciclo o ingeniero práctico. (Jirón, 2004, pp. 35-36).

Sobre el particular, es menester abordar de manera clara y meridiana que el hecho de que las ingenierías se ofrezcan por ciclos y estructuradas en un continuum, si acogiéramos el modo como se diseñan en otras latitudes, no invalida que los ciclos tengan un carácter terminal. De hecho, en nuestra opinión, aquella creencia de que cada ciclo no era terminal se generalizó en la Facultad y está seguramente en la base de las exigencias de los tecnólogos de la Facultad Tecnológica que han entendido con razón que esta les ha creado la

expectativa de que pueden en ella realizarse como ingenieros.

En un segundo momento, se empezó a hablar en la Facultad Tecnológica del concepto de ingeniería por ciclos propedéuticos, para designar que el nivel tecnológico era propedéutico con respecto al ciclo de ingeniería que quisieran cursar sus egresados posteriormente. Esa visión, que en nuestra opinión era correcta en principio, se reveló después como un razonamiento que no se validó ante el Ministerio de Educación, MEN, pues las regulaciones que se establecieron en el Decreto 1295 de abril de 2010 prescribieron el carácter propedéutico de los programas de educación superior estructurados bajo esta concepción, a través de la incorporación al modelo curricular de los programas, de lo que se denominó un *componente*, el cual debe ser ofrecido en el currículo del programa que antecede al nivel siguiente del programa que conduce a un título superior, en el caso de la experiencia de la Facultad Tecnológica, al título de ingeniero.

Para ver lo contraproducente de la designación de ingeniería por ciclos propedéuticos hay que atenerse a la connotación misma del término. Porque propedéutico es literalmente lo que está antes y prepara para algo más exigente o complejo. En nuestra opinión, en rigor la educación por naturaleza es propedéutica, es decir, nadie aprende lo complejo sino entiende lo simple y sencillo, o lo menos complejo. Decir educación por ciclos propedéuticos es pues, literalmente, una redundancia. Pero la Facultad Tecnológica se dejó arrastrar en ese juego de palabrejas que periódicamente se ponen a andar en el ambiente académico y no supo entender que estaba cayendo en el terreno de los que querían copar el espacio y desarrollo que estaba cobrando la educación tecnológica para convertirla en un mercado expedito de la educación que ofertan las instituciones particulares de carácter tecnológico o universitarias y, en menor medida, las universidades privadas de clase media.

Un tercer error ha sido que la Facultad Tecnológica al incursionar en la formación de ingenieros

por ciclos, no ha sabido defender su posición en el interior de la propia Universidad, pues su liderazgo no ha tenido los argumentos y la convicción para defender el modelo de educación superior que se ha escogido en medio de otros programas de ingenierías que miran con recelo y competencia desleal lo que allí se hace. Es evidente, por ejemplo, que la Facultad de Ingeniería quiso cobrar la osadía de su creación en dos episodios que han sido suficientemente significativos para mostrar la insatisfacción de aquella: la condición desventajosa con que recibieron en Ingeniería Industrial los tecnólogos del programa de Tecnología Industrial cuando en el año 2002 hubo dificultad para el funcionamiento de Ingeniería de Producción en la Facultad Tecnológica. Y también cuando la Facultad de Ingenierías creó un programa de ingeniería eléctrica cuando sabía de la existencia de uno similar en esta. A nuestro modo de ver, son dos ejemplos que muestran las tensiones y desencuentros en que ha existido la Facultad Tecnológica en el interior de la propia Universidad Distrital.

Un último error que se podría registrar ha sido que, ante el discurso fundacional que ha defendido un segmento significativo de docentes y estudiantes de la Facultad Tecnológica, quienes no se ven en ese discurso y esa representación, han construido un discurso vacío que impugna pero no ha propuesto con claridad una estrategia legítima, renovada o nueva de desarrollo de la Facultad. Eso explica en nuestra opinión la confusión reinante, o el espíritu espontáneo o indiferente de buena parte de la comunidad académica de la Facultad Tecnológica en el momento presente.<sup>9</sup>

## EL PRESENTE Y LA ENCRUCIJADA DE UN PROYECTO UNIVERSITARIO

¿Qué camino es el más apropiado para la Facultad Tecnológica en el presente? Se intentará una

<sup>9</sup> Percepción que reveló de manera significativa la profesora Mirna Jirón en un ejercicio de observación e interpretación que realizó en septiembre de 2010, con la información ofrecida por un grupo de profesores del programa de Tecnología Industrial e Ingeniería de Producción. Conversatorio de Girardot, 2010.

respuesta desde la experiencia y lecciones que muestra la Facultad como un proyecto de gestión universitaria y de tecnologías. En primer lugar, la Facultad Tecnológica por más que esté obligada al cumplimiento de las regulaciones del MEN debe hablar ante todo de su experiencia en la educación tecnológica y explorar otras vías de garantizar que la formación en ingeniería se pueda efectuar sin regateos y discriminación en la propia Universidad y otras universidades.

En segundo lugar, el concepto de educación en ingeniería que debemos defender es el de ingeniería por ciclos, pero sin adjetivos. Ya en la respuesta del recurso de reposición a la negativa inicial de los registros calificados de los programas de Ingeniería de Producción y de Ingeniería Mecánica en el año 2011, se introdujo la reflexión de que para nosotros lo propedéutico es esencialmente algo intrínseco a la educación en ingeniería que ofrecemos, y no algo añadido como erróneamente se concibió desde el MEN en la regulación reciente.

Se cree, por último, que la Facultad Tecnológica debe asumir en la Universidad y en el subsistema de educación superior por ciclos, sin más dilaciones y lejos de una posición timorata y complaciente, el debate sobre la necesidad de que las Facultades de Ingenierías incursionen en su propio ámbito para que ella retome la necesidad de ofrecer a los jóvenes de Bogotá y el país, sin complejos ni prejuicios, una educación en ingeniería por ciclos, lo cual además les permitiría recobrar un protagonismo que han venido perdiendo, por más que sigan viviendo de un pasado reciente cómodo que los ha llevado a subestimar la formación en ingeniería que se ha venido cumpliendo desde la experiencia que se ha descrito y explicado de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital, pero también desde algunas IES que no tienen carácter de universidades, pero que han incursionado y han construido una trayectoria en el campo de la educación superior por ciclos.<sup>10</sup> También es

otra opción hacer la oferta simultánea de programas de ingeniería en la modalidad clásica de ciclo largo, y la de ciclos cortos, el primero de los cuales sería el de nivel tecnológico.

## EL CAMPO DE CONOCIMIENTO DE UNA FACULTAD DE INGENIERÍA

Sobre este particular es oportuna una breve revisión y continuación de la reflexión sobre el significado de lo que se entiende por educación tecnológica<sup>11</sup> y lo que significa hoy educar en ingeniería, reflexiones que hoy cobran un lugar especial y estratégico en el desarrollo de la Universidad Distrital y de las IES en general. A modo de avance, debemos disipar la creencia de que la educación tecnológica que se tomó en la Facultad Tecnológica es la misma que se encuentra en su fuente original, pues ella es un concepto que aparece *entrecorrido* en las reflexiones de Víctor Manuel Gómez, es decir, que su sola denominación no surge de una seguridad en lo que nombra, sino de una búsqueda por darle el nombre más apropiado a la educación que en Colombia media entre la culminación del nivel técnico y el nivel de la educación profesional, o como una de las modalidades de la educación postsecundaria, como se le llamó en el Decreto 80 de 1980.

Pero lo cierto es que a fecha de hoy, con todo el desarrollo que han cobrado los programas académicos en tecnología, el mayor obstáculo que están

*al proyecto educativo UD*. 2013, pp. 214-216) se acude al concepto de formación por ciclos y se le entiende como una estrategia para mejorar el acceso de los jóvenes a los programas de ingenierías. Antes apareció algo en la misma dirección, en el libro *La formación por ciclos...* de la profesora Mirna Jirón *et al.* (2010). No obstante, desde nuestra perspectiva es un concepto restringido del modelo de educación que se ha querido impulsar en la Facultad Tecnológica. En consecuencia, se cree más apropiado y abarcador el concepto de educación superior por ciclos. Se entiende además que educar es más que formar, pese a la equivalencia semántica que puedan suscitar los términos.

<sup>11</sup> Sobre el tema bien vale retomar lo que la Facultad conceptualizó en su primera reforma curricular en 1997, concepto que recreó la profesora Román a partir de los trabajos de Víctor Manuel Gómez en varios textos, el más conocido titulado *La educación tecnológica* (1997), Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. También se pueden referenciar los textos que ACOFI ha reunido en documentos de varios eventos convocados por esa organización.

