





ISSN: 2339-3270

Revista  
INGENIERÍA, MATEMÁTICAS  
Y CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN

PUBLICACIÓN DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA CORPORACIÓN UNIVERSITARIA REPUBLICANA

VOLUMEN 4 - NÚMERO 7 - ENERO - JUNIO DE 2017





**Corporación Universitaria Republicana**  
**Centro de Investigaciones**

*Fecha de publicación: enero de 2017*

DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci>



Todos los contenidos de esta revista se rigen por Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional License.

Revista de Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información, es una publicación del Centro de Investigaciones de la Corporación Universitaria Republicana - Bogotá, D.C.

Los artículos publicados en la revista pueden ser reproducidos total o parcialmente, citando la fuente y el autor.

Enfoque o perspectiva de análisis y contenido de los artículos son responsabilidad de los autores.

**DIRECTIVOS**  
**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA REPUBLICANA**

Presidenta del Consejo Superior : Diana Josefina Téllez Fandiño  
Rector : Gustavo Adolfo Téllez Fandiño  
Vicerrector : Gerardino Vivas Hernández  
Vicerrector Académico : Alejandro Castillo Rivas  
Director de Oficina de Planeación : Jaime Andrés Arboleda Oviedo  
Director del Centro de Investigaciones : Rodrigo Alberto Plazas Estepa  
Decano Facultad de Derecho y Ciencias Políticas : Iván Alfonso Cancino González  
Decana Facultad de Contaduría : Judith E. Carolina Herrera Peñaloza  
Decano Facultad de Finanzas  
y Comercio Internacional : John Freddy Bustos Lombana  
Decana Facultad de Trabajo Social : Jazmín Alvarado González  
Decano Facultad de Ingeniería  
y Facultad de Ciencias Básicas : Harold Wilson Hernández Cruz

**EDITORA**  
**Evelyn Garnica Estrada**

**COMITÉ EDITORIAL**

Magdalena Pradilla Rueda  
Diana Janeth Lancheros Cuesta  
Pedro Fernando Martín Gómez  
Nelly Paola Palma Vanegas  
Emilio Delgado Tobón

**COMITÉ CIENTÍFICO**

Raúl Manuel Falcón Ganformina  
José Antonio Tumialán Borja  
María Elisia Armas Alvarado  
Claudia Alexandra Garzón Santos  
Paula Marcela Hernández Díaz

Publicación semestral  
Número de ejemplares: 500  
ISSN: 2339-3270

**Información:**

Centro de Investigaciones  
Carrera. 7 No. 19-38 • PBX: 286 23 84 - Ext. 114

**Armada digital e impresión:**

Grafiweb Impresores Publicistas • Tel.: 6945017  
grafiwebgerencia@gmail.com

## COMITÉ EDITORIAL

### **Magdalena Pradilla Rueda**

Doctorado de Matemáticas aplicadas a ciencias sociales y Magister en Informática y Matemática en Ciencias Sociales de la Universidad de Grenoble. Doctorado en Filosofía y Magister en Filosofía de la Universidad Paris I Pantheon Sorbonne. Informática de la Universidad de Grenoble. Licenciatura en Relaciones Internacionales y Diplomacia de la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

### **Diana Janeth Lancheros Cuesta**

Doctorado en Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana - Sede Bogotá. Magister en Tecnologías de la Información de la Universidad Pedagógica Nacional - U.P.N. Especialista en multimedia para la docencia de la Universidad Cooperativa de Colombia. Ingeniera de Diseño y Automatización Electrónica de la Universidad de la Salle.

### **Pedro Fernando Martín Gómez**

Doctorado en Ingeniería Mecánica de la Universidad Federal de Uberlândia. Magister en Materiales y Procesos de Manufactura e Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

### **Nelly Paola Palma Vanegas**

Magister en Ciencias - Matemática Aplicada de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá. Matemática de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá. Docente Fundación Universitaria Konrad Lorenz - Universidad Nacional de Colombia

### **Emilio Delgado Tobón**

Magister en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Los Andes, Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá. Docente investigador Uniagustiniana.

## COMITÉ CIENTÍFICO

### **Raúl Manuel Falcón Ganfornina**

Doctor en Matemáticas, Universidad de Sevilla. Matemático, Universidad de Sevilla.

### **José Antonio Tumialán Borja**

Doctorado en Ingeniería Mecánica, Magister en Ingeniería Mecánica e Ingeniero de software de la Universidad Federal de Uberlândia, Brasil.

### **Maria Elisia Armas Alvarado**

Candidata a Doctor en Ciencias de la Universidad de São Paulo (USP). Master en Ciencias, Universidad de São Paulo (USP). Ingeniera Electrónica de la Universidad Privada Antenor Orrego.

### **Claudia Alexandra Garzón Santos**

Doctora en Ingeniería, Industria y Organizaciones de la Universidad Nacional de Colombia. Magister en Administración de Empresas, de la Universidad Nacional de Colombia. Economista, Universidad Nacional de Colombia.

### **Paula Marcela Hernández Díaz**

Candidata a Doctor en Desarrollo Sostenible, Magister en Tecnologías y Administración Ambiental de la Universidad de Manizales. European MsC in environmental technology & management, De Montfort University - Leicester UK. Especialista de Mercadeo e Ingeniera de Procesos de la Universidad EAFIT.

## PARES EVALUADORES

### **Ernesto Cadena Muñoz**

Magíster en Telecomunicaciones de la Universidad Nacional De Colombia. Especialista en Gestión de proyectos de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Ingeniero en Telecomunicaciones y tecnólogo en electrónica de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas

### **Ronal Calderón Díaz**

Magíster en Administración de Empresas con especialidad en Dirección de Proyectos, Universidad Viña del Mar de Chile. Ingeniero Civil, Universidad de la Salle.

### **Diana Melisa Ávila Nieves**

Candidata a Magíster en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética de la Universidad de Barcelona. Especialista en Instrumentación electrónica, Universidad Santo Tomás. Ingeniera Mecatrónica, Universidad Militar Nueva granada.

### **Darío Alejandro García**

Doctorando en Matemáticas, Universidad de los Andes. Magister en Matemáticas, Universidad de los Andes. Matemáticas, Universidad Nacional de Colombia.

### **Bricce Yesid Valencia Cruz**

Magíster en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Especialista en Matemática Aplicada, Universidad Sergio Arboleda.

### **Ramón Cubaque**

Magíster en Educación, Universidad Libre de Colombia. Especialista en Gerencia y Proyección Social de la educación, Universidad Libre de Colombia. Ingeniero Industrial, Universidad Libre de Colombia.

### **Diana Carolina Candia Herrera**

Especialista en Telecomunicaciones de la Universidad Piloto de Colombia. Ingeniera de Sistemas de la Universidad Piloto de Colombia.

### **Joan Andrés Arango Quintero**

Ingeniero Informático, Fundación Universitaria Católica del Norte. Director de proyectos, Innovative Education.

## REVISTA INGENIERÍA, MATEMÁTICAS Y CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN

ISSN 2339-3270

La Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información es una publicación científica y tecnológica de la Corporación Universitaria Republicana, que tiene por objeto publicar avances y resultados de investigación en matemáticas, ciencias de la información e ingeniería.

La publicación es semestral y está abierta a recibir en forma permanente los documentos que se postulen para publicación.

1. Para su recepción, evaluación y publicación los artículos cumplen un proceso de preselección basado en dos criterios: el primero atiende a la tipología del artículo de acuerdo con las categorías de Colciencias; el segundo, verifica el cumplimiento de los requisitos formales.

Si el artículo no corresponde a ninguna de las categorías establecidas por la revista o no se ajusta a los requisitos de presentación formal, será devuelto a su autor, quien podrá volver a remitirlo al editor cuando se hagan las correcciones. Se debe cumplir con los siguientes criterios según los requerimientos de tipo científico de acuerdo con la clasificación de Colciencias:

- **Artículo de investigación científica y tecnológica.** «Informe escrito que da cuenta de los resultados originales de una investigación y que debe cumplir con requisitos formales establecidos dentro de una disciplina y una comunidad científica y tecnológica, formalidades que se reflejan en las prácticas generalmente aceptadas para la publicación de documentos en las revistas que pudieran llegar a aceptarlo». Colciencias (2012).
- **Artículo de reflexión.** Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
- **Artículo de revisión.** Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de 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 por lo menos cincuenta referencias.

2. Se aceptan artículos escritos en español, inglés o francés. No se aceptan artículos que hayan sido publicados o que se encuentren en proceso de publicación en otra revista. Todo autor debe acompañar su propuesta con una constancia de que el texto presentado es de su autoría e inédito, garantizando que el mismo no ha sido propuesto en ninguna otra publicación.

3. Los artículos deberán tener un sustento bibliográfico. Las referencias bibliográficas tienen que hacerse de estilo de citación y de presentación según las **normas IEEE**.

4. En la primera página se debe hacer la correspondiente referencia sobre el autor y sus calidades académicas e investigativas. Adicionalmente señalar el proyecto de investigación del cual procede el artículo y la institución a la que corresponde.

5. Extensión máxima de 20 páginas, presentación en Word, carta, letra Times New Roman, con las **normas IEEE**.

La Revista utiliza el sistema de revisión externa (Double-Blind Peer Review) de forma anónima mediante el método de “doble ciego”, así mismo la revista podrá publicar artículos que cumplan con los requisitos de forma y contenido y que hayan sido evaluados favorablemente por árbitro o par académico.

Cada ejemplar se edita en versión impresa y también en versión electrónica (ISSN 2357-3716), esta última disponible en: <http://ojs.urepublicana.edu.co/index.php/ingenieria/index>. Esta es una revista de acceso abierto (Open Access), significa que todo el contenido es de libre acceso y sin ningún coste para el usuario/a o para su institución. Los usuarios pueden leer, descargar, copiar, distribuir, imprimir, buscar o enlazar con los textos completos de los artículos de esta revista sin pedir permiso previo, pero reconociendo los derechos de autor haciendo las referencias correspondientes.

Los artículos podrán remitirse mediante la página electrónica OJS o al correo electrónico de la Revista: [revistaingenieria@urepublicana.edu.co](mailto:revistaingenieria@urepublicana.edu.co). El formato IEEE esta disponible en el sitio online de la revista.

Para ampliar información acerca de los parámetros, plazos y condiciones puede contactar a la editora de la revista Ing. Evelyn Garnica Estrada al correo electrónico: [egarnicae@urepublicana.edu.co](mailto:egarnicae@urepublicana.edu.co)



# CONTENIDO

	Pág.
<b>Editorial</b>	
<i>Evelyn Garnica Estrada</i> .....	11
 <b>Artículos de Investigación</b>	
<b>SURVEY OF HYBRID EDFA/RAMAN IN C AND L BANDS</b> Estudio del amplificador híbrido EDFA-RAMAN en las bandas C Y L <i>Juan David Bonilla</i> .....	13
<b>ANÁLISIS POR CONFIABILIDAD DE ASENTAMIENTOS DE CIMIENTOS SUPERFICIALES</b> Reliability analysis in settlements of isolated footing <i>Giovany Suárez Pinilla</i> .....	25
<b>DESARROLLO DE UNA PLANTA PILOTO BASADA EN xPC TARGET</b> Development of a pilot plant based on xPC target <i>Johana Romero M., Esteban Rodríguez P., Efraín Bernal A.</i> .....	35
<b>SELECCIÓN Y ANÁLISIS DE ECUACIONES ANTROPOMÉTRICAS PARA EL CÁLCULO DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL EN ADULTOS</b> Selection and analysis of anthropometric equations for the calculation of body composition in adults <i>Aldo Piñeda Geraldo, Yuliana González Rincón, Patricia Álvarez Vega, Carlos Villareal Peña</i> .....	47
<b>LA DEPURACIÓN COMO COMPETENCIA EN LA FORMACIÓN DEL PROFESIONAL INFORMÁTICO</b> Depurations as competence on informatics professional formation <i>Walfredo González Hernández</i> .....	57
<b>SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN UNA SOCIEDAD GLOBALIZADA</b> Production systems in a globalized society <i>Carolina Carreño Perdomo, Yuny Duvan Beltrán Salcedo</i> .....	71
<b>LA ACROFOBIA Y SU TRATAMIENTO A TRAVÉS DE REALIDAD VIRTUAL</b> Acrophobia and its treatment through virtual reality <i>Aarón Ramírez, Sandra Johanna Benítez, María Angélica Gómez</i> .....	77

EL MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON PARA LA OBTENCIÓN DE RAÍCES  
DE ECUACIONES MEDIANTE PROGRAMACIÓN EN MATHCAD.  
ALGORITMO DE CÁLCULO

The Newton-Raphson method for obtaining roots of equations  
by programming in mathcad. Calculation algorithm

*Carlos M. Mata Rodríguez* ..... 83

CONTROL SYSTEMS FOR CURRENT OPTICAL NETWORKS BASED  
ON GMPLS PROTOCOL

Sistemas de control para redes ópticas actuales basadas  
en el protocolo GMPLS

*Carolina Vásquez* ..... 87

## EDITORIAL

**P**ara esta edición número 7 de la Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información, continua recibiendo contribuciones de autores internacionales de diferentes instituciones como la Universidad de Matanzas y la Universidad Ciego de Ávila de Cuba.

Este primer semestre del año 2017 contamos con la participación de diferentes instituciones nacionales como la Universidad de Antioquía, Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de la Salle, además con contribuciones internas de la Corporación Universitaria Republicana, desde el semillero del grupo de investigación E-learning y estudiantes de Ingeniería Industrial presentando sus trabajos realizados en el aula.

Para esta edición continuamos con la inclusión de artículos en inglés, con el fin de realizar una transición para dinamizar el inglés como una segunda lengua para autores y lectores, con el fin de introducir y adoptar nuevos perfiles, buscando mayor posicionamiento en bases de datos e índices internacionales.

En este momento la Revista cuenta con diez sistemas de información (Bases de datos, sistemas de indización y directorios de revistas), recientemente nos han incluido en DOAJ (Directorio de Revistas de Acceso Abierto), uno de los directorios más grandes de revistas científicas y de divulgación académica más utilizados en la red.

Esperamos con estos logros, aumentar la visibilidad de los artículos, de los autores, y de la Revista como tal; para tener mayor nivel de citación, vinculación a redes de investigación, contribuciones de otras universidades y reconocimientos de más sistemas de información.

Seguimos avanzando para lograr el reconocimiento y categorización como Revista Científica ante Publindex - Colombia.

Finalmente, quiero extender un agradecimiento a toda la comunidad académica de la Corporación Universitaria Republicana por el apoyo brindado a la Revista, a la Facultad de Ingeniería, al Centro de Investigaciones y a las Directivas, así como a revisores y autores por su contribución y valioso trabajo.

**Evelyn Garnica Estrada**  
Docente Investigadora  
Editora





<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# SURVEY OF HYBRID EDFA/RAMAN IN C AND L BANDS

## *Estudio del amplificador híbrido EDFA-RAMAN en las bandas C Y L*

JUAN DAVID BONILLA\*

*Recibido: 25 de diciembre de 2016. Aceptado: 30 de diciembre de 2016*

DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n7.a18>

### RESUMEN

Los amplificadores ópticos han tenido un gran avance en los últimos años. Inicialmente, se realizó la amplificación de señales ópticas pasando la señal óptica al dominio eléctrico, luego, la señal amplificada regreso al dominio óptico. Después, para evitar la distorsión de la señal, surgen amplificadores ópticos. El primer amplificador de este tipo fue el amplificador SOA, que generó mucho ruido en la señal. El amplificador EDFA, se basa en la fibra dopada, aparece para mejorar el proceso de amplificación con alta ganancia. Posteriormente, los amplificadores Raman, que se basan en la excitación de fenómenos no lineales en fibra proporcionando mayor ganancia de amplificación que EDFA y añade la menor cantidad de ruido ASE a la amplificación de la señal óptica. Los amplificadores híbridos son el futuro de los sistemas DWDM, debido a su alta ganancia de ancho de banda y bajo nivel de ruido, permitiendo aumentar la eficiencia del sistema. Este artículo discute los diferentes amplificadores híbridos, específicamente los amplificadores HOA RAMAN-EDFA, analizando la configuración de RAMAN-EDFA-RAMAN, sus ventajas y desventajas en los actuales sistemas DWDM.

**Palabras clave:** DWDM, EDFA, FRA, Amplificador óptico híbrido, longitud de onda de bombeo.

### ABSTRACT

Optical amplifiers have had a breakthrough in recent years. Initially, amplification of optical signals was performed passing the optical signal to the electrical domain, then the amplified signal back again to the optical domain. Subsequently, to avoid signal distortion, optical amplifiers arise. The first amplifier of this type was the amplifier SOA, which generated a lot of noise in the signal. The EDFA amplifier, which is based on doped fiber, appears to improve the noise figure with higher gain in the amplification process. Later, Raman amplifiers, which are based on the excitation of nonlinear phenomena in fiber provide greater amplification gain than EDFA and adds the least amount of ASE noise to the amplified optical signal. Hybrid amplifiers are the future of DWDM systems because its high bandwidth gain and low noise figure, allowing to increase system efficiency. This article discusses the different hybrid amplifiers, specifically the HOA RAMAN-EDFA amplifiers, by analyzing the RAMAN-EDFA-RAMAN configuration, its advantages and disadvantages in current DWDM systems are studied.

**Keywords:** DWDM, EDFA, FRA, hybrid optical amplifier, pumping wavelength.

## I. INTRODUCCIÓN

FIBER AMPLIFIERS such as fiber Raman amplifier (FRA) and Erbium doped fiber amplifier (EDFA) have a key role in optical transmission systems. These amplifiers have emerged as a promising solution in extending transmission capacity of dense wavelength division multiplexed (DWDM) optical networks.

Raman amplifiers have attracted huge attention, due that any wavelength within the transparency window of an optical fiber, can be amplified by simply adjusting the pump wavelength [1]. However, since the Raman-gain spectrum is not flat inherently, multiple pumping techniques or a broadened pump with gain equalizers are normally used for gain flattening and many optical devices are required for wideband optical amplification [2].

\* Ingeniero de telecomunicaciones de la Universidad de Antioquia, con énfasis en comunicaciones ópticas, específicamente en el diseño de redes de transporte DWDM long-haul y redes de acceso FTTH. Correo electrónico: [j david.bonilla@udea.edu.co](mailto:j david.bonilla@udea.edu.co)

The wide-band-EDFA covers two or three bands since it separately amplifies optical signals of each band. Generally, EDFAs are used as line amplifiers which are composed of two or three gain stages. At these stages are incorporated some components such as, dispersion compensating fibers (DCF), gain flattening filters, optical attenuators, and tap couplers [3]. DCF is well known solution in compensating the fiber dispersion. However, high loss of DCF degrades noise figure of EDFA.

On the other hand, the invention of EDFA twenty years ago, temporally supplanted ongoing research on hybrid optical amplifiers (HOA), but due to huge growth of the current data traffic has produced enormous demand for transmission bandwidth of DWDM optical communication systems [4], and based on that demand arose the need of reinvestigate the implementation of hybrid amplifiers on DWDM networks, but this time combining the advantages of both EDFA and Raman amplifiers, becoming the hybrid amplifier in an advantageous element and an economically attractive solution to compensate the optical fiber losses and losses introduced by the intermediate nodes [5].

The hybrid Raman-EDFA is designed in order to minimize the impairments due to fiber nonlinearities and to enhance the gain bandwidth and/or gain flatness of DWDM system because it can provide broad gain bands in any required wavelength region by properly setting the pump wavelengths, which is inaccessible for EDFA amplifiers [6].

This paper is outlined as follows. In Section II, a state of the art of operational principle of optical amplifiers is presented. Section III presents an overview of hybrid optical amplifiers, while Sections IV and V present some used configurations of hybrid optical amplifiers and a simulation and analysis of one of this configurations. Finally, Section VI are conclusions.

## II. STATE-OF-THE-ART

Optical amplifiers are a great advance on long-haul networks, allowing a direct amplification over the optical signal without the use of transceivers,

improving the gain, reducing noise and increasing distance between amplifiers, which reduces costs over the network.

The two most used optical amplifiers systems are based on semiconductor lasers which uses stimulated emission and the other system is based on doping the fiber with rare earth elements, in this case erbium ions (EDFA), or using the gain provided by scattering Raman (nonlinear effects).

First optical amplifiers are knowing as Semiconductor Laser Amplifiers (SLAs), they have similar behavior to semiconductor laser, the difference between them is that SLAs have no feedback that creates the oscillation. In these amplifiers, the active zone is built using alloy elements such as indium, gallium, phosphorus and arsenic [7].

There are several types of SLAs, but the most used are the resonant cavity (Fabry-Perot amplifier FPA), the Travelling Wave Amplifier (TWA) and those without cavity called quasi travelers or Near Travelling Wave Amplifier (NTWA).

One characteristic of FPAs are the cavity mirrors which are 30% reflective, producing resonance inside the cavity.

The main operational condition of FPAs is the current injection which is under the threshold current ( $I_{th}$ ), for a laser working at this condition do not exist laser emission, but there is population inversion, and therefore stimulated emission exists, due to the photons input from the fiber to the structure. Furthermore, due to the own light emission of the FPA the amplified light has some noise. On the other hand, an inconvenience of FPA is its frequency response, since have a pass-band filter (FP) with a similar behavior to a FPA, consisting of a series of regularly spaced passbands behavior.

Because of all above reasons, these type of amplifiers are rarely used in optical networks.

Currently, TWA amplifiers are the most widely used due to their benefits in saturation, bandwidth and noise. Their structure consists on a directly polarized p-n junction, where the cavity mirrors

have a thin silicon dioxide or nitride layer causing a reflectivity less than  $(10^{-3})$ .

Removing mirrors cavity avoids resonance, which causes a flat amplification, although a small gain is produced. On the other hand, due to the strong reduction of cavity resonance, threshold current considerably increases impeding the existence of own laser emissions.

Amplifiers without resonant cavity (TWA and NTWA), have an amplification between 15-35 dB, low power consumption, and are suitable for single mode fibers.

Other class of SLA are those based on injection latching which consists on semiconductor lasers polarized above the threshold ( $I_{th}$ ), this generates resonance in the cavity producing a huge amplification with a high noise thanks to laser emission in cavity. These amplifiers are rarely used in optical networks due to their low efficiency [7].

SLA amplifiers have some disadvantages, such as the match of SLAs with optical fiber is inefficient because of SLAs have a rectangular symmetry and a few wavelengths can be amplified at the same time. Therefore, to avoid this problem optical amplifiers based on fiber such as EDFA and Raman amplifiers emerge.

EDFA amplifier consists on a fiber whose core is doped with erbium ions. Such impurities produce spreading on transition bands, which combined with a pumping laser generate population inversion.

When the optical signal passes through the fiber, this is amplified due that erbium ions fall to their fundamental level energy, resulting a gain in signal. It should be remembered that spontaneous emission generates ASE noise which is added to the amplified optical signal. The suitable wavelengths to pumping an EDFA are 1480nm (using an InGaAsP diode laser) and 980nm (using an InGaAs diode laser). Using a wavelength of 1480nm a lot of noise is generated and this affects the optical signal, although this wavelength is immune to saturation gain. On the other hand, pumping on 980nm causes a completely opposite behavior.

Currently, EDFA amplifier is widely used in optical networks because it works on «C band» (around 1550nm). The EDFA's gain is around between 30-50 dB, depending of the input power. A lower input power produces higher gain and vice versa (Fig. 1). Maximum gain of EDFAs is on 1530-1535 nm.

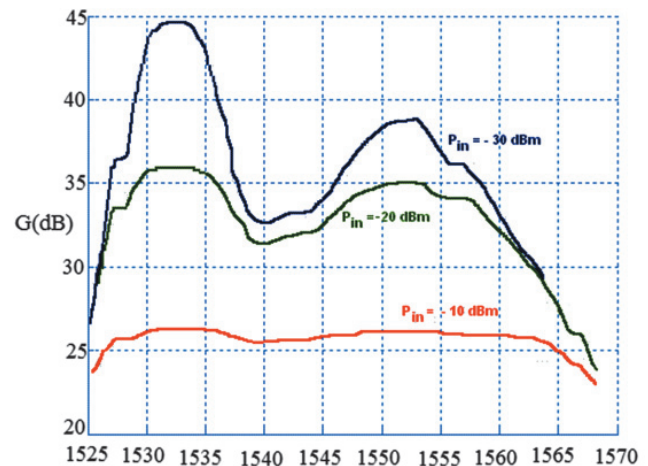


Fig. 1. EDFA gain for several input power values. [7]

There are three configurations for the EDFA amplifier pumping which can see in Fig. 2.

Nowadays EDFA configuration 1(a) is the most used, in this configuration the optical signal to be amplified and the pump signal are together injected to the EDFA by using a coupler, the first isolator is used to avoid the spread outward of the generated spontaneous emission (ASE noise). Pumping and amplification are made on the same direction of signal propagation (forward pumping). After doped fiber other isolator is placed, avoiding amplification of any reflected signal. Finally, an optical filter is used to filter the ASE noise generated by the amplifier.

Second configuration 1(b) is different from the first one because it has a pumping in the opposite direction to the signal propagation (reverse pumping). The input isolator is used to avoid the pumping signal propagation outside the amplifier. The advantage of this configuration is that it allows higher gains, but its noise characteristics are worse.

Third configuration 1(c) is a combination of the two previous configurations. It has a double pumping known as bidirectional pumping which allows that gain can be double. This scheme is widely employed for amplifiers implementation.

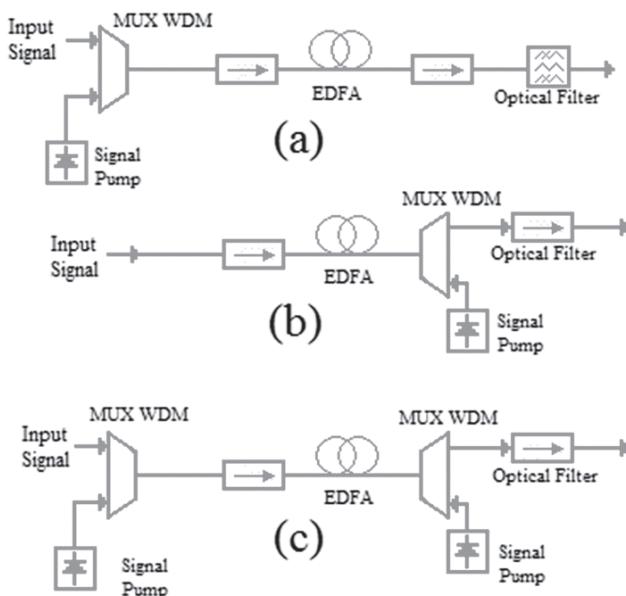


Fig. 2. EDFA configurations. [7]

In table 1 summarizes the typical parameters of an EDFA amplifier.

Table 1. Typical parameters of EDFA. [7] [8]

Pumping wavelength	1480 nm	980 nm
Pumping efficiency (dB/mW)	5	10
Noise figure (dB)	5.5	3-4.5
Saturation output power (dBm)	20	5
Gain (dB)	40	50
Pumper power (mW)	50-200	10-20

EDFA amplifier do not presents a uniform gain for a variation on the wavelength, this is due to increasing input power reducing gain until it becomes constant (saturation point).

Following are some features of EDFA that make it the most used amplifier.

1. Low generated noise.
2. Gain saturation does not cause distortion.

3. Low insertion losses due to cylindrical geometry of EDFAs.
4. Gain is less sensitive to the signal due to cylindrical geometry of EDFAs.

Main drawback of an EDFA amplifier is that it only operates in the third telecommunications window. Non-uniform gain for every wavelength is another drawback of EDFAs, but this can be solved by operating near to the saturation point because at this point gain is flatter [7] [8].

There are other types of amplifiers that allows operation on other telecommunications windows such as Praseodymium Doped-Fiber Amplifier (PDFA) which is the same amplifiers as the EDFA but the main difference between them is the use of Praseodymium to dope the core of the optical fiber, allowing this device amplify in the second window. The main disadvantage of PDFAs is that gain is lower than for an EDFA.

Raman and Brillouin effects are nonlinear phenomena which consist on pumping to a fiber with high power, with this, photons begin to give a little of their energy to the lattice vibration (phonons). If the given energy is low, around 0,2meV (50GHz of frequency) the stimulated effect is Brillouin, but if the given energy is higher, around 10meV Raman effect is generated [8].

Raman amplifier fundamentally consist of an optical fiber which is pumped with a high power (1W) to stimulate Raman effect (SRS stimulated Raman scattering) and thus amplify the optical signal. The maximum gain is 40 dB (using 1W of pumping). These amplifiers are very used on DWDM systems. FRAs are typically used on configuration of reverse pumping, where the wavelengths of pumping are introduced to optical fiber on opposite direction to DWDM signals. Thus it is ensured that most part of the amplification occurs at the end of the fiber path where the signal levels are lower, preventing turn the power level at the start of each stage of amplification beyond the threshold of nonlinear effects. FRAs can operate both in C band and L band, but due to their low gain on C-band, these amplifiers are commonly used in L band. To amplify signals on C-band (1530-1565nm), the pumping signal should be placed in a range of 1426-1461nm. To amplify



signals in L-band (1565-1625), the pumping wavelength is around 1480nm. In general, each wavelength pumping provides gain at a frequency below of 13.2 THz (pumping signal should be placed on a wavelength approximate to 104nm).

When FRAs are used in presence of channels on both C-band and L-band, the wavelength pumping on C band losses a lot of power to amplify the wavelengths pumping on L band, i.e., at same time the C band channels provide some amplification to the L band channels, causing less power to shorter wavelengths and higher power to longer wavelengths. Therefore, the wavelengths pumping on C band require more power than wavelengths on L band [8].

Following are some advantages of Raman amplifiers:

1. Covers a range of wavelengths uncovered by EDFA (L band).
2. ASE noise is lower than EDFAs.
3. By improving the optical signal-to-noise ratio (OSNR) of entire system it can be obtained lower effective noise figure than 3 dB or even negative values that are unobtainable separately with EDFAs.

### III. HYBRID OPTICAL AMPLIFIERS

Nowadays, high capacity networks have been possible due to implementation of DWDM optical transport systems, which have enhanced performance of optical networks through the use hybrid optical amplifiers. As mentioned above at this paper, exists several types of optical amplifiers such as SOA, PDFA, EDFA, Raman, among others. Because of this there are different configurations of hybrid amplifiers which will be seen below.

#### A. Hybrid SOA-EDFA

SOA-EDFA can be used to extend the gain spectrum of an EDFA. But it generates higher amount of ASE noise than in the hybrid configurations such as EDFA-DRA (Distributed Raman Amplifier) or SOA-DRA. This types of hybrid amplifiers are not applied in long haul DWDM

systems [9] because ASE noise affects the total performance of the system, resulting in a low received signal level, i.e., a high bit error rate (BER) [10].

#### B. Hybrid SOA-EDFA

In DRA-SOA hybrid amplifiers, Raman amplifier increases overall system gain and reduces SOA gain tilt i.e., the use of DRA eliminates nonlinear effects produced by SOAs. However, the use of multiple SOAs in optical links is not common, because SOAs produce a high distortion in the optical signal. This broad gain bandwidth (> 80 nm) amplifiers can be designed to operate in any wavelength region compatible with single-mode optical fiber [10] [11].

#### C. Hybrid EDFA-EYCDFA

One disadvantage of EDFA is the different gain for several wavelengths, this due to doping concentration, and EYCDFA (Erbium Ytterbium Co-Doped Fiber Amplifier) suppresses concentration quenching effect which generates higher flatness gain under certain pump power. Hybrid EDFA and EYCDFA provides a flat gain of 36dB with noise figure in a range of 4 to 4.2dB for a fiber length of 14m and a wavelength pumping at 980 nm [10].

#### D. Hybrid EYCDFA-SOA

EYDWA-SOA hybrid amplifiers are very common on metropolitan networks, due to provides a high and flat gain because of the high doping of EYDWA, also, provides a large output power and gain with less variation due to the presence of SOA amplifier [10].

#### E. Hybrid EDFA-TDFA

EDFA provides enough flattening gain but gain spectrum is narrow, therefore the number of DWDM channels amplified is reduced. Thus there is a necessity to improve the amplification bandwidth of EDFA, and TDFA (Thulium Doped Fiber Amplifier) is a viable alternative to improve the limitations of EDFA [10] [14] [15].

#### F. Hybrid TDFA-FRA

FRA-TDFA hybrid amplifiers work in short wavelength band (S-band) region, because

combining the gain spectrum of TDFA and FRA. In this case, FRA and TDFA use a similar type of pump laser. Theoretical gain varies from 20 to 24 dB within a wavelength region from 1460 to 1525 nm [10] [17] [19].

### G. Hybrid Raman-EDFA

The goal of this paper is to analyze this type of amplifiers, because EDFA and Raman works optimally in different bands (C band and L band respectively). Since the beginning of the century has been studied how to combine the use of these amplifiers to achieve a flat gain in the C and L bands, i.e., a constant gain uniform for the different spectral components of those bands. Blue graph in Fig. 3 shows above affirmation. This wide flatness gain bandwidth is because of the gain spectrum of FRA can vary by adjusting the pump powers and pump wavelengths, which is used to increase the amplification bandwidth of EDFA.