<sup>10</sup> Vale aclarar que en un reciente texto de docentes de la Facultad Tecnológica (Lineamientos conceptuales y curriculares para la educación tecnológica y formación por ciclos. En: *Aportes*

por superar para validar su sentido y relevancia es el fuerte prejuicio que aún pesa en la ortodoxia de quienes han enseñado y enseñan en ingenierías. Y desde luego, cierta cultura que pretende innovar en el vacío e invalida que los jóvenes puedan hacerlo desde la titulación de tecnólogos, pretendiendo que en este nivel solo aprenden a ser usuarios informados y a manipular dispositivos y tecnologías de variados campos de conocimiento. En la Facultad Tecnológica, no obstante, se ha impulsado para ellos una educación con fundamento también en ciencias básicas y ciencias de las áreas profesionales de las ingenierías.

Al margen de esos enfoques, cabe aquí una breve digresión sobre la tecnología como un campo de conocimiento,<sup>12</sup> tal como se ha concebido en la Facultad Tecnológica en el sentido de que la educación tecnológica incluye la educación en ingeniería e incluso educación avanzada de los posgrados que tiene por objeto el uso, innovación y creación de tecnologías. La reflexión es importante en tanto se ve en ella un soporte de lo que se pretende defender con un déficit pronunciado de interpretación y comprensión de la “educación tecnológica”. Pero también vale decir que las reflexiones sobre lo que defienden es esencialmente y desde sus orígenes una reflexión sucedánea de la reflexión sobre la técnica en un repertorio conceptual que se puede inventariar desde la visión de varios autores.

Lewis Mumford sostiene que aunque el ser humano esté lógicamente concentrado en actividades terrenales, no debe ser entendido propiamente como *homo faber*, sino como *homo sapiens*. No es el hacer sino el pensar, no es el instrumento sino

la mente, lo que constituye la base de la humanidad... (p. 54).<sup>13</sup> Y sostiene además que la tecnología, en su sentido reducido de fabricación y uso de instrumentos, no ha sido el agente principal en el desarrollo humano, ni siquiera lo ha sido con respecto a la propia tecnología.

Mumford hace una distinción entre dos tipos básicos de tecnologías: la politécnica y la monotécnica (p. 56); las segundas han traído como consecuencia el “mito de la máquina” y de que la megatécnica es irresistible y, a la larga, beneficiosa. De ahí que su propósito fue reorientar radicalmente las actitudes mentales para transformar la civilización monotécnica (p. 57). Se trataba en cierto modo de evitar la preeminencia de la máquina como centro de la actividad tecnológica y de ubicarla en un lugar de subordinación respecto a la actividad humana.<sup>14</sup>

El pensador español José Ortega y Gasset, a su vez, entendía que el mundo de la tecnología en manos exclusivamente de los técnicos, personas a las cuales veía desprovistas de facultad imaginativa, era dejar que la técnica se tornara en “mera forma hueca” como la lógica formalista, según él, lo cual conducía a que la tecnología fuera incapaz de determinar el contenido de la vida (p. 64).

Desde ese punto de vista, la tecnología se concibe como un universo integrador que no solamente incluye lo meramente instrumental, sino que exige un fundamento de la ciencia y que se pregunta por su impacto dentro de la sociedad y la naturaleza. Los que llevan la responsabilidad de su desarrollo deben ser por eso personas de horizontes amplios y de una visión abarcadora que no se detenga en la utilidad inmediata que ofrece a la sociedad, sino que indague más por sus alcances reales y por su lugar dentro de la naturaleza.

En Martin Heidegger encontramos un enfoque marcadamente filosófico y metafísico, pues considera que la tecnología es “un género de verdad o desocultar y que la tecnología moderna, en particular,

<sup>12</sup> En el ámbito académico se ha venido usando también el término *tecnociencia* para designar lo que se concibe como la fusión del conocimiento de las ciencias y las tecnologías con valores más allá de lo científico. En ese concepto se parte del supuesto de que el conocimiento de la tecnociencia es más instrumental y se la impulsa para la innovación empresarial con fines comerciales. El concepto fue acuñado por el filósofo y sociólogo Bruno Latour, quien se ha destacado en el llamado campo de la Ciencia, Tecnología y Sociedad, CTS. No obstante, se ha preferido para los fines conceptuales que han guiado el proyecto de la Facultad Tecnológica acudir al concepto de Tecnología como el campo más apropiado de conocimiento alrededor del cual se ha desarrollado hasta el presente.

<sup>13</sup> Las menciones y citas que siguen son todas de la siguiente fuente: Mitcham, Carl (1989), *¿Qué es la filosofía de la tecnología?*, Barcelona, Anthropos.

<sup>14</sup> La reflexión en extenso se puede hallar en: Mumford, Lewis (2010), *El mito de la máquina. Técnica y evolución humana*.

es un desocultar que pone y provoca a la naturaleza exigiéndole liberar energías que, en cuanto tales, puedan ser explotadas y acumuladas” (p. 66). Heidegger argumenta que los procesos tecnológicos, a diferencia de las técnicas tradicionales, nunca crean cosas con sentido genuino. “La tecnología moderna, según el punto de vista de Heidegger, se puede caracterizar como una especie de dogmatismo objetivado. Éste último trata realmente acerca de cómo construirla o fabricarla” (p. 71). También es de la opinión de que “la tecnología no puede ser entendida con más tecnología” (*ibid.*)

En este sentido la tecnología es un campo específico de pensamiento, un modo y un campo de entender la verdad del mundo y nunca un instrumento para conocer pese a la utilidad social que pueda ofrecer. Se puede apreciar que en este aspecto tiene afinidades y coincidencias con algunos de los pensadores relacionados en tanto hacen más énfasis en el ámbito de saber que ofrece al hombre y no en los resultados que encierra para la sociedad y el impacto sobre la naturaleza.

Para otros autores, entre ellos Jacques Ellul, “Lo que está ocurriendo con la tecnología no es una incompetente conquista de la naturaleza, sino el reemplazo del ambiente natural por el ambiente técnico” (p. 80). Cabe decir, la tecnología está llevando a inventar los nuevos ambientes de des-entrevimiento del hombre. Esto fue visionario en tanto, efectivamente, en el mundo moderno de hoy los llamados ambientes virtuales que han potenciado las nuevas tecnologías de la información ocupan cada vez más espacio en las relaciones sociales de los individuos.

Y desde una visión más marcadamente social, Herbert Marcuse expresó que

Para convertirse en vehículos de libertad, la ciencia y la tecnología deberían ser reconstruidas de acuerdo a una nueva sensibilidad, la de los instintos vitales (...) en lugar de seguir conquistando la naturaleza, restaurar la naturaleza; en lugar de la luna, la tierra; en lugar de ocupar el espacio exterior, crear espacio interior. (pp. 92 y 93).

Por último, para Carl Mitcham la filosofía de la tecnología, como disciplina ha construido también sus propias ideas o conceptos, desprendida de la clásica y conocida filosofía de la ciencia. Pero también cree que

El concepto de máquina (en sus muchas modificaciones desde Aristóteles hasta Franz Reuleaux y Alan Turing), las ideas de conmutador, invención, eficiencia, optimización, la teoría aerodinámica, la cinemática y la cibernética, las teorías de autómatas, de la información, de los sistemas lineales, del control, etc., son todas esencialmente tecnológicas. (p. 100).

Por lo mismo, en el enfoque que se privilegia “Dentro de la tecnología, se asume comúnmente no que las teorías tecnológicas sean verdaderas, sino que las mismas funcionan y que el trabajo que realizan es bueno o útil” (p. 101). Como se ve, la tecnología como ámbito del saber no apunta a develar leyes o verdades ocultas, sino a la funcionalidad de los resultados que presenta.

Sin embargo, ese enfoque de la tecnología como ámbito de saber se ha abierto paso en la contemporaneidad porque la investigación que ha llevado a su desarrollo se sustenta en altas inversiones que solo hoy parecen disponer grandes corporaciones y multinacionales y, por lo mismo, la necesidad de revertirlas en el menor tiempo posible provoca que el valor que se priorice es el de la rentabilidad de los productos.

Las universidades son así puestas en la retaguardia en muchos casos, sin que ello les niegue su tradicional papel de generadoras de investigaciones con impacto en el desarrollo de tecnologías, pero la configuración de mundos para el hombre, su sentido de saber que lo explica aún más, se desplaza a un segundo plano.

Por eso, desde la universidad la tecnología, como ámbito de saber que se enseña y se promueve su generación, debe propender por una visión que, sin que la sitúen en una posición subalterna frente a las exigencias de rentabilidad que acompañan muchos de sus procesos, pueda situarse

estratégicamente como necesaria e ineludible en el establecimiento de una base de desarrollo tecnológico y en el sostenimiento de su impulso creador y de potenciación de los saberes de las tecnologías.

Y en este sentido, sigue siendo una reflexión más pertinente para definir las finalidades tanto de los programas a nivel tecnológico como de ingenierías, en tanto el objeto de estudio y de enseñanza es el lugar de la técnica en la vida social, en la naturaleza y en el individuo. Por eso incluso el nivel técnico de formación aparece denominado en otros países como educación tecnológica, es decir, la apropiación y enseñanza que podemos hacer de las diversas tecnologías.<sup>15</sup> La profundidad, la fundamentación, la amplitud, las competencias con que se valida esa apropiación y enseñanza es lo que, en últimas, determina si son técnicos, tecnólogos o ingenieros prácticos, o los ingenieros clásicos. Por tanto, quizá sea aventurado convertir lo que se viene entendiendo de educación tecnológica como uno de los niveles de estudios superiores, en un campo exclusivo de conocimiento que sustituye a las ciencias, pues las tecnologías son más bien parte sustancial del objeto de estudio de los micro-currículos de las ingenierías y de los estudios avanzados de posgrado que se realizan en el arco de profesiones que tienen que ver con el estudio de las ciencias naturales.

Como correlato, la reflexión de cómo educar en ingeniería también puede conducirnos a esclarecer que dicha educación es esencialmente la respuesta de cómo aprender y enseñar la técnica o la tecnología, cuál es su fundamentación científica y cómo adaptar o innovar en el campo de las modernas tecnologías. En este contexto, la misión de una Facultad o de una Universidad que cultiva la enseñanza de la tecnología puede hacerse más relevante y su significado más claro, si se explica e interpreta mejor el valor científico y social que en la actualidad se percibe confuso y gris. Así entonces, la práctica educativa de quienes la enseñan se verá más despejada y su papel en la formación de

tecnólogos no disminuye su significado, sino que la aclara y acrecienta. Por lo mismo, la carrera en la que entró la Facultad Tecnológica para competir en la formación de ingenieros para Bogotá y el país parece necesaria de precisar y rectificar, más cuando en el seno de la misma Universidad Distrital que la vio nacer, se encuentra otra Facultad de más trayectoria que, incluso, de haber una dirección más robusta y de más ascendencia académica, debería haber abierto las puertas para que en ella fuera donde hubiera cabida ideal para que los egresados de sus programas de nivel tecnológico realizaran su aspiración de ser ingenieros. Esto es tanto más cierto cuando las cifras de los egresados de la Facultad Tecnológica ilustran y desmienten que los estudiantes que recibimos vienen con la aspiración de fortalecer la educación tecnológica, pues la mayoría de ellos está haciendo tránsito a los programas de ingeniería por ciclos cortos.<sup>16</sup>

Volviendo al comienzo del presente artículo, la experiencia de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital mueve a repensar cuál es el camino más expedito para ampliar cobertura y generar calidad en la educación superior en Colombia, pues como muestra la evidencia, es claro que el Estado ha creado en los últimos lustros muy pocas nuevas Universidades e IES. Y por el camino de lo que llamamos profundización y ampliación, uno de cuyos ejemplos es el que acabamos de registrar con la Facultad Tecnológica, se deja también en evidencia que es otro camino que no está exento de arrastrar las carencias, malas prácticas y una cultura académica cerrada que activa también lo peor de su repertorio y visión que tenemos en las Universidades y en las IES de más trayectoria en el país. Esos obstáculos son los que hacen pensar

<sup>15</sup> Véase Argüelles, Antonio (1999), *La educación tecnológica en el mundo*, México, D-F.: Limusa.

<sup>16</sup> De acuerdo con los últimos reportes disponibles, la Facultad Tecnológica a fecha de mayo de 2014 cuenta con 3.509 egresados de los programas de ingeniería, de los cuales 2.393 también son titulados de sus programas de nivel tecnológico. (Fuente: Secretaría Académica de la Facultad Tecnológica). Quiere decir esto que 68% de sus titulados de tecnología hicieron tránsito a los programas de ingeniería, sin incluir aquellos que habiéndose inscrito para ser admitidos en ellos, los cupos disponibles y el puntaje no les alcanzó para ser aceptados, lo cual evidencia que la educación tecnológica no es la meta de la mayoría de los que acceden a los programas de educación superior.

que proyectos de educación superior por ciclos, como el de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital, tengan que abandonar su cola como los lagartos para ponerse a salvo de los depredadores internos que residen en su hábitat. De momento, pareciera que la Facultad Tecnológica se está comiendo su cola –los programas de nivel tecnológico- porque quiere salvar su vida en el hábitat de las ingenierías que se ofertan en la educación superior y universitaria de Bogotá y el país.

## CONCLUSIONES

A modo de conclusión, la experiencia y el significado de la Facultad tecnológica deja varias lecciones:

1. Romper la resistencia de la tradicional forma de educar en ingeniería exige en una primera etapa la apertura de unidades diferentes a las propias Facultades de ingenierías, o crear nuevas IES.

2. La socialización y sensibilización de los actores internos que se incorporan a una nueva experiencia o proyecto de educación tecnológica y profesional exige una recapitación que los habilite para comprender el propósito de esa educación en el continuum de la educación superior por ciclos cortos.

3. Se requiere una visión flexible que a tiempo sepa dar el paso para que la realización de los egresados en el ciclo de ingenierías pueda darse en la unidad académica más apropiada, sin que se pierda el significado y el sentido de la “educación tecnológica” que se ofrece en las IES y Universidades.

4. El modelo curricular de educación por ciclos debe construirse desde una elaboración conceptual clara, pues no es un simple esquema gráfico. El modelo es una realidad viva que, aunque táctica, por la experiencia de la Facultad Tecnológica, debe validarse en la claridad de su defensa y desarrollo.

5. Se debe propender por una educación universitaria por ciclos, sin adjetivos, en el entendido de que la denominación jurídica no puede convertirse en la sustitución del concepto académico que aquella encierra.

6. Se hace indispensable pasar de un discurso informativo y jurídico sobre la educación tecnológica y la educación superior por ciclos, a un discurso más interpretativo y explicativo del significado que esta nueva experiencia abarca como práctica en la Universidad Distrital, en las IES y en la Universidad colombiana en general.

## REFERENCIAS

- AA. VV. (2013) *Aportes al proyecto educativo UD. Una construcción colectiva*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Altbach, Philip, et al. (eds.), Roa, Alberto y Pacheco, Iván F. (2014). *Educación Superior en Colombia. Doce propuestas para la próxima década*. Barranquilla: Universidad del Norte / Center for International Higher Education.
- Argüelles, Antonio (1999). *La educación tecnológica en el mundo*. México, D.F.: Limusa.
- Gómez, Víctor Manuel (1997). *La educación tecnológica*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Jirón, Mirna (2004). *De Sierra Morena a Candelaria la Nueva*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Jirón, Mirna, et al. (2010). *La formación por ciclos en las áreas tecnológicas*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Latour, Bruno (1992). *Ciencia en acción*. Barcelona: Labor.
- Mitcham, Carl (1989). *¿Qué es la filosofía de la tecnología?* Barcelona: Anthropos.
- Mumford, Lewis (2010). *El mito de la máquina. Técnica y evolución humana*. Logroño, Pepitas de calabaza.





UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

## INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Revista **TECNURA**  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica

### CONTENIDO

- Alcance y política editorial de la revista
- Tipos de artículos aceptados
- Formato del artículo
- Envío de artículos
- Procedimiento para la publicación
- Arbitraje de artículos
- Contacto

### 1. ALCANCE Y POLÍTICA EDITORIAL DE LA REVISTA

La revista *Tecnura* es una publicación institucional de la Facultad Tecnológica de la Universidad Francisco José de Caldas, de carácter científico-tecnológico con periodicidad trimestral, que se publica los meses de enero, abril, julio y octubre. Su primer número apareció en el segundo semestre del año 1997 y hasta la fecha ha mantenido su regularidad.

Las áreas temáticas de interés de la revista *Tecnura* están enfocadas a todos los campos de la ingeniería, como la electrónica, telecomunicaciones, electricidad, sistemas, industrial, mecánica, catastral, civil, ambiental, entre otras. Sin embargo, no se restringe únicamente a estas, también tienen cabida los temas de educación y salud, siempre y cuando estén relacionados con la ingeniería. La revista publica únicamente artículos de investigación científica y tecnológica, de reflexión y de revisión. En consecuencia, durante la fase de evaluación editorial inicial se rechazarán los artículos cortos y reportes de caso.

La revista *Tecnura* está dirigida a docentes, investigadores, estudiantes y profesionales

interesados en la actualización permanente de sus conocimientos y el seguimiento de los procesos de investigación científico-tecnológica, en el campo de las ingenierías. Tiene como misión divulgar resultados de proyectos de investigación realizados en el área de las ingenierías, a través de la publicación de artículos originales e inéditos, realizados por académicos y profesionales pertenecientes a instituciones nacionales o extranjeras del orden público o privado. Los artículos presentados deben ser trabajos inéditos escritos en español o inglés; sin embargo, tendrán preferencia los artículos que muestren conceptos innovadores de gran interés, que traten sobre asuntos relacionados con el objetivo y cobertura temática de la revista.