The noise figure of Raman amplifiers is much lower than that of EDFAs, so to achieve a higher gain with lower noise figure or a wider amplification band, is needed to use an EDFA in combination with a FRA.

Some important advantages of HOA Raman-EDFA are the generation of high gain and good power conversion efficiency by EDFAs, and more flexible gain bandwidth design, low noise, high capacity to mitigate fiber nonlinearities produced by Raman and the enhancement of the gain bandwidth and/or gain flatness of DWDM system. This allows that all channels have a similar amplification, with a low noise, increasing the length between amplifiers such that reduces cost of the optical network.

Some important drawbacks of Raman-EDFA amplifiers are the requirements of several pumping wavelengths to generate a high flatter gain. On the other hand, by increasing the number of pumping lasers, the ripple significantly decreases, although, the global gain of system increases 5dB for each laser. It is recalled that the use of many pumping lasers is not efficient, but this can be mitigated somewhat by increasing the number of channels using a Raman-EDFA configuration [18] [19].

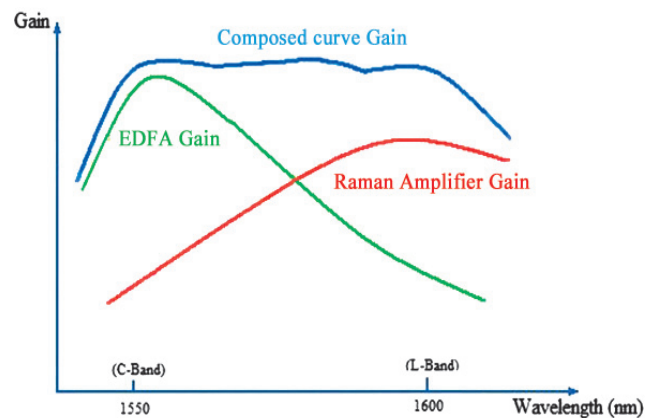


Fig. 3. Gain Raman-EDFA. [7]

## IV. HOA EDFA-RAMAN CONFIGURATIONS

Several types of configurations for the implementation of EDFA-Raman amplifiers have been proposed with the passing of years, following are some of them.

### A. Configurations with pump recycling

Configuration in Fig. 4(a) proposes to optimize Raman+EDFA hybrid amplifiers for broadband applications. This optimization technique to design flat gain hybrid amplifiers also proposes pump recycling. In this case, the first stage of the configuration is a WDM optical communication system, which passes through a dispersion compensating fiber (DCF) which have a dispersion coefficient of  $-98\text{ps/nm-km}$  and is based on a Raman amplifier (12.6km). The second stage is an EDFA amplifier using a 10m of erbium-doped fiber (EDF). Optimization is performed for amplifiers with two pump lasers (pumping (a)) and three pump lasers (pumping (b)) as can be seen on table 2.

The pumped DCF as a Raman amplifier has two main advantages, the first one the amplification band can be extended within the transparency window of the optical fiber by simply changing the pumping wavelengths, and the second one, both losses and dispersion compensation in the transmission fiber can be obtained at the same time[18].

Configurations on Fig. 4 were used on another investigation, in which several pumping lasers

Table 2. Pump wavelength and pump power [18].

	Pumping(a)		Pumping(b)		
Wavelength (nm)	1425	1468	1414.5	1426.5	1472
PumpPower(mw)	296.3	61.3	244.1	269.9	60.1

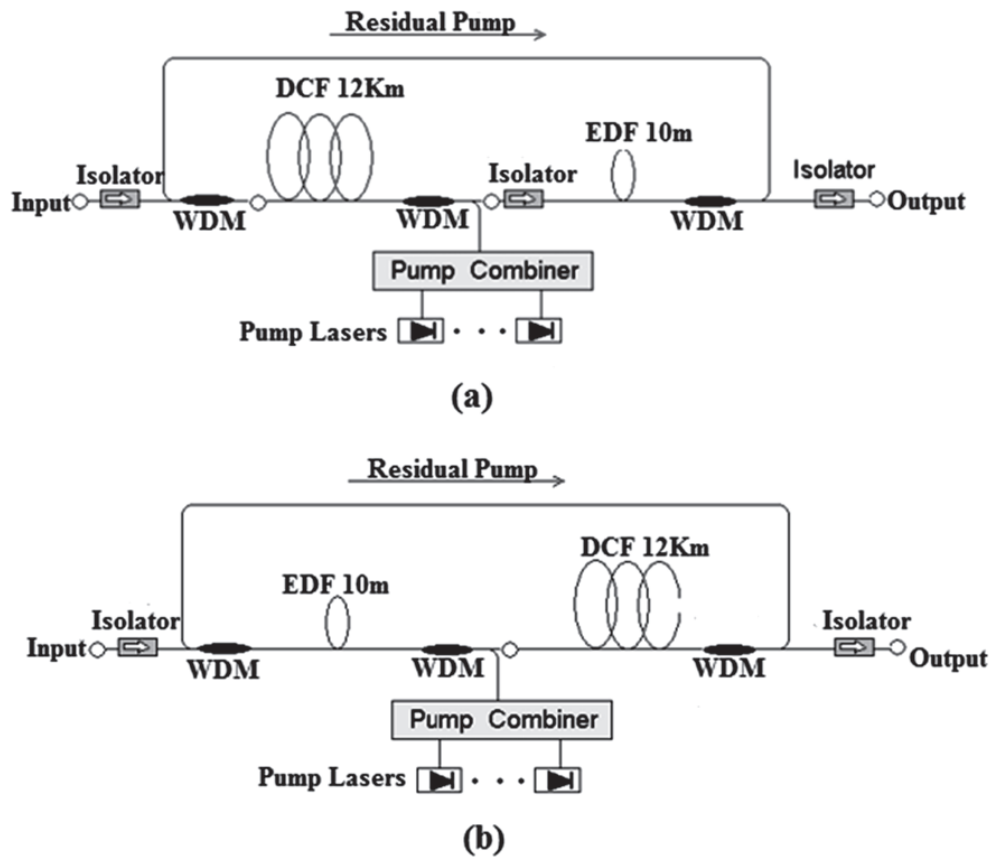


Fig. 4. Schematic design of HOA Raman-EDFA [18] [19]

(Table 3) were used, and the number of channels (8, 16, 32, 64, and 128) was varied from so it was determined that the configuration EDFA-Raman (4b) is providing better services in terms of global gain system 40 dB and a low noise figure with 8 channels. Also it was determined that the ripple tends to decrease as the pumping lasers number increases.

Whereas the average global gain increases approximately 5 dB per each pumping laser included. The increase of input channels number can provide better results than the increase of pumping lasers when is used an EDFA-Raman hybrid amplifier [19].

Table 3. Pump wavelengths for configurations of Fig. 3 [19].

Number of pump lasers	Wavelength (nm)	Power of each pump lasers (mW)	Pumping global power (mW)
1	1425.0	231.3	231.3
2	1425.4	291.0	368.9
	1451.0	77.9	
3	1423.0	288.9	529.7
	1425.4	176.5	
	1465.8	64.3	
4	1421.7	91.4	613.6
	1422.9	211.9	
	1424.0	204.1	
	1451.4	106.2	

**B. Configurations for DWDM systems**

Configuration at Fig. 5(a) uses a single EDFA working in C band or L band, while Fig. 5 (b) has two parallel EDFAs which can be used for any of the wavelengths of C and L bands [20]. A further proposal configuration contains a hybrid amplifier located 100km from the transmitter (Fig. 6.), i.e., this is a line amplifier. Raman amplifier is pumped with two wavelengths looking for a flattened signal. It is important to remember that the power spectrum of the optical signal in a Raman amplifier is affected by Raman pumping (only counter propagation is considered at this case), Raman amplifier spontaneous emission, ASE noise and Rayleigh back scattering. Moreover, the pump power does not remain constant along the Raman fiber. Some important details are set forth in Table 4 [21]. Other configurations for DWDM systems can be seen in Fig. 7, where the Raman stage is always operated in the counter-pumped geometry, due to smaller pumping noise coupling onto the signal. In

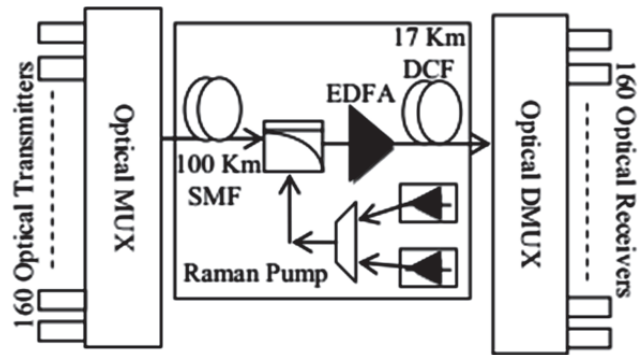


Fig. 6. Proposed HOA for DWDM systems [21].

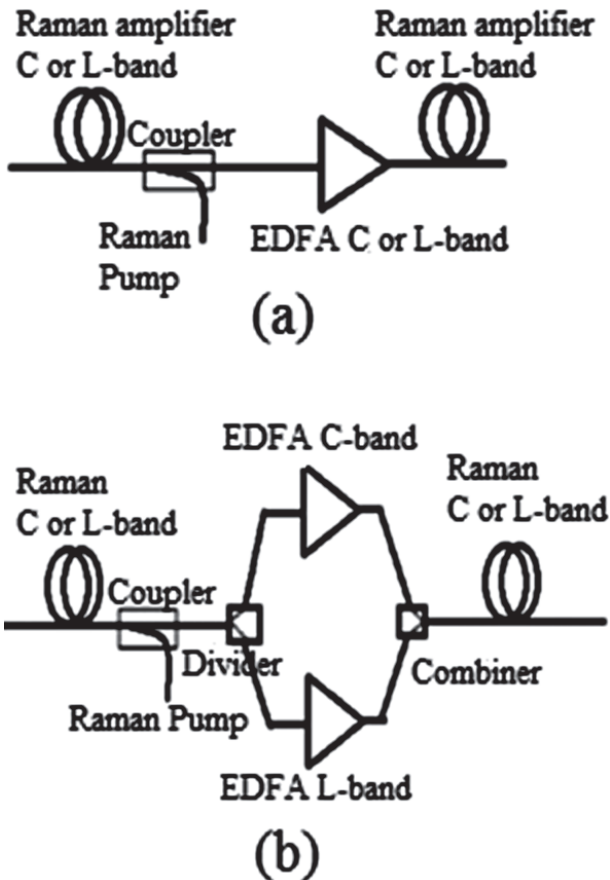


Fig. 5. Configurations HOA Raman-EDFA [20].

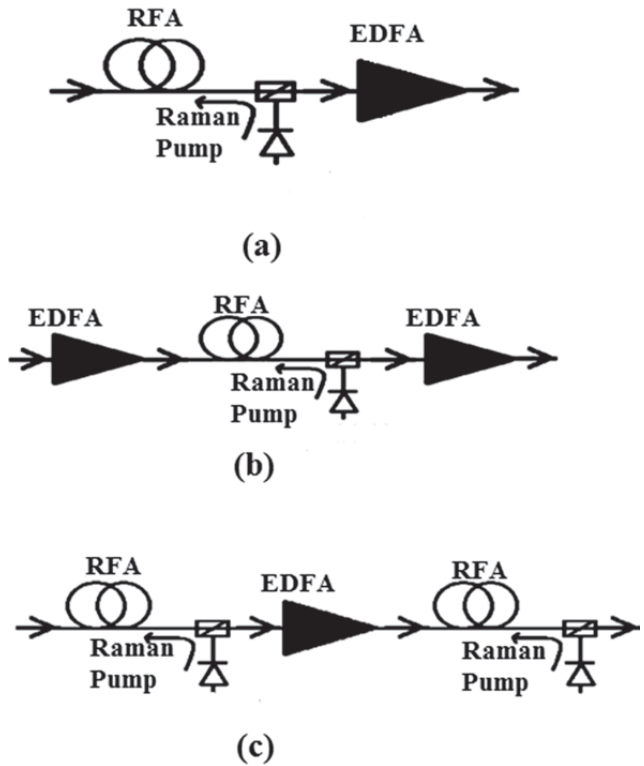


Fig. 7. Proposed HOA for DWDM systems [22].

Table 4. Pump frequency and pump power of fig. 6 [21]

Fiber	Loss (dB/Km)	Dispersión (ps/nmkm) (THz)	Pump frequency	Pump power (mW)
SMF	0.2	16	207	650
			201	250
DCF	0.5	-90	Nil	Nil

this configuration were used the data presented on tables 5, for Raman and EDFA amplifiers respectively. In the hybrid configuration of Fig. 7(a), the optical signal enters the Raman stage before undergoing further amplification in the cascaded EDFA. First amplification stage in hybrid amplification of Fig. 7(b) is composed of an EDFA which is followed by a hybrid Raman stage and finally and EDFA amplifier. In this case, the first EDFA is a power Booster.

In hybrid amplifier of Fig. 7(c) three times amplification occurs by the Raman amplifier followed by a hybrid EDFA-Raman.

**Table 5.** EDFA-Raman parameters for DWDM [22].

Parameters	Value
Raman fiber length	12km
Raman loss	0.2 dB/km
Raman Pump wavelength	1,453nm
Raman Pump power	500mW
Raman Pump attenuation	0.2 dB/km
Dispersion at reference frequency	2.15ps/nm km
Reference frequency for dispersion	1,550 nm
Operating temperature	300K
EDFA PARAMETERS	
Out power	32mW
Gain shape	Flat
Maximum small signal gain	35.6
Noise figure	4.5dB

Simulations were carried out using 100-laser sources operating at 1,546.725-1,551.575nm, 1,543.45-1,553.15nm, 1,536.9-1,556.3nm, 1,523.8-1,562.6nm, and 1,497-1,575.2nm for 6.25, 12.5, 25, 50, and 100GHz, respectively. Each laser source has a light beam of 1mW of power. These laser beams are modulated by a sine square amplitude modulator with an excess loss of 4dB. The simulated bit rate is at SONET/SDH rate (2.488Gbps) with a pseudorandom binary sequence. With respect to the overall power system performance, Raman-EDFA is found to have the best performance among the three types in the terms of quality factor, BER, and eye closure[22]. Shows the maximum single span distance of 220km which is achieved by Raman-EDFA amplifier at acceptable BER ( $4 \times 10^{10}$ ), quality factor (15.8 dB), and eye closure (2.23 dB) [22].

Simulation results have shown that the maximum acceptable bit rate for the 12.5GHz channel spacing DWDM system with the Raman-EDFA, Raman-EDFA-Raman, and EDFA-Raman-EDFA, need not to be greater than 20, 16, and 19Gbps, respectively [22].

Table 6 shows some proposed configurations of hybrid amplifiers where some important parameters such as gain flatness, gain bandwidth, gain, noise figure, number of channels are

**Table 6.** Configurations of hybrid optical amplifiers and results. [6] [10] [20]

Hybrid Optical Amplifiers	Gain and Noise Figure (NF)	Gain Flatness	Number of channels/ channel spacing	Gain Bandwidth [nm]
EYDWA+SOA [6]	Gain>14dB	~0.75dB	Channels:100 Spacing: 0.2nm	20
EDFA+EYCDFA [13]	Gain~36dB NF: -4 to4.2dB	Flat	-	-
EDFA+TDFA [15]	Gain >7dB NF:<7dB	Gain variation radio<0.4	-	80
Raman +EDFA [16]	Gain>12dB	~1.2dB	Channels:35 Spacing: 1nm	23.5
Raman+EDFA+DCF [21]	Gain>10dB	<4.5dB	Channels:160 Spacing: 0.2nm	31.79
Raman+EDFA+FBG+DCF [23]	Gain>4dB	<0.5dB	Channels:26	80
Raman+EDFA [24]	Gain >11dB	<3dB	Channels:16 Spacing: 0.8nm	12.01
DRA+EDFA [6]	Gain>24dB	~1.15dB	Channels:100 Spacing: 0.2nm	20

analyzed. The main proposal of these configurations is to reduce the noise figure and achieve the major gain flatness possible of HOA. As mentioned above, this paper focus on EDFA-Raman configurations. Analyzing Table 6, the highest value of flat gain was achieved for Raman+EDFA+DCF configuration where gain bandwidth is 31.79 nm while the noise figure was not study for this article.

## V. RESULTS

To analyze the behavior of a DWDM signal by using an EDFA+DRA amplifier configuration, a simulation is made by means of VPIphotonics software. DWDM signal is setting to transport 40 channels with a spacing channel of 100GHz (0.8 nm).

Table 7 contains the EDFA and Raman amplifiers parameters used for the simulation. Raman amplifiers have a separation distance of 15km and 18km respectively. Forward and reverse pumping are used for Raman amplifiers, as can be seen at Fig. 8, where there is illustrated the used configuration for this simulation.

Raman amplifiers are working on L band, because of this, the pumping wavelength is chosen around of 1480nm. On the other hand, EDFA amplifier operates on C band, by using a 1480nm pumping wavelength, and a 100mW power. This

Table 7. Simulation parameters.

Amplifiers	Pump wavelength (nm)	Pumper power (mW)
EDFA	1480	100
Raman (15km)	1500	130
Raman (18km)	1489	135
Raman (18km)	1515	190
Raman (18km)	1520	200

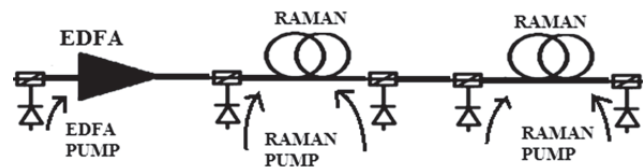


Fig. 8. HOA configuration for DWDM systems.

pumping power must be between 50 and 200mW (see Table 1), this to avoid amplifier saturation. ASE noise is added to the optical signal, this due to the high value for EDFA pumping power, as can be seen on Fig. 9. The three used pumping wavelength are placed at right side of Fig. 9.

Amplification gain for band L channels is flat whilst channels on C band have more variation on their gain, this because of DRA amplifiers achieve a flat gain on the entire L band, but due that EDFA amplifier don't provides a very flat gain, channels on C band are affected (see Fig. 10).

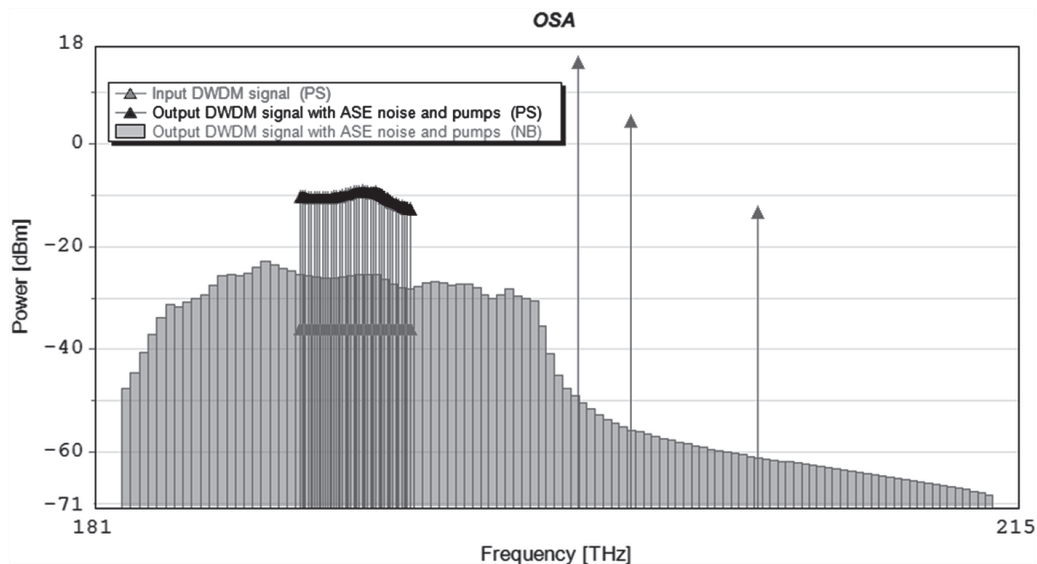


Fig. 9. Spectral analysis of HOA.

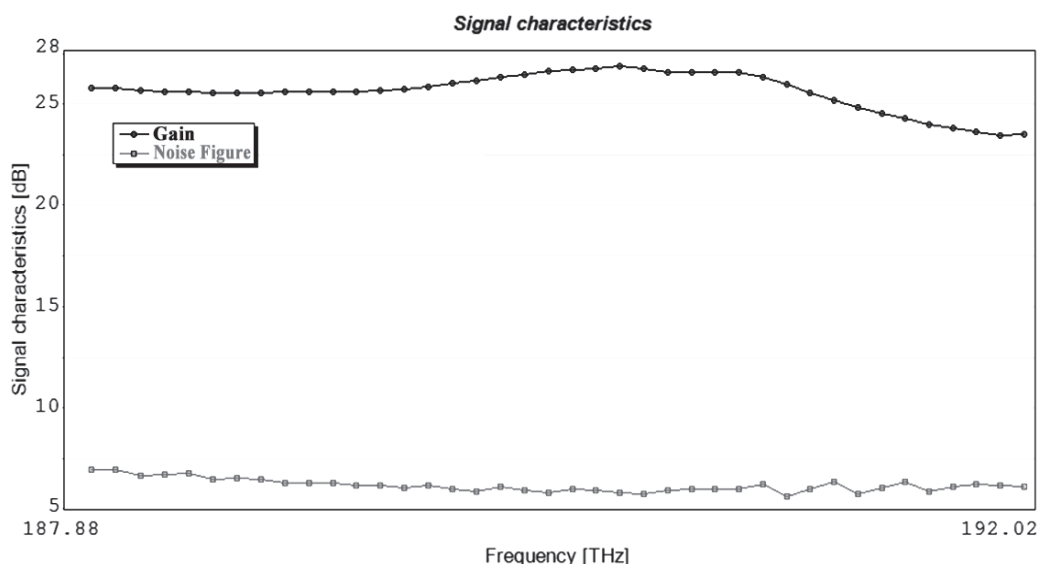


Fig. 10. Gain and Noise figure of HOA.

As mentioned above, ASE noise covers completely the optical signal (green line on Fig. 9).

Fig. 10 shows the HOA amplifier gain and noise figure. Variations on channel frequency causes changes on the noise figure, drastic variations occur for the EDFA operation band (C band). At this operation band, amplifier gain is reduced, this could be overcome by increasing the pumping power for EDFA amplifier although this could produce some problems due to the amplification of ASE noise.

It is important to remember that the saturation gain for the EDFA amplifier is achieved for pumping powers over 200mW.

To reduce the quantity of ASE noise on amplified signal a more accurate optical filter is required, this to allow the improvement of the noise figure of HOA. Due that noise figure depends of the signal noise ratio at amplifier output, is required that less ASE noise be generated in amplification process for EDFA amplifier. On the other hand, EDFA gain could be duplicated if a dual pumping is deployed, i.e. forward and reverse pumping. Although it is not common to carry out this type of pumping.

## VI. CONCLUSIONS

The use of EDFA at the first HOA amplification stage adds a lot of ASE noise to the optical signal,

and this causes the distortion of noise figure, which reduces drastically the amplifier performance and affects the signal flatness. To achieve a higher flat gain bandwidth, is necessary to find the adequate pumping wavelength. On the other hand, amplification gain depends of the pumping power which must be chosen on an adequate value to avoid the noise aggregation to the amplified signal.

Flat gain bandwidth obtained for the simulation is 2.7THz, the achieved gain for this bandwidth is 27dB, with a variation of  $\sim 1.3$ dB and a minimum and maximum noise figure of 5.5dB and 6.5dB respectively. Comparing above simulation results with those on table 6, it can be determined that proposed configuration have good results, although a better optical filter is required at EDFA output, to reduce the generated ASE noise.

Due to the wide flat gain bandwidth and low noise figure reached for hybrid amplifiers at the simulation, HOA can be a key element for DWDM long-haul transport networks.

## REFERENCES

- [1] M.N Islam. «Raman Amplifiers for Telecommunications»-1 Physical Principles, chapter 1. New York: Springer, 2004.
- [2] H. Kidorf, K. Rottwitt, M. Nissov, M. Ma, and E. Rabarijaona, «Pump interactions in a 100-nm

- bandwidth Raman amplifier,» *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, no. 5, pp. 530-532, May 1999.
- [3] K. Motoshima, et al., *J. Lightwave Technol.*, 19, 1759-1767 (2001).
- [4] H. Suzuki, M. Fujiwara, and K. Iwatsuki, «Application of super-DWDM technologies to terrestrial terabit transmission systems,» *J. Lightw. Technol.*, vol. 24, no. 5, pp. 1998-2005, May 2006.
- [5] B. Dumas, R. Olivares «Transient Link Control Technique Applied to Optical Hybrid Amplifier (EDFA+DFRA) cascades,» *Optical Society of America, J. OPT COMMUN. NETW.* /Vol. 4, No. 1/November, 2012.
- [6] S. Singh and R. S. Kaler, «Novel Optical Flat-Gain Hybrid Amplifier for Dense Wavelength Division Multiplexed System», *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 26, No. 2, January 15, 2014.
- [7] «Tutorial de Comunicaciones Ópticas» [Online]. Available: [http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema\\_2\\_8\\_2.htm](http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema_2_8_2.htm). [Accessed: 03-Apr-2016].
- [8] G. P. Agrawal., *Fiber Optic Communication Systems*. John Wiley and Sons, Inc., New York, 2002.
- [9] DR. Zimmerman, H. Spiekman. «Amplifiers for the Masses: EDFA, EDWA, and SOA Amplets for Metro and Access Applications.» *J. Light wave Technol.* 22(1):63-70, 2004.
- [10] P. Jain<sup>1</sup>, K. Vashist, N. Gupta «Comparison Study of Hybrid Optical Amplifier,» *IEEE International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET)*, ISSN 2278-0882 Volume 3, Issue 9, December 2014.
- [11] C. Kenneth. P. Reichmann, Iannone, X. Zhou, N. Frigo and B. R. Hemenway, «240Km CWDM Transmission Using Cascaded SOA- Raman Hybrid Amplifiers With 70- nm Bandwidth» *IEEE photonics technology letters* Vol.18, No. 2, 2006.
- [12] S. Bhaskar, M.L. Sharma, Ramandeep Kaur,» Performance Comparison of different hybrid amplifiers for different numbers of channels», (IJACSA) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Special Issue on Wireless & Mobile Networks.
- [13] R. Ronak, A. Vashi, H. Desai and H. Amit. «Modeling of Gain Flattening using EDFAEYCDFA in Cascading Mode» *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS)*, Volume 2, Issue 4, July - August 2013.
- [14] I. Kaur and N. Gupta, «Comparative Analysis of Hybrid TDFA-EDFA and Hybrid EDFATDFA Configurations for 96 Channels DWDM System for S+C Bands», 2014. IEEE.
- [15] T. Sakamoto, S. Aozasa, M. Yamada, and M. Shimizu, «Hybrid Fiber Amplifiers Consisting of Cascaded TDFA and EDFA for WDM Signals» *Journal of lightwave technology*, Vol. 24, No. 6, June 2006.
- [16] M. H. Abu Bakar, A. F. Abas, M. Mokhtar, H. Mohamad, and M. A. Mahdi, «Utilization of stimulated raman scattering as secondary pump on hybrid remotely pump L-band Raman/erbiumdoped fiber amplifier,» *Laser Phys.*, vol. 21, no. 4, pp. 722-728, 2011.
- [17] S. D. Emami, P. Hajireza, F. Abd-Rahman, H. A. Abdul-Rashid, H. Ahmad and S. W. Harun,» Wideband hybrid amplifier operating in s-band region» *Progress In Electromagnetics Research*, PIER 102, 301-313, 2010.
- [18] M. M. J. Martini, C. E. S. Castellani, M. J. Pontes, M. R. N. Ribeiro, H. J. Kalinowski, «Multi-pump Optimization for Raman+EDFA Hybrid Amplifiers under Pump Residual Recycling,» *International Optoelectronics Conference*, p. 117-121, Belém, Brazil, 2009.
- [19] M. M. J. Martini, C. E. S. Castellani, M. J. Pontes, M. R. N. Ribeiro, H. J. Kalinowski, «Performance Comparison for Raman+EDFA and EDFA+Raman Hybrid Amplifiers Using Recycled Multiple Pump Lasers for WDM Systems,» *International Optoelectronics Conference*, p. 117 - 121, Belém, Brazil, 2009.
- [20] S. Singh and R. S. Kaler, «Review on recent developments in hybrid optical amplifier for dense wavelength division multiplexed system», *Optical Engineering* 54(10), 100901 (October 2015).
- [21] S. Singh and R. S. Kaler, «Flat gain L-band Raman-EDFA hybrid optical amplifier for dense wavelength division multiplexed system,» *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 25, no. 3, pp. 250-252, Feb. 1, 2013.
- [22] S. Singh and R. S. Kaler, «Investigation of hybrid optical amplifiers for dense wavelength division multiplexed system with reduced spacing at higher bit rates,» *Fiber Intege. Opt.* 31(3), 208-220 (2012).
- [23] M. N. Guo et al., «Single-wavelength-pump bi-directional hybrid fiber amplifier for bi-directional local area network application,» *Opt. Commun.*, vol. 284, no. 2, pp. 573-578, 2011.
- [24] S. Singh and R. S. Kaler, «Performance evaluation of hybrid optical amplifier for high speed DPSK modulated optical signals,» *J. Opt. Eng.*, vol. 52, no. 9, pp. 096102-1-096102-3, 2013.





<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# ANÁLISIS POR CONFIABILIDAD DE ASENTAMIENTOS DE CIMIENTOS SUPERFICIALES\*

## *Reliability analysis in settlements of isolated footing*

GIOVANY SUÁREZ PINILLA\*\*

*Recibido: 25 de septiembre de 2016. Aceptado: 25 de noviembre de 2016*

DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n7.a19>

### RESUMEN

Con miras a realizar un análisis de confiabilidad de asentamientos de un cimiento superficial, emplazado en un estrato de suelo de compresibilidad variable en la ciudad de Bogotá, se determinó una función de comportamiento que finalmente depende de cuatro variables consideradas como aleatorias. La información estadística requerida para tal propósito, proviene de otras investigaciones sobre las propiedades de compresibilidad del terreno en esta ciudad. Con tres diferentes modelos de simulación se evalúa el promedio y el coeficiente de variación del asentamiento esperado por consolidación, y se compara la respuesta de los modelos con la variabilidad de los datos de entrada. Asimismo, es posible realizar conjeturas sobre la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los resultados obtenidos. Por último, en una hoja de cálculo de Excel, se crea una rutina para efectuar este tipo de análisis con otras configuraciones de carga y geometría del cimiento. A partir de estas consideraciones, se calcula la probabilidad de falla para los asentamientos esperados.

**Palabras clave:** asentamientos, consolidación, confiabilidad, Taylor, estimativos Ppuntuales, Monte Carlo.

### ABSTRACT

In order to perform a reliability analysis in settlements of an isolated footing founded on a soil layer with variable compressibility in Bogota City, a four-dependent variables performance function was defined. Statistical data demanded for that purpose, come from other research about soil deformability properties in this town. Mean and coefficient of variation of expected consolidation settlement were assessed through three several models and the results are compared to variability of input data. At the same time, conjectures on the best fit for the probability density function can be done. Finally, in an Excel spreadsheet, a routine for realizing this sort of analysis with different load and geometry setup was designed. From these considerations, the probability of failure for the expected settlement is calculated.

**Keywords:** settlements, consolidation, reliability, Taylor, point estimate, Monte Carlo.

## I. INTRODUCCIÓN

DESDE MEDIADOS del siglo XX, la inclusión de teorías probabilísticas en problemas de análisis y diseño en ingeniería se ha tornado una actividad más común y de mayor relevancia. Sin menospreciar en ningún momento los grandes avances alcanzados a partir de fórmulas determinísticas (aquellas donde se reemplazan valores únicos de las variables para llegar a un valor definitivo de diseño), el uso de la

probabilidad abre definitivamente un amplio espectro de opciones que permiten al cuerpo de ingenieros a cargo de un proyecto, tener nuevas alternativas a la hora de tomar decisiones que permitan encontrar un equilibrio apropiado entre costos, viabilidad técnica y operativa, y ciertamente, la seguridad.

Es en ese sentido que se vuelve imperante la introducción de conceptos más desarrollados,

\* Este trabajo hace parte de la Línea de Investigación de la Maestría en Ingeniería – Geotecnia, de la Universidad Nacional de Colombia. Director del Trabajo, MSc, PhD Carlos Eduardo Rodríguez Pineda.

\*\* Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia, Magíster en Ingeniería de la misma Universidad y con estudios de posgrado en la Universidad de la Sabana – Bogotá. Correo electrónico: [jgsuarezp@unal.edu.co](mailto:jgsuarezp@unal.edu.co)

como la determinación de índices de confiabilidad, a partir del análisis estadístico de variables aleatorias y no de la simple definición de un factor de seguridad por encima de Uno [1]. Por tal razón, el trabajo que se expone a continuación se centrará en un material natural que reúne todas las condiciones para ser tratado con un enfoque probabilista: se trata del suelo, como material de construcción [2]. Justamente, en disciplinas como la ingeniería industrial, mecánica y de sistemas, por mencionar solo algunas, las propiedades de los materiales empleados provienen generalmente de procesos de fabricación con estándares de calidad que buscan altas resistencias y durabilidades, a la vez de garantizar una baja variabilidad en las propiedades físicas de los mismos. Contrariamente, en un campo de la ingeniería civil cuyo desarrollo científico y tecnológico está encaminado al estudio de los materiales térreos -suelo y roca- es imposible encontrar las características uniformes que llegan a tener, por ejemplo el acero, el plástico o un concreto de alta resistencia [3]. Este campo al que se alude es la Geotecnia o ingeniería geotécnica y que es pilar fundamental para toda obra civil emplazada sobre la superficie terrestre.

En este caso en particular, se dará continuación a los valiosos trabajos desarrollados anteriormente en la Universidad Nacional Sede Bogotá sobre la caracterización probabilística de sus depósitos de suelo, que en algunos casos ya alcanzan a esbozar un análisis por confiabilidad de los asentamientos esperados, una vez zonificado el campus universitario. Estos asentamientos, entendidos como la deformación del suelo debido a su peso propio o a cargas externas, representan uno de los grandes retos que confronta el diseño de una cimentación, pues a lo largo de la historia, cientos de estructuras han colapsado o han perdido totalmente su funcionalidad por deformaciones excesivas del terreno [4].

Avanzando un paso más en esta dirección, es necesario implementar rutinas sistematizadas que permitan llevar a cabo de forma eficiente un análisis de confiabilidad para estas deformaciones y que incluyen, en el presente trabajo, tres diferentes métodos de simulación: Serie de Taylor, Estimativos Puntuales y Método de Montecarlo, para condiciones de carga y geometría regulares en un cimiento superficial.

Teniendo en cuenta estas vicisitudes se ha generado una herramienta que permite estimar la confiabilidad para la ocurrencia de diferentes niveles de asentamiento en un cimiento superficial predeterminado, con una configuración de geometría y carga a partir de la cual se definió una función de comportamiento que resultó al final dependiente de cuatro variables aleatorias: la relación de vacíos  $-e_1, e_2-$  y el índice de recompresión del suelo  $-c_{r1}, c_{r2}-$ . Se crea entonces un algoritmo para ser implementado en la hoja de cálculo Excel, que permitirá obtener la probabilidad de ocurrencia de un asentamiento dado, a través de la aplicación de los modelos de simulación mencionados previamente.

## II. EL ANÁLISIS POR CONFIABILIDAD Y EL MARGEN DE SEGURIDAD: ALGUNOS MECANISMOS PARA SU EVALUACIÓN PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como se ha explicado, la variabilidad implícita en los cálculos ingenieriles conmina al uso de funciones de distribución de probabilidad (PDF, por sus siglas en inglés) que puedan describir idóneamente el comportamiento aleatorio de  $e_{oyc_r}$ . En resumen, tales funciones quedan definidas por su valor medio ( $\mu_x$ ), desviación estándar ( $\sigma_x$ ) e incluso por la simetría o asimetría de PDF, definida por su coeficiente de sesgo (*skewness*,  $\vartheta x$ ). En este apartado, se exponen brevemente tres técnicas de amplio uso que evalúan tales parámetros y que van desde una complejidad mínima -serie de Taylor- hasta el reconocido Método de Monte Carlo, que es el más comúnmente usado pero que demanda a la vez un algoritmo computacional más robusto [5]. Tales técnicas propenderán por la evaluación racional de una probabilidad de falla y del margen de seguridad en el cálculo de asentamientos de un cimiento rectangular, que en otras palabras podría traducirse como qué tan probable es superar un asentamiento admisible o tolerable, en concordancia con una limitación establecida por algún código o criterio ingenieril [6].

Citando un ejemplo, para el cálculo de la capacidad portante de una estructura, es usual encontrar la siguiente expresión para el margen de seguridad Z:

$$Z(X_i) = R(X_i) - L(X_i) \quad (1)$$

donde  $R$  y  $L$  representan la función de comportamiento de la resistencia  $R$  y la carga  $L$ , respectivamente y  $X_i$  es el conjunto de valores aleatorios que pueden tomar las variables involucradas. Sin embargo, para el estudio de asentamientos, la forma de la ecuación (1) se podría expresar de una manera más conveniente teniendo en cuenta las restricciones dadas para el caso colombiano en la norma sismorresistente NSR10, que en su apartado H.4.9.3 establece el asentamiento máximo total en 25 cm (0.25 metros) [7].

Se tiene entonces,

$$Z(X_i) = 0.25 - \delta(X_i)$$

donde  $\delta(X_i)$  es el asentamiento que se calcula con las variables que se discriminan más adelante (Fig. 1).

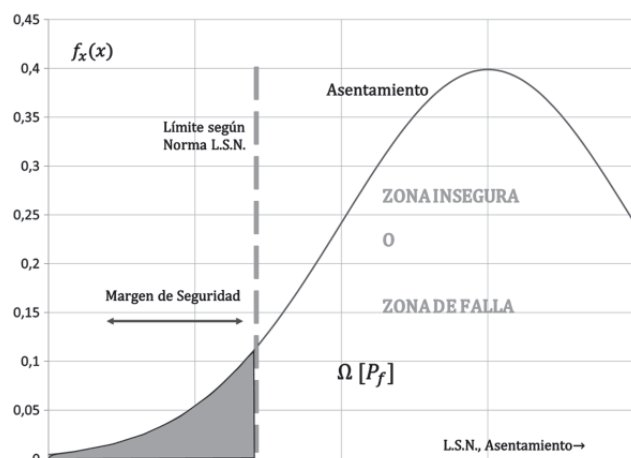


Fig. 1. Diagrama cualitativo que relaciona el margen de seguridad y la probabilidad de falla.

Así pues, se llega a un objetivo del análisis de confiabilidad, que es garantizar una condición de seguridad y que sólo es posible en términos de probabilidad; es decir:

$$P_s = P(Z(X_i) > 0) = P(\delta(X_i) < 0.25)$$

siendo  $P_s$  la probabilidad de tener una condición segura y  $P(\delta(X_i) < 0.25)$  es la probabilidad de que el asentamiento esté por debajo de los 25 centímetros.

Por antonomasia, la probabilidad de que se dé una condición de inseguridad o dicho de otro modo, la probabilidad de falla  $P_f$  está dada por

$$P_f = 1 - P_s = P(Z(X_i) < 0) = P(\delta(X_i) > 0.25) \quad (2)$$

El paso a seguir consiste en proponer una PDF adecuada para la función de comportamiento  $\delta(X_i)$ , que estará definida en función de cuatro variables aleatorias, como se verá en el modelo de estudio. Es aquí donde es necesario acudir a herramientas de simulación que ayuden a encontrar los parámetros de la PDF buscada ( $\mu_x, \sigma_x$ ) y que permita calcular  $P(\delta(X_i) < 0.25)$ .

Para lograr este propósito, se trabajó con las siguientes aproximaciones:

- Serie de Taylor.
- Estimadores puntuales.
- Método de Montecarlo.

Brevemente se expondrán los fundamentos, fortalezas y debilidades de ellas tres.

### A. Serie de Taylor - Primer Orden Segundo Momento (FOSM)

Como es bien sabido, una serie de Taylor permite aproximar el valor de una función por medio de una serie de potencias alrededor de un punto determinado. En el caso de funciones de probabilidad, la serie se centra en el valor promedio ( $\mu_x$ ), se trunca en el primer término (primer orden) y permite calcular también la varianza ( $\sigma_x^2$ ) de la PDF buscada (segundo momento) de acuerdo a la ecuación (3), donde  $n$  es el número de variables aleatorias.

$$Z(X_1, \dots, X_n) = Z(\mu_1, \dots, \mu_n) + \sum_{i=1}^n (X_i - \mu_{x_i}) \cdot \frac{\partial Z}{\partial x_i} \quad (3)$$

Debido a su planteamiento sencillo, permite realizar una rápida y útil aproximación de los dos primeros momentos estadísticos de la función de comportamiento que desee evaluarse. Sin embargo, debido a su estructura netamente lineal, adolecerá de mucha precisión cuando se trabaje con expresiones algebraicamente complejas.

### B. Estimativos puntuales (PEM)

En el tratamiento de variables aleatorias discretas es usual construir histogramas de frecuencia relativa y acumulada. Estos diagramas otorgan una primera aproximación para evaluar la probabilidad de ocurrencia de un evento. Este es en

síntesis el objetivo de la técnica de los estimativos puntuales: hacer una discretización de funciones de probabilidad continuas, donde la altura de los «histogramas» está en función de unos pesos de probabilidad proporcionales al número de variables aleatorias involucradas en los cálculos. La Fig. 2 resume lo expuesto aquí, para dos variables aleatorias, lo que da origen a una partición de la PDF en cuatro secciones.

Finalmente, cada variable aleatoria se evalúa en los valores  $\mu_{xi} + \sigma_{xi}$  y en  $\mu_{xi} - \sigma_{xi}$ . De tal modo que con los  $2^n$  cálculos realizados, se halla el valor promedio y la desviación estándar de la función de comportamiento.

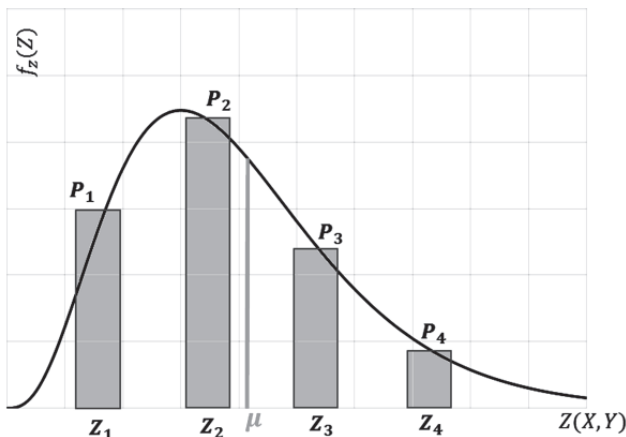


Fig. 2. Discretización de PDF para  $n=2$  en el método PEM  
[Adaptado de Ruseli, 2008].

### C. Método de Monte Carlo (MCS)

Este tipo de simulación puede ser usado en cualquier campo del conocimiento. En el MCS los supuestos sólo se hacen sobre las variables aleatorias de entrada, cuyos valores se generan de manera compatible con la función de densidad de probabilidad correspondiente. Así, como gran ventaja de este método, el margen de seguridad se calcula para cada iteración. El proceso se repite numerosas veces y se evalúa el valor promedio, la desviación estándar y opcionalmente el coeficiente de sesgo. De este modo, el procedimiento de Monte Carlo consiste en resolver un determinado problema muchas veces para construir una distribución probabilística de los resultados de salida.

A pesar de sus bondades, hay que mencionar como dificultades que para algunos problemas geotécnicos tales como los análisis de estabilidad de taludes, serían necesarios programas adicionales especiales para el MCS. Es más, para obtener una confiabilidad real, el modelo necesitaría un gran número de simulaciones. En la práctica es demasiado lento para los cálculos informáticos cotidianos, especialmente para los códigos de elementos finitos. En este trabajo se busca, por consiguiente, presentar enfoques alternativos al MCS que requieran sólo una cantidad limitada de cálculos.

### 1) Modelo de estudio

Cuando un material es sometido a esfuerzos o cargas, éste se deforma. Dicha deformación se manifestará en un cambio de la forma (distorsión) o en un cambio de volumen. Mientras en algunos materiales esta deformación se presenta de inmediato, en otros la respuesta ocurrirá en un tiempo relativamente largo. En especial para suelos arcillosos, se tendrá este tipo de comportamiento y siendo más concretos, cuando se habla de la deformación total vertical en la superficie de un depósito arcilloso generada por una carga, se hablará propiamente de asentamientos [8].

Por lo general, el asentamiento total en las arcillas  $\delta(X_i)$  se desglosa en tres componentes:

- asentamientos inmediatos.
- asentamientos por consolidación ( $S_c$ ).
- asentamientos por compresión secundaria.

Sobre cada uno de estos componentes sobrea-bunda la literatura técnica, pero con fines específicos se aludirá en este artículo particularmente a dos aspectos concernientes al literal b, es decir, ( $S_c$ ).

- Esfuerzo de preconsolidación (historia de esfuerzos) y
- Establecer una ecuación para calcularlos.

En efecto, cuando una muestra de laboratorio o un depósito de arcilla se han sometido a un esfuerzo mayor que el que han soportado con anterioridad (esfuerzo de **preconsolidación**  $\sigma'_p$ , su respuesta puede resultar en cambios drásticos de la pendiente de los dos tramos de la curva de consolidación. Un diagrama de este tipo se muestra

esquemáticamente en la Fig. 3, donde se distingue al tramo más plano como una sección de recompresión y el más empinado como una sección de compresión virgen.

Como se verá más adelante, por las características geológico-geotécnicas del terreno en estudio, interesará la condición (a) para suelos sobreconsolidados, en cuyo caso se tiene la siguiente fórmula para evaluar el asentamiento por consolidación en un estrato de espesor  $H_0$ :

$$Si \sigma'_0 + \Delta\sigma \leq \sigma'_p; S_c = H_0 \left[ \frac{C_r}{1 + e_0} \right] \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{v0}} \quad (4)$$

siendo aquí  $C_r$  y  $e_0$  las variables de mayor interés.

Abordando el problema planteado en este estudio, a partir de investigaciones recientes sobre la variación de los parámetros de compresibilidad del subsuelo en la Ciudad Universitaria de Bogotá [9][10], tanto en área como en profundidad, se tuvo acceso a una base de datos muy robusta que muestra tendencias de comportamiento muy bien definidas en los primeros veinte metros de profundidad (-20 m). Esto es:

- Suelo altamente sobreconsolidado.
- Nivel freático a (-5) metros.
- Dos volúmenes homogéneos en cuanto a propiedades geotécnicas se refiere: volumen

1 entre 0 metros y -6 metros y volumen 2 entre -6 metros y -20 metros.

- Para la determinación de la carga se tomó en cuenta el estudio de suelos para una edificación de gran envergadura emplazada recientemente [11].
- Dada la geometría del cimiento tipo (3m x 4m), se asume una profundidad de influencia para los esfuerzos de (-8) metros.
- A pesar de que los sitios de exploración se encuentran en un perímetro muy cercano, se definieron zonas adyacentes con radios menores a los 200 metros de separación, para enfatizar la alta variabilidad de las propiedades del terreno, tal y como lo muestra la Fig. 4.

Partiendo de estas suposiciones, se plantea en la Fig. 5 la configuración de geometría, carga, estratos y especialmente, las que serán las variables aleatorias a estudiar.

Considerando los elementos expuestos hasta ahora, se llega a la función de comportamiento:

$$S_c = H_0 \left[ \frac{C_{r1}}{1 + e_{01}} (a + b + c) + \frac{C_{r2}}{1 + e_{02}} (d) \right] \quad (5)$$

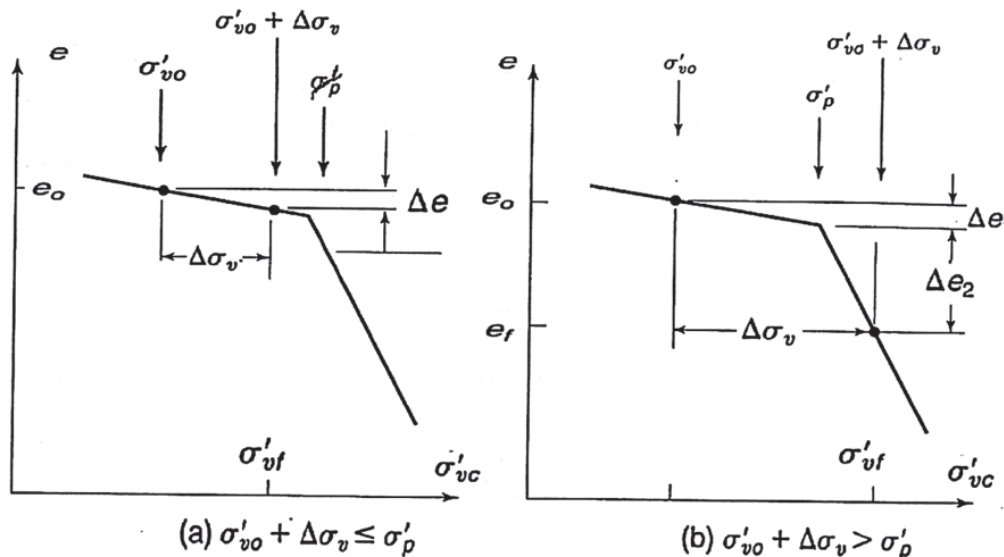


Fig. 3. Influencia de  $\sigma'_p$  en el cálculo de deformaciones [3].



Fig. 4. Zonas seleccionadas para evaluación de S(c) [Google Maps 2016].

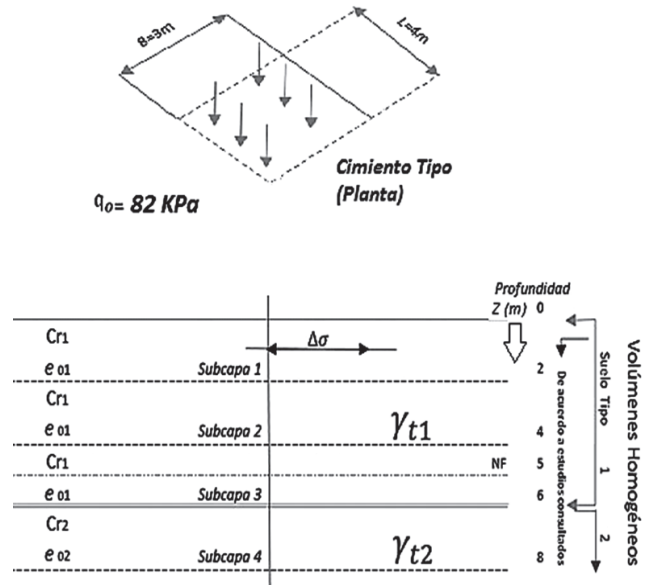


Fig. 5. Modelo de estudio que alimentará las rutinas de cálculo para evaluar S<sub>c</sub>.

Donde a, b, c y d quedan definidos por

$$a = \text{Log} \frac{\sigma'_{01} + \Delta\sigma_1}{\sigma'_{01}}; b = \text{Log} \frac{\sigma'_{02} + \Delta\sigma_2}{\sigma'_{02}}; c = \text{Log} \frac{\sigma'_{03} + \Delta\sigma_3}{\sigma'_{03}}; d = \text{Log} \frac{\sigma'_{04} + \Delta\sigma_4}{\sigma'_{04}} \quad (6)$$

Y se discriminan los siguientes tipos de variables en la función de comportamiento. Tabla 1.

Tabla 1. Variables aleatorias y determinísticas en la función de comportamiento.

Variable	Tipo
$C_{r1}, e_{01}, C_{r2}, e_{02}$	Aleatoria
$\gamma_{ti}, N. F., B, L, \sigma_{0i}, \Delta\sigma_i$	Determinística

No debe sorprender la presencia de  $\gamma_{ti}$  y  $\sigma_{0i}$  en la lista de variables determinísticas, ya que como lo argumenta la literatura especializada y los estudios citados previamente, el peso unitario y las dimensiones del cimiento imprimen un aporte mínimo a la incertidumbre en el cálculo de asentamientos.

### III. SISTEMATIZACIÓN DEL PROCESO

Cada una de las hipótesis anteriores ha permitido llegar finalmente a la construcción de una función de comportamiento (5) con variables aleatorias  $C_{r1}, e_{01}$  para el Volumen homogéneo 1 (tres primeras capas del modelo) y  $C_{r2}, e_{02}$  para el volumen homogéneo 2 (última capa del modelo), de acuerdo con la Fig. 5. Se procederá entonces a enumerar la secuencia de actividades a seguir, en el programa Excel, en aras de implementar la evaluación de  $\mu$  y c.o.v. para el asentamiento esperado por consolidación:

1. Cálculo de valores promedio y desviación estándar de cada una de las variables que intervienen en (5) y (6). Para las variables que no son aleatorias, en el modelo sólo interesará su promedio. La información corresponde a la base de datos consultada.

- Habiendo definido una carga de diseño y un modelo para su transferencia a los estratos del subsuelo, se evalúa la ecuación de comportamiento en los valores promedio y se precisará cuál es el asentamiento por consolidación (determinístico).
- Para el método FOSM y con la ayuda de las derivadas parciales pertinentes, se encontrará el valor promedio y la desviación estándar de los asentamientos esperados.
- La técnica de los estimativos puntuales calculará 16 diferentes combinaciones de las variables que fueron escogidas como aleatorias (cuatro en total). Como se expuso en el capítulo precedente, esta técnica asigna un peso a cada uno de los resultados de las 16 iteraciones ( $2^4$ ) que se discriminan con la notación  $x_i \pm \sigma_i$ , y entrega también un estimado para el valor promedio y la desviación estándar de los asentamientos esperados.
- Finalmente, se aplica el método de Monte Carlo con diferente número de iteraciones, que van desde 5 hasta 100,000. Para cada una de las variables aleatorias, se hace la generación de números aleatorios distribuidos normalmente y lognormalmente, con los cuales se obtienen miles de valores de asentamiento. El resultado de estas operaciones se convierte en un valor promedio y una desviación estándar. Se graficará la tendencia de estos últimos conforme al número de asentamientos aleatorios generados.
- Esta serie de pasos se repetirá para cinco conjuntos diferentes de datos pertenecientes a zonas contiguas del Campus Universitario, y que darán lugar a un balance de cuán importante es la variabilidad de las propiedades del terreno incluso en zonas adyacentes entre sí.

La Fig. 6 representa mediante un diagrama de flujo el proceso llevado a cabo.

#### IV. RESULTADOS

Al revisar el coeficiente de variación del asentamiento esperado (c.o.v.) calculado con los dife-

rentes métodos, se observa que las denominadas zona 1 y zona 2 son las de mayor y menor variación respectivamente, a pesar de su notable cercanía (Fig. 7).

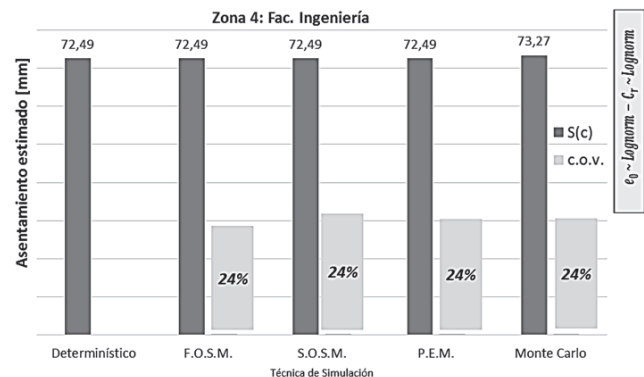


Fig. 7. Comparación de resultados entre dos zonas aledañas.

La etiqueta  $e_0$  Lognormal y  $C_r$  Lognormal, hacen referencia al tipo de distribución empleada en la generación de números aleatorios, en la técnica MCS. Por otro lado, para las técnicas alternativas al Método de Monte Carlo, en todas las zonas de estudio pueden apreciarse que el algoritmo básico de la Serie de Taylor arrojaba el menor coeficiente de variación para los asentamientos esperados.

Así mismo, en general se observó que para zonas de mayor variación de las variables aleatorias, se necesita un mayor número de iteraciones en el MCS para lograr una convergencia de  $\mu$  y  $\sigma_x$ ; como ejemplo, para la zona 1 (Fig. 8) fueron necesarias casi 50,000 iteraciones para converger a un valor de  $\mu$ . Para la zona 4 bastaron cerca de 10,000 (Fig. 9).

Como resultado relevante de los numerosos cálculos llevados a cabo para cada zona de estudio y cada combinación de distribución de probabilidad,  $C_r$  y  $e_0$ , pudo apreciarse que la distribución que mejor se ajustaba al comportamiento aleatorio de la función de comportamiento  $S(c)$ , es la función Lognormal, puesto que, como lo deja ver a manera demostrativa la Fig. 10 para la zona 1, se ajusta mejor que la comúnmente usada función Normal. Las notas junto a la curva CDF distinguen el comportamiento de la curva empírica y las dos aproximaciones con las distribuciones de probabilidad teóricas.

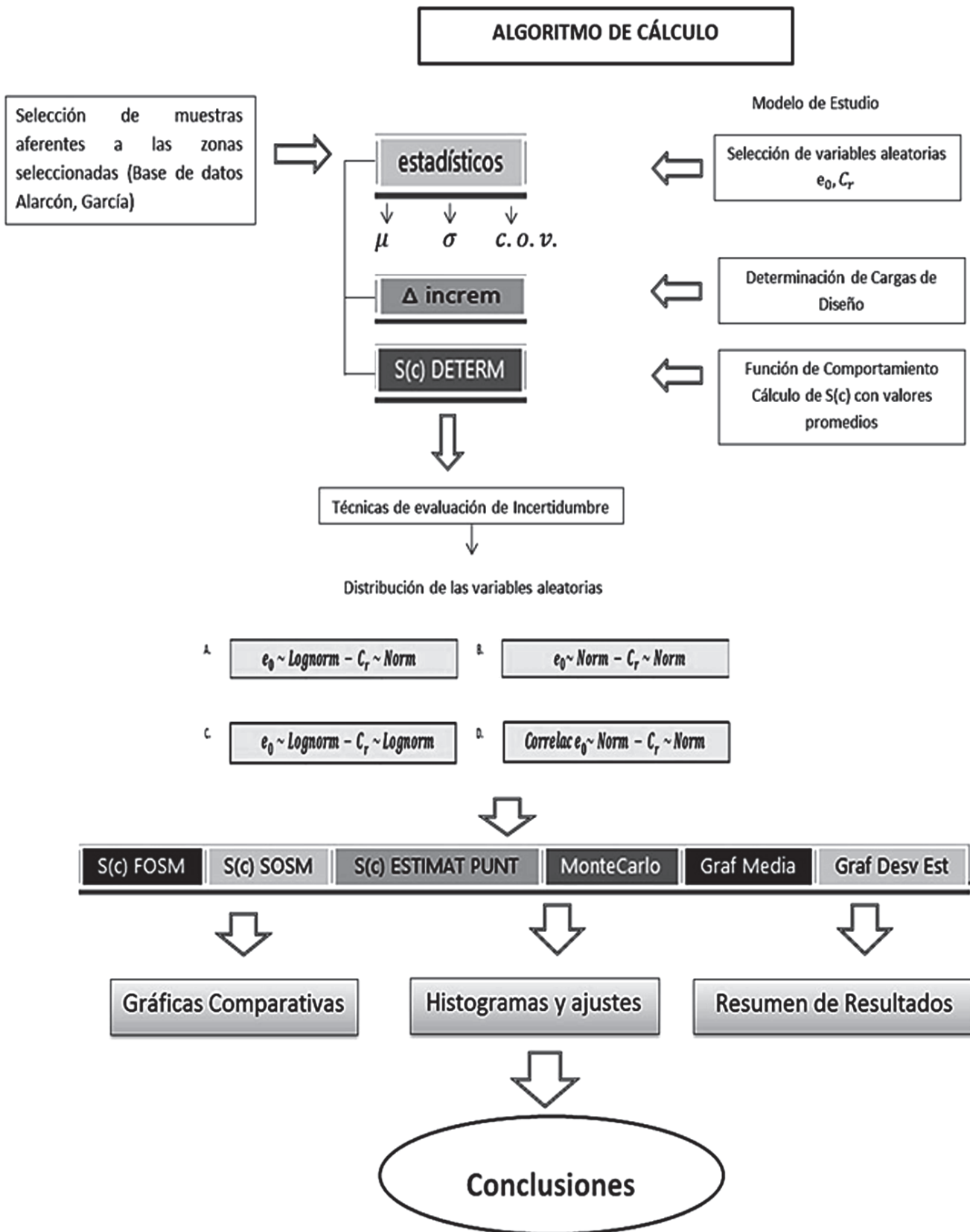


Fig. 6. Secuencia de actividades y algoritmo de cálculo en instrumento de aplicación.



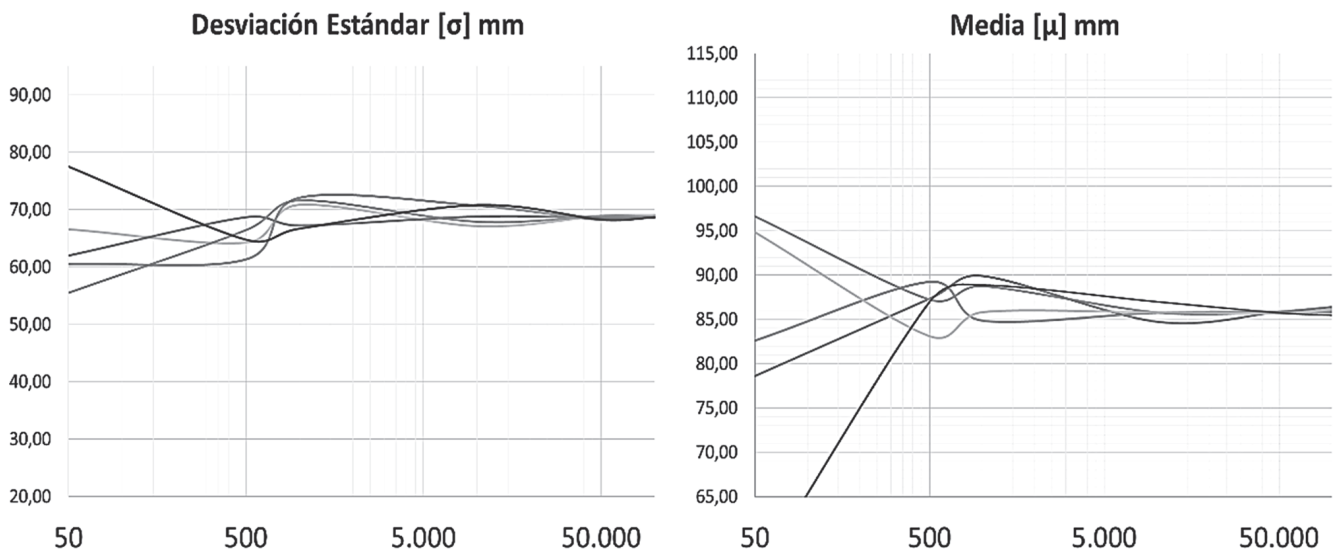


Fig. 8. Variación de  $\sigma_x$  y  $\mu_x$  vs.  $n$  en el M.C.S. - Zona 1 -.

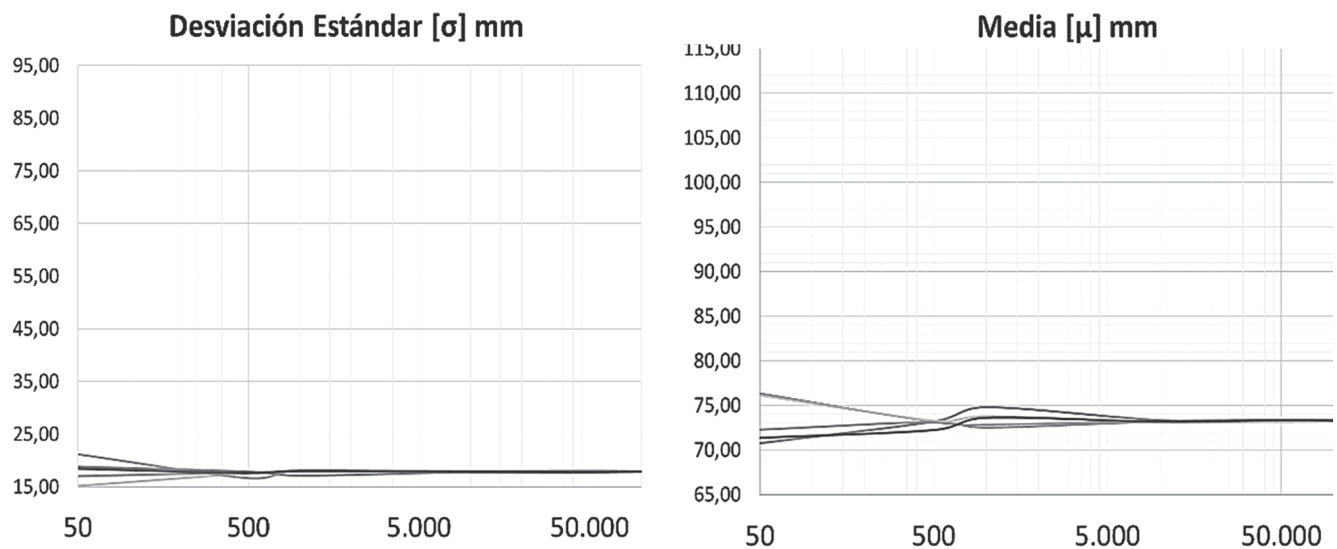


Fig. 9. Variación de  $\sigma_x$  y  $\mu_x$  vs.  $n$  en el M.C.S. - Zona 4 -.