*Tecnura* es una publicación de carácter académico indexada en el Índice Bibliográfico Nacional Publindex (IBN) de Colciencias (Colombia) en la categoría A2, en los Índices Regionales Scielo Colombia (Colombia) y Redalyc (México), además de las siguientes bases bibliográficas: INSPEC del Institution of Engineering and Technology (Inglaterra), Fuente Académica Premier de EBSCO (Estados Unidos), CABI (Inglaterra), Index Copernicus (Polonia), Informe Académico de Gale Cengage Learning (México), Periódica de la Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (España) y Dialnet de la Universidad de la Rioja (España). También hace parte de los siguientes directorios: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Latindex (México), Índice Bibliográfico Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (España), DOAJ (Suecia), Ulrich de Proquest (Estados Unidos).

*Tecnura* es una revista arbitrada mediante un proceso de revisión entre pares de doble ciego. La periodicidad de la conformación de sus comités Científico y Editorial está sujeta a la publicación de artículos en revistas indexadas internacionalmente por parte de sus respectivos miembros.

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas, sus directivas, el Editor, el Comité Editorial y Científico no son responsables por la opinión y criterios expresados en el contenido de los artículos y estos se publican bajo la exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial.

Además de la versión impresa, la revista *Tecnura* tiene también una versión digital disponible en su página web: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

## 2. TIPOS DE ARTÍCULOS ACEPTADOS

De acuerdo con la clasificación del Índice Nacional de Publicaciones Científicas y Tecnológicas (Publindex-Colciencias), la revista *Tecnura* recibe postulaciones de artículos inéditos de los siguientes tipos:

**Artículos de investigación científica y tecnológica:** documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.

**Artículos de reflexión:** documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico y recurriendo a fuentes originales.

**Artículo de revisión:** documento resultado de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de las investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de al menos 50 referencias.

## 3. FORMATO DEL ARTÍCULO

### 3.1 Del lenguaje y estilo apropiado para la redacción de artículos

- Deben emplearse estructuras de oraciones simples, evitando las que sean demasiado largas o complejas.
- El vocabulario empleado debe ser básico y común. Los términos técnicos deben explicarse brevemente; asimismo, el significado de las siglas debe presentarse la primera vez que estas aparecen en el texto.
- Los autores son responsables de que su trabajo sea conducido de una manera profesional y ética.

### 3.2 De la extensión de los documentos

Los artículos no deben tener una extensión de más de 25 páginas en tamaño carta y a doble espacio, con márgenes simétricas de 3 cm. Solo en el caso de los artículos de revisión las 25 páginas no incluyen las referencias bibliográficas.

### 3.3 Del formato de presentación

Los artículos presentados deben ser trabajos inéditos escritos en español o inglés y deben digitarse en Microsoft Word (2003 en adelante), cumpliendo con las siguientes indicaciones:

Letra *Times New Román* de 12 puntos (a excepción de que se requiera lo contrario para algunos apartados).

- Una columna a doble espacio.
- Todas las márgenes de 3 cm.
- Los párrafos se justifican, y no debe haber espacio entre los consecutivos.
- No incluir saltos de página o finales de sección.
- Si se desea resaltar palabras o frases del texto, no usar letra negrita sino letra cursiva.
- Los decimales se deben señalar con coma (,) y no con un punto.

- Los millares y millones se deben señalar con un espacio fino.
- Evitar las notas de pie de página.
- Se debe utilizar nomenclatura arábica hasta el tercer nivel únicamente.

### 3.4 De la estructura del documento

Los trabajos deben tener la siguiente estructura y cumplir con los siguientes requisitos:

#### *Composición de un artículo*

Todos los artículos remitidos para su evaluación y posible publicación por parte de la revista *Tecnura* deben tener por lo menos los siguientes componentes:

- Título en español e inglés.
- Información de los autores.
- Resumen en español e inglés.
- Palabras clave en español e inglés.
- Introducción.
- Conclusiones.
- Trabajo futuro (opcional).
- Agradecimientos (opcional).
- Referencias bibliográficas.

Si el artículo es de investigación científica y tecnológica deben tener, además de lo anterior, los siguientes componentes:

- Metodología.
- Resultados.
- Financiamiento.

#### *Título*

El título del artículo deberá ser corto o dividido en título y subtítulo, atractivo para el lector potencial y escrito en mayúscula sostenida. Este debe aparecer centrado entre las márgenes, escrito con letra *Times New Roman*, en negrita, tamaño de fuente 18. El título del artículo debe ir en español e inglés separado por un espacio doble. Máximo 20 palabras.

#### *Autores*

Después del título debe escribirse el (los) nombre(s) completo(s) del (los) autor(es), acompañado de los datos biográficos básicos: título de pregrado, título de posgrado, ocupación o cargo, afiliación institucional (institución donde labora), dependencia, ciudad, país y correo electrónico. La información anterior debe ir inmediatamente debajo del nombre del autor.

#### *Resumen*

Debe establecer el objetivo y alcance del trabajo, una descripción clara y concisa de la metodología, los resultados y las conclusiones obtenidas. Máximo 250 palabras.

#### *Palabras clave*

Debe escogerse entre tres y diez palabras clave, escritas en español con letra *Times New Roman*, en negrita y cursiva.

Las palabras clave deben estar escritas en orden alfabético y ser de uso estandarizado, para lo cual se sugiere utilizar bases de datos internacionales según el área del conocimiento. Por ejemplo, en el área de Eléctrica y Electrónica se sugiere utilizar el tesoro de la UNESCO que se pueden encontrar en la página:<http://databases.unesco.org/thessp>.

#### *Abstract*

Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés del texto que aparece en el resumen en español.

#### *Keywords*

Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés de la lista de palabras clave en español.

Las *keywords* deben estar escritas en el orden de las palabras clave y ser de uso estandarizado, para lo cual se sugiere utilizar bases de datos internacionales según el área del conocimiento. Por ejemplo, en el área de Eléctrica y Electrónica se sugiere utilizar los Tesoros de la IEEE y/o World Bank que se pueden encontrar en las siguientes páginas respectivamente:[http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy\\_v101.pdf](http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy_v101.pdf), <http://multites.net/mtsql/wb/site/default.asp>

### *Introducción*

Debe describir el planteamiento general del trabajo, así como contexto, antecedentes, estado de arte de la temática abordada, objetivo y posible alcance del trabajo.

### *Metodología*

La redacción de este apartado debe permitir a cualquier profesional especializado en el tema replicar la investigación.

### *Resultados*

Explicación e interpretación de los hallazgos. Si es necesario, se puede presentar una discusión breve y enfocada a la interpretación de los resultados.

### *Conclusiones*

Implicación de los resultados y su relación con el objetivo propuesto.

### *Financiamiento*

Mencionar la investigación asociada de la cual se derivó el artículo y la entidad que avaló y financió dicha investigación.

### *Agradecimientos*

Preferiblemente deben ser breves y deben incluir los aportes esenciales para el desarrollo del trabajo.

### *Ecuaciones*

Deben aparecer centradas con respecto al texto principal. Las ecuaciones deben ser referenciadas con números consecutivos (escritos entre paréntesis cerca al margen derecho). Las ecuaciones se citan en el texto principal empleando la palabra ecuación y seguida del número entre paréntesis. Las ecuaciones deben ser elaboradas en un editor de ecuaciones apropiado y compatible con el paquete de software InDesign, por ejemplo, el editor de ecuaciones de Windows.

### *Tablas*

Para el caso de realización de tablas se recomienda que estas no sean insertadas como imágenes,

considerando que en este formato no pueden ser modificadas. El encabezado de cada tabla debe incluir la palabra Tabla (en negrita) seguida del número consecutivo correspondiente y de un breve nombre de la tabla. El encabezado debe estar escrito con letra Times New Roman, en cursiva y tamaño de fuente 9.

No se presentan cuadros sino tablas y estas se deben levantar automáticamente desde el procesador de textos. Las tablas deben ir nombradas y referenciadas en el artículo, en estricto orden. Toda tabla debe tener en su parte inferior la fuente de la que fue tomada, o mencionar que es autoría de los autores si es el caso.

### *Figuras*

Todas las figuras o fotografías deben enviarse en formato PNG o TIFF con una resolución mínima de 300 DPI, adaptadas a escala de grises.