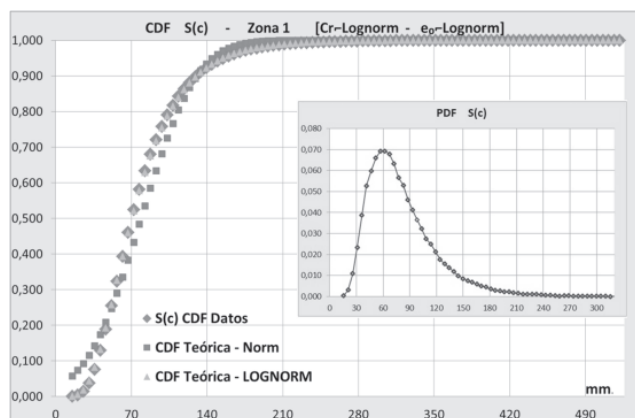


Fig. 10. Curva de ajuste a la función de comportamiento - Zona 1 -.

Con este marco de referencia y con la ayuda de la Fig. 9, se calculan las probabilidades de falla indicadas en la tabla 2. Para tener un orden de magnitud en estas operaciones, se asumirá un asentamiento elástico de la misma proporción que  $S(c)$ , lo cual es un criterio bastante conservador para este tipo de suelos. Entonces  $\delta(X_i) = 2 * S(c)$  y la ecuación (2) se convertirá en:

$$P_f = P(s(c)) > 150 \text{ mm} \quad (7)$$

Tabla 2. Probabilidad de falla para las zonas de mayor y menor variación en  $S(c)$ .

Zona	Distribución $S(c)$	$P_f$ [porcentaje]
1	Lognormal	0.025
4	Lognormal	0.018

## V. CONCLUSIONES

Desde los primeros resultados obtenidos con la aplicación de la metodología y el algoritmo computacional propuesto en esta investigación, se puede apreciar la importante variabilidad de los parámetros geotécnicos al evaluar  $S(c)$ . Al obtener un rango de variación muy amplio –expresado en términos de *c.o.v.*– es vital revisar con gran cuidado los mapas de zonificación que se utilicen para los diseños geotécnicos.

Si bien es cierto que aquí se hicieron simplificaciones importantes en cuanto al modelo de estudio y la ecuación para el cálculo de la deformación del suelo, hay otras variables que no aportan significativamente a la incertidumbre, como la carga aplicada y las dimensiones del cimientado. De igual manera, aunque existen otras distribuciones de probabilidad como Gamma y Beta, que en teoría reúnen unas condiciones más óptimas para describir problemas de deformación del terreno, dichas distribuciones requieren de un mayor número de parámetros y datos, justamente escasos en la prospección geotécnica. Por todo esto, se enfatiza en la importancia de hacer un balance entre la sofisticación de los procesos y las condiciones y la información disponible en la realidad.

El método de Monte Carlo aparece como una forma sofisticada de evaluar incertidumbres, para su posterior uso en el cálculo de probabilidades de falla. Si bien es cierto que un número óptimo de pasos para el problema de asentamientos fue de 100 mil iteraciones, este algoritmo permite su uso prácticamente en cualquier situación cotidiana.

Finalmente y a partir de los resultados obtenidos, vale la pena analizar si las restricciones de asentamiento admisible, estipuladas en la NSR-10, realmente son un límite conveniente para las construcciones colombianas, y no por las probabilidades de falla tan pequeñas que se obtuvieron: más bien, en el sentido de que tales deformaciones pueden afectar sustancialmente la funcionalidad y seguridad de las instalaciones subterráneas de las edificaciones.

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer la colaboración, asesoría y el inmenso interés por llevar a feliz térmi-

no esta investigación, por parte del ingeniero PhD. Carlos Eduardo Rodríguez Pineda. A los ingenieros Guillermo Ávila y Gloria Beltrán de la Unidad Académica de Geotecnia UN, por su evaluación y revisión, al igual que al ingeniero Diego Grajales, por sus profesionales aportes. El soporte y apoyo permanente de Nataly García Quintero, alimentaron de conocimientos y esperanza este proyecto de principio a fin. A la señora Julia Suárez, por el valioso tiempo brindado en las etapas finales del trabajo. A Mario Esteban, Victoria y toda su maravillosa familia.

## REFERENCIAS

- [1] M. Duncan. Factors of safety and reliability in geotechnical engineering. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering. 7th Spencer J Buchanan Lecture, 2000.
- [2] W. Kaggwa, M. Cheong, M. Jaks. Assessment of the luck associated with settlement predictions that are based on elastic theory. Department of C&E Engineering. The University of Adelaide, 79-86, 2002.
- [3] R. Holtz. An introduction to geotechnical engineering. Pearson Education. New Jersey, 2011.
- [4] R. P. Peck, W. E. Hanson, T. H. Thornburn. Foundation Engineering; 2nd Ed., Wiley, New York, 1984.
- [5] C. Russelli. Probabilistic methods applied to the bearing capacity problem. Universidad de Stuttgart, Alemania, 2008.
- [6] G. Fenton, D. V. Griffiths. Risk assessment in geotechnical engineering. John Wiley & Sons. New Jersey, 2008.
- [7] Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Título H- Estudios Geotécnicos. Colombia, 2010.
- [8] M. Budhu. Soil mechanics and foundations. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data. 3rd edition. USA, 2011.
- [9] Alarcón, Parra et al. Zonificación por efectos locales del campus de la Universidad Nacional de Colombia – sede Bogotá. Oficina Nacional de Planeación, 2007.
- [10] M. Garcia. Análisis geoestadístico y probabilístico de la compresibilidad de un depósito lacustre. Universidad Nacional de Colombia, 2008.
- [11] G. Tapia. Estudio de Suelos. Facultad de Enfermería. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2015.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# DESARROLLO DE UNA PLANTA PILOTO BASADA EN XPC TARGET

## *Development of a pilot plant based on xPC target*

JOHANA ROMERO M.\*, ESTEBAN RODRÍGUEZ P.\*\*, EFRAÍN BERNAL A.\*\*\*

*Recibido: 12 de diciembre de 2016. Aceptado: 26 de diciembre de 2016*

DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n7.a20>

### RESUMEN

Este artículo presenta el diseño e implementación de un Simulador Digital en Tiempo Real (RTDS) utilizando la tecnología xPC, de MATLAB®. El desarrollo del RTDS, se realiza con el fin de ejecutar simulaciones en tiempo real de la variable presión de la Unidad de Entrenamiento en Automatización (UEA) propiedad de la Universidad de La Salle. Dentro de la implementación del RTDS, se plantea la arquitectura software y hardware del simulador, se realiza la identificación de la variable seleccionada y el diseño de un control PI por el método de Lugar Geométrico de las Raíces (LGR). Por último, se valida el simulador desarrollado mediante métodos estadísticos aplicados sobre los resultados obtenidos al estimular el RTDS y a la UEA en condiciones equivalentes. Los resultados son prometedores y exponen que el RTDS tiene un RMSE de 0.09 Psi para la variable de presión, validando el sistema desarrollado.

**Palabras clave:** HIL, RTDS, MATLAB®, xPC, UEA.

### ABSTRACT

This paper presents the design and implementation of a Real Time Digital Simulator (RTDS) using MATLAB® xPC technology. The development of RTDS is performed in order to execute real-time simulations of the pressure variable of the Automation Training Unit owned by the University of La Salle. Within the RTDS implementation, the software of the architecture and hardware of the simulator is proposed, the identification of the selected variable and the design of a PI control by the the method of Geometric Place of the Roots (LGR) is performed. Finally, the development simulator has been validated using the statistical methods applied to the results obtained by stimulating RTDS and UEA under equivalent conditions. The results are promising and show that the RTDS has an RMSE of 0.09 Psi for the pressure variable, validating the developed system.

**Keywords:** HIL, RTDS, MATLAB®, xPC, UEA.

## I. INTRODUCCIÓN

EN LA industria cuando se desea reemplazar un actuador o una estrategia de control en un sistema, existe el riesgo de perjudicar la estructura física o el propio proceso, ya que no se puede estimar el comportamiento del mismo al realizar la sustitución. La manera adecuada de ejecutar dicha sustitución es evaluando la sección afectada sin detener el proceso de producción, pues, si este se sus-

pende se generan pérdidas económicas. Una forma de mitigar estas pérdidas es llevar a cabo la simulación de la planta o del controlador en un software especializado como MATLAB®, sin embargo, para sistemas complejos la respuesta del simulador es muy lenta, por ende, se hace necesario el uso de bancos de prueba y simuladores en tiempo real, que permitan conocer la respuesta del sistema a las nuevas configuraciones sin afectar ningún elemento físico.

\* Estudiante de Ingeniería en Automatización de la Universidad de la Salle, Colombia. Correo electrónico: joahrom3ro@gmail.com

\*\* Estudiante de Ingeniería en Automatización de la Universidad de la Salle, Colombia. Correo electrónico: esteban17rp@gmail.com

\*\*\* Doctor Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik de la Universidad De Ulm. Magíster en Ingeniería Electrónica de la Universidad de Los Andes – Uniandes. Ingeniero electrónico de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga. Docente Investigador de la Universidad de La Salle, Colombia. Correo electrónico: ebernalal@unisalle.edu.co

La implementación de un banco de prueba requiere gran espacio, sistemas de acople y drivers para cada actuador, por otra parte, los simuladores en tiempo real comerciales tienen un costo elevado lo que genera que en ocasiones su adquisición no sea posible, por estos argumentos, la opción más viable para ejecutar simulaciones en tiempo real con fines académicos es el desarrollo de un RTDS implementado en hardware de fácil obtención.

Los primeros avances de RTDS se emplearon en la prueba de relés [1], posteriormente, fue definido el concepto de simulador en tiempo real como una combinación de hardware y software especializado y es implementado en la solución de sistemas electromecánicos de potencia [2]. Con la integración de los microcontroladores en los RTDS, se realiza una implementación del diseño de un simulador digital para las pruebas de breakers, con un sistema de software y hardware de bajo costo utilizando un microprocesador RISC [3], por otra parte, para los sistemas de energía radial trifásico, se consigue modelar y simular un sistema en tres simuladores de tiempo real distintos: GRT, xPC de MathWorks y EST de National Instruments [4].

Años más tarde, se realiza la implementación de PLC's en simuladores de tiempo real, logrando diseñar un sistema de prueba dinámica para una pila de combustible [5].

Una de las categorías de aplicación en la que puede ser usado el RTDS es Hardware in The Loop (HIL), en esta categoría un controlador físico es conectado a una planta simulada ejecutándose en tiempo real en vez de una planta física. La simulación con HIL permite el ensayo de controladores cuando no es posible realizar pruebas del control en la planta real [6]; una de las áreas en donde más se ha visto implementado HIL es en los controladores de la electrónica de potencia, el trabajo de [7] aplica simulación en tiempo real y HIL en un convertidor y un puente H con sus respectivos sistemas de control. También fue posible incluir controladores para Real TimeWindows Target (RTWT) y xPC [8], y años más tarde, se llevó a cabo la creación de un sistema operativo (OS) en tiempo real, basado en xPC TARGET Kernel [9]. Más adelante, se presentaron las características más relevantes de la simulación en tiempo real: selec-

cionar el simulador en tiempo real que cumpla con las necesidades que exige el proceso; la capacidad, el tamaño y el costo del simulador son determinados por: La máxima frecuencia a la que va a ser llevado el simulador, la complejidad o el tamaño del sistema a simular, el número de canales de entradas y salidas entre otras [10].

Se propuso un nuevo enfoque para la dinámica de ensayo y aspectos de control de un sistema a gran escala fotovoltaica (PV) en tiempo real [11], en este mismo año, se realizó un sistema de pruebas en tiempo real para una turbina de viento utilizando el toolbox xPC de MATLAB® [12].

Uno de los últimos avances en RTDS, presenta una comparación de entornos (Matlab y LabView) para la implementación de un simulador en tiempo real híbrido, compuesto por el modelo físico de la planta y un algoritmo numérico (Parte digital) para determinar predicciones y ajustes a la planta [13].

El presente proyecto desarrolla un RTDS para un proceso industrial que permite evaluar estrategias de control y está organizado de la siguiente forma. En la sección 2, se describe la Tecnología xPC, en la sección 3 se exponen las características de la UEA, en la sección 4 se explica la identificación y simulación en tiempo real de las variables de la UEA, en la sección 5 la implementación en el RTDS de la UEA con las comunicaciones, finalmente, en la sección 6 la validación del simulador con la UEA implementada y por último, en la sección 7 las conclusiones.

## II. TECNOLOGÍA xPC

El Toolbox xPC Target de MATLAB® permite convertir la simulación de un modelo de MATLAB/Simulink® en un código para ser embebido en el Target PC y generar una simulación en tiempo real. xPC utiliza el kernel y hardware del computador, dicho kernel no está basado en DOS o Windows, lo que significa que el RTDS puede funcionar en cualquier OS, obteniendo una máquina xPC ideal y rentable. Los componentes de cualquier sistema xPC Target son: Host PC, Target PC y un elemento de ensayo; el principio de operación del xPC y sus componentes se muestran en la Fig. 1.

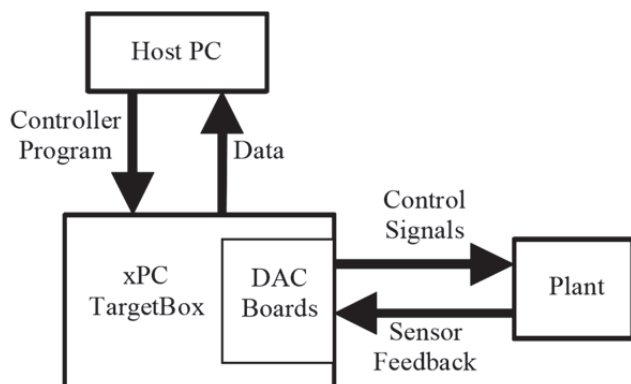


Fig. 1. xPC operation principle.

El procedimiento para ejecutar una simulación en tiempo real dentro del RTDS se presenta en el Algoritmo 1.

Algorithm 1. Discretization procedure.

1. Start Matlab® software on the host PC.
2. Establish a communication channel via Ethernet with the target PC.
3. Simulink model SetUp and parameters.
4. Define sample time.
5. Generate simulink model code.
6. Download code to the xPC target.

### III. UNIDAD DE ENTRENAMIENTO EN AUTOMATIZACIÓN

La UEA es un prototipo que representa un proceso industrial y posee un enfoque académico, esta implementación cuenta con un bombeo hidráulico en circuito cerrado y permite la calibración de sensores, configuración de actuadores y la manipulación de variables como flujo, presión, temperatura, peso y nivel [14].

Para el desarrollo del proyecto se considera específicamente las variables de presión ya que operan de manera eficiente en la UEA.

La Fig. 2 representa el diagrama de tubería e instrumentación P&ID de la UEA, cuenta con dos tanques en los cuales recircula el fluido por la acción de una bomba hidráulica «MB01». El llenado y vaciado de los mismos se controla con cuatro válvulas On/Off, las válvulas «VA11» y «VA21» permiten el llenado, las válvulas «VA12» y «VA22»

permiten el vaciado de los tanques «TK01» y «TK02» respectivamente. Los elementos y características que componen la UEA se presentan en la Tabla I.

Tabla I. UEA components.

Elemento	Características
Sensores	Flujo: Sensor SITRANS FM MAG 5100 W. Presión: Sensor SITRANS P220.
Actuadores	Variador de frecuencia: SINAMICS V20 1AC200-240V, 47.63 HZ, 0,75KW/0,75HP Motor: Trifásico 3600 RPM, 0,75 HP, corriente 2,4 / 1,2 a 220/440. Válvulas: 4 unidades on-off.
Controlador	PLC: Siemens. 2 entradas análogas, 1 salida análoga, 4 salidas digitales.

#### A. Representación Matemática

Considerando que no se cuenta con una representación matemática de la UEA, se implementa el método de la curva de reacción para hallar dicha representación [15]. Para realizar la identificación se requieren los valores de entrada y salida del sistema, por lo tanto, se estimula la planta con una entrada tipo escalón al 80% del punto máximo de operación del actuador y se registra el comportamiento de la señal de salida (presión).

La ubicación de los sensores y las dimensiones de la tubería generan un retardo de la salida respecto a la señal de entrada, por ende, se identifica el sistema con el método de aproximación a un modelo de primer orden más tiempo muerto [16], descrito en el Algoritmo 2.

Algorithm 2. First-Order with Dead-time identification.

- 1: Procedure DATA ( $dy, du$ )
- 2:  $dy_{25} = 0,25 * dy$
- 3:  $dy_{75} = 0,75 * dy$
- 4:  $Kp = dy/du$
- 5:  $t = 0,9102 * (t_{75} - t_{25})$
- 6:  $tm = (1,2620 * t_{25}) - (0,2620 * t_{75})$
- 7:  $G_s = (kp) / (t * s + 1)$
- 8:  $[N, D] = \text{pade}(tm, 1)$
- 9:  $Gr = \text{tf}(N, D)$
- 10:  $TF = G_s * Gr$
- 11: return TF

Las entradas al algoritmo son la amplitud del escalón ( $du$ ) y la amplitud de la respuesta del sistema ( $dy$ ) [17], el algoritmo retorna una función de transferencia que describe el comportamiento del sistema ante dicha entrada.

Experimentalmente se determinó que para asegurar la precisión del RTDS, debe realizarse la identificación de cada variable ante 15 amplitudes de entrada diferentes, es decir, que el modelo para la variable de presión es descrito por 15 funciones de transferencia. Fig. 2.

### B. Condiciones iniciales

Con el fin de asegurar que el comportamiento del simulador corresponda con el comportamiento real de la planta UEA, se deben cumplir las siguientes condiciones iniciales:

- Nivel total en el sistema 14L.
- Apertura de la válvula proporcional en el 100 %.
- Mínimo una válvula de vaciado abierta.
- Mínimo una válvula de llenado abierta.
- La consigna mínima de la bomba para que haya flujo en el sistema es del 12 %.
- Con el fin de evitar que el fluido cambie de propiedades (espuma), la consigna máxima para la bomba es del 94 %.

### IV. IMPLEMENTACIÓN DE LA VARIABLE A SIMULAR DE LA UEA EN EL RTDS

Con el objetivo de realizar la simulación en tiempo real de la variable de presión de la UEA, se

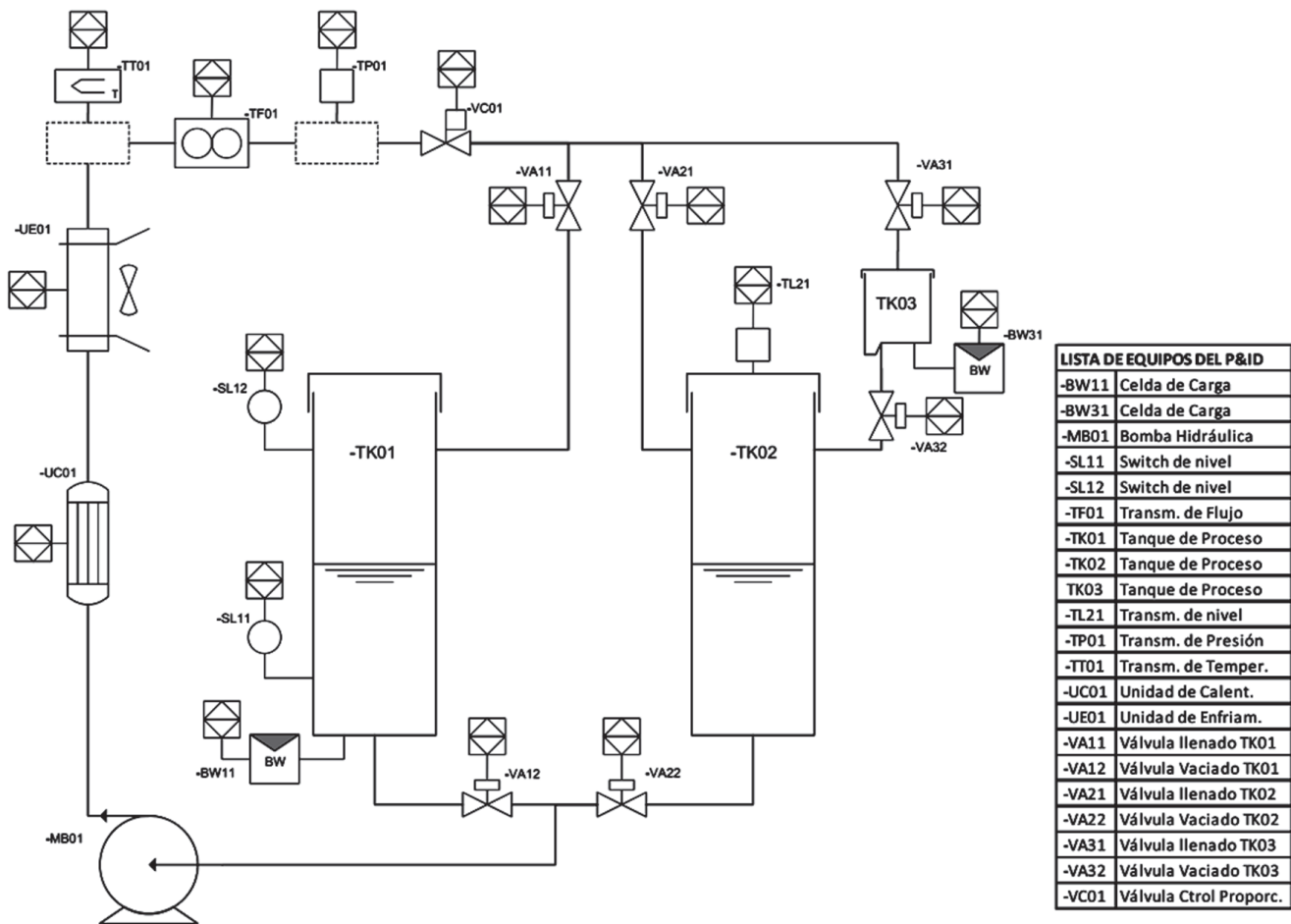


Fig. 2. P&ID UEA.

procede a diseñar la arquitectura del simulador xPC y el modelo de la variable mencionada.

### A. Arquitectura Simulador xPC

La comunicación entre el Host PC y el Target PC se realiza por medio del protocolo TCP/IP. Como se visualiza en la Fig.3, el modelo parametrizado se carga en el Target PC desde el Host PC, el Target, por medio de la DAQ envía al PLC las señales eléctricas que representan el comportamiento de la variable presión. Dicho PLC procesa los datos y retorna la información empleando el protocolo UDP ya que no satura la red [18]. El Programming PC se comunica bidireccionalmente con el PLC, de manera opcional, desde el Programming PC se puede manipular la lógica cargada en el PLC.

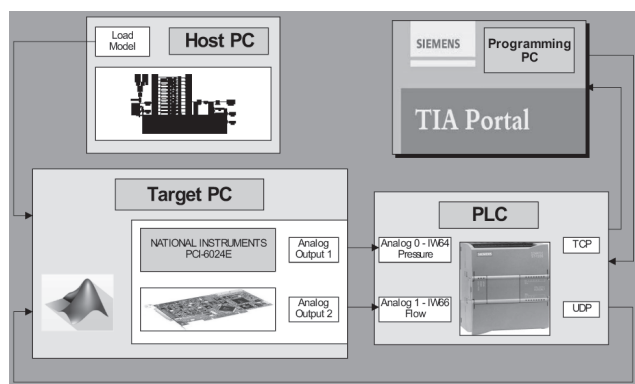


Fig. 3. Simulator architecture.

### B. Simulador xPC vs UEA

En la Fig. 4 se expone la estructura física de la planta real (UEA), compuesta por un panel HMI Siemens, «Plant» hace referencia a: la bomba, la tubería y al sensor de presión, por último, el «programming PC» permite programar el «PLC» y adquirir datos del sensor y el actuador por medio de MATLAB/Simulink®. Basándose en los componentes de la UEA apreciados en la Tabla I y con el fin de lograr que el RTDS tenga un comportamiento equivalente al de la planta real, los requerimientos que debe cumplir el simulador se exponen en la Tabla II.

La Fig. 5 detalla la estructura física del simulador xPC, compuesta por un «PLC» Siemens, el

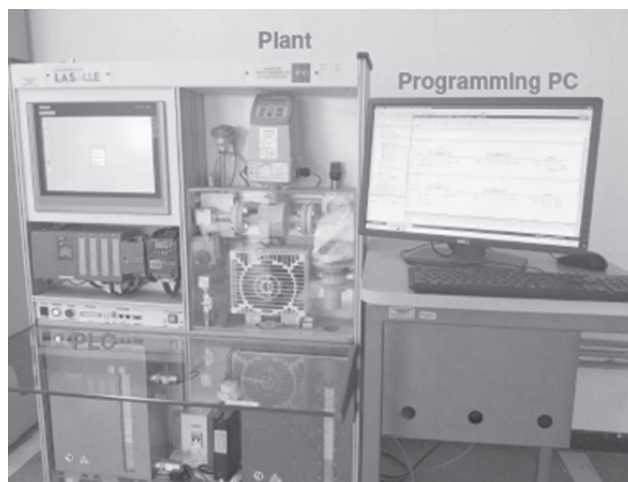


Fig. 4. Physical plant.

Tabla II. xPC Software and hardware requirements.

Elemento	Requerimientos
Host PC	Software: MATLAB/Simulink®. Tarjeta de red.
Target PC	Puerto PCI. Procesador Intel 3,1 GHz. RAM: 4 GB. Tarjeta de Red.
DAQ	NI serie E. Máxima rata de Muestreo: 200KS/s. Voltaje de salida: $\pm 10V$ . No. salidas análogas: 2.
PLC	No. entradas análogas: 2. Tarjeta de Red.
Programming PC:	Software: TIA PORTAL. Tarjeta de Red.

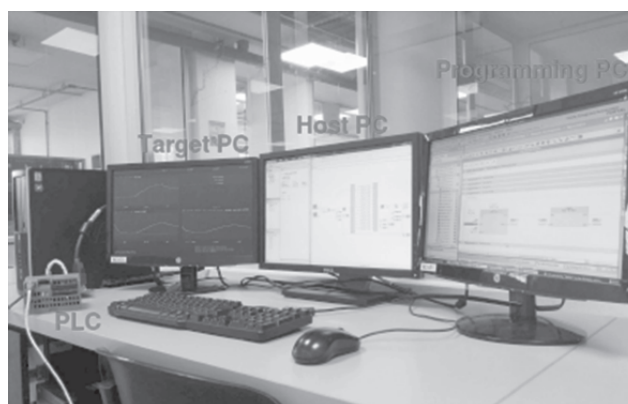


Fig. 5. Physical xPC.

«Target PC» con una DAQ, que representan la planta, el «Host PC», donde se carga el modelo y el «Programming PC» el cual permite desarrollar la lógica del control diseñado para el PLC.

### C. Modelo para la variable presión

Con la arquitectura y las comunicaciones definidas, se desarrolla el modelo que ha de ser embebido en el Target PC. La UEA puede recircular el fluido en dos configuraciones: con una válvula de llenado abierta o con las dos válvulas de llenado abiertas, para cada configuración las variables se comportan de manera distinta, por lo que se realiza la identificación del sistema en las siguientes configuraciones:

- Presión con 1 válvula de llenado.
- Presión con 2 válvulas de llenado.

La entrada al sistema inicia en el 12% aumentando proporcionalmente el 5.8% hasta llegar al 94% de la potencia del actuador, no se consideran los valores inferiores al 12% porque el actuador no genera flujo en la tubería y la medida no es confiable. Para valores superiores al 94% el fluido presenta un cambio de propiedades como espuma generando errores en la lectura del sensor. Para

realizar la ejecución de un modelo en tiempo real basado en la tecnología xPC Target se trabajan las identificaciones en tiempo discreto [19], dicha identificación se obtiene utilizando el comando de MATLAB «c2d» con la aproximación bilineal «tustin» y un tiempo de muestreo de 0.001 s ya que este es el ciclo de operación del PLC. Con la discretización de las funciones de transferencia realizada, se diseña el modelo de MATLAB/Simulink® para embeber en el Target PC.

En la Fig. 6 se visualiza el diseño del modelo operando con una válvula de llenado abierta, el bloque «MATLAB Function-condition2» es un condicional que funciona como selector, considera el valor de entrada y dependiendo de éste activa su respectiva salida. Los bloques IDP contienen las funciones de transferencia discretas, el número que lo acompaña corresponde a su rango de operación. Cada punto de operación cuenta con un offset en su señal por lo que se implementan los bloques de adición con las constantes, y los bloques de multiplicación eliminan la acción de las funciones de transferencia que no correspondan al punto de operación. El bloque «Add» permite el cambio entre funciones de transferencia sin afectar la señal de salida, es decir, en el cambio de rango de operación la salida solamente toma un valor.

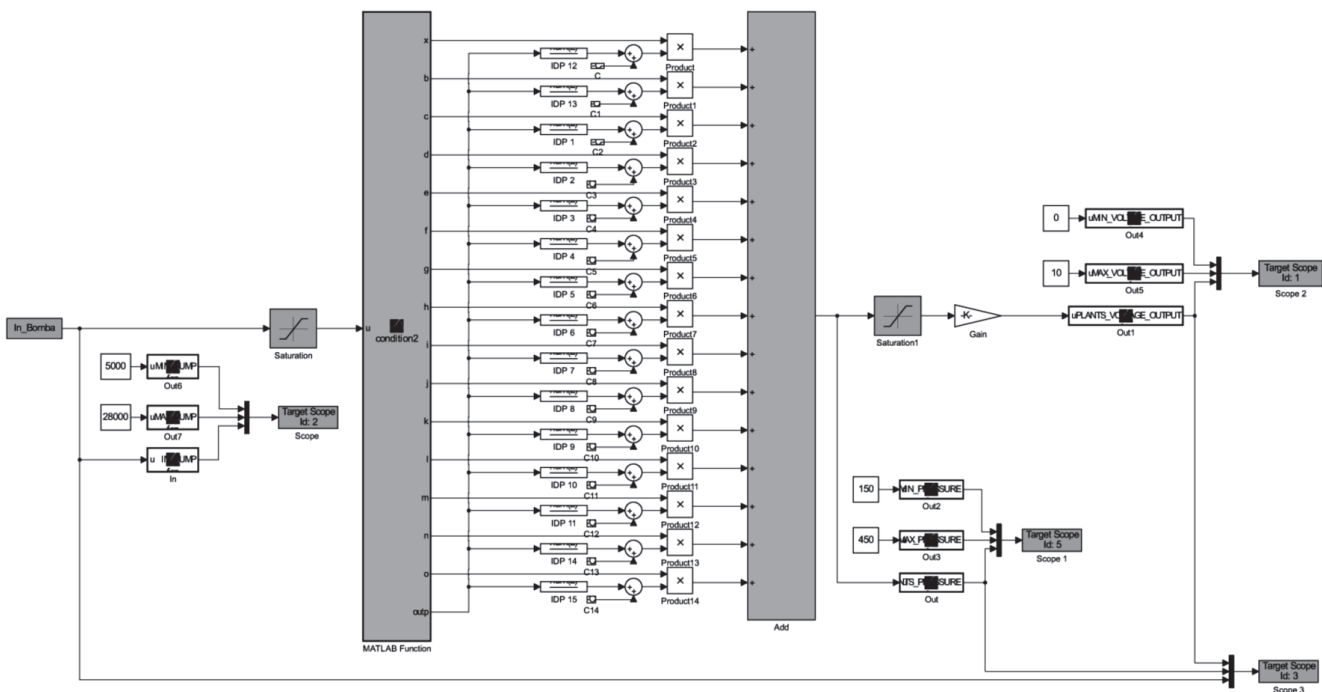


Fig. 6. Pressure one valve model.



Para la visualización de las variables, el Target PC dispone de 4 pantallas, una pantalla numérica y tres gráficas con las variables de: consigna bomba(entrada), presión de salida y voltaje de salida, como se muestra en la Fig. 7.

#### D. Validación de los modelos

Después de diseñar el modelo en MATLAB/Simulink®, se realiza la validación del mismo estimulando el Target PC con la misma entrada que la UEA. Para evaluar todos los puntos de operación se propone como entrada una escalera con valores de 12% al 94% de la potencia del actuador.