El pie o rótulo de cada figura debe incluir la palabra Figura (en negrita) seguida del número consecutivo correspondiente y de una breve descripción del contenido de la figura. El pie de figura debe estar escrito con letra *Times New Roman*, en cursiva y tamaño de fuente 9. Las figuras deben ir nombradas y referenciadas en el artículo, en estricto orden. Toda figura debe tener también la fuente de la que fue tomada, o mencionar que es autoría de los autores si es el caso.

### *Símbolos*

Los símbolos de las constantes, variables y funciones en letras latinas o griegas –incluidos en las ecuaciones– deben ir en cursiva; los símbolos matemáticos y los números no van en cursiva. Se deben identificar los símbolos inmediatamente después de la ecuación. Se deben utilizar las unidades, dimensiones y símbolos del sistema internacional.

Cuando se empleen siglas o abreviaturas, se debe anotar primero la equivalencia completa, seguida de la sigla o abreviatura correspondiente entre paréntesis y en lo subsecuente se escribe solo la sigla o abreviatura respectiva.

**Referencias bibliográficas**

El estilo de citación de referencias adoptado por la revista **Tecnura** es APA sexta edición. Las citas, referencias bibliográficas e infografía se incluyen al final del artículo. Las referencias bibliográficas deben ordenarse alfabéticamente de acuerdo con el primer apellido del primer autor, sin numeración.

Solo deben aparecer las referencias que fueron citadas en el texto principal del trabajo, en las tablas o en las figuras. Es decir, en la lista no deben aparecer otras referencias aunque hayan sido consultadas por los autores para la preparación del trabajo. Sugerimos utilizar herramientas como: *Citas y bibliografía* de Microsoft Word (para APA sexta edición versión 2013 o superior), *Zotero*, *Mendeley*, entre otras.

El llamado de una referencia bibliográfica se inserta en el texto, en el punto pertinente, bajo ciertas características:

- Si la oración incluye el apellido del autor, solo se debe escribir la fecha dentro de un paréntesis, ejemplo:

Cuando Vasco (2012), analizó el problema de presentado en ....

- Cuando no se incluye el autor en la oración, debe ir entre el paréntesis el apellido y la fecha.

La investigación de materiales dio una visión en el área (Martínez, 2012).

- Si el documento u obra tiene más de dos autores, se debe citar la primera vez con todos los apellidos.

1990. (Fernández Morales, Villa Krieg & Caro de Villa, 2008) ....

- En las menciones siguientes, solo se debe escribir el primer apellido del autor, seguido de un "et al".

En cuanto al estudio de las aguas, Fernández Morales et al. (2008) encontraron que ...

- Cuando el documento u obra tiene más de seis autores, se debe utilizar desde la primera mención el "et al".

A continuación se describen una serie de ejemplos de las referencias más utilizadas, según

el estilo de referencias adoptado por la revista *Tecnura*:

**Publicaciones Periódicas:**

## Forma Básica

Apellidos, A. A., Apellidos, B. B. & Apellidos, C. C. (Fecha). Título del artículo. *Título de la publicación*, volumen (número), pp. xx-xx. doi: xx.xxxxxxx

**Artículo básico**

Guevara López, P., Valdez Martínez, J., Agudelo González, J., & Delgado Reyes, G. (2014). Aproximación numérica del modelo epidemiológico SI para la propagación de gusanos informáticos, simulación y análisis de su error. *Revista Tecnura*, 18(42), 12 -23. doi:<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.4.a01>

**Artículo web**

Rodríguez Páez, S., Fajardo Jaimes, A., & Páez Rueda, C. (2014). Híbrido rat-race miniaturizado para la banda ISM 2,4 GHz. *Revista Tecnura*, 18(42), 38-52. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/8059/9675>

**Libros:**

## Forma Básica

Apellidos, A. A. (Año). *Título*. Ciudad: Editorial.  
Apellidos, A. A. (Año). *Título*. Recuperado de <http://www.xxxxxx.xxx>  
Apellidos, A. A. (Año). *Título*. doi: xx.xxxxxxxx  
Apellidos, A. A. (Ed.). (Año). *Título*. Ciudad: Editorial.

## Libro con autor

Goleman, D. (2000). *La inteligencia emocional: Por qué es más importante que el cociente intelectual*. México: Ediciones B.

## Libro con editor:

Castillo Ortiz, A. M. (Ed.). (2000). *Administración educativa: Técnicas, estrategias y prácticas gerenciales*. San Juan: Publicaciones Puertorriqueñas

**Libro versión electrónica:**

Montero, M. & Sonn, C. C. (Eds.). (2009). *Psychology of Liberation: Theory and applications*. [Versión de Springer]. doi: 10.1007/978-0-387-85784-8

**Informe técnico:****Forma Básica**

Apellidos, A. A. (Año). *Título*. (Informe Núm. xxx). Ciudad: Editorial

**Informe con autores**

Weaver, P. L., & Schwagerl, J. J. (2009). U. S. *Fish and Wildlife Service refuges and other nearby reserves in Southwestern Puerto Rico*. (General Technical Report IITF-40). San Juan: International Institute of Tropical Forestry.

**Informe de una agencia del gobierno**

Federal Interagency Forum on Child and Family Statistics. *America's Children: Key National Indicators of Well-Being, 2009*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. Recuperado de <http://www.childstats.gov/pubs/index.asp>

**Tesis****Forma Básica**

Apellidos, A. A. (Año). *Título*. (Tesis inédita de maestría o doctorado). Nombre de la institución, Localización.

**Tesis inédita, impresa**

Muñoz Castillo, L. (2004). *Determinación del conocimiento sobre inteligencia emocional que poseen los maestros y la importancia que le adscriben al concepto en el aprovechamiento de los estudiantes*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Metropolitana, San Juan, PR.

**Tesis de base de datos comercial**

Santini Rivera, M. (1998). *The effects of various types of verbal feedback on the performance of selected motor development skills of adolescent males with Down syndrome*. (Tesis doctoral). Disponible

en la base de datos ProQuest Dissertations and Theses. (AAT 9832765).

**Tesis web**

Aquino Ríos, A. (2008). *Análisis en el desarrollo de los temas transversales en los currículos de español, matemáticas, ciencias y estudios sociales del Departamento de Educación*. (Tesis de maestría, Universidad Metropolitana). Recuperado de [http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis\\_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf](http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf)

**Estándares o patentes****Forma Básica**

Apellidos, A. A. *Título de la patente*. País y número de la patente. Clasificación de la patente, fecha de concesión oficial. Número y fecha de solicitud de la patente, paginación.

Hernández Suárez, C. A., Gómez Saavedra, V. A., & Peña Lote, R. A. Equipo medidor de indicadores de calidad del servicio de energía eléctrica para usuario residencial. Colombia., 655. G4F 10/0, 15 de Marzo 2013. 27 de Octubre 2011, 147

**4. ENVÍO DE ARTÍCULOS**

Los autores deben enviar sus artículos a través de la aplicación para tal fin del Open Journal System en formato digital, adjuntando la carta de presentación y el formato de información artículo-autores.

**4.1 Carta de presentación**

El artículo debe ir acompañado de una carta de presentación dirigida al director y editor de la revista, Ing. Cesar Augusto García Ubaque, donde incluya:

- Solicitud expresa de considerar su artículo para publicarlo en la revista Tecnura.
- Título completo del trabajo.
- Nombres completos de todos los autores del trabajo.
- Certificación de la originalidad y el carácter inédito del trabajo.

- Exclusividad de su remisión a la revista *Tecnura*.
- Confirmación de la autoría con la firma de todos los autores.

Esta carta deberá estar firmada por todos los autores, escanearse y enviarse junto con los demás documentos solicitados.

#### 4.2 Formato de información artículo-autores

El artículo además debe ir acompañado de un formato de información sobre el artículo y sus autores, el cual se puede descargar de la página web de la revista *Tecnura*: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>, en la sección "Formatos y Documentos". Es importante completar todos los campos de información solicitados, algunos de ellos tienen comentarios para aclarar mejor lo que se está solicitando. El formato no debe escanearse.

#### 4.3 Artículo

Artículo en formato digital (Word 2003 en adelante) que cumpla con todas las normas de presentación descritas en el capítulo 3, "Formato del artículo", de la presente en las instrucciones a los autores.

### 5. PROCEDIMIENTO PARA LA PUBLICACIÓN

El procedimiento que sigue la revista *Tecnura* para la evaluación y posible publicación de los trabajos enviados por los autores es el siguiente en orden cronológico:

1. Envío del artículo acompañado de la carta de presentación y el formato de información por parte de los autores.
2. Notificación al autor de correspondencia de la recepción del artículo.
3. Verificación del tema del artículo con respecto a las áreas de interés de la revista.
4. Verificación de las normas de presentación por parte del monitor de la revista.
5. Notificación al autor de correspondencia de la evaluación de las normas de presentación.