##### *Presión con una válvula*

En la Fig. 8, se contempla la comparación de presión entre el simulador xPC y la UEA operan-

do con una válvula de llenado abierta. Las medidas de presión en la UEA tienen una oscilación de  $\pm 0.3$  Psi, aunque esto no representa que sea un sistema de segundo orden, puesto que el comportamiento de las variables de procesos son de primer orden [16]. Se puede visualizar que la respuesta del simulador para la variable de presión se encuentra dentro del rango de oscilación de las medidas de la UEA.

En la Fig. 9 por otra parte, se visualiza el RMSE. A pesar que el error se incrementa proporcionalmente a la amplitud de las oscilaciones, esta conserva un patrón. El error presenta picos debido al cambio de un rango de operación a otro, también se observa que el valor del error para los cambios de rango se encuentran entre 0.0075 Psi y 0.025 Psi.



Fig. 7. xPC Screenshot.

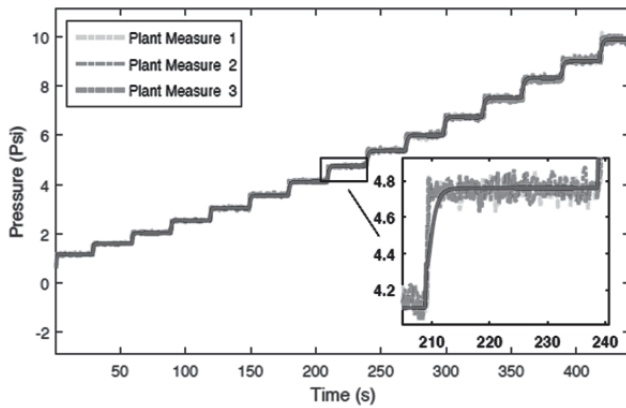


Fig. 8. Pressure open loop UEA - xPC comparison with one valve.

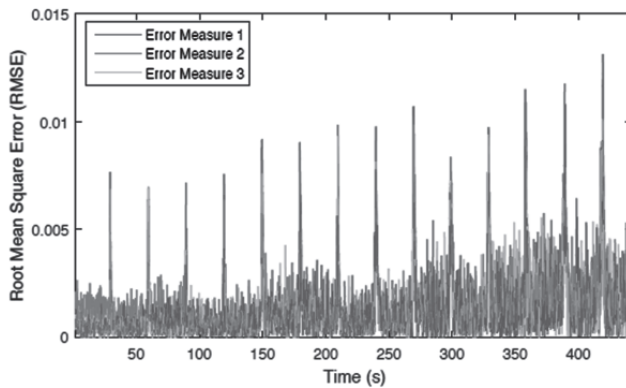


Fig. 9. Pressure error open loop UEA - xPC comparison with one valve.

### Presión con dos válvulas

En la Fig. 10 se muestra la comparación de la variable de presión entre el simulador xPC y la UEA operando con las dos válvulas de llenado

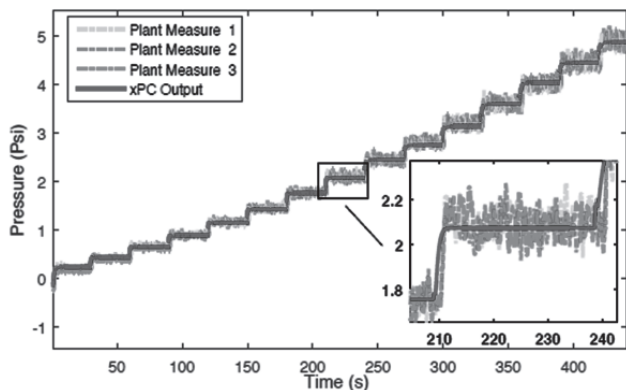


Fig. 10. Pressure open loop UEA - xPC comparison with two valves.

abiertas, ésta se estimula 3 veces con la misma entrada. Se evidencia menos presión que en la Fig. 8, dado que con la configuración de dos válvulas de llenado abiertas el actuador ejerce menos fuerza sobre la tubería, generando que la presión máxima sea de 5 Psi.

Realizando una comparación entre la Fig. 9 y la Fig. 11, se evidencia que el RMSE se comporta de manera similar, pues las oscilaciones tienen la misma amplitud.

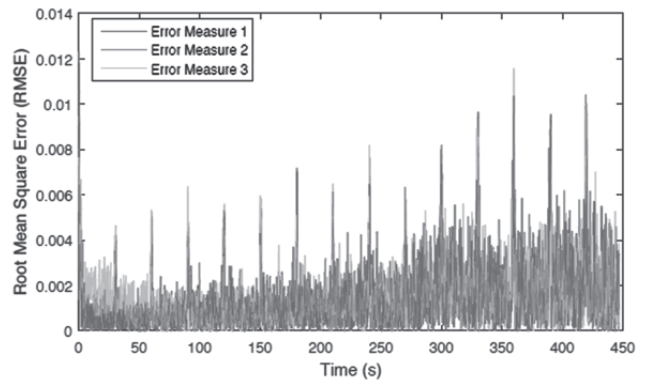


Fig. 11. Pressure error open loop UEA - xPC comparison with two valves.

Se analiza que el simulador xPC para las 2 configuraciones presenta picos en el RMSE generados por el cambio de un rango de operación a otro, además de tener un comportamiento estable, la respuesta del simulador xPC está dentro del rango de respuesta de la UEA.

## V. IMPLEMENTACIÓN DE LA UEA EN EL RTDS

Después de validar que el RTDS ejecuta la simulación en tiempo real del modelo de la variable presión, se procede a complementar dicho modelo con las comunicaciones y el acondicionamiento de las señales, adicionalmente, se diseña un control PI y el modelo para la adquisición de las señales de la UEA y el RTDS simultáneamente.

### A. Modelo final

Con el fin de desarrollar el modelo final que representa en su totalidad la UEA, se complementa el modelo de MATLAB/Simulink® de la Fig. 6

con las comunicaciones y el acondicionamiento de las señales obteniendo como modelo final el mostrado en la Fig. 12.

Los bloques «UDP Receive» realizan la comunicación con el PLC bajo el protocolo UDP, el dato recibido es la consigna de entrada al sistema, en la UEA es la bomba. Para permitir una mayor velocidad en la transmisión de datos se propone dividir el dato en bytes, cada bloque recibe un byte de información, posteriormente se concatenan los bytes con el bloque «Concat». Con el fin de igualar las ratas de entrada y salida se utiliza el bloque «Rate Transition», se realiza una conversión de datos a double y se limita la señal por medio de un saturador con valores entre 10000(Consigna mínima-10 %) y 26000(Consigna máxima-94 %), terminando así el acondicionamiento para la señal de entrada. Con el fin de simular los límites de la variable de presión en la UEA se utiliza un saturador con límites entre 0 Psi y 10 Psi (Presión máxima) y una ganancia de 0.833 escala la señal de 0 V a 10 V ya que este es el rango de entrada al PLC, ésta señal escalizada es enviada por un canal de la DAQ configurado en el bloque «PCI-6024E DA».

## B. Diseño del control para presión

Se propone el diseño de un control para la variable presión, la estrategia seleccionada es el LGR, ya que permite llevar al sistema a la región deseada [20].

El Algoritmo 3 describe el desarrollo de la técnica de LGR, siendo las entradas: polos de diseño (pd) y polos y ceros del sistema (pa, pb y c1) [21]. El algoritmo retorna un controlador PI. El control PI que retorna el algoritmo, es programado en el «Programming PC» y actúa sobre el actuador por medio del controlador PLC.

## C. Adquisición de la respuesta de la UEA y el RTDS

Teniendo en cuenta que la UEA y el RTDS cuentan con un controlador PLC, es posible adquirir datos directamente desde un servidor OPC sin cargar la memoria y tampoco afectar la lógica ejecutada [18]. El estímulo a los dos controladores de manera simultánea se realiza configurando las variables de los dos dispositivos en un solo

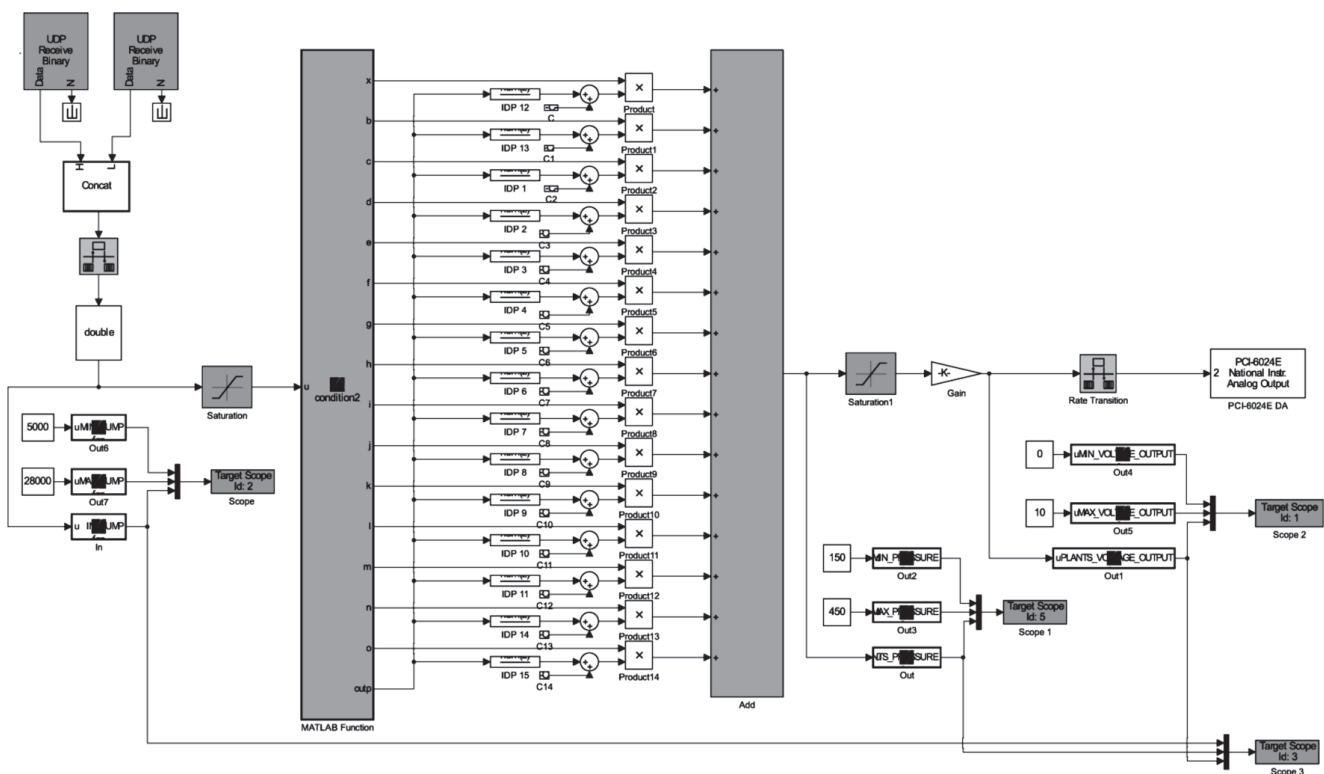


Fig. 12. One valve model with communication.

servidor, se propone como servidor el software «KepServer Ex v5.0». El acceso a las variables se efectúa desde un cliente en MATLAB/Simulink® el cual permite su lectura y escritura [22]. Este modelo permite escribir un valor de referencia al control de presión en la UEA y en Simulador xPC simultáneamente por medio del recuadro «Excitation», la lectura de presión y la potencia de la bomba se realiza en los recuadros «UEA» y «xPC».

**Algorithm 3.** LGR.

```

1: In: pd, pa, pb, cl, ks
2:  $pd = polos(1,1)$ 
3:  $i = imag(pd)$ 
4:  $r = real(pd)*-1$ 
5: if  $pa > r$  then
   Return;
end;
6: if  $r < pb$  then
    $Angle = tand((-atand(i/(pa-r)) - atand(i/(pb-r))$ 
    $+ (180 - atand(i/(r+c1))) - (180 - atand(i/(r))) - 180) * -1)$ 
7: else
8: if  $r > pb$  then
    $Angle = tand((atand(i/(pa-r)) - (180 - atand(i/(r-pb)))$ 
    $+ (180 - atand(i/(r+c1))) - (180 - atand(i/(r))) - 180) * -1)$ 
end;
9:  $alph = (i+Angle*r)/Angle$ 
10:  $p11 = sqrt(i^2+(r-pa)^2)$ 
11:  $p12 = sqrt(i^2+(r-pb)^2)$ 
12:  $p13 = sqrt(i^2+r^2)$ 
13:  $c11 = sqrt(i^2+(r+cl)^2)$ 
14:  $c11 = sqrt(i^2+(r-alph)^2)$ 
15:  $k = (p11*p12*p13)/(c11*c12*ks)$ 
16:  $ci = (k*(s+alph)/s$ 
   Return: ci

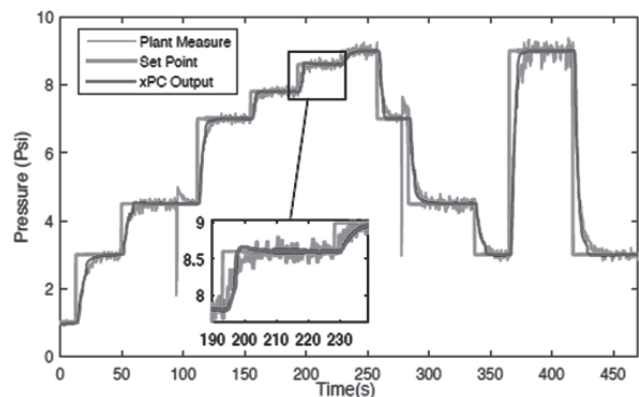
```

## VI. ANÁLISIS DE LA UEA CON UN CONTROL IMPLEMENTADA EN EL RTDS

Para obtener el resultado comparativo entre la UEA y el RTDS bajo las mismas condiciones típicas de evaluación, se implementa la misma estrategia de control en el RTDS y en la UEA y se analiza el resultado del simulador en sus 2 configuraciones de operación. Las condiciones de operación para la validación consisten en cambiar la referencia del control para los dos sistemas simultáneamente. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

*Presión con una válvula: Variaciones en un rango de 1 Psi a 9 Psi.*

En la Fig. 13 se observa la respuesta de los sistemas con el control implementado para la variable de presión. Los picos en la señal «Plant Measure» presentados en los segundos 95 y 290 son un efecto al cambio de dirección en el flujo de la UEA, es necesario cambiar la dirección del flujo, debido a que el sistema recirculando con una válvula de llenado abierta satura el tanque de llenado. Se identifica que en el segundo 200 hay un overshoot en la respuesta del simulador debido a que los rangos de operación en los que se identifica la UEA son muy cercanos, es decir, ofrecen una representación acertada de la UEA aunque se detallan pequeños saltos en la señal en el cambio de un rango a otro.



**Fig. 13.** PI pressure control UEA - xPC comparison with one valve.

En la Fig. 14 los picos en el RMSE (segundos 95 y 290) corresponden al cambio en la dirección de flujo mencionada anteriormente. El patrón que se detalla en el segundo 370 evidencia el retardo de la respuesta del RTDS con respecto a la planta con una amplitud máxima del RMSE de 0.04 Psi. El tiempo que toma el simulador para recuperar el comportamiento exacto de la planta es de 50 s.

*Presión con dos válvulas: Variaciones en un rango de 0.5 Psi a 4.5 Psi.*

La Fig. 15 muestra la respuesta del simulador y la UEA con el control implementado. Como se nombra anteriormente, los rangos de operación para la variable de presión están muy cercanos y

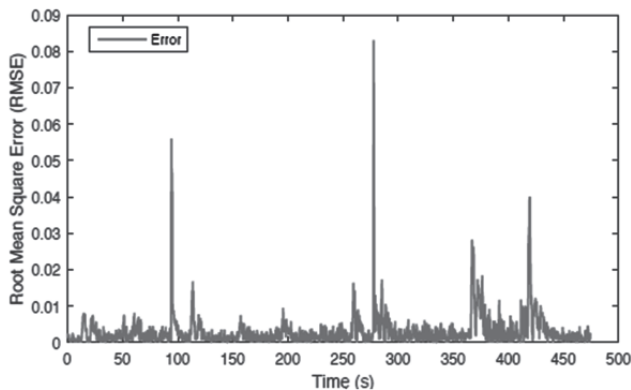


Fig. 14. Error PI pressure control UEA - xPC comparison with one valve.

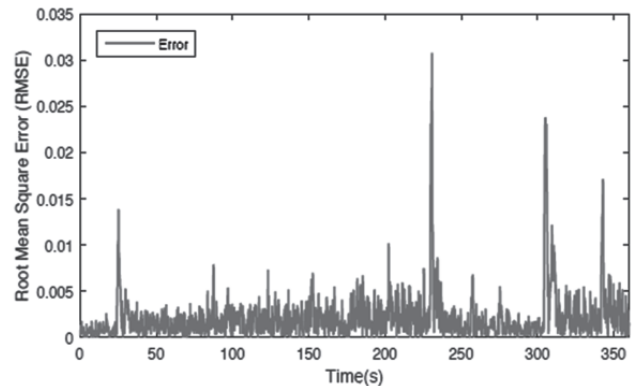


Fig. 16. Error PI Pressure Control UEA - xPC Comparison with two valves.

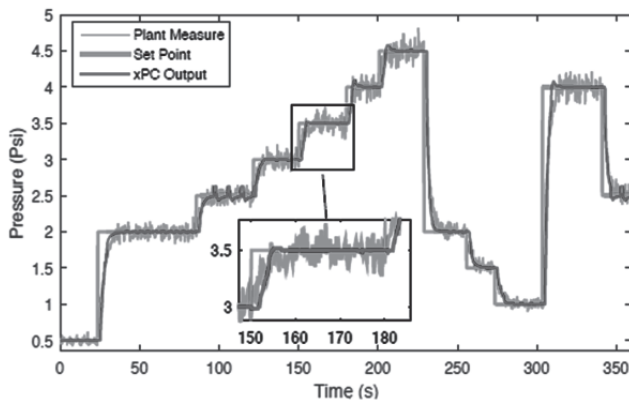


Fig. 15. PI pressure control UEA - xPC c Comparison with two valves.

producen saltos en la señal, esto se puede evidenciar al asignar un SetPoint de 2.5 Psi ya que el simulador opera justo en el límite de dos rangos de operación lo que genera 3 pequeños picos en la señal. Para la configuración con las dos válvulas de llenado abiertas la presión máxima es de 5 Psi lo que genera que las oscilaciones en la medida de la UEA sean notorias.

La Fig. 16 visualiza el valor máximo del error de 0.03 Psi, el cual se presenta para un cambio brusco del SetPoint en el segundo 240, al igual que en los segundos 300 y 350. Se evidencia que el simulador para la variable de presión operando con dos válvulas de llenado abiertas presenta una respuesta más rápida y la corrección del error se genera en 10 s.

## VII. CONCLUSIONES

El RTDS desarrollado permitió validar la efectividad de controles diseñados para la variable de presión antes de ser aplicados al sistema real, además de ofrecer una predicción de la respuesta de la planta en puntos críticos de operación.

Este procedimiento permite evitar el deterioro de la unidad en caso de que el control exija a los elementos físicos acciones que estos no puedan realizar y por lo tanto causar el daño de los mismos. Teniendo en cuenta que el simulador opera en dos configuraciones diferentes, se realizó una validación de los controles independientemente.

En primer lugar, por medio del método de la curva de reacción se definió una representación matemática del sistema para todos los puntos de operación. Esta identificación generó como resultado un RMSE máximo de 0.015 Psi para la variable de presión.

Con el fin de evaluar la exactitud entre la UEA y el RTDS desarrollado, se diseñó un control PI, este control fue programado en los dos sistemas aplicando como consigna una escalera de valores deseados para la variable. Por último, se realizó la adquisición de datos de la respuesta del simulador y la planta real simultáneamente, obteniendo un RMSE de 0.09 Psi para la variable de presión.

Para un trabajo futuro se considera evaluar el comportamiento de las variables de temperatura, flujo, peso y nivel con el fin de poder incluir sus

modelos en el RTDS, por otra parte, construir un rack que contenga todos los componentes del simulador con el objetivo de lograr un hardware más estructurado y adsequible.

## REFERENCIAS

- [1] P. G. McLaren, R. Kuffel, R. Wierckx, J. Giesbrecht, and L. Arendt, «A real time digital simulator for testing relays,» *IEEE Transactions on Delivery*, vol. 7, no. 1, pp. 207-213, 1992.
- [2] R. Kuffel, J. Giesbrecht, T. Maguire, R. P. Wierckx, and P. McLaren, «Rtds - a fully digital power system simulator operating in real time,» in *Digital Power System Simulators, 1995, ICDS '95.*, First International Conference on, pp. 19-, 1995.
- [3] M. Kezunovic, J. Domaszewicz, V. Skendzic, M. Aganagic, J. K. Bladow, S. M. McKenna, and D. M. Hamai, «Design, implementation and validation of a real-time digital simulator for protection relay testing,» *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 11, no. 1, pp. 158-164, 1996.
- [4] F. M. Uriarte and K. L. Butler-purry, «Real-time simulation using pcbased kernels,» in *2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*, pp. 1991-1995, 2006.
- [5] R. M. M. G. Randolph, «Test system design for hardware-in-loop evaluation of pem fuel cells and auxiliaries,» *Power Sources*, pp. 392-396, 2005.
- [6] S. J. Morteza Montazeri-Gh, Mosfata Nasiri, «Real-time multi.rate hil simulation platform for evaluation of a jet engine fuel controller,» *ELSEVIER*, pp. 996-1006, 2011.
- [7] B. Lu, X. Wu, H. Figueroa, and A. Monti, «A low-cost real-time hardware-in-the-loop testing approach of power electronics controls,» *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 54, no. 2, pp. 919-931, 2007.
- [8] P. Shi, L. Miao, G. Zou, and X. Jiao, «Development of uniform hardware driver for real-time windows and xpc target,» vol. 1, pp. 377-380, 2009.
- [9] D. A. Abdullah Mohamed, «Creating real-time operation system based on xpc target kernel,» *IJRTE*, 2013.
- [10] J. B. Paquin, «The what, where and why or real time simulation,» *IEEE*, 2010.
- [11] M. A. A. H. H. M. Gazi Islam, S., «Rtds implementation of an improved sliding mode based inverter controller for pv system,» *ISA Transactions*, 2015.
- [12] M. C. Jianzhong Zhang, «A real time testing system for wind turbine controller with xpc target machine,» *Electrical Power and Energy Systems*, 2015.
- [13] Y. G. S. Liu, «A state space-based explicit integration method for realtime hybrid simulation,» *Structural Control and Health Monitoring*, vol. 23, no. 4, pp. 641-658, 2016.
- [14] ANITCO, Unidad de entrenamiento en automatización; Manual de Operación y Mantenimiento. Andina de Integración Tecnológica Ltda., 2016.
- [15] B. G. Liptak, *Instrument Engineers' Handbook, Volume Two: Process Control and Optimization*. CRC Press, 2005.
- [16] J. P. Corriou, *Process Control: Theory and Applications*. Springer Science, 2013.
- [17] V. M. Alfaro, «Método de identificación de modelos de orden reducido de tres puntos 123c,» *Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica*, 2007.
- [18] M. D. Wolfgang Mahnke, Stefan-Helmut Leitner, *OPC Unified Architecture*. Springer, 2009.
- [19] MathWorks, *Simulink Real-Time; Getting started Guide*. The Math-Works, Inc, 2014.
- [20] J. M. M. R. Spartacus Gomáriz, Domingo Biel, *Teoría de control*. Universitat Politècnica de Catalunya, 2004.
- [21] K. Ogata, *Ingeniería de control moderna*. Pearson Education, 2003.
- [22] MathWorks, *OPC Toolbox*. The MathWorks, Inc., 2014.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# SELECCIÓN Y ANÁLISIS DE ECUACIONES ANTROPOMÉTRICAS PARA EL CÁLCULO DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL EN ADULTOS

## *Selection and analysis of anthropometric equations for the calculation of body composition in adults*

ALDO PIÑEDA GERALDO\*, YULIANA GONZÁLEZ RINCÓN\*\*,  
PATRICIA ÁLVAREZ VEGA\*\*\*, CARLOS VILLAREAL PEÑA\*\*\*\*

*Recibido: 21 de octubre de 2016. Aceptado: 21 de noviembre de 2016*

DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n7.a21>

### RESUMEN

En diversos estudios se han utilizado criterios antropométricos, como el índice de masa corporal (peso-estatura), para definir la obesidad, no obstante estos índices poseen poca sensibilidad para monitorear y calcular realmente el sobrepeso y la obesidad. Por lo anterior y en la búsqueda de mejores opciones, se evaluaron ecuaciones antropométricas de la composición corporal para poder identificar las de mayor sensibilidad para calcular las proporciones corporales. El presente trabajo tuvo como objetivo seleccionar y analizar ecuaciones antropométricas para el cálculo de la composición corporal. El estudio fue descriptivo, se evaluaron dos individuos masculino y femenino para verificar la utilidad de las ecuaciones elegidas. Para la recopilación de los datos se diseñó una ficha antropométrica, las medidas más sobresalientes estudiadas fueron los pliegues cutáneos: tricipital, subescapular, suprailíaco, abdominal, muslo anterior y pierna (pantorrilla). Dos diámetros: el biestiloideo (muñeca) y el bicondileo (femoral) y se analizaron las ecuaciones de Yuhasz, el de Rocha, Matiegka y la ecuación de Dubois-Dubois.

**Palabras clave:** selección, análisis, ecuaciones antropométricas, cálculo, composición corporal.

### ABSTRACT

Several studies have used anthropometric criteria, such as body mass index (weight-height), to define obesity, but these indexes have little sensitivity to actually monitor and calculate overweight and obesity. For the above and in the search for better options, anthropometric equations of body composition were evaluated in order to identify those with greater sensitivity to calculate body proportions. The present work aimed to select and analyze anthropometric equations for the calculation of body composition. The study was descriptive, we evaluated two male and female individuals to verify the utility of the chosen equations. For data collection, an anthropometric record was designed. The most important measures were the skin folds: triceps, subscapular, suprailiac, abdominal, thigh and calf. Two diameters: the biestiloideo (wrist) and the bicondileo (femoral) and analyzed the equations of Yuhasz, that of Rocha, Matiegka and the equation of Dubois-Dubois.

**Keywords:** selection, analysis, anthropometric equations, calculation, body composition.

\* Antropólogo Físico de la Escuela Nacional de Antropología e Historia de México, D.F. Posgrado en Ergonomía de la Universidad El Bosque. Docente-Investigador de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Corporación Universitaria Republicana, Bogotá. Colombia. Correo electrónico: [apinedaergocolmex@gmail.com](mailto:apinedaergocolmex@gmail.com)

\*\* Estudiante del semillero del grupo OCA. Perteneciente a la Facultad de Ingeniería Industrial. Correo electrónico: [ing.industrial04@gmail.com](mailto:ing.industrial04@gmail.com)

\*\*\* Estudiante del semillero del grupo OCA. Perteneciente a la Facultad de Ingeniería Industrial. Correo electrónico: [sapadial17@gmail.com](mailto:sapadial17@gmail.com)

\*\*\*\* Estudiante del semillero del grupo OCA. Perteneciente a la Facultad de Ingeniería Industrial.

## I. INTRODUCCIÓN

ESTE PROYECTO de investigación aplicada se desarrolló con el grupo de investigación OCA (Operaciones, Calidad y Administración) de la Corporación Universitaria Republicana, en el que se incorporan estudiantes de la facultad de ingeniería Industrial. En el presente estudio el objetivo fue seleccionar y analizar ecuaciones antropométricas para calcular la composición corporal en adultos. Para el logro de las ecuaciones antropométricas se seleccionan las principales ecuaciones antropométricas relacionadas con la composición corporal, así mismo, se realizaron pruebas de las ecuaciones antropométricas para verificar su utilidad.

La composición corporal es aquella rama de la biología humana que se ocupa de la cuantificación en vivo de los componentes corporales, las relaciones cuantitativas entre los componentes y los cambios cuantitativos en los mismos relacionados con varios factores influyentes [1]. Por otro lado, se puede definir como el estudio de la composición corporal como la evaluación por distintos métodos, de las diferentes fracciones corporales consideradas, respecto del peso total [2]. Así mismo, la cuantificación de los componentes corporales es fundamental para estudios de obesidad. En este sentido, los estudios de composición corporal se centran en tres áreas interconectadas: primero los componentes y sus interrelaciones, segundo el desarrollo y la evaluación de sus métodos para su medición y los factores que influyen [3]. En este sentido podemos diferenciar tres áreas para el estudio de la composición corporal que son: determinación de los componentes principales (cuantificación y distribución), técnicas de medición (directas e indirectas) y los análisis de los factores que influyen sobre la composición corporal.

El cuerpo humano, está formado por 11 elementos que son responsables de más del 99% de su peso total. La composición corporal se puede estudiar a nivel atómico, a nivel molecular (sus componentes son: el agua, los lípidos, proteínas, minerales y carbohidratos). A nivel celular (está compuesto por grasa, masa celular corporal, líquido extracelular y sólidos extracelulares). A nivel de tejidos y sistemas (sus principales componentes son: tejido adiposo, el musculo esquelético, los huesos y los órganos). Y a nivel del cuerpo total,

(se estudia bajo: la masa, la densidad corporal, estatura, resistencias, perímetros, pliegues cutáneos, anchuras, longitudes) [3].

Estos niveles están relacionados entre sí, lo que quiere decir es que un nivel puede ser trasladado a otro nivel. Aspecto de interés para el presente trabajo, ya que constituye la base de numerosas técnicas para evaluar, determinar y analizar la composición corporal. A continuación, se va a mencionar algunas técnicas para determinar y calcular la composición corporal en términos de métodos directos, indirectos y doblemente indirectos.

En los métodos directos los valores son precisos, pero son técnicas invasivas, por lo que la hacen menos accesibles. Estos, nos dan valores directos sin necesidad de transformaciones posteriores. De estos métodos sobresalen: la disección de cadáveres y la biopsia de tejidos [4].

Entre las técnicas indirectas, están el pesaje hidrostático, plestimografía, técnicas isotópicas: agua corporal total, dilución isotópica. Potasio corporal total: espectrometría. Técnicas químicas: determinación de creatinina. Técnicas de imagen: resonancia magnética nuclear (RMN), tomografía computarizada (TC), absorciometría fotónica dual de rayos X (DEXA) [4].

Las técnicas doblemente indirectas, son técnicas de campo que son validadas a través de métodos indirectos. Entre ellos están: las técnicas antropométricas, bioimpedancia eléctrica, conductividad eléctrica corporal total (TOBEC), técnica de imagen por ultrasonidos [4]. El elevado costo y difícil uso de estas técnicas hacen que no sean utilizadas frecuentemente, excepto la impedancia bioeléctrica y la antropometría, que por su sencillez, bajo costo, rapidez, grado de confiabilidad, son los que se van a elegir para su aplicación. Adicionalmente, el carácter no invasivo de las mediciones antropométricas y de bioimpedancia favorece su aplicación [4].

Los estudios antropométricos permiten calcular la composición corporal, el estudio de la morfología, las dimensiones y la proporcionalidad en relación a la ergonomía. Se tiene una variedad de métodos y técnicas para valorar la composición corporal, que han sido analizadas y desarrolladas. Entre las cuales se va a destacar la antropometría



como una técnica de fácil aplicación, buena reproducibilidad y bajo costo. Este método, es el más recomendable ya que es sencillo, reproducible, accesible, cómodo y económico. La confiabilidad dependerá de la habilidad y la experiencia del antropometrista en la toma de las medidas y la calibración del mismo. El protocolo deberá ser estandarizado de acuerdo a las normas internacionales, para que puedan ser comparables los resultados entre los diferentes grupos de trabajadores en los sectores productivos.

La propuesta de este proyecto es justamente dar a conocer la importancia que tiene desde el enfoque ergonómico estas técnicas. La antropometría es una herramienta de la ergonomía, ya que describe, analiza, calcula y evalúa los diferentes factores y características físicas de los trabajadores en relación con sus espacios laborales. Además, valora la parte funcional del trabajador(a), donde se incluye el estudio del perfil antropométrico y corporal, por ser uno de los tantos factores que influyen en la actividad laboral, tanto desde el aspecto fisiológico, el esfuerzo, levantamiento de carga, fatiga y desde el aspecto biomecánico.

Los compartimientos corporales, pueden estudiarse como modelos multicompartimentales o simplificarse en modelos más sencillos, tetra, tri, bi o monocompartimentales. Esta diferenciación compartimental que con mayor frecuencia se suele hacer en el cuerpo es: la fracción grasa (masa grasa) y fracción magra (masa libre de grasa) [4].