6. Envío de las correcciones realizadas por los autores con respecto a la evaluación de las normas de presentación.
7. Envío del artículo a los árbitros seleccionados.
8. Notificación del inicio del proceso de arbitraje del artículo.
9. Notificación a los autores de la decisión tomada por el Comité Editorial y de las evaluaciones hechas por los árbitros.
10. Envío de las correcciones realizadas por los autores con respecto a las evaluaciones de los árbitros.
11. Estudio de la versión final del artículo y de las evaluaciones de los árbitros por parte del Comité Editorial.
12. Envío por parte de los autores de la carta de cesión de derechos al editor de la revista.
13. Envío de la versión con corrección de estilo y diagramada a los autores.
14. Verificación de errores y aprobación final de la versión con corrección de estilo y diagramada por parte de los autores.
15. Publicación del artículo en el número correspondiente de la revista *Tecnura*.
16. Notificación a los autores de la publicación del número de interés.
17. Envío de un ejemplar de la revista a cada autor del artículo publicado.

### 6. PROCESO DE ARBITRAJE DE ARTÍCULOS

Considerando la periodicidad trimestral de la revista, el Comité Editorial realiza cuatro convocatorias anuales para la recepción de artículos, aproximadamente en los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre. Los artículos serán recibidos hasta la fecha máxima establecida en cada convocatoria.

Una vez recibidos los artículos el monitor de la revista realizará una primera evaluación de forma para verificar que cumplan con todos los elementos mencionados en esta guía de instrucciones a los autores. Luego de recibir nuevamente el artículo con las correcciones de forma solicitadas por el

monitor de la revista, este será sometido a evaluación por tres pares académicos (paulatinamente se espera incorporar un mayor número de pares externos que participen en el proceso).

Cada artículo remitido a la revista *Tecnura* es revisado por dos pares académicos externos a la institución de los autores, mediante un proceso de "revisión entre pares" (*Peer-review*) de doble-ciego, garantizando el anonimato de los autores y evaluadores; se considera confidencial todo trabajo recibido y así se le exige a sus evaluadores.

Las posibles conclusiones de los resultados de la evaluación por parte de los árbitros son únicamente tres: publicar el artículo sin modificaciones, publicar el artículo con modificaciones o no publicar el artículo.

Posteriormente, el Comité Editorial toma la decisión de publicar o no los artículos, con base en los resultados de las evaluaciones realizadas por los árbitros asignados. En caso de existir contradicciones en las evaluaciones con respecto a la publicación de un artículo, el Comité Editorial enviará el artículo a un tercer árbitro y se inclinará por las dos evaluaciones que tengan el mismo concepto respecto a la publicación del artículo.

En cada convocatoria el autor de correspondencia debe sugerir al menos cuatro posibles evaluadores externos a su institución laboral, los cuales deben ser especialistas en el tema específico del artículo remitido, tener al menos maestría y por lo menos dos deben ser internacionales. Los posibles evaluadores pueden pertenecer a una universidad o industria, pública o privada; de estos se debe proporcionar el nombre completo, su formación académica más alta, su afiliación institucional y su correo electrónico. Estos cuatro potenciales

evaluadores serán analizados por el Comité Editorial a fin de ampliar la base de datos de los árbitros de la revista *Tecnura*.

El Comité Editorial de la revista *Tecnura* se reserva los derechos de impresión, reproducción total o parcial del artículo, así como el de aceptarlo o rechazarlo. Igualmente, se reserva el derecho de hacer cualquier modificación editorial que estime conveniente; en tal caso el autor recibirá por escrito recomendaciones de los evaluadores. Si las acepta, deberá entregar el artículo con los ajustes sugeridos dentro de las fechas fijadas por la revista para garantizar su publicación dentro del número programado.

## 6. CONTACTO

Para cualquier solicitud de información adicional puede comunicarse a través del correo electrónico de la revista *Tecnura*: [tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com), o por mensajería con el Ing. Cesar Augusto García Ubaque, Director y Editor de la revista *Tecnura*, a la dirección:

Revista Tecnura

Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305.

Facultad Tecnológica

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Transversal 70 B N. 73 a 35 sur

Teléfono: 571 – 3238400 Extensión: 5003

Celular: 57-3153614852

Bogotá D.C., Colombia

Email: [tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)

Página web: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

## INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

### *Tecnura journal* District francisco José de caldas university Faculty of technology

#### CONTENT

- **Scope and editorial policy of the journal**
- **Type of accepted articles**
- **Article format**
- **Article submission**
- **Publication procedure**
- **Article arbitration**
- **Contact**

#### SCOPE AND EDITORIAL POLICY OF THE JOURNAL

*Tecnura journal* is an institutional publication of the Faculty of Technology from University Francisco José de Caldas. It is a scientific and technological publication with quarterly periodicity, which is published in January, April, July and October. The first issue appeared in the second semester of 1997 and up to now it has maintained its regularity.

The areas of interest of *Tecnura journal* are focused on all engineering fields such as electronics, telecommunications, electricity, systems, industrial, mechanics, cadastral, civil, environmental, among others. However, it is not restricted to those; it also has room for education and health issues, as long as they are related to engineering. The journal will only publish concerning scientific and technological research, reflection and revision. In consequence, during the initial editorial evaluation, short articles and case reports will be rejected.

*Tecnura Journal* is addressed for professors, researchers, students and professionals interested in permanent update of their knowledge and follow-up of scientific-technologic processes in the field of engineering. *Tecnura Journal* has as mission to disseminate results of research projects in

the areas of engineering, through the publication of original and unpublished articles, conducted by academics and professionals accredited by public or private national or foreign institutions. Articles submitted to *Tecnura journal* must be unpublished works written in Spanish or English; nevertheless, preference will be given to articles that show innovative concepts of great interest, related to the objective and scope of the journal.

*Tecnura* is an academic publication indexed in the Índice Bibliográfico Nacional Publindex (IBN) from Colciencias (Colombia) at the category A2, in the Regional Index Scielo Colombia (Colombia) and Redalyc (México); as well as of the following bibliographic databases: INSPEC of the Institution of Engineering and Technology (England), Fuente Académica Premier of EBSCO (United States), CABI (England), Index Copernicus (Poland), Informe Académico of Gale Cengage Learning (México), Periódica from the Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (Spain) and Dialnet from the Universidad de la Rioja (Spain). It is also part of the following directories: Online Regional Information System for Scientific journals from Latin America, Caribbean, Spain and Portugal Latindex (México), Bibliographic Index Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (Spain), DOAJ (Sweden) and Ulrich of Proquest (United States).

*Tecnura* is a journal arbitrated by a revision process among double blind peers. The schedule of the conformation of its scientific and editorial committee is subject to the publication of articles in internationally indexed journals by their members.

District University Francisco José de Caldas, its directors, the editor, the editorial and scientific committee are not responsible for the opinions and the criteria expressed in the content of the articles

and they are published under the exclusive responsibility of the authors and do not necessarily reflect the ideas of the editorial committee.

In addition to the printed version, Tecnura journal also has a digital version available in its web page: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>

## TYPE OF ARTICLES ACCEPTED

According to the classification of the Scientific and Technological Publications National Index (Publindex-Colciencias), *Tecnura* journal receives nominations of unpublished articles on the following topics:

- ***Scientific and technological research articles:*** document that presents, in a detailed manner, the original results of research projects. The generally used structure contains four main parts: introduction, methodology, results and conclusions.
- ***Reflection articles:*** document that presents research results from an analytic, interpretative or critic perspective from the author, dealing with a specific topic and adopting original sources.
- ***Review article:*** document that results from a research where the results of published or unpublished research on a science or technology field are analyzed, systematized and integrated, in order to state the advances and tendencies in development. It is characterized for presenting a careful bibliographical review of at least 50 references.

## ARTICLE FORMAT

### About the appropriate language and style for articles writing

- Authors must use simple sentence structures, avoiding those too long or complex.
- The vocabulary used must be basic and common. Technical language must be briefly explained; also, the meaning of the acronyms must be given the first time they appear in the text.
- The authors are responsible for their work to be conducted in a professional and ethic manner.

### About the length of articles

The articles should not exceed 25 pages in letter size and double space, with symmetric margins of 3 cm. Only in the case of review articles, these 25 pages do not include references.

### About the presentation format

Submitted articles must be unpublished works written in Spanish or English, and must be typed in Microsoft Word (2003 and beyond), complying with the following indications:

- *Times New Roman* letter, 12 point (except it is required for some sections).
- One column, double-spaced.
- All the margins 3 cm.
- Paragraphs should be justified without spaces between consecutives and without cutting words.
- Do not include page breaks or section finals.
- If you want to emphasize words or phrases from the text, do not use bold letters but italic.
- Decimals should be pointed with comma (,) and not with period (.).
- Thousands and millions should be pointed with a fine space.
- Avoid footnotes.
- Arabic nomenclature must be used only until the third level.