La siguiente técnica es beneficiosa y será objeto de nuestro estudio, que consiste en valorar métodos doblemente indirectos que dependen de una relación estadística entre parámetros corporales fácilmente medibles y el componente corporal de interés [5]. Estos datos antropométricos son procesados mediante diferentes ecuaciones de regresión y formulas estadísticas para obtener información sobre la composición corporal. Estos datos van a aportar información sobre los componentes del cuerpo humano en los trabajadores, para conocer los porcentajes de grasa, masa muscular, masa ósea y residual. Uno de los objetivos del proyecto es hacer una recolección de ecuaciones, formulas e índices antropométricos que puedan ser aplicables a la población trabajadora colombiana.

Esta técnica es basada en medidas antropométricas que a continuación relacionamos, para los cálculos de composición corporal: Complejón corporal [6].

El índice peso/estatura (IMC): Donde se establece la relación del peso con el cuadrado de la estatura, para compensar la no linealidad del peso en la siguiente ecuación [7]:

$$\text{IMC} = \frac{\text{peso}}{\text{estatura}^2} \quad (1)$$

Donde el peso se expresa en kilogramos (Kg) y el cuadrado de la estatura en metros cuadrados (m)<sup>2</sup>.

Análisis de la composición corporal, índices corporales porcentaje de grasa corporal: es la fracción relativa de la masa grasa corporal total. Se accede a su cálculo a través del modelo fundamental de la composición corporal, mediante los diferentes procedimientos para su evaluación. De acuerdo a la ecuación de Deurenberg permite el cálculo del porcentaje de grasa corporal.

$$(1,12 \times \text{IMC} + (0,23 \times \text{edad en años}) - (10,8 \times \text{Sexo}) - 5,4) \quad (2)$$

donde se coloca el valor 0 para el sexo femenino y el valor 1 para el sexo masculino [8].

Medición de la grasa corporal mediante impedancia biológica, pliegues cutáneos y ecuaciones a partir de medidas antropométricas [8].

De acuerdo a Yuhasz, el porcentaje de masa grasa se puede calcular en hombres y mujeres con las siguientes fórmulas:

$$\% \text{M.G. (Fem)} = 4,56 + (S \text{ 6 pliegues (mm)} \times 0,143) \quad (3)$$

$$\% \text{M.G. (Masc)} = 3,64 + (S \text{ 6 pliegues (mm)} \times 0,097) \quad (4)$$

donde los pliegues son: Tríceps, subescapular, suprailíaco (2 cm por delante de la línea axilar media), abdominal, muslo anterior y pierna [9].

De acuerdo a Faulkner en 1980, establece el siguiente modelo de ecuación a partir de cuatro componentes para obtener el porcentaje de masa grasa:

$$\%M.G. (Masc) = (S 4 \text{ pliegues} \times 0,153) + 5,783 \quad (5)$$

$$\%M.G. (Fem) = (S 4 \text{ pliegues} \times 0,213) + 7,9 \quad (6)$$

En la que los pliegues son: Tricipital, subescapular, suprailíaco y abdominal [9].

Masa grasa: representa la reserva energética corporal, que acompaña a la actividad metabólica de la masa magra. La función es energética y sirve de sostén y como un aislante térmico. Su densidad es de  $0.9 \times 10 \text{ hg/m}$  y se caracteriza por ser relativamente constante. La cantidad normal para hombres es de 15 % y para mujeres 22 %. Para obesos en hombres más del 25 % y para mujeres obesas con más del 33 % [10].

Peso óseo: La masa ósea es uno de los componentes que influye sobre el peso corporal, que varía en los diferentes grupos humanos [11]. De acuerdo a Rocha que dio lugar al desarrollo del modelo de la ecuación para calcular el peso óseo en la siguiente fórmula:

$$\text{Masa ósea (Kg)} = 3,02 \times (\text{estatura}^2 \times \text{DM} \times \text{DF} \times 400)^{0,712} \quad (7)$$

donde la estatura es en metros; DM es el diámetro de la muñeca en metros y DF es el diámetro del fémur en metros [12][13].

Otros autores como Rosen y Guimaraes, proponen otra ecuación para calcular la masa ósea que es igual a:

$$3,02 \times \left( \frac{\text{estatura}^2}{100} \times \frac{\text{DM}}{100} \times \frac{\text{DF}}{100} \times 400 \right)^{0,712} \quad (8)$$

donde la estatura es en metros; DM es el diámetro de la muñeca en metros y DF es el diámetro del fémur en metros [14][15].

Superficie corporal: Con el peso y la estatura se puede calcular la superficie corporal, existen 11 fórmulas que a continuación se mencionará: Mosteller, 1987. Haycock, 1978. Biering, 1934. Dubois-Dubois, 1916. Boyd, 1939. Gehan, 1970. Isackson, 1936. Breitman, 1932. Von Schelling, 1954. Vierordt, 1906 y Bardeen 1920.

Dubois-Dubois en 1916, estableció la siguiente ecuación para calcular la superficie corporal [15].

$$SC = 0,007184 \times \text{Peso (Kg)}^{0,425} \times \text{estatura (cm)}^{0,725} \quad (9)$$

Mosteller en 1987, estableció la siguiente ecuación para calcular la superficie corporal [15]:

$$SC = (\text{Peso (Kg)} \times \text{estatura (cm)} / 3600)^{0,5} \quad (10)$$

Superficie corporal como indicador de masa muscular en el adulto del sexo masculino.

Peso residual, la masa residual se halla mediante las constantes propuestas por Wurch en 1974.

$$\text{masa residual} = (\text{Kg}) \text{ Ptx } 24,1 / 100 \text{ (hombres)} \quad (11)$$

$$\text{masa residual} = (\text{Kg}) \text{ Ptx } 20,9 / 100 \text{ (mujeres)} \quad (12)$$

donde; Pt es igual al peso corporal [16].

Masa muscular: La cuantificación de la masa muscular, ha mostrado el interés por conocer los aspectos de la composición corporal y su relación con el estado de las reservas proteicas, la capacidad termorreguladora y la independencia funcional [15].

De acuerdo con Martín 1964 la fórmula usada para medir la Masa Muscular es:

$$\text{mm (mujeres)} = 32,71\text{Ga}^2 + 4,155\text{Gd}^2 + 4,090\text{Gc}^2 - 2149 \text{ (r0,966;SE} = 1427\text{g)} \quad (13)$$

$$\text{mm (varones)} = 39,31\text{Ga}^2 + 9,669\text{Gd}^2 + 10,48\text{Gc}^2 - 7993 \text{ (r1;SE} = 408\text{g)} \quad (14)$$

donde: MM masa muscular (gr), Ga: Perímetro antebrazo-pliegues cutáneos (cm), Gb: Perímetro pierna-pliegue cutáneo (cm), Gc: Perímetro Brazo-pliegues cutáneos (bíceps+tríceps), Gd: Perímetro muslo pliegue cutáneo [16].

El estudio de la composición corporal, posibilita el análisis de las variaciones en los componentes corporales asociados a los diferentes estudios como son: la temperatura corporal y los cambios originados por el balance energético y la actividad laboral. El conocimiento para la evaluación del estado nutricional. El aspecto físico de un trabajador(a), el equilibrio óptimo entre el peso corporal y la relación adecuada entre el peso graso y peso libre de grasa. El perfil de distribución de grasa y el desarrollo muscular, dependiendo de la actividad laboral.

La antropometría es un medio para hacer estudios de composición corporal, por ser rápido, seguro y de bajo costo [7]. Mientras que algunos métodos son de alto costo, por los aparatos y requerimiento de personal especializados para el manejo de los mismos. Otros presentan riesgos de radiación por el tiempo necesario para la obtención de información.

Sin embargo, el uso de las variables antropométricas para valorar la composición corporal, tiene inconvenientes por lo que recomendamos tomar algunas medidas. La primera recomendación es seleccionar y aplicar ecuaciones que hayan sido validadas en la población que se va a estudiar, para reducir el error debido al efecto de las variaciones poblacionales, principio de la especificidad poblacional de las ecuaciones de estimación. En ese sentido, se recomienda aplicar ecuaciones específicas, si se realiza el estudio en poblaciones definidas como la población trabajadora colombiana. Para aplicarla se debe tener en cuenta la edad de los evaluados, la diversidad dentro del grupo específico, la diversidad de los grupos. Tratando de buscar semejanzas en las poblaciones, grupos de referencia estudiados [18].

El análisis de estas medidas antropométricas es una herramienta de gran utilidad para las áreas de ergonomía y salud ocupacional. La información y los resultados que arrojará el software de la composición corporal para trabajadores, será con aplicación ergonómica y suministrará también información acerca de estudios ergonómicos. Como se mencionó arriba, existen muchos métodos para recolectar información y datos de mediciones antropométricas, algunas tienen ventajas y otras limitaciones. Existen diferentes modelos, métodos y técnicas para evaluar la composición corporal. La elección de estos, depende del objetivo del estudio, del grado de precisión y exactitud que requiera la evaluación, los recursos y medios disponibles de instrumentos de medición.

## II. METODOLOGÍA

El tipo de estudio fue descriptivo, ya que se describieron las medias antropométricas para cada sujeto que se midió, el enfoque fue cuantitativo. Se realizó una primera evaluación y después de aproximadamente cinco se realizó una

primera evaluación. A los sujetos, se les informó sobre que mediciones se tomarían para la realización y desarrollo del estudio se requirió de un espacio adecuado con privacidad, limpio, buena iluminación para la lectura de los instrumentos y de los datos.

Los puntos anatómicos de referencias se deben identificar con mucho cuidado y marcarse con un lápiz dermatográfico, para posteriormente pasar a realizar las mediciones, tratando de efectuar una secuencia de arriba hacia abajo. El diseño para las tomas de las medidas fue el siguiente: todas las medidas se deben tomar del lado derecho y se realizan las medidas tres veces. Se evaluaron diez medias antropométricas siendo las siguientes: peso, estatura, seis pliegues subcutáneos y dos diámetros. El peso se tomó en kilogramos, la estatura en centímetros. Se evaluaron seis pliegues subcutáneos de acuerdo al siguiente orden: primero el pliegue tricípital, subescapular, suprailíaco, abdominal, muslo anterior y pierna (pantorrilla). Dos diámetros el de la muñeca y el femoral. Siguiendo el siguiente procedimiento, la persona debe estar de pie, deberá tener los brazos descansados. Posteriormente con un marcador rojo (lápiz rojo), se marcan el punto acromial siendo un punto de referencia.

El antebrazo se flexiona a 90°, posteriormente se marca el otro punto de referencia en el olecranon, después con una cinta métrica se miden los dos puntos y se dividen en dos y se marca en el antebrazo tricípital. Con el dedo índice pulgar se toma el pliegue en el punto de referencia (antebrazo), con el calibrador del panículo adiposo, se mide el pliegue tricípital.

El subescapular se mide en el ángulo inferior del subescapular. En el suprailíaco, se identificó con el índice pulgar el hueso iliaco, se identifica el punto de referencia y se agarra con el índice pulgar el pliegue y se realizó la medición. El abdomen con el lápiz rojo, se marcó el ombligo como punto de referencia, con el índice pulgar se toma el pliegue y se hace la medición. El muslo anterior, lo primero que se hizo fue identificar el punto medio de la pierna y con el índice pulgar se coge el pliegue para hacer la medida. Y se tomó el pliegue de la pantorrilla haciendo la identificación de la parte media, con el índice pulgar para hacer la medición.

Por otro lado, se tomaron dos medidas más. El diámetro biestiloideo (muñeca), la técnica se hizo con el siguiente procedimiento: Se extendió el antebrazo a 90° hacia arriba, se identifican los dos puntos óseos (biestiloideos) con los dos dedos índices, se marcan los dos puntos y con el calibrador de ramas cortas por ambas caras se abre y con las dos ramas se mide con el calibrador. Finalmente, el diámetro bicondileo (femoral), se identificaron con los dos índices los bicondileos, se marcaron los dos puntos con lápiz rojo, para posteriormente medir con el calibrador la anchura femoral.

La muestra fueron dos sujetos, una mujer y un hombre adulto. Los instrumentos fueron: Una

ficha antropométrica que se diseñó a propósito, ya que nos permitió recolectar y organizar los datos de cada sujeto evaluado (ver ficha). Los instrumentos de medición que se utilizaron fueron una balanza, una cinta métrica, un calibrador de pániculo adiposo subcutáneo marca Whitehouse Skinfold Caliper, marca Holtain Tanner que fue diseñado en la Universidad de Londres y el Instituto de Salud de Niños. El rango del aparato es de 0 a 48 mm. Tiene una precisión constante de 10 gr/mm<sup>2</sup>. Tiene un peso de 4 kg. y una graduación de 0.2 mm. La precisión es alta, sin embargo es necesaria una adecuada técnica de medición y un calibrador de ramas cortas. Ver tablas I y II.

### Ficha antropométrica. Composición corporal

No \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
 Nombre \_\_\_\_\_ Edad \_\_\_\_\_ Lugar de nac \_\_\_\_\_  
 Peso \_\_\_\_\_ Kg. Estatura \_\_\_\_\_ Cm.

#### Pliegues

1. Tripcipital \_\_\_\_\_ mm.
2. Subescapular \_\_\_\_\_ mm.
3. Suprailíaco \_\_\_\_\_ mm.
4. Abdominal \_\_\_\_\_ mm.
5. Muslo anterior (frente) \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ mm.
6. Pierna \_\_\_\_\_ (pantorrilla) mm.

#### Diámetros

1. DM= Diámetro biestiloideo (muñeca) \_\_\_\_\_ mm.
2. DF= Diámetro bicondileo (Femoral) \_\_\_\_\_ mm.

**Tabla I.** Ficha antropométrica. Composición Corporal - Modelo Femenino.

Nº 1	FECHA:				
NOMBRE:	Modelo: Femenino				
PESO: 42 Kg.	ESTATURA: 1.58 m		EDAD: 24		LUGAR DE NAC.
Pliegues	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio	
1. Tripcipital	14,6 mm	14,2 mm	14,2 mm	14,3 mm	
2. Subescapular	12 mm	12,4 mm	12 mm	12,1 mm	
3. Suprailíaco	10,6 mm	11,4 mm	11,4 mm	11,1 mm	
4. Abdominal	19 mm	18,4 mm	18 mm	18,5 mm	
5. Muslo anterior	14, 2 mm	14 mm	12,6 mm	13,6 mm	
6. Pierna	9 mm	8,8 mm	8,4 mm	8,7 mm	
Diámetros	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio	
1. DM = Diámetro biestiloideo (muñeca)	50, 2 mm	55,1 mm	50,3 mm	50,2 mm	
2. DF = Diámetro bicondileo (femoral)	80,3 mm	80,2 mm	79 mm	79,8 mm	

**Tabla II.** Ficha antropométrica. Composición Corporal – Modelo Masculino.

Nº 2	FECHA: 12 de agosto de 2015			
NOMBRE:	Modelo: Masculino			
PESO: 76 Kg.	ESTATURA: 1.72 m	EDAD: 27	LUGAR DE NAC.	
<b>Pliegues</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Promedio</b>
1. Triplicital	8,4 mm	8,2 mm	8 mm	8,2 mm
2. Subescapular	12,2 mm	13 mm	13 mm	12,7 mm
3. Suprailíaco	22,8 mm	23 mm	22,8 mm	22,9 mm
4. Abdominal	24 mm	26 mm	28 mm	26 mm
5. Muslo anterior	14 mm	14 mm	14,2 mm	14,1 mm
6. Pierna	11,6 mm	11,4 mm	11,4 mm	11,5 mm
<b>Diámetros</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Promedio</b>
1. DM = Diámetro biestiloideo (muñeca)	52 mm	51 mm	51 mm	51,3 mm
2. DF = Diámetro bicondileo (femoral)	96 mm	98 mm	96 mm	96,7 mm

### III. RESULTADOS

Se seleccionaron siete ecuaciones antropométricas para calcular la composición corporal (ver Tabla III) que fueron las siguientes: el porcentaje de grasa, masa grasa, peso óseo, peso residual, masa muscular, índice de masa corporal y la superficie corporal. Los resultados de las ecuaciones seleccionadas (Ver Tabla IV) fueron las siguientes: la ecuación de Yuhasz, nos arrojó un porcentaje de grasa para la modelo femenina con un 15.8 % de grasa. La masa grasa para la modelo femenina fue con un peso de 6.64 Kg. Y para el hombre de 9.81 kg. El peso óseo para la mujer fue de 8.03 kg. y para el hombre de 10 kg. En cuanto a la masa muscular para el hombre fue de 38 kg. y para la mujer fue de 18 kg. Por su parte la masa residual para el modelo femenino es de 9 kg y para el hombre de 18 kg.

ción de Yuhasz, nos arrojó un porcentaje de grasa para la modelo femenina con un 15.8 % de grasa. La masa grasa para la modelo femenina fue con un peso de 6.64 Kg. Y para el hombre de 9.81 kg. El peso óseo para la mujer fue de 8.03 kg. y para el hombre de 10 kg. En cuanto a la masa muscular para el hombre fue de 38 kg. y para la mujer fue de 18 kg. Por su parte la masa residual para el modelo femenino es de 9 kg y para el hombre de 18 kg.

**Tabla III.** Ecuaciones antropométricas.

1.	Porcentaje de Grasa Corporal	Ecuación de Yuhasz %M. G. (Fem) = 4,56 + ( $\Sigma$ 6pliegues (mm) x 0,143) %M. G. (Masc) = 3,64 + ( $\Sigma$ 6pliegues (mm) x 0,097)
2.	Masa Grasa	Peso graso = $\frac{\% \text{ de grasa} \times \text{peso total}}{100}$
3.	Peso Óseo	Ecuación de Rocha Masa ósea (Kg) = 3,02 x (estatura <sup>2</sup> x DM x DF x 400) <sup>0,712</sup>
4.	Peso Residual	Ecuación de Würch Masa residual = (Kg)Pt x 24.1 / 100 (hombres) Masa residual = (Kg)Pt x 20.9 / 100 (mujeres)
5.	Masa Muscular	Ecuación de Matiegka MM = Peso total – (peso graso + peso óseo + peso residual)
6.	Índice de Masa Corporal	$IMC = \frac{\text{peso}}{\text{estatura}^2}$
7.	Superficie Corporal	Ecuación de Dubois-Dubois SC = 0,007184 x Peso (kg) <sup>0,425</sup> x estatura (cm) <sup>0,725</sup>

Tabla IV. Resultados de ecuaciones antropométricas.

1.	Porcentaje de Grasa Corporal	<p>Ecuación de Yuhasz</p> <p>Modelo femenino  <math>\%M. G. (Fem) = 4,56 + (\Sigma 6\text{pliegues (mm)} \times 0,143)</math>  <math>\%M. G. (Fem) = 4,56 + (78.3 \times 0,143) = 15,8\%</math></p> <p>Modelo Masculino  <math>\%M. G. (Masc) = 3,64 + (\Sigma 6\text{pliegues (mm)} \times 0,097)</math>  <math>\%M. G. (Masc) = 3,64 + (95,4 \times 0,097) = 12,9\%</math></p>
2.	Masa Grasa	<p>Peso graso = <math>\frac{\% \text{ de grasa} \times \text{peso total}}{100}</math></p> <p>Modelo Femenino  <math>\text{Peso graso (Fem)} = \frac{15,8 \times 42}{100} = 6,64 \text{ kg}</math></p> <p>Modelo Masculino  <math>\text{Peso graso (Masc)} = \frac{12,9 \times 76}{100} = 9,81 \text{ kg}</math></p>
3.	Peso Óseo	<p>Ecuación de Rocha</p> <p>ósea Masa (Kg) = <math>3,02 \times (\text{estatura}^2 \times DM \times DF \times 400)^{0,712}</math></p> <p>Modelo femenino</p> <p>ósea Masa (Kg) (F) =  <math>3,02 \times (1,58^2 \text{m} \times 50,2 \text{ mm} \times 79,8 \text{ mm} \times 400)^{0,712}</math>  <math>\text{ósea Masa (Kg) (F)} = 3,02 \times (2,50 \text{m} \times 0,050 \text{ m} \times 0,079 \text{m} \times 400)^{0,712}</math>  <math>\text{ósea Masa (Kg) (F)} = 8,03 \text{ Kg}</math></p> <p>Modelo masculino</p> <p>ósea Masa (Kg) (M) =  <math>3,02 \times (1,72^2 \text{m} \times 51,3 \text{mm} \times 96,7 \text{ mm} \times 400)^{0,712}</math>  <math>\text{ósea Masa (Kg) (M)} = 3,02 \times (3 \text{m} \times 0,051 \text{ m} \times 0,096 \text{m} \times 400)^{0,712}</math>  <math>\text{ósea Masa (Kg) (M)} = 10 \text{ Kg}</math></p>
4.	Peso Residual	<p>Ecuación de Würch</p> <p>Modelo masculino</p> <p>Masa residual = (Kg) <math>Ptx24.1/100</math>(hombres)</p> <p>Masa residual = (Kg)(Masc) = <math>\frac{24\% \times 76 \text{ kg}}{100} = 18 \text{ Kg}</math></p> <p>Modelo femenino</p> <p>Masa residual = (Kg) <math>Ptx20.9/100</math>(mujeres)</p> <p>Masa residual = (Kg)(Fem) = <math>\frac{21\% \times 42 \text{ kg}}{100} = 9 \text{ Kg}</math></p>
5.	Masa Muscular	<p>Ecuación de Matiegka</p> <p>MM= Peso total – (peso graso + peso óseo + peso residual)</p> <p>Modelo masculino</p> <p>MM (Mas) = <math>76 \text{ Kg} - (9,81 \text{ Kg} + 10 \text{ Kg} + 18 \text{ Kg}) = 38 \text{ Kg}</math></p> <p>Modelo femenino</p> <p>MM (Fem) = <math>42 \text{ Kg} - (6,64 \text{ Kg} + 8,03 \text{ Kg} + 9 \text{ Kg}) = 18 \text{ Kg}</math></p>

Tabla IV. Resultados de ecuaciones antropométricas.

6.	Índice de Masa Corporal	$IMC = \frac{\text{peso}}{\text{estatura}^2}$ <p>Modelo masculino</p> $IMC (Mas) = \frac{76}{1,72^2} = 26$ <p>Modelo femenino</p> $IMC (Fem) = \frac{42}{1,58^2} = 17$
7.	Superficie Corporal	<p>Dubois-Dubois</p> $SC = 0,007184 \times \text{Peso (kg)}^{0,425} \times \text{estatura (cm)}^{0,725}$ <p>Modelo femenino</p> $SC (Fem) = 0,007184 \times 42 (kg)^{0,425} \times 158 (cm)^{0,725}$ $SC (Fem) = 0,007184 \times 4,90 \times 39,2 = 1,38 \text{ m}^2$ <p>Modelo masculino</p> $SC (Masc.) = 0,007184 \times 76(kg)^{0,425} \times 172 (cm)^{0,725}$ $SC (Masc.) = 0,007184 \times 6,3 \times 41,7 = 1,84 \text{ m}^2$

Y respecto del índice de la masa corporal, el resultado para la mujer fue de 17, que de acuerdo a la tabla de la OMS de 1995, se interpreta como bajo peso y la interpretación para el hombre es 26, se interpreta como sobrepeso y finalmente la superficie corporal para la mujer fue de 1.38 m<sup>2</sup> y para el hombre 1.84 m<sup>2</sup>.

#### IV. CONCLUSIONES

Es posible usar ecuaciones antropométricas específicas según la edad y sexo para calcular los compartimentos corporales a través de las mediciones que se seleccionaron. Las ecuaciones generadas en este estudio se basaron en una técnica práctica, sencilla, de bajo costo y adecuada para calcular la composición corporal. En cuanto a los diámetros del esqueleto proporcionan información de la cantidad de la masa ósea. El hecho que estas ecuaciones estén validadas por los autores que la publican no significa que sea válida para otra población.

El uso de estas ecuaciones de Yuhasz, Rocha, Würch y Matiegka, para calcular la composición corporal puede ser viable para su aplicación en

poblaciones adultas. Se requiere hacer más estudios con una muestra más grande para verificar si estas son representativas y puedan tener una correlación entre las medidas, las ecuaciones y los grupos para Colombia.

#### REFERENCIAS

- [1] Z. M. Wang, R.N. Pierson, JR y S.B. Heymsfield. The five-level model: a new approach to organizing body composition research. *Am. J. Clin. Nutr.* 56: 19-28. 1992.
- [2] M. D. Marrodán, M. González, C. Prado. *Antropología de la Nutrición. Métodos, Técnicas y Aplicaciones.* Ed. Noesis. Madrid, 1995.
- [3] R. Casanova. Técnicas de valoración del estado nutricional. *Vox Paediatrica.* 11 (1), 26-35. España. 2003.
- [4] J. Sirvent & R. Garrido. Valoración antropométrica de la composición corporal. Universidad de Alicante. España. 2009.
- [5] M. Gibney, H. Vorster, & F. Kok. *Introducción a la nutrición humana.* España. 2005.
- [6] A. R. Frisancho. *Anthropometric Standards for the Assessment of Growth and Nutritional Status.* The University of Michigan Press. Michigan. 1990.

- [7] A. Quetelet. *Fisica Sociale ossia svolgimento delle facultá dell' uomo* Cap. 2: Relazioni tra il peso e la statura. In: *Economía Política*, G. Boccardo (ed.), Torino: Unione Tipografico-Editrice Torinese, 1875.
- [8] V. Moreno, J. Gómez, M. Antoranz. Medición de la grasa corporal mediante impedancia Bioeléctrica, pliegues cutáneos y ecuaciones a partir de Medidas antropométricas. Análisis comparativo. Centro de Salud Coronel de Palma. Móstoles. Madrid. *Rev Esp Salud Pública* 2001; 75: 221-236. 2001.
- [9] M. Sillero. *Composición corporal*. Facultad de ciencias de la actividad física y del deporte (I.N.E.F). Universidad Politécnica de Madrid. 2005.
- [10] Malagón, C. (2001). *Manual de antropometría*. Banco de la República. Bogotá.
- [11] G. Arechavaleta, H. Castillo, H. Herrera & M. Pacheco. *Composición Corporal en una población de estudiantes universitarios*. *Revista de la Facultad de Medicina*, 25, 209-216. 2002.
- [12] M. S. L. Rocha. *Peso óseo do brasileiro de ambos os sexos de 17 a 25 años*. *Arquivos de Anatomia e Antropologia*, 1, 445-451. 1975.
- [13] J. Alvero. *Protocolo de valoración de la composición corporal para el reconocimiento médico-deportivo, documento de consenso del grupo español de cineantropometría de la federación Española de medicina y deporte*, Disponible en: [http://femede.es/documentos/ConsensoCine\\_131.pdf](http://femede.es/documentos/ConsensoCine_131.pdf). Volumen XXVI. Número 131. Págs.166-179. 2009.
- [14] C. Rosen. *Osteoporosis*. In: Goldman L, Schafer AI, eds. *Goldman's Cecil Medicine*. 24th ed. Philadelphia, PA: Elsevier Saunders; chap 25. 2012.
- [15] J. Fernandez, R. Aguilera. *Estimación de la masa muscular por diferentes ecuaciones antropométricas en levantadores de pesas de alto nivel*. *Archivos de medicina y deporte*. 2001.
- [16] R. Garrido, M. González, I. Coll. *Comparación de las fórmulas de Lee y Martin para el cálculo de la masa muscular de 3125 deportistas de alto nivel*. *Servicios de Apoyo al Deportista del Centro de Tecnificación de Alicante (España)* 2005.
- [17] J. C. Aristizábal, M. T. Restrepo, A. Estrada. *Evaluación de la composición corporal de adultos sanos por antropometría e impedancia bioeléctrica*. Grupo de Investigación en Alimentación y Nutrición Humana, Escuela de Nutrición y Dietética, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia Biomédica 2007.
- [18] P. Pacheco. *Ambidiestrismo y el pensamiento visual. Más allá del dibujo*. Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional de Colombia sede en Manizales, 1996.





<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# LA DEPURACIÓN COMO COMPETENCIA EN LA FORMACIÓN DEL PROFESIONAL INFORMÁTICO

## *Depurations as competence on informatics professional formation*

WALFREDO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ\*

*Recibido: 20 de diciembre de 2016. Aceptado: 27 de diciembre de 2016*

DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n7.a22>

### RESUMEN

La depuración es una de las actividades más importantes en la actividad ingenieril. En el artículo se toma posiciones de los autores sobre el modelo y sus clasificaciones. Por otro lado, se asumen los elementos esenciales del currículo informático en el mundo y la importancia de la depuración en ellos. En el último acápite se analiza el cómo estructurar la depuración como elemento esencial en su modo de actuación.

**Palabras clave:** enseñanza de la informática, competencias, depurar.

### ABSTRACT

The modelling is one of the more important activities in the engineers' activity. The author assumes theoretic positions as from the critical analysis of the bibliography on the model and its classifications. In addition, in the article the author assumes the information-technology curriculum's essential elements in the world and the importance of the modelling in them. It is examined in the last clause the how structuring the modelling like essential element in your mode of acting.

**Keywords:** informatics teach, competence, modelling.

## I. INTRODUCCIÓN

EL DESARROLLO alcanzado por las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y sus aplicaciones en la educación a nivel mundial y en el ámbito nacional, plantean la necesidad de investigar un conjunto de problemas inherentes al proceso de enseñanza-aprendizaje de la Informática. Uno de estos problemas es la formación del profesional de esta área del conocimiento.

La informática ha desarrollado en su devenir histórico varias disciplinas científicas que se estructuran como disciplinas en el currículo de su formación. Sin embargo, existen determinados contenidos que son esenciales para su formación y que no se encuentran enmarcados en una única disciplina. Uno de estos contenidos es precisamente la modelación.

La depuración de los sistemas informáticos es una de las actividades más importantes en la formación del ingeniero informático. Sin embargo, el análisis debe estar en el orden de las estructuras psicológicas de la personalidad que se debe considerar como depuración de los sistemas informáticos en la formación del profesional informático. Un primer punto de partida en este análisis es el papel de la depuración en la actividad informática y su forma fundamental de organización. Un segundo momento de análisis se encuentra en la expresión de la depuración en el diseño curricular de los profesionales informáticos. Por último, entonces determinar qué tipo de estructura de la personalidad ocupa la depuración en la formación de este profesional.

\* Doctor en Ciencias Pedagógicas. Profesor Titular de Ingeniería Informática. Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba. Correo electrónico: [walfredo.glez@umcc.cu](mailto:walfredo.glez@umcc.cu)

## II. DESARROLLO

### A. La depuración como parte de la actividad informática y el Proyecto

La detección de errores ha sido una de las formas fundamentales que presentan diversas especies de animales como forma de adaptación al medio en el cual se desenvuelven. Con el advenimiento de la especie humana producto de la evolución este proceso correctivo ha sido llevado a su actividad como uno de sus eslabones fundamentales. La informática no escapa a esta realidad y uno de las actividades hoy a las cuales se les dedica mayor tiempo es a la detección de errores [1-3]. Para estos autores la actividad que se realiza para detectar estos errores se denomina pruebas y la actividad de eliminarlos se denomina depuración. Para este artículo se asume entonces que es imposible depurar un sistema informático sin las pruebas. De esta afirmación anterior se deriva entonces que, si bien son actividades diferentes, están íntimamente relacionadas y la depuración depende de las pruebas al software.

Siguiendo las ideas anteriores, se puede inferir que es posible integrar las pruebas y la depuración en una actividad más general. De esta inferencia se desprende que la puesta a punto del sistema es aquella actividad en la cual se realizan un conjunto de acciones para colocar el sistema con la menor cantidad de errores posibles a funcionar en la organización a la cual está destinado. Las acciones fundamentales en esta actividad serían pues probar sistemas y depurar sistemas. En este caso el sistema de acciones es ordenado de manera secuencial y se comenzaría en primer lugar con las pruebas y posteriormente con la depuración. Estas consideraciones llevan a analizar en primer lugar los resultados fundamentales acerca de las pruebas y posteriormente la depuración como actividades informáticas.

Las pruebas se han estructurado en dos grandes grupos, aunque en este sentido en la literatura consultada [4][5]; existen criterios divergentes, casi todos coinciden en varias pruebas: pruebas unitarias, pruebas funcionales, pruebas de integración, pruebas de validación, pruebas de sistema, caja blanca (sistemas), caja negra (sistemas), pruebas de aceptación, pruebas de regresión, pruebas de carga, pruebas de prestaciones, pruebas de recorri-

do, pruebas de mutación. Cada una de estas pruebas presentan características diferentes que serán analizadas a continuación.

Prueba unitaria es una forma de probar el correcto funcionamiento de un módulo de código. Esta prueba se utiliza para asegurar que cada uno de los módulos funcione correctamente por separado. La idea es escribir casos de prueba para cada función no trivial o método en el módulo de forma que cada caso sea independiente del resto. En esta prueba, como en otras que se utilizan datos de entrada, se particiona el conjunto de datos en clases de equivalencia que le permita al probador verificar con un representante de cada clase. Al probar con un representante de la clase, lo que suceda con él se cumple para el resto de los integrantes de la clase.