### About the article structure

The papers must have the following structure and comply with the following requirements:

### Composition of an article

All the articles submitted for evaluation and possible publication by the Tecnura Journal must have at least the following components:

- Title in Spanish and English.
- Information about the authors.
- Abstract in Spanish and English.

- Key words in Spanish and English.
- Introduction.
- Conclusions.
- Future work (optional).
- Acknowledgements (optional).
- Bibliographical references.

If the article is related to scientific and technological research must have, in addition to the above, the following components:

- Methodology.
- Results.
- Financing.

### *Title*

The title of the article must be short or divided in title and subtitle, attractive for the potential reader and written in capital letters. It should appear centered between the margins, written in *Times New Roman* letter, in bold, font size 18. The title of the article has to be in Spanish and English separated by double space. Maximum 20 words.

### *Authors*

After the title the complete name(s) of the author(s) must be written, with their basic biographical data: undergraduate degree, graduate degree, occupation or position, institutional affiliation (institution where they work), dependency, city, country and e-mail. The above information must be immediately below the author's name.

### *Abstract*

The scope and purpose of the work must be established giving a clear and concise description of the methodology, results presented and the conclusions obtained. Maximum of 250 words.

### *Keywords*

Between three and ten keywords must be chosen, written in English with *Times New Roman* letter in bold and italic.

Key words must be written in alphabetic order and must be as standard as possible, for which it is suggested the use of international databases according to the area of knowledge. For example, in the area of Electrics and Electronics it is suggested to use the IEEE thesaurus and World Bank thesaurus that can be accessed at the following web pages respectively:

[http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy\\_v101.pdf](http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy_v101.pdf)

<http://multites.net/mtsql/wb/site/default.asp>

### *Abstract in Spanish*

Translation to the Spanish language of the text that appears in the abstract, it must be correct and precise.

### *Keywords in Spanish*

Translation to the English language of the keywords in Spanish, they must be correct and precise.

Keywords must be written in the order of the English version and must be as standard as possible, for which it is suggested the use of international databases according to the area of knowledge. For example, in the area of Electrics and Electronics it is suggested to use the UNESCO thesaurus that can be found at the following web pages:

<http://databases.unesco.org/thessp>

### *Introduction*

The general idea of the work must be described, its context, backgrounds, state of the art of the topic, objectives and possible scope of the work.

### *Methodology*

The writing of this part must allow any specialized professional in the topic to replicate the research.

### *Results*

Explanation and interpretation of the findings. If necessary, a brief discussion focused on the interpretation of the results can be presented.

### *Conclusions*

Implication of the results and their relation to the proposed objective.

### *Financing*

Mention the associated research from which the article was derived and the entity that endorsed and financed the research.

### *Acknowledgments*

They should preferably be brief and include the essential contributions for the development of the paper.

### *Equations*

Equations must appear centered with respect to the main text. They must be referenced with consecutive numbers (written in parenthesis close to the right margin). Equations are cited in the main text employing the word equation, and followed by the number in parenthesis. Equations must be made in an appropriate equation editor and compatible with "InDesign" software, as for example the equation editor of Windows.

### *Tables*

In the case of implementation of tables, it is recommended that these are not inserted as images, considering that in that format they cannot be modified. The title of each table must include the word table (in italic) followed by the corresponding consecutive number and a brief name of the table. The heading must be written in TNR letter, italic and font size 9.

Charts are not presented but tables and they should be automatically raised from the text processor. Tables should be named and referenced in the article, in strict order. Every table must have at the bottom the source from which it was taken, or to mention self-authorship if it is the case.

### *Figures*

All the figures or pictures have to be sent in JPG or PNG format with a minimum resolution of 300 DPI, adapted to gray scale.

The footnote or name of each figure must include the word figure (in italic) followed by the corresponding consecutive number and a brief description of the content of the figure. The footnote of the figure must be written in *Times New Roman* letter, italic and font size 9. Figures must be named and referenced in the article, in strict order. Every figure must have at the bottom the source from which it was taken, or to mention self-authorship if it is the case.

### *Symbols*

The symbols of the constants, variables and functions in Latin or Greek letters –included in the equations– must be in italic; the mathematical symbols and the numbers do not go in italic. The symbols must be identified immediately after the equation. Units, dimensions and symbols of the international system must be used

When using acronyms or abbreviations, the complete equivalence should be written first, followed by the corresponding acronym or abbreviation in parenthesis and from there it is only written the respective acronym or abbreviation.

### *Bibliographic references*

The adopted reference citation style by *Tecnura* journal is APA sixth edition. The cites, bibliographic references and infography are included in the last part of the article. The bibliographic references must be alphabetically ordered according to the author's first surname, without numbering.

There should only appear the cited references in the main body of the work, in tables or in figures. It means, in the list there should not appear other references although they have been consulted by the authors for the work preparation. We suggest using tools such as: Cites and bibliography from Microsoft Word (for APA sixth edition version 2013 or superior), Zotero, Mendeley, among others.

The call for a bibliographic reference is inserted in the text, at the pertinent point, under certain characteristics:

- If the sentence includes the author's surname, it should only be written the date into a parenthesis, for instance:

Cuando Vasco (2012), analizó el problema de presentado en ....

- When the author is not included in the sentence, surname and date must be into a parenthesis.

La investigación de materiales dio una visión en el área (Martínez, 2012).

- If the document or work has more than two authors, the first cite must include all the surnames.

1990. (Fernández Morales, Villa Krieg & Caro de Villa, 2008) ...

- In the following mentions, it must only be written the author's first surname, followed by "et al."

En cuanto al estudio de las aguas, Fernández Morales et al. (2008) encontraron que ...

- When the document or work has more than six authors, it must be used from the first mention "et al."

Next it is described a series of examples of the more used references, according to the reference style adopted by *Tecnura* journal:

### **Periodical Publications:**

#### Basic Form

Surnames, A. A., Surnames, B. B. & Surnames, C. C. (Date). Article's title. *Title of the publication*, volume (number), pp. xx-xx. doi: xx.xxxxxxx

#### Basic article

Guevara López, P., Valdez Martínez, J., Agudelo González, J., & Delgado Reyes, G. (2014). Aproximación numérica del modelo epidemiológico SI para la propagación de gusanos informáticos, simulación y análisis de su error. *Revista Tecnura*, 18(42), 12 -23. doi:<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.4.a01>

#### Web article

Rodríguez Páez, S., Fajardo Jaimes, A., & Páez Rueda, C. (2014). Híbrido rat-race miniaturizado para la banda ISM 2,4 GHZ. *Revista Tecnura*, 18(42),

38-52. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/8059/9675>

### **Books:**

#### Basic Form

Surnames, A. A. (Year). *Title*. City: Editorial.

Surnames, A. A. (Year). *Title*. Recovered from <http://www.xxxxxx.xxx>

Surnames, A. A. (Year). *Title*. doi: xx.xxxxxxx

Surnames, A. A. (Ed.). (Year). *Title*. City: Editorial.

#### Book with author

Goleman, D. (2000). *La inteligencia emocional: Por qué es más importante que el cociente intelectual*. México: Ediciones B.

#### Book with editor:

Castillo Ortiz, A. M. (Ed.). (2000). *Administración educativa: Técnicas, estrategias y prácticas gerenciales*. San Juan: Publicaciones Puertorriqueñas

#### Book electronic version:

Montero, M. & Sonn, C. C. (Eds.). (2009). *Psychology of Liberation: Theory and applications*. [Versión de Springer]. doi: 10.1007/ 978-0-387-85784-8

### **Technical report:**

#### Basic Form

Surnames, A. A. (Year). *Title*. (Report No. xxx). City: Editorial

#### Report with authors

Weaver, P. L., & Schwagerl, J. J. (2009). *U. S. Fish and Wildlife Service refuges and other nearby reserves in Southwestern Puerto Rico*. (General Technical Report IITF-40). San Juan: International Institute of Tropical Forestry.

#### Report from a Government agency

Federal Interagency Forum on Child and Family Statistics. *America's Children: Key National Indicators of Well-Being, 2009*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. Recuperado de <http://www.childstats.gov/pubs/index.asp>

**Thesis****Basic form**

Surnames, A. A. (Year). Title. (Unpublished master or doctorate thesis). Institution name, Location.

**Unpublished thesis, printed**

Muñoz Castillo, L. (2004). *Determinación del conocimiento sobre inteligencia emocional que poseen los maestros y la importancia que le adscriben al concepto en el aprovechamiento de los estudiantes*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Metropolitana, San Juan, PR.

**Commercial database thesis**

Santini Rivera, M. (1998). *The effects of various types of verbal feedback on the performance of selected motor development skills of adolescent males with Down syndrome*. (Tesis doctoral). Disponible en la base de datos ProQuest Dissertations and Theses. (AAT 9832765).