La prueba de unidad centra el proceso de verificación en la menor unidad del diseño del software: «el módulo o clase». En el caso de la clase se toman como unidad la clase y sus métodos, en estos últimos se orienta a caja blanca y este paso se puede llevar a cabo en paralelo para múltiples módulos. Usando la descripción del diseño procedimental como guía, se prueban los caminos de control importantes, con el fin de descubrir errores dentro del límite del módulo.

Para que una prueba de unidad sea considerada como válida se deben cumplir los siguientes requisitos:

1. Automatizable: no debería requerirse una intervención manual. Esto es especialmente útil para integración continua.
2. Completas: deben cubrir la mayor cantidad de código.
3. Repetibles o Reutilizables: no se deben crear pruebas que sólo puedan ser ejecutadas una sola vez. También es útil para integración continua.
4. Independientes: la ejecución de una prueba no debe afectar a la ejecución de otra.
5. Profesionales: las pruebas deben ser consideradas igual que el código, con la misma profesionalidad, documentación, etc.

Aunque estos requisitos no tienen que ser cumplidos al pie de la letra, se recomienda seguirlos o de lo contrario las pruebas pierden parte de su función. En la actualidad la mayoría de los IDE de los lenguajes de programación ya traen incorporados mecanismos para la depuración de este tipo de pruebas. Ejemplo de ello son PHP, Unit, JUnit entre otros.

Una prueba funcional es una prueba basada en la ejecución, revisión y retroalimentación de las funcionalidades previamente diseñadas para el software. Las pruebas funcionales se hacen mediante el diseño de modelos de prueba que buscan evaluar cada una de las opciones con las que cuenta el paquete informático.

Pruebas integrales o pruebas de integración son aquellas que se realizan en el ámbito del desarrollo de software una vez que se han aprobado las pruebas unitarias. Únicamente se refieren a la prueba o pruebas de todos los elementos unitarios que componen un proceso, hecha en conjunto, de una sola vez. Consiste en realizar pruebas para verificar que un gran conjunto de partes de software funcionan juntos. Las pruebas de integración (algunas veces llamadas integración y testeo I&t) es la fase del testeo de software en la cual módulos individuales de software son combinados y testeados como un grupo. Son las pruebas posteriores a las pruebas unitarias y preceden el testeo de sistema.

En programación, se denomina cajas blancas a un tipo de pruebas de software que se realiza sobre las funciones internas de un módulo. Están dirigidas a las funciones internas. Entre las técnicas usadas se encuentran; la cobertura de caminos (pruebas que hagan que se recorran todos los posibles caminos de ejecución), pruebas sobre las expresiones lógico-aritméticas, pruebas de camino de datos (definición-uso de variables), comprobación de bucles (se verifican los bucles para 0,1 y n iteraciones, y luego para las iteraciones máximas, máximas menos uno y más uno).

Las pruebas de caja blanca se llevan a cabo en primer lugar, sobre un módulo concreto. En los sistemas orientados a objetos, las pruebas de caja blanca pueden aplicarse a los métodos de la clase, pero según varias opiniones, ese esfuerzo debería dedicarse a otro tipo de pruebas más

especializadas. Es opinión de este autor, compartida con otros autores [3][5], que esta prueba no debe aplicarse a métodos polimórficos ni otros mecanismos de herencia. Este concepto también es utilizado de manera análoga en la teoría general de sistemas.

Se comprueban los caminos lógicos del software proponiendo casos de prueba que ejerciten conjuntos específicos de condiciones y/o bucles. Se puede comprobar el programa en varios puntos para determinar si el estado real coincide con el esperado. Varias son las pruebas que se pueden realizar como parte de la prueba de caja blanca y la más usada es la del camino básico. Esta técnica permite al probador obtener la medida de la complejidad de una porción de código y usar esa medida como guía para la definición de un conjunto básico (diseño de casos de prueba) de caminos de ejecución. Los casos de prueba derivados del conjunto básico garantizan que durante la prueba se ejecuta por lo menos una vez cada sentencia del programa. Para ello se construye un grafo de flujo y se calcula la complejidad ciclomática en cualquiera de sus tres variantes.

Otra de las pruebas más utilizadas es la de caja negra. En teoría de sistemas y física, se denomina caja negra a aquel elemento que es estudiado por las entradas que recibe y las salidas o respuestas que produce, sin analizar su funcionamiento interno. Se infiere entonces que en la prueba de caja negra lo importante es su forma de interactuar con el medio que le rodea, en el caso de sistemas informáticos pueden ser usuarios u otros sistemas. Por tanto, en esta prueba deben estar bien definidas sus entradas y salidas para cada uno de los casos de pruebas utilizados.

Estas pruebas se centran en los requisitos funcionales del software. Permite al probador obtener conjuntos de casos de prueba para todos los requisitos funcionales de un sistema informático. Estas pruebas se llevan a cabo sobre la interfaz del sistema reduciendo el número de casos de prueba mediante la elección de entradas y salidas válidas y no válidas que ejercitan toda la funcionalidad del sistema. Para estas pruebas también se divide el dominio de la aplicación en clases de equivalencia que permitan definir conjuntos de datos finitos. En el caso de las aplicaciones web, una herramienta muy utilizada para estas pruebas

es el selenium. Este case genera un script propio que puede ser utilizado en interfaces similares de otras aplicaciones web o de la misma aplicación. Este script también puede exportarse a varios lenguajes entre los cuales se encuentran Python, Java y C#.

La prueba de caja negra no es una alternativa a las técnicas de prueba de caja blanca sino complementaria que descubre diferentes tipos de errores que los métodos de caja blanca no pueden detectar. La prueba de caja negra intenta encontrar errores de las siguientes categorías: funciones incorrectas o ausentes, errores de interfaz, errores en estructuras de datos o en accesos a bases de datos externas, errores de rendimiento, errores de inicialización y de terminación.

Por otro lado, las pruebas de regresión se realizan después de haber corregidos los errores en procesos de depuración, carencias de funcionalidad, o divergencias funcionales con respecto al comportamiento esperado del software. Esto implica que el error tratado se reproduce como consecuencia inesperada del cambio realizado en el programa. Este tipo de cambio puede ser debido a prácticas no adecuadas de control de versiones, falta de consideración acerca del ámbito o contexto de producción final y extensibilidad del error que fue corregido (fragilidad de la corrección), o simplemente una consecuencia del rediseño de la aplicación.

Estas pruebas de regresión se pueden dividir en varios tipos:

- a. Clasificación de ámbito: local -los cambios introducen nuevos errores, desenmascarada- los cambios revelan errores previos, remota - los cambios vinculan algunas partes del programa (módulo) e introducen errores en ella.
- b. Clasificación temporal: nueva característica - los cambios realizados con respecto a nuevas funcionalidades en la versión introducen errores en otras novedades en la misma versión del software, característica preexistente - los cambios realizados con respecto a nuevas funcionalidades introducen errores en funcionalidad existente de previas versiones.

La prueba de integración es una prueba sistemática para construir la estructura del programa. El objetivo es tomar los códigos probados en una unidad e integrarlos en una estructura de sistema que esté de acuerdo con lo que establece el diseño. Se comprueba la compatibilidad y funcionalidad de las interfaces entre las unidades que componen un sistema, estas 'partes' pueden ser módulos, aplicaciones individuales, aplicaciones cliente/servidor, entre otras.

Las pruebas de recuperación son una prueba del sistema que fuerza el fallo del software de muchas formas y verifica si la recuperación se lleva a cabo apropiadamente. Si la recuperación es automática hay que evaluar la corrección de la inicialización, de los mecanismos de recuperación del estado del sistema, de la recuperación de datos y del proceso de arranque. Si la recuperación requiere la intervención humana, hay que evaluar los tiempos medios de reparación para determinar si están dentro de límites aceptables. Este tipo de pruebas es especialmente relevante en aplicaciones distribuidas.

La prueba de seguridad verifica que los mecanismos de protección incorporados en el sistema lo protegerán de accesos impropios por parte de piratas informáticos. Durante la prueba de seguridad, el responsable (de la prueba) desempeña el papel de un individuo que desea ingresar al sistema, debe intentar conseguir las claves de acceso por cualquier medio, debe producir a propósito errores del sistema. Con tiempo y recursos suficientes, una buena prueba de seguridad terminará por acceder al sistema. El papel del diseñador del sistema es hacer que el coste de la entrada ilegal sea mayor que el valor de la información obtenida. Para esta prueba existen herramientas case que optimizan este proceso como el Vega que implementa hasta inyección SQL. Otras de las herramientas que pueden ser utilizadas son las herramientas de hacker para las funcionalidades críticas.

Asociado a la prueba de seguridad se realizan pruebas de resistencia, en ella se ejecuta un sistema de forma que demande recursos en cantidad, frecuencia o volúmenes anormales. Determinan hasta donde puede soportar el programa determinadas condiciones extremas.

Otra prueba necesaria es la de rendimiento que se realiza en tiempo de ejecución dentro del con-

texto de un sistema integrado. Consisten en determinar que los tiempos de respuesta están dentro de los intervalos establecidos en las especificaciones del sistema.

Para cada una de estas pruebas se genera una documentación asociada con formatos bien concretos que permiten almacenarlas para una posterior revisión de los procesos de desarrollo del sistema en caso de mantenimiento. Cuando se va a realizar el mantenimiento del sistema informático es necesaria toda la documentación de los procesos de desarrollo en el cual las pruebas juegan un papel fundamental.

Generalmente, como se ha abordado hasta el momento, no se concibe en la literatura consultada la detección de errores en los procesos anteriores a la codificación como la detección de los requerimientos y la modelación del sistema. Solamente en la validación o en las pruebas beta es que se detecta si se ha realizado el sistema correcto. Estas afirmaciones llevan a pensar en la necesidad de establecer pruebas a los requerimientos y a la modelación del sistema desde etapas tempranas. Una posible solución para proyectos pequeños en el caso de los requisitos es presentar en un tiempo breve un prototipo que solamente muestre la interfaz del futuro sistema. Además, este prototipo debe presentar todas las funcionalidades para que el cliente especifique si cumple con sus requisitos, pudiera tomarse como una maqueta del sistema.

En el caso de la modelación pudieran establecerse ideas de etapas posteriores como es el caso del pair programming de la metodología XP. En el caso de esta metodología ágil de desarrollo, sería interesante extender esta idea a las historias de usuario, el plan de entregas, las tarjetas CRC y el plan de iteraciones. De tal manera que al culminar cada una de ellas se intercambia con el segundo y se detectan los errores cometidos, así como su depuración de la cual se trataré posteriormente.

Para la modelación que utiliza un lenguaje de modelado como UML es posible situar un probador por cada equipo de modelación. Este probador se encargaría de examinar los modelos contenidos en cada paquete y verificar su correspondencia con los requisitos ya probados. Por

tanto, puede ocupar el rol de probador de requerimientos y probador de modelos.

Posteriormente al proceso de detección de las fallas del sistema, como segunda etapa, deben comenzarse el proceso de depuración de estos fallos. Se afirma en la literatura [3][5] que la depuración es la consecuencia de pruebas exitosas. Con esta concepción de depuración se asume que puede encontrarse la causa del error o no encontrarse. En este segundo caso pudiera ser una solución la búsqueda de nuevos casos de pruebas asociado a la sospecha de dónde se encuentra el error.

Existen ciertas características de los errores brindan algunas pistas [3]:

1. El síntoma y la causa pueden ser geográficamente remotos. Es decir, el síntoma puede aparecer en una parte de un programa, mientras que la causa en realidad puede ubicarse en un sitio que esté alejado. Los componentes altamente acoplados exacerbaban esta situación.
2. El síntoma puede desaparecer (temporalmente) cuando se corrige otro error.
3. El síntoma en realidad puede no ser causado por errores (por ejemplo, imprecisiones de redondeo).
4. El síntoma puede ser causado por un error humano que no se rastrea con facilidad.
5. El síntoma puede ser resultado de problemas de temporización más que de problemas de procesamiento.
6. Puede ser difícil reproducir con precisión las condiciones de entrada (por ejemplo, una aplicación en tiempo real en la que el orden de la entrada esté indeterminado).
7. El síntoma puede ser intermitente, particularmente común en sistemas embebidos que acoplan hardware y software de manera inextricable.
8. El síntoma puede deberse a causas que se distribuyen a través de algunas tareas que corren en diferentes procesadores.

Los métodos de depuración más comunes son la fuerza bruta, la vuelta atrás y la eliminación de causas. El primero se basa fundamentalmente en el rastreo del código del programa con las trazas y que en algún momento se detecte una salida no esperada o no deseada. Este método conlleva un gasto de esfuerzo que generalmente no brinda los resultados esperados sobre todo en las actuales aplicaciones que se enlazan unas con otras usando las más variadas formas.

La vuelta atrás su idea fundamental se encuentra en revisar hacia atrás el código a partir del lugar donde se encontró el error. Este método puede funcionar en programas pequeños, pero en grandes sistemas no funciona eficientemente. En códigos orientados a objetos, para este artículo se asume que deben añadirse a la revisión todas las clases involucradas con aquella donde se generó el error. Para ello puede resultar de mucha ayuda contar con las tarjetas CRC o los diagramas de colaboración en dependencia de la metodología de desarrollo utilizada.

La eliminación de las causas se basa en aislar las causas potenciales a partir de una reorganización de los datos. A partir de ahí se desarrolla una lista de las posibles causas y se realizan pruebas para eliminar cada una. Si las pruebas iniciales indican que una hipótesis de causa particular se muestra prometedora, los datos se refinan con la intención de aislar el error.

También es posible utilizar herramientas automatizadas de apoyo para la depuración de los sistemas informáticos. Estas herramientas permiten capturar el error y determinar la causa para ayudar a los depuradores a corregirlos.

Siendo consecuente con el enfoque amplio de pruebas asumido en este artículo, es necesario entonces abordar la depuración. La detección de errores en los requerimientos y en la modelación de los sistemas pueden ser corregidos por el mismo equipo que los elaboró. En este caso, la actividad de depuración puede seguir las mismas técnicas que en los tradicionales, aunque deben realizarse las adecuaciones pertinentes para ello. En el caso de la vuelta atrás deberían revisarse todos los procesos modelados relacionados con el modelo donde se encontró el error para corregir posibles errores si hablamos de pruebas a los

modelos. En el caso de los requisitos deberían revisarse las implicaciones que tiene los cambios en los requisitos que están relacionados con éste para corregirlos.

Los probadores de sistemas deben poseer un alto grado de experiencia en los procesos de desarrollo de sistemas e integrarlos, por lo cual hay un conjunto de conocimientos que deben integrar:

- Programación: test de unidad, auditoría de códigos.
- Ingeniería de software: Riesgo, requisitos, análisis y diseño software.
- Dirección de proyectos: La planeación, estimación, monitoreo y control de las actividades de pruebas que generalmente son ejecutadas por el jefe de pruebas.
- Matemática: la selección de datos válidos y no válidos se realiza a través de la partición del conjunto de datos en clases de equivalencia.

## **B. La depuración como parte de la actividad informática y el Proyecto**

Como se apuntaba anteriormente, los procesos de informatización de las organizaciones transcurren desde el análisis de sus necesidades hasta que éstas se satisfacen. Durante todos estos procesos se van construyendo diferentes modelos y éstos se van concretando en la medida del proceso de informatización que se realice. Estos procesos de informatización transcurren en forma de proyectos, lo cual se asume como la forma fundamental de organización de la actividad informática.

Asumir que el proyecto es la forma fundamental de la organización de la actividad informática implica reconocer que es un proceso colaborativo en el cual intervienen un conjunto de personas. También que estas personas tienen determinadas labores que desempeñan en este proceso a las cuales se les denomina roles [3][6]; aunque algunas de ellas pueden ocupar más de uno. También se reconoce que el desarrollarlo como proyecto implica un sistema de acciones con carácter de sistema que lleve a la culminación del proceso. Este sistema de acciones generalmente comienza con las especifi-

caciones del cliente, posteriormente continúa con la modelación de los procesos de informatización, la implementación de los modelos y seguidamente la depuración del proceso que se ha realizado. Se trata de depurar los errores cometidos durante los procesos que antecedieron en la práctica, esta vez no es solamente para comprobar la veracidad del modelo obtenido sino además para completar una fase de concreción del proceso de informatización. Ejes transversales a estos procesos lo constituyen las depuraciones de los errores cometidos y el aseguramiento de la calidad de estos procesos de tal manera que se realice un proceso con calidad.

Siguiendo estas ideas, las acciones a las cuales se hace referencia constituyen parte de los procesos y una de ellas, la depuración es la encargada de encontrar errores en todos los procesos anteriores y corregirlos. De ahí que este proceso sea diferente en cada proyecto que responda a las necesidades de informatización de una organización. En proyectos de producción de sistemas, la depuración transcurre como se ha abordado en los párrafos anteriores, sin embargo, en otros proyectos no necesariamente tiene por qué ser así.

Cuando en los proyectos de informatización no se requiere solamente de la producción de un nuevo sistema, sí se introducen los modelos, pero intervienen otras acciones posteriores a este. Esta afirmación amerita un análisis detallado. Existen proyectos de informatización en los cuales se desarrolla un sistema como parte del proceso, sin embargo, este sistema es solamente una acción dentro de otras acciones. En este caso, al ejecutarse el sistema de acciones modeladas, no se codifica en su totalidad, sino que es una parte de este; cuestión esta que modifica sustancialmente las concepciones de depuración ya analizadas. Otro caso es cuando no se realiza ninguna acción de codificación, pero se llevan a la práctica diferentes modelos obtenidos durante la marcha del proceso. Un ejemplo que ya ha sido tratado en este artículo es el de VoIP. En este caso se modela la arquitectura de la red a partir de las características de la pizarra telefónica y el conjunto de elementos a conectar en dependencia de los requisitos obtenidos.

A partir de la obtención del modelo se comienza la implantación de la red configurada según los modelos y consecuentemente se hacen pruebas muy parecidas que en el caso. Cuando el sistema no se

comporte de la manera esperada, se comienza a realizar las pruebas de cada una de las acciones integrantes del proceso de informatización y se depurarán en dependencia de las características de cada tipo de proyecto. Para proyectos de redes las pruebas deben ser muy parecidas a las pruebas de las aplicaciones web en cuanto a su concepción. Quiere ello decir que debe probarse los sistemas informáticos involucrados, la infraestructura que los sustenta y las políticas implantadas. Una vez detectados los errores la corrección de los mismos puede pasar por la sustitución de un equipo hasta la instalación de nuevos sistemas. Es opinión del autor, que en cada uno de los casos analizados se mantienen las etapas genéricas de desarrollo de un software por lo cual se puede generalizar a los procesos de informatización en organizaciones.

### C. La depuración de procesos de informatización en el currículo del profesional informático

Al asumir que el currículo «... es un sistema integral que manifiesta relaciones de subordinación y coordinación entre sus niveles organizativos, es por ello que el perfil de egreso se constituye en el documento rector que expresa la intención formativa de la carrera» [7] es necesario destacar si la depuración se encuentra dentro del perfil de egreso de estos profesionales. Un análisis de este tipo lleva a un análisis comparativo de los currículos en las universidades de países de reconocido prestigio en la formación informática.

En un estudio realizado sobre el currículo informático en diferentes universidades [8] se llega a la conclusión que los contenidos esenciales se encuentran en algoritmos y desarrollo de sistema, sistemas informáticos y su arquitectura, formalismos informáticos y representación y modelación de la información. Como ya se ha evidenciado en el primer acápite, en estos contenidos informáticos las acciones fundamentales tienen como resultado un sistema que debe ser depurado.

Para la Universidad de Bourgogne en Francia se ha mantenido desde el 2007 programación, base de datos, ingeniería de sistemas entre otras asignaturas que conllevan a una modelación de los procesos de informatización como ya se ha analizado anteriormente. Para la Universidad de Dublín, de Nueva Delhi, el MIT entre otras las invariantes de asignaturas se han mantenido en el orden de Inge-

niería del Software, la Inteligencia Artificial, la Arquitectura del Computador, la Informática Educativa, Bases de Datos y Programación. Todas estas asignaturas del diseño curricular en la formación del profesional informático llevan implícitas la depuración como una de sus actividades fundamentales. De esta manera es comprensible que existe una total concordancia entre la informática, su forma de organización fundamental, la depuración de la informatización de procesos como uno de los resultados fundamentales como acciones para la concreción del modelo y su expresión en forma de asignaturas del currículo.

Esta afirmación en el párrafo anterior permite entonces considerar que la depuración es una de las formas de actuación del profesional informático con una gran repercusión en sus actividades profesionales. Se infiere entonces que los profesionales informáticos crean estrategias de pruebas para detectar errores y depurarlos como parte de su actividad para la informatización de los diferentes procesos organizacionales.

Al comprender la depuración como parte del modelo del profesional de la informática y una de las actividades más importantes como futuro informático en organizaciones, es necesario dilucidar si es una habilidad o una competencia. Para algunos autores, la modelación es una habilidad, pero no se refiere a la depuración [6]. Esta conceptualización de la modelación como habilidad adolece de una insuficiencia que, a juicio de este autor, la lleva a restringir su estructura para el contexto de este artículo por lo tanto la depuración como proceso siguiente también sería una habilidad. La insuficiencia de estos autores radica fundamentalmente en la contextualización de la modelación en un currículo de formación básica que posee diferencias sustanciales respecto al currículo de formación profesional en el área de informática.

Para otros autores se estructuran habilidades generalizadas que tienen como característica esencial las acciones y operaciones generalizadas con un conocimiento que también es general [9]. Sin embargo, en esta concepción se aprecia una clara concepción cognitivista al incluir solamente los conocimientos y las habilidades, dejando de lado otros de los procesos subjetivos que intervienen en la actividad profesional como la imaginación, la

autorregulación, los sentidos y las vivencias que no se integran en su concepción. Además, se percibe la depuración asociada a procesos de desarrollo de sistemas dejando de lado la depuración de procesos de informatización y aunque como aspecto positivo esta se concibe como parte del proceso de desarrollo de un sistema.

El profesional del área de informática debe incorporar la depuración en su actuación como uno de los requisitos esenciales de concreción de su actividad. En esta proyección y planificación de su actividad como futuro profesional se desprenden un conjunto de cualidades esenciales como la toma de decisiones en la proyección de procesos de informatización, la honestidad y responsabilidad al asumir los errores propios y del colectivo en la depuración de sistemas, entre otras. Ello implica que la depuración rebase a la habilidad como estructura sistémica.

Para varios autores las competencias pueden ser definidas como aprendizajes o logros complejos que integran aspectos cognitivos, procedimentales, actitudinales, habilidades, características de la personalidad y valores, que puestos en práctica en un determinado contexto, tendrán un impacto positivo en los resultados de la actividad desempeñada [10].

Las competencias son estructuras psicológicas integrativas, de nivel intermedio, que complementan o articulan las funciones de las estructuras principales de la personalidad ante situaciones que demandan un desempeño determinado como expresión del comportamiento de la persona en su contexto social y en un ambiente específico de acción [11]. Asumiendo la definición del último autor se toman sus tres dimensiones de análisis de las competencias.

La necesaria diferenciación de los procesos de depuración que cada estudiante realiza y que se estructura de manera individual posibilita la expresión de sus experiencias, conocimientos y habilidades relacionadas con este proceso de llevar a vías de hecho los modelos realizados. Ello les permite integrar sus proyectos con el resto e ir aprendiendo de los demás colegas. Teniendo en cuenta estos elementos es que se aprecia en este artículo que la depuración es una competencia en el ingeniero informático y a continuación se analizará su estructura.



Se intentará demostrar que la depuración es una competencia del ingeniero informático obviando el sistema de conocimientos que ya ha sido abordado en el primer acápite de este artículo, siendo necesario abordar las habilidades dentro de esta competencia. Se pueden enunciar cinco habilidades esenciales de un profesional informático relacionada con la depuración.

Una primera se denomina en este artículo elaborar plan de pruebas que se representan el sistema de pruebas que se van a realizar utilizando el sistema de artefactos adecuados que le permite estructurar las pruebas que se han analizado hasta el momento.

La segunda se denomina elaborar la estrategia de pruebas en los procesos de informatización y llevarlos a cabo según la concepción de los encargados de estos procesos: gestor de pruebas y probador. Para ello es importante retomar el proyecto, ahora como eje articulador de los procesos formativos en los ingenieros informáticos. La tercera habilidad está relacionada con la ejecución de las pruebas para la concreción del plan y la estrategia de pruebas en la solución de la problemática planteada al proyecto.

Dentro de esta tercera habilidad, la selección de las herramientas automáticas, en caso que el proyecto los necesite, es importante para la depuración de los sistemas por variadas causas establecidas en la literatura [3][5][12][13].

La cuarta habilidad está relacionada con la selección del método de depuración de estos procesos en la práctica. La última, y no menos importante, es la ejecución de la depuración de los errores detectados en el proceso de informatización de las organizaciones. La integración de estas cinco habilidades en un sistema armónico conjuntamente con los conocimientos acerca de la depuración permitirá a los estudiantes conformar con éxito un proyecto.

La formación basada en proyectos permite al estudiante aplicar los contenidos apropiados y analizar rápidamente la pertinencia de éstos para su formación profesional. En un entorno de proyecto el estudiante desempeña los roles de su futuro profesional y va articulando los modos de actuación que desempeñará en el futuro, de tal

manera que se va articulando dentro de su proyecto de vida la futura profesión que va a desempeñar. Este proceso tiene una especial relevancia en la juventud por ser una de las características fundamentales de la situación social de desarrollo en la cual se encuentran.

Sin embargo, la educación de los valores en el proyecto es también importante a tener en cuenta en este artículo. En este mismo orden de ideas, se van conformando aquellos valores propios de la profesión como la responsabilidad, comprometido, honesto y humilde [14]. La responsabilidad es uno de los valores más importantes en el profesional informático por las características propias de la actividad, así como por el impacto social que tienen las tecnologías para la sociedad. En cualquiera de los roles que deba desempeñar debe ser responsable de sus actos y constituir un verdadero eje regulador de sus acciones puesto que de ellas depende las del resto del proyecto. La depuración es una de las actividades con potencial para el desarrollo de la responsabilidad por el papel que desempeña en la concreción del proceso de informatización a desarrollar y por su marcado carácter práctico. Además, es esencial el proceso de depuración para que el proceso de informatización carezca de errores y sea eficiente.

Durante el desarrollo del proyecto la honestidad con los colegas en el proceso de depuración es primordial para entender las relaciones sociales que se establecen. Estas relaciones en las cuales el proyecto, el posicionamiento de la empresa y la confianza entre los integrantes juegan un papel fundamental.

La educación de estos valores debe basarse en el conjunto de vivencias que hacen comprender al sujeto su responsabilidad ante los demás integrantes del proyecto y la sociedad por el resultado del proyecto que van a obtener. Este proceso debe estar centrado en la importancia del rol que desempeña y el resultado de la actividad para la organización. En un ambiente de proyecto todos los roles son importantes. Juega un papel esencial la explicación detallada de los errores, así como la oportunidad de expresarlos y corregirlos sin constituir una oportunidad de castigo, a través del diálogo, la confrontación y la polémica constante y constructiva. También es importante para la depuración el ir asignando tareas de mayor compleji-

dad y que involucren con el resto de los integrantes del proyecto para explicar las especificidades de su proyecto en la organización.

La integración de estos valores, en las configuraciones que se estructuran en la actividad informática, con el proyecto de vida hace que se incorporen de manera real al potencial regulador de la personalidad del profesional. De esta manera estos valores se constituirán en parte de la subjetividad del sujeto y no generarán formalismos.

De la misma manera que los valores, se tienen en cuenta los restantes componentes de la competencia depuración de modelos. La integración de estudiante - realidad - enseñanza propicia que el trabajo de los estudiantes adquiera un carácter social tanto por la implicación de los resultados del proyecto para las organizaciones, así como el sistema de relaciones a desarrollar con el resto del colectivo en la solución de los problemas. Lo anteriormente planteado conlleva al análisis de la situación y una postura reflexiva ante las críticas y los cuestionamientos.

La transformación de la realidad por parte del estudiante a partir del proceso de informatización y la selección de las herramientas necesarias para lograrlo evidencian el carácter activo de la función reguladora de su personalidad. La amplia variedad de herramientas para una misma actividad, así como la selección de las metodologías implica que se han tomado decisiones con respecto al proyecto y los modelos que en él intervienen. Este proceso de transformación debe ocurrir primeramente en el plano mental jugando un papel importante de la imaginación, con lo que se contribuye a su desarrollo. Este es uno de los aspectos esenciales que diferencian la depuración de la modelación. En este caso, por la posición que ocupa este proceso en el desarrollo del sistema, los estudiantes aprecian con mayor claridad cómo se da el tránsito de lo abstracto a lo concreto durante la actividad informática. De esta manera los estudiantes van integrando estas vivencias de participación en actividades de generación casos de pruebas, estrategias de pruebas entre otras actividades al mismo tiempo que van regulando el aprendizaje de la depuración en la actividad informática.

A partir de la búsqueda de problemas en la realidad se comienza el ciclo de vida de un soft-

ware hasta que concluye con la puesta punto y mantenimiento. Los problemas derivados del proyecto individual motivan a los estudiantes hacia su solución y en ellos se encuentran los conocimientos del curso que a su vez generan las situaciones problémicas para los demás estudiantes. Las acciones y operaciones asociadas a la depuración, a partir de la utilización del conjunto de símbolos y signos asociados a ello, y el trabajo conjunto con el resto de colegas de mayor experiencia van estructurando diferentes escenarios de su futuro perfil profesional.

En cada encuentro, a partir de la interacción previa entre estudiante - profesor - grupo, se determinan las situaciones problémicas para los restantes estudiantes. Es el profesor quien decide la situación problémica a presentarse en el encuentro basándose previamente en la interacción grupal y el desarrollo de los proyectos de los estudiantes. La toma en cuenta de las situaciones problémicas asociadas a la depuración, y su solución, desde un proyecto les posibilita que se tengan en cuenta sus metas, proyectos y expectativas. En la medida que estas situaciones problémicas se estructuran y se concatenen con su práctica los lleva a reflexionar sobre esta práctica y mejorarla. En este mejoramiento continuo se va creciendo como profesional, propicia que se continúe el aprendizaje de sí mismo y de su aprendizaje de manera que propicie su regulación.

Para muchos autores, la formación de habilidades en la informática se da en el momento de enseñar un sistema en particular [8] [9][14][15]. En este artículo se asume una concepción sistémica propuesta por varios autores [16-20]. En esta concepción de la enseñanza de la informática se aborda el proceso como un todo integrado, en el cual se le presta especial atención a la concatenación de los conceptos y procedimientos informáticos que no se pueden formar en una única clase como en el caso que ocupa este artículo: la competencia depurar procesos de informatización a organizaciones. Por el carácter interdisciplinar y la complejidad de su estructura, su formación en el profesional informático debe abordarse desde una postura sistémica.

Fortalecer el enfoque de sistema en la enseñanza de la informática significa establecer agrupamientos de los contenidos de la Informática a partir de los cuales se exprese la concatenación de estos

que puedan establecer lineamientos generales para organizar su enseñanza. El trabajo integrador y sistemático que se propone garantiza una sólida formación informática en el estudiante como un elemento importante para el desarrollo de la competencia implementar procesos de informatización.

Aplicar el enfoque de sistema conlleva al análisis de los sistemas de aplicación porque anteceden a la enseñanza de la programación en la preparación informática de los estudiantes. Una de las cuestiones en la cual realiza énfasis la enseñanza de la Informática, por la importancia que reviste para esta ciencia, es el procesamiento de la información. La depuración de los procesos de informatización y sus flujos puede estructurarse desde los inicios de la formación informática y en las diferentes disciplinas informáticas que componen la formación del profesional de esta ciencia.

Para comprender la posición en este artículo sobre el desarrollo de la competencia implementar procesos de informatización es importante asumir diferentes posiciones. Existen hoy dos criterios divergentes en cuanto la formación informática y las disciplinas de programación e ingeniería de software. Algunos plantean que es preferible comenzar por la enseñanza de la programación y otros por la ingeniería del software. Cuando la enseñanza de la informática se estructura sobre la base del proyecto como eje formativo la ingeniería de software alcanza prevalencia pues es la proyección de lo que se quiere alcanzar. Es la disciplina que provee de los símbolos y sus relaciones que permiten lograr las primeras 4 habilidades necesarias para la comprensión de la representación del proceso a informatizar. Se forma entonces las habilidades representar procesos y estructuras y comprender representaciones que fueron definidas anteriormente. De esta manera se prepara al estudiante desde el aprendizaje para la futura actividad profesional que va a realizar. Estos procesos son necesarios que el estudiante los conozca antes de realizar un proceso de depuración en la concepción amplia sustentada en este artículo.

Asumiendo que la Ingeniería de Software deba anteceder a la programación es importante destacar que las Bases de Datos deben comenzar a enseñarse desde la introducción de la Ingeniería de Software para determinar el modelo entidad relación desde el dominio de la aplicación. De esta

manera el estudiante se apropia de las formas de trabajo propias de cada asignatura, pero tributando a la modelación y a la depuración y a la estrecha relación que existe entre estas disciplinas informáticas. La integración de estas dos asignaturas en el proyecto le provee al estudiante de los elementos necesarios para realizar una primera modelación del análisis de la aplicación que le resultará necesario para comprender este proceso e implementarlo.