**Web thesis**

Aquino Ríos, A. (2008). *Análisis en el desarrollo de los temas transversales en los currículos de español, matemáticas, ciencias y estudios sociales del Departamento de Educación*. (Tesis de maestría, Universidad Metropolitana). Recuperado de [http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis\\_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf](http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf)

**Standards or patents****Basic form**

Surnames, A. A. Title of the patent. Country and number of the patente. Classification of the patent, date of official license. Number and date of patent request, pagination.

Hernández Suárez, C. A., Gómez Saavedra, V. A., & Peña Lote, R. A. Equipo medidor de indicadores de calidad del servicio de energía eléctrica para usuario residencial. Colombia., 655. G4F 10/0, 15 de Marzo 2013. 27 de Octubre 2011, 147

**ARTICLE SUBMISSION**

Authors must submit their articles through the application Open Journal System in digital format, attaching the cover letter and the article-authors format.

**Cover letter**

The article must be submitted with a cover letter addressed to the director and editor of the journal, Engineer Cesar Augusto Garcia Ubaque, including:

- Specific request to consider your article to be published in Tecnura journal.
- Full title of the article.
- Full names of all the authors of the paper.
- Certification of the originality and unpublished character of the paper.
- Exclusivity of submission to Tecnura journal.
- Authoring confirmation with signature of all the authors.

This letter must be signed by all the authors, scanned and sent with the remaining requested documents.

**Article-authors information format**

The article has to be submitted with an information format about the article and its authors which can be downloaded from the web page of Tecnura journal <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>, in the section "Forms and Documents". It is important to complete all the fields of information requested, some of them have comments to clarify better what is being requested. The format must not be scanned.

**Article**

Article in digital format (Word 2003 and later editions) that complies with all the presentation rules described in chapter three, "Article structure", of this guide of instructions for authors.

## PUBLICATION PROCEDURE

The procedure to be followed by Tecnura journal for the evaluation and possible publication of the papers sent by the authors is the following in chronological order:

1. Delivery of the article with the cover letter and the information format by the authors.
2. Notification to the author about the reception of the article.
3. Verification of the presentation rules by the monitor of the journal.
4. Notification to the author about the evaluation of the presentation rules.
5. Submission of corrections made by the authors related to the evaluation of presentation rules.
6. Submission of the articles to the selected arbitrators.
7. Notification of the beginning of the arbitration process of the article.
8. Notification to the authors about the decision made by the editorial committee, and about the evaluations made by the arbitrators.
9. Delivery of the corrections made by the authors with respect to the evaluations made by the arbitrators.
10. Study of the final version of the article and the evaluations of the arbitrators by the editorial committee.
11. Delivery by the authors of the letter that surrenders right to the editor of the journal.
12. Submission of the version with style corrections and diagrammed to the authors.
13. Verification of errors and final approval of the version with style corrections and diagrammed by the authors.
14. Publication of the article in the corresponding number of Tecnura journal.
15. Notification to the authors of the number of interest.
16. Delivery of a copy of the journal to each one of the authors of the published article.

## ARTICLE ARBITRATION PROCESS

Considering the quarterly periodicity of the journal, the Editorial Committee makes four calls every year for the submission of articles, approximately in the months of February, May, August and November. The articles will be received until the date established in the call.

Once received the articles, the monitor of the journal will make an initial form evaluation to verify the completion of the elements mentioned in this guide of instructions to authors. After receiving again the article with the requested corrections by the journal's monitor, the paper will be submitted to evaluation by three academic peers (through time it is expected to include more external peers to participate in the process).

Each article sent to Tecnura journal is checked by two expert academic peers external to the institution of the authors, by a process of "Peer-review" of double blind, guaranteeing the anonymity of authors and evaluators; every paper sent is considered confidential and so it is demanded to evaluators.

Possible conclusions of the result of the evaluation by the judges are only three: publish the article without modifications, publish the article with modifications and not publish the article.

Subsequently, the Editorial Committee takes the decision to publish or not the articles, based on the results of the evaluations made by the assigned arbitrators. In case of contradictions in the evaluations with respect to the publication of an article, the editorial committee will send the article to a third peer and will be inclined for the two evaluations that have the same concept with respect to the publication of the article.

In each call the main author must suggest at least four possible external arbitrators to his work institution evaluators, who must be specialists in the specific topic of the article sent and must have at least Masters level, and at least two must to be international. Potential evaluators can belong to a university or industry, public or private; their

complete names must be provided, highest academic formation, institutional affiliation and e-mail. The editorial committee will analyze these four potential evaluators in order to enrich the database of arbitrators of *Tecnura* journal.

The Editorial Committee of *Tecnura* journal reserves the right to print, reproduce total or partially the article, as the right to accept or reject it. In the same way, it has the right to make any editorial modification that considers necessary; in this case the author will receive written recommendations from the evaluators. If accepted, authors must deliver the article with the suggested adjustments within the dates given by the journal to guarantee its publication in the programmed number.

## CONTACT

For any additional information request, please send an e-mail to *Tecnura* journal [tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com) or by mail to Cesar Augusto Garcia Ubaque, Director and Publisher of *Tecnura* Journal, to the following address:

Tecnura Journal  
Journals Room, Block 5, Office 305.  
Faculty of Technology  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Transversal 70 B N. 73 a 35 sur  
Phone: 571-3238400 Extension: 5003  
Mobile: 57-3153614852  
Bogotá D.C., Colombia  
Email:

[tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)

Web page:

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/>

[Tecnura/index](http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index)



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

## SUSCRIPCIÓN

### Revista *Tecnura*

Nombre completo: \_\_\_\_\_  
Institución u organización: \_\_\_\_\_  
Factura a nombre de: \_\_\_\_\_  
Dirección de envío: \_\_\_\_\_  
Ciudad: \_\_\_\_\_ Departamento, Estado o provincia: \_\_\_\_\_  
Código postal: \_\_\_\_\_ Apartado aéreo / P.O. Box: \_\_\_\_\_  
País: \_\_\_\_\_ Correo electrónico: \_\_\_\_\_  
Teléfono: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

Tabla de costos de suscripción:

Región	1 Año	2 Años
Bogotá	40 000 COP	70 000 COP
Colombia	45 000 COP	80 000 COP
América Latina y el Caribe	40 USD	70 USD
Estados Unidos y Canadá	40 USD	70 USD
Otras regiones	60 USD	100 USD

**Nota:** los precios tanto en dólares como en pesos incluyen el valor del envío.

Diligenciar el formato de suscripción y enviarlo por correo junto con la copia del recibo de consignación a la dirección postal que aparece en el parte inferior de esta página o escaneado a los correos electrónicos [tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co) y [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com). La consignación nacional se realiza en el Banco de Occidente a nombre de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en la cuenta de ahorros número 230-81461-8.

#### Canje y suscripciones

Enviar a Ing. César Augusto García Ubaque, PhD.  
Director y Editor Revista *Tecnura*

#### Biblioteca

Facultad Tecnológica  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Transversal 70B No. 73A - 35 sur  
Teléfono: +57 - 1 - 7311542  
Celular: +57 - 3153614852  
Bogotá, D.C., Colombia  
Correo electrónico: [tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co) [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)  
Tecnura en internet: <http://tecnura.udistrital.edu.co>



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

## SIGN UP

### *Tecnura journal*

Full name: \_\_\_\_\_  
Institution or organization: \_\_\_\_\_  
Invoice name: \_\_\_\_\_  
Mailing address/address: \_\_\_\_\_  
City: \_\_\_\_\_ Department, state or province: \_\_\_\_\_  
Zip code: \_\_\_\_\_ P.O. Box: \_\_\_\_\_  
Country: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_  
Phone number: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_ Signature: \_\_\_\_\_

Table of subscription costs:

Región	1 year	2 year
Bogotá	23 USD	40 USD
Colombia	26 USD	46USD
Latin America and The Caribbean	40 USD	70 USD
The United States of America and Canada	40 USD	70 USD
Other regions	60 USD	100 USD

**Note:** prices in both dollars and pesos include the value of the shipment.

Fill out the subscription form and mail it along with a copy of the receipt of consignment to the e-mail address that appears in the bottom of this page or scanned to the following E-mails: [tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co) and [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com). The national bank deposit is done in Banco de Occidente in the name of Universidad Distrital Francisco José de Caldas in the savings account number 230-81461-8.

#### **Exchange and Subscription**

Send Ing Cesar Augusto Garcia Ubaque PhD.  
Editor and Publisher Tecnura Journal

#### **Library**

Technology Faculty  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Transversal 73A No. 70B-35 Sur  
Phone: +57 - 1 - 7311542  
Mobile: +57-3153614852  
E-mail: [tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)