Posteriormente, al refinar este primer modelo de análisis se puede comenzar a enseñar programación orientada a objetos desde los inicios. El paradigma imperante es la programación orientada a objetos y se puede comenzar a analizar los conceptos de clase, objeto, herencia y polimorfismo. Posteriormente se abordan los conceptos de algoritmo, variable y código a partir de estas clases y los métodos que en ellas se incluyen. Este proceder metodológico propicia la integración de conocimientos tal y como transcurre en un proceso de desarrollo de software. Siguiendo este orden de ideas, la evaluación final de las asignaturas debe ser integrada para evaluar precisamente los objetivos de cada una de las asignaturas y la integración de ellas para resolver un proyecto real.

Cuando se enseña programación entonces se comienza a trabajar desde la modelación del sistema informático usando cualquiera de los elementos estructurales de los dos grandes grupos de metodologías: pesadas y ágiles para posteriormente lograr estructurar coherentemente la depuración tal y como se concibe en este artículo.

En este proceso se va desarrollando la habilidad comprender representaciones. El estudiante va analizando las representaciones realizadas por otros, relaciona los símbolos expresados que posee de su modelo y los va concatenando para la representación en el plano mental del proceso o estructura a informatizar para posteriormente implementarlo.

Ya en este momento, el estudiante puede estructurar mejor su accionar en función de ejecutar las acciones contenidas en el modelo, como parte del proceso de depuración dentro de su esfera de actuación como profesional de la informática. Este análisis vuelve a situar al estudiante ocupando los roles de su futuro como profesional. Sin embargo,

el tratamiento de la depuración no acaba con la enseñanza de la programación.

Para este artículo la competencia implementar procesos de informatización es una de las más sistémicas e integradoras de la actividad profesional informática. Constituye un eje central en dos roles de la actividad informática: gestor de pruebas, probador y gestor de proyecto. Además, juega un papel esencial como concreción de los modelos obtenidos para las acciones de informatización de procesos. Por ende, la formación de competencia depurar procesos de informatización comienza en el segundo año de la carrera y culmina cuando el estudiante expresa su proceso de investigación en forma de memoria escrita en el cual integra todos los modelos estudiados en la carrera para describir el proyecto y los implementa. Ya el proceso de desarrollo de esta competencia corresponde a su ámbito laboral a partir de las diversas problemáticas que este profesional debe resolver en el ámbito organizacional.

### III. CONCLUSIONES

La competencia depurar procesos de informatización constituyen el resultado de la actividad modelar que se desarrolla en el proyecto informático y establece las pautas a seguir en el proceso de informatización que se quiere lograr y su concreción en la práctica del ingeniero informático. Estos procesos de depuración en la informatización de organizaciones constituyen un acercamiento en la actividad del equipo de desarrollo y el cliente para satisfacer las necesidades de este último.

En el currículo del profesional informático la depuración juega un papel esencial e integra varias de las disciplinas que se conciben en el proceso de formación de este profesional. Asumir la formación de esta competencia implica cambios en la concepción curricular para potenciar en el estudiante los modos de actuación del profesional informático.

La estructura de la competencia implementar procesos de informatización implica asumir el enfoque de sistema en la enseñanza de la informática para su formación durante la carrera. Conjuntamente con este enfoque se asume el aprendizaje basado en proyectos como la vía esencial para for-

mación de la competencia pues en él se integran los modos de actuación del profesional.

### REFERENCIAS

- [1] I. M. S. Jimenez, L. Barroca, E. F. Barbosa & E. A. Júnior. Learning Design for Software Engineering Courses. Paper presented at the International Conference on Computer Supported Education, Barcelona, España, 2014.
- [2] B. A. Naranjo. Calidad del software educativo: Metodología de Evaluación de software educativo para determinar el que cumple con las especificaciones basadas en estándares internacionales. (Licenciatura en Educación). Retrieved from <http://repositorial.cuaed.unam.mx/>, 2015.
- [3] R. S. Pressman. Software engineering: A practitioner's approach. (Seventh Edition ed.). New York: McGraw-Hill, 2010.
- [4] R. A. Vera & J. P. Pech. Developing Virtual Learning Environments for Software Engineering Education: a ludic proposal. Paper presented at the Proceedings of EDULEARN15 Conference, Barcelona, Spain, 2015.
- [5] R. Black & J. L. Mitchell. Advanced Software Testing. Guide to the ISTQB Advanced Certification as an Advanced Technical Test Analyst. USA: O'Reilly Media. 2011.
- [6] J. Segura & W. González. La habilidad modelar multimedia en los procesos formativos de los Jóvenes Club. Didasc@alia: Didáctica y Educación, 6(2), 2015.
- [7] J. C. Arteaga Vera. Algunas reflexiones en torno al perfeccionamiento del diseño curricular de la Carrera de Ingeniería en Sistemas de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Revista Electrónica Formación y Calidad Educativa, 3(1), 2015.
- [8] F. Mulder, K. Lemmen & M. Veen. Variety in views of university curriculum schemes for informatics / computing / ICT A comparative assessment of ICF-2000 / CC2001/ Career Space. Paper presented at the ICTEM 2002 Florianopolis.
- [9] R. B. Jiménez. A. D. Barrera & L. E. Hernández. Algunas consideraciones en torno al desarrollo de habilidades profesionales del ingeniero informático y el rol de la comprensión de texto en la modelación de algoritmos computacionales. Revista Científico Metodológica Mendive, 50. 2015.
- [10] M. C. Núñez. El docente en el enfoque por competencias. Pensamiento, Papeles de Filosofía, 1(1), 2013.

- [11] D. Hernández. Formación para el desarrollo de proyectos de vida reflexivos y creativos en los campos social y profesional. *Revista Creceamos Internacional*, 5(2), 2015.
- [12] R. Lacerda. Proposta de um modelo para análise de requisitos de software educativo. (Programa de Pós-Graduação em Educação - PPGGE), Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2007.
- [13] M. Marques de Lima, A. Ribeiro de Lima, A. C. Coêlho, E. H. Cavalcante & L. Leal. Uma Revisão Sistemática da Literatura dos Processos de Desenvolvimento de Software Educativo. Paper presented at the Simpósio Brasileiro de Informática na Educação Rio de Janeiro, 2012.
- [14] E. B. de Castro & M. A. D. de Sá. Habilidades, Competências, Valores e Atitudes-Um Perfil Para o Profissional de Computação e Informática. Paper presented at the Anais do Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Florianópolis, Brasil, 2002.
- [15] M. Gutiérrez. Una metodología para contribuir al desarrollo de la habilidad resolver problemas en la disciplina Lenguajes y Técnicas de Programación, en estudiantes de la carrera de Licenciatura en Educación, especialidad de Informática. (Doc-  
tor en Ciencias Pedagógicas), Universidad Pedagógica Enrique José Varona, Academia de Ciencias de Cuba, 2012.
- [16] E. López. El aprendizaje intencional y los entornos informatizados, medios para el desarrollo de las habilidades metalingüísticas: un paso hacia adelante en el área de didáctica de la lengua y la literatura. . In U. d. Murcia (Ed.), *Enseñanza e Informática* (Vol. 4). España: Editorial de la Universidad de Murcia, 2010.
- [17] W. González. Creativity Development in Informatics Teaching Using the Project Focus. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, 3(1), pp. 63-70. 2013.
- [18] W. González. Intuition as Part of Informatics Creativity. *iJEP*, 3(3), 7. 2013.
- [19] W. González, V. Estrada & M. Martínez. El enfoque de sistema en la enseñanza de la Informática para el desarrollo de la creatividad *Revista Enseñanza Universitaria*, 32, 45-56, 2006.
- [20] W. González. La intuición informática: un acercamiento a su estudio. *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*. 3, 99-109, 2016.





<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN UNA SOCIEDAD GLOBALIZADA

## *Production systems in a globalized society*

CAROLINA CARREÑO PERDOMO\*, YUNY DUVAN BELTRÁN SALCEDO\*\*

*Recibido: 04 de octubre de 2016. Aceptado: 20 de octubre de 2016*

DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n7.a23>

### RESUMEN

El presente artículo se realiza con el fin de evaluar y observar como son los cambios de la fabricación de un producto y cómo funcionan los sistemas de producción en una sociedad globalizada que genera ganancias para los mercados. Haciendo una revisión bibliográfica se presentará información relevante sobre los sistemas de producción y su día a día en la sociedad globalizada.

**Palabras clave:** sistemas de producción, sociedad globalizada.

### ABSTRACT

The present article is made in order to evaluate and observe how the child changes the manufacture of a product and how the production systems work in a globalized society that generates profits for the markets. A bibliographical review presents relevant information on the production systems and their day in the globalized society.

**Keywords:** systems of production, included company.

## I. INTRODUCCIÓN

SE HA elaborado el artículo con el fin de revisar información de los procesos que contienen los sistemas de producción y que factores influyen en los mismos, haciendo un contexto socio-económico y así mismo ver la transformación de la sociedad en los sistemas de producción.

Hay que tener en cuenta que la sociedad está en constante cambio y hay que modificar e investigar, cómo hacer mejoras que ayudan al proceso evolutivo de la sociedad y que variables componen la misma en el cambio de los procesos que encierran y/o envuelven el verdadero rol que lleva a cabo la producción y el reto de aprender a conllevar esto teniendo en cuenta el consumo masivo humano; los planes maestro de producción en los cuales se habla de MRP (Material Requirements Planning), sistemas de pedidos para mejorar los

métodos de entrega y de producción en las empresas.

Sin embargo, y teniendo en cuenta de que en un sistema globalizado se presentan retos sociales en donde no intervienen los agentes económicos sino que al contrario hay una dualidad de lo global vs local que cambian la ideología de la nueva sociedad post-capitalista y manifiesta un cambio en la estructura, las ideologías y en muchos casos la cultura, lo cual ayuda a adquirir una nueva economía globalizada; el nuevo sistema industrial no es global, ni local, sino una nueva articulación de dinámicas globales y locales [1].

Para poner en marcha un proceso de desarrollo local o regional con cierta autonomía se deben tener en cuenta las contradicciones, los conflictos, las disonancias cognitivas y la pluralidad de valores y creencias en el punto de partida [2]; en ese

\* Estudiante de Ingeniería Industrial de la Corporación Universitaria Republicana. Correo electrónico: caritoc3820@hotmail.com

\*\* Estudiante de Ingeniería Industrial de la Corporación Universitaria Republicana. Correo electrónico: duvanbeltran.13@hotmail.com

sentido, desde el inicio de la nueva reconfiguración espacial se debe reconocer los siguientes planteamientos ¿hacia dónde se va?, ¿qué se está haciendo para lograrlo? y ¿cómo se podrá seguir superando el siguiente reto que sigue es?. La clave es probablemente el poco tiempo que se invierte en el progresivo ajuste económico y la organización social en las nuevas tecnologías [3].

Para compilar las opiniones de personas especializadas y con estudiantes de ingeniería industrial se realizaron encuestas con el fin de concluir que se conoce de los sistemas de producción.

«Se dice que la relevancia que adquiere el actual conocimiento, en la sociedad del conocimiento, se ha desplazado desde el campo microeconómico funcional de la empresa y de los sistemas de producción al campo del territorio mediante conceptos que, desde diferentes ángulos, van encaminados a la idea de nuevos espacios industriales. La búsqueda de identidad en la nueva economía global ha llevado a la sociedad a mercantilizarse en la naciente modernización del «desarrollo capitalista» [4].

## II. ANTECEDENTES

La producción y sus sistemas han dependido en gran parte de la relación que existe entre la oferta y la demanda en los mercados y grandes industrias mundiales y en gran medida se han desarrollado cada vez más, gracias a los avances tecnológicos.

A continuación, se hace una revisión de los sistemas históricos de producción.

### A. Producción gremial (primera ola)

Uno de los sistemas más significativos fue este ya que se da inicio a la mayor parte de apogeo de producción en el siglo XIII, aunque se puede decir que algunos subsistieron hasta el siglo XIX.

Este gremio fue responsable de grandes avances tecnológicos como la fabricación de carruajes y sillas para montar caballo en lo cual en su momento se consideraba un medio de transporte.

El término gremio se suele aplicar a una organización de trabajadores de un determinado ofi-

cio. Se observa una inexistente especialización; los gremios utilizaban una tecnología de tipo tradicional: aunque se conocía la maquinaria, el sistema productivo se apoyaba básicamente en el uso de herramientas.

En este sistema existían tres tipos de miembros el maestro, el oficial y el aprendiz.

### B. Producción artesanal

El gremio evolucionó hacia la fábrica artesana. En este caso, el patrono era el propietario de los medios de producción y el trabajo se convirtió en una mercancía que se ofrecía a la venta. La producción artesanal se mantuvo en exclusiva en todos los mercados de los países hasta el inicio del siglo XX. El volumen de producción anual era muy bajo, por ejemplo Ford se creó en 1903 y durante ese año sus 125 trabajadores fabricaron 1700 automóviles en tres modelos diferentes.

En el inicio, el taller artesanal se caracterizaba por emplear trabajadores muy cualificados, los maestros utilizaban herramientas y máquinas sencillas, de uso general, bastante lentas, para fabricar de manera exclusiva lo que pedía el cliente. El producto resultante era considerado un bien de lujo, con un coste de producción elevado y un precio de venta alto.

### C. Producción en masa (segunda ola)

Prevalcían los productos poco diferenciados, mucha demanda poca oferta. Henry Ford observó que el automóvil era una necesidad latente en el mercado y que tendría una demanda muy alta si lograba venderse a un precio asequible. Por ello en 1906 proclamó «fabricaré un coche para todo el mundo», así cada año comenzó a lanzar un modelo diferente con el objeto de que los poseedores de modelos antiguos desearan deshacerse de ellos para adquirir nuevos. Henry diseñó la cadena de montaje y así se apoya en la división del trabajo y la correspondiente especialización de las tareas. Fabrica un elevado volumen de un producto estandarizado que comercializa en el mercado de masas.

### D. En la actualidad

En la actualidad la globalización ha llevado a que la producción sea más internacional en el



sentido de que un producto se diseñe en un país, las partes sean de otro y se ensamble en un territorio diferente. Todo esto se debe a la aparición del computador y las TIC.

A medida que avanza el desarrollo económico y social cambia constantemente los procesos y métodos de producción y hay que tener en cuenta que el cambio y la innovación tienen un costo [3], además del gasto en capital intangible como la investigación y desarrollo. La nueva organización industrial reconfigurada, reconoce una organización flexible en el espacio global, que permite una conceptualización de las empresas antes globales, después transnacionales y ahora multinacionales. Este orden económico ha reconfigurado los territorios y no así el poder público pues, según el autor, las presiones que se ejercen sobre los estatutos del poder público provienen de los capitales nacionales y no de las transnacionales; toda un ala considera la lucha por el control del aparato estatal no sólo como irrelevante, sino como una desviación ilusoria [4].

También se puede afirmar que los cambios tecnológicos han generado un gran impacto a nivel industrial y empresarial ya que en los últimos años cada vez que se incorporan más tecnologías ayudan o facilitan las tareas a las empresas y producen innovación y mejorar los sistemas productivos de la empresa pero también hace que las empresa que no adquieran estas tecnologías se vayan quedando atrás.

Una empresa que incorpora las nuevas tecnologías es más competitiva, cuenta con mayores recursos de producción y competitividad, mientras que las que no invierten en tecnología se van quedando atrás, bien porque no tienen las mejoras que las demás empresas o su capacidad productiva es mejor. Esto depende mucho de la empresa de la que se trata, pero está claro que una empresa que va incorporando nuevas tecnologías se encuentra en avance constante [5].

### III. METODOLOGÍA

En esta parte del proceso se realiza un análisis de los sistemas de producción a estudiantes y a profesionales como ingenieros industriales especializados en el tema.

Se comienza con los estudiantes y se les realiza las siguientes preguntas:

- ¿Qué son los sistemas de producción? (1)
- ¿Para qué sirven? (2)
- ¿Cómo se desarrollaron los sistemas de producción? (3)
- ¿Qué tan importantes son para las empresas? (4)

Las encuestas arrojan los siguientes resultados:

Tabla I. Tabla de frecuencias.

$x_i$	$f_i$	$F_i$	$n_i$	$N_i$
1	60	60	51%	51%
2	42	102	36%	86%
3	12	114	10%	97%
4	4	118	3%	100%
	118		100%	

En la tabla I se muestra que son muy pocos los estudiantes de ingeniería industrial que conocen los sistemas de producción y como se desarrolla en una sociedad globalizada, muchos de ellos no saben ni siquiera que es lo que significa y como futuros ingenieros industriales están muy mal informados y tienen pocas bases para ejercer el propósito de la ingeniería.

Como se ve en la tabla:

$x_i$ = número consecutivo de las preguntas

$f_i$ = es la cantidad de personas que contestaron las preguntas.

El resto  $F_i$ ,  $n_i$ ,  $N_i$  son problemas estadísticos básicos. Figura 1.

Como se ve en el polígono de frecuencia la porcentualidad de desconocimiento de los sistemas de producción en una sociedad que vive a base de eso, es muy alta en especial en estudiantes de ingeniería industrial estamos hablando de un 95,9% de falta de información; aunque no podríamos tomarlo generalizado, a base del estudio se puede determinar que un 30% sabe o al menos tiene las bases de los sistemas de producción entonces ya

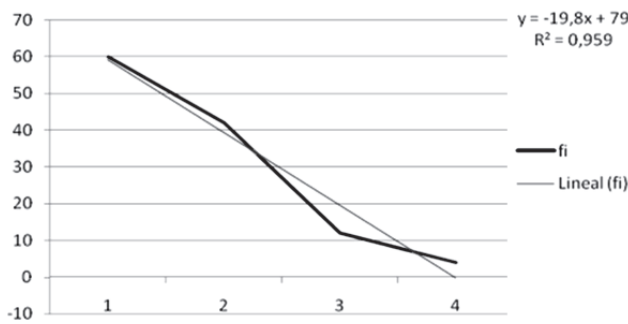


Fig. 1. Encuesta de los estudiantes.

habiendo aclarado eso se puede concluir que un 65,9% desconoce estos sistemas y siendo estudiantes de octavo semestre de ingeniería industrial.

La encuesta se realizó en universidades como La Salle, La Uniminuto, La Universidad Nacional y Santo Tomás.

A diferencia de los profesionales, las encuestas arrojan los siguientes resultados con las mismas preguntas:

- ¿Qué son los sistemas de producción? (1)
- ¿Para qué sirven? (2)
- ¿Cómo se desarrollaron los sistemas de producción? (3)
- ¿Qué tan importantes son para las empresas? (4)

Se encuestaron 5 profesionales obteniendo mejores resultados, ya que son especializados y tienen experiencia en los sistemas aplicados de producción se puede concluir que hay un 99,99% de experiencia y conocimiento en esta tarea tan importante de la ingeniería industrial.

Para darle en gran parte solución a este problema estudiantil se recomienda que el estudiante y el profesional tengan un aprendizaje interactivo y colectivo con lo cual resulta la mejora en los procesos de producción, aumenta la eficiencia de las operaciones productivas e incrementa la eficiencia en los sistemas complejos de los sistemas de producción.

Como base se debe implementar un sistema para los estudiantes de ingeniería industrial de

todas las universidades del país para mejorar las bases de la producción y todos los sistemas que lo componen, para así tener bases principales para manejar la producción masiva en la sociedad globalizada y post-capitalista que rodea completamente la comunidad mundial y influye en nuestro diario vivir.

Por otro lado, queremos hacer énfasis en el desarrollo local y su relación con el sistema global; donde se dice que el desarrollo local es el resultado de la influencia conjunta tanto de factores económicos como extra económicos que, además, presentan un carácter localizado inherente a cada territorio[6].

Se sabe que el desarrollo económico ha mejorado la historia y el progreso continuo de los sistemas de producción y los procesos que este contiene con el fin de mejorar la calidad de la empresas y de la misma sociedad, sabiendo bien que este progreso atribuye un crecimiento a los mercados tanto locales como internacionales y por medio de estos sistemas de gestión administrativa e industrial ayuda a implementar y ampliar día a día un poco más los mercados y las industrias y así mismo va creciendo la economía y se va desarrollando nuevos métodos para ejecutar proyectos que satisfacen necesidades alrededor de todo el mundo.

En el caso del los procesos básico o de primer nivel se estarían reflejando los efectos «locales» sobre el medio físico y sobre la sociedad que lo habita y lo explota, y diferenciándose de procesos más amplios que tienen lugar en otros niveles; en tanto que para el segundo caso, los niveles de análisis denotarían la escala de los fenómenos, siendo los proceso de primer nivel esencialmente de escala local, aunque tengan un alto grado de generalidad en cuanto a su repetición en zonas extensas o lugares diversos [6].

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como bien se indicó antes, la falta de conocimientos de los sistemas de producción y de los tipos de sistemas de producción, afecta las bases genéricas y contextuales que debe tener un ingeniero industrial, las cuales debemos tener en cuenta que son importantes y deben ser bien implementadas por las universidades.

Respecto a los datos anteriormente explicados podría definirse que no solo es la falta de conocimiento; si no el compromiso como estudiantes a la hora de realizar una labor tan importante que es complementar nuestro cognitivismo para no tener ninguna disonancia en nuestro diario vivir.

También, si pusiéramos en juego las reglas de los profesores encargados en la asignatura, se podría decir que en algunos casos, la falta de exigencia por parte del maestro genera desniveles en los estudiantes, los cuales dejan vacíos grandes en su entorno intelectual.

Ahora, si tomamos en cuenta el desarrollo local vs global se dice que «la articulación global-local puede concebirse como un flujo entre procesos de re contextualización (de lo global hacia lo local) y descontextualización (de lo local hacia lo global), de la producción, transferencia y uso del conocimiento» [7].

Siendo entonces, que lo «local» se convierte en un espacio aprovechable para entender el impacto que tiene el desarrollo. A partir de ello es posible generar un análisis coherente y claro de la problemática territorial, así como una gestión efectiva que se aboque a los temas centrales, mediante políticas territoriales acordes a los lugares donde se implementen [6].

#### **A. Identificación y reconocimiento de las características del problema local vs. global**

En este punto, es importante hacer notar que el entendimiento de lo local en la teoría del desarrollo local obedece, desde la visión, a la inclusión del territorio como un factor activo y en si, una construcción social del espacio, donde los actores locales se vuelven entonces constructores de los lugares, de sus espacios geográficos [8].

Desde un punto de vista más amplio se podría determinar que lo local vs global es un sistema amplio, que complementa todos los factores de los sistemas de producción.

Hay que tener en cuenta que estamos en una sociedad donde la empresa no solo quiere satisfacer una necesidad o generar competencias; si no que también quiere generar sociedades o alianzas de tal manera que todas las partes se vean benefi-

ciadas y de este modo se le da paso al Post-capitalismo. Como punto de referencia tenemos todas las empresas mundiales, donde utilizan diferentes países o estados para construir un mismo producto; como lo hacen con los vehículos, aviones, y demás elementos que se utilizan generalmente en la sociedad.

En ese orden de ideas la empresa genera muchos empleos a nivel local y se dice que se reconoce que las aglomeraciones económicas generan ventajas locales, tales como:

1. La existencia de un mercado laboral, que se integra con trabajadores que poseen habilidades especializadas.
2. La generación de economías externas por insumos y servicios especializados, (efectos de tamaño de mercado).
3. Economías externas por el flujo de información y de conocimientos (efectos de derrame de conocimientos tecnológicos). [9].

Sin embargo, en la actualidad es imprescindible tener en cuenta los cambios que provoca el fenómeno de la globalización, a partir de por ejemplo las cadenas productivas globales, a partir de las cuales además es relevante la relación global-local y en si es expuesta. Su análisis abona en la explicación de la dinámica de los espacios locales y su papel en la globalización.

En sí, las cadenas productivas globales transforman los entornos locales a medida que lo local se vincula con lo global, es decir, por la posibilidad que tienen los sectores productivos de insertarse en procesos cuyas dinámicas dependen más del movimiento global, pero que pueden tener una elevada implicación a nivel local, en la medida en que las acciones locales sean territorializadas [6].

## **V. CONCLUSIONES**

Los factores que influyen en la creación de los sistemas de producción son los mismos avances tecnológicos y el consumo masivo de productos y/o servicios en la sociedad.

Mejorar nuestros programas educativos y de este modo aumenta la intelectualidad o el

cognitivismos en los estudiantes de ingeniería industrial.

Los sistemas de producción locales, generan espacios de construcción social por medio del empleo y de una forma u otra ayuda a la economía del país o lugar donde se encuentre ubicada la fábrica o el sistema.

Los sistemas globales de producción son bases jóvenes del post capitalismo que de una forma u otra generan grandes empresas mundiales y de este modo se generan medios de consumo más grandes.

Las bases teóricas de los sistemas de producción de lo local vs. global son solo pautas para ver como evoluciona la sociedad y su tecnología.

## REFERENCIAS

- [1] M. Castells. La era de la información, vol.1 La sociedad en red, capítulo I y II editorial México: Siglo XXI. Páginas 103-201, México. 1999.
- [2] J. L. Coraggio. La Relevancia del Desarrollo Regional en un Mundo Globalizado. Ponencia presentada al Seminario Taller Internacional: «Cultura y desarrollo: la perspectiva regional/local», organizado por el Instituto Andino de Artes Populares del Convenio Andrés Bello (IADAP), Quito Ecuador, del 15 al 17 de marzo del 2000.
- [3] F. Dominique. The economics of knowledge, Chapters I, II & III, Cambridge Massachusset, The MIT Press. Pages 111-201. 2004.
- [4] H. David. «La acumulación por desposesión», en Carmen Bueno Castellanos y Margarita Pérez Negrete coordinadoras de Espacios globales, espacios del capitalismo, editorial Miguel Ángel Porrúa \ Universidad Iberoamericana, México. Páginas 21-52. 2004.
- [5] B. Soto. El impacto de la tecnología en la empresa. Gestión Documental. Nuevas tecnologías. Gestion.org. 2011.
- [6] K. M. Lozano. «El Desarrollo Local como Método de Análisis: Los Claroscuros de su Complejidad» en Rosales, R. (Coord.). Desarrollo local: Teoría y prácticas socio territoriales. México. Universidad Autónoma Metropolitana. EN PRENSA. 2006.
- [7] F. Morales. «Modelos de Simulación en el Análisis Regional». Revista Pueblos y Fronteras, núm. 3. San Cristóbal de las Casas, México. 2002.
- [8] M. A. Troitiño. «Territorio y Desarrollo Local» en Cardoso Andujar, J. «Formación y Empresa. Ejes del Desarrollo Integral de las Comarcas». UNED. 2000.
- [9] A. H. J. Helmsing. «Perspectivas sobre el Desarrollo Económico Localizado». Revista EURE, Santiago de Chile, v. 28, núm. 84. 2002.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# LA ACROFOBIA Y SU TRATAMIENTO A TRAVÉS DE REALIDAD VIRTUAL

## *Acrophobia and its treatment through virtual reality*

AARÓN RAMÍREZ\*, SANDRA JOHANNA BENÍTEZ\*\*, MARÍA ANGÉLICA GÓMEZ\*\*\*

*Recibido: 19 de diciembre de 2016. Aceptado: 29 de diciembre de 2016*

DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n7.a24>

### RESUMEN

La acrofofia es un miedo irracional, exagerado e irreprimible a las alturas, las personas que la padecen pueden llegar a sentir temor no solamente desde grandes alturas, sino también al estar en un balcón, unas escaleras, entre otras. En la actualidad existen diferentes tipos de tratamientos como lo son los psicológicos, los de exposición, los cognitivos-comportamentales, donde se ha considerado la exposición como la manera más efectiva de afrontar esta fobia, sin embargo, la realidad virtual se ha venido convirtiendo en una de las técnicas más utilizadas e innovadoras porque ofrece entornos virtuales donde se cuenta con la ventaja de poder controlar y personalizar el ambiente dependiendo de la necesidad del paciente, por tanto promete ser una buena manera de llevar a cabo la terapia de exposición, ya que permite proporcionar sensaciones y la idea general de estar presente en una situación temida donde la persona no se encontrará en ningún momento en peligro físico y podrá interactuar con los elementos del ambiente a través de diferentes herramientas que contribuyen a que la realidad virtual sea todo un éxito.

**Palabras clave:** miedo a las alturas, realidad virtual, exposición virtual, plataforma.

### ABSTRACT

Acrophobia is an irrational fear, exaggerated and irrepressible to the heights, people who suffer from it can become afraid not only from great heights, but also from being on a balcony, stairs, among others. Nowadays there are different types of treatments such as psychological, exposure, cognitive-behavioral, where exposure has been considered as the most effective way to face this phobia, however, virtual reality has been becoming one of the most used and innovative techniques, because it offers virtual environments where advantage such as been able to control and customize the environment depending on the need of the patient. Therefore promises to be a good way to carry out the exposure therapy, since it allows you to provide sensations and the general idea of being present in a dreaded situation where the person will not be at any time in physical danger and will be able to interact with the elements of different environments through different tools that contribute that virtual reality is a success.

**Keywords:** fear of heights, virtual reality, virtual expo, platform, stage.

## I. INTRODUCCIÓN

UNA PERSONA que sufre de acrofofia puede llegar a presentar diferentes síntomas fisiológicos como lo son los mareos, taquicardia, parálisis, sudoración, ansiedad entre otras. Así mismo para algunos este tipo de sensaciones pueden presentarse con solo pensar en una situación de peligro.

Para ello existen diferentes formas de tratarla como los tratamientos psicológicos que se reducen básicamente al psicoanálisis, las terapias cognitivo-comportamentales empleadas en combinación con estrategia a las terapias de exposición que van destinadas a cambiar los patrones de pensamiento, insistiendo en la diferencia entre pensamientos realistas e irrealistas o la diferencia entre posible y

\* Ingeniero de Sistemas de la Escuela Colombiana de Ingeniería, Diplomado en Gerencia de Proyectos del Politécnico de Colombia, Certificación en Negociación - Negotiation Camp Institute, estudiante de Maestría en Gestión de Proyectos (Universidad EAN - Université du Québec à Chicoutimi). Correo electrónico: [aramirez@urepublicana.edu.co](mailto:aramirez@urepublicana.edu.co)

\*\* Estudiante de décimo semestre de Ingeniería de sistemas de la Corporación Universitaria Republicana. Correo electrónico: [johanna.benitez18@gmail.com](mailto:johanna.benitez18@gmail.com)

\*\*\*Estudiante de décimo semestre de Ingeniería de sistemas de la Corporación Universitaria Republicana. Correo electrónico: [mgangelik84@gmail.com](mailto:mgangelik84@gmail.com)

probable las cuales han demostrado ser eficaces, pero dada la naturaleza de estos trastornos o miedos suelen ser costosas en términos de tiempo, dinero y esfuerzos, por último se encontró la realidad virtual la cual actualmente constituye una de las tecnologías más emergentes que permite generar ambientes tridimensionales, simulando la realidad, es por ello que se ha convertido en los últimos años en una herramienta de trabajo muy útil para las ciencias de la salud, tanto en la investigación básica como en la aplicada, una de las áreas donde ha tenido gran impacto han sido las psicológicas ya que ha empezado a ser una de las técnicas más utilizadas y novedosas en el tratamiento de trastornos psicológicos como lo son las fobias.

En este ámbito la idea básica es insertar al usuario dentro de un ambiente imaginario (mundo virtual) utilizando herramientas como lo son el casco de realidad virtual con capacidad de recrear los cinco sentidos, traje XTAL VICION que es un visor que combina imágenes en movimiento y que es capaz de reflejarlas a distancia en prendas de ropa además de que crea la ilusión de la transparencia de la materia y de la apariencia de invisibilidad para la cual emplean una técnica denominada Camuflaje óptico y se basa en una idea muy simple: si se proyecta una imagen de lo que está detrás de una persona sobre la ropa que viste en ese momento, la ilusión que se crea es que el cuerpo de esa persona es transparente, gafas en 3D las cuales no dejan de ser sorprendentes, estas gafas tienen muchas formas de poder mostrarnos lo que estamos viendo y así generar un ambiente seguro donde se pueda conmutar de ambientes con plena seguridad, la persona no se encontrará en ningún momento en riesgo físico y podrán interactuar con los elementos del medio virtual con ventajas frente a la tradicional exposición en vivo como lo son economía, control y personalización del ambiente.

En el año 1956 Morton Heilig, inventó la primera máquina de realidad virtual aunque no la patentó hasta 1962. Se llamaba Sensorama y combinaba vídeo 3D a todo color, audio, vibraciones, viento y olores. Contaba sólo con 5 grabaciones de películas de dos minutos. Esta tecnología se empezó a implementar en el tratamiento de fobias desde los años 60 aunque fue hasta 1992 que empezó a utilizarse en los centros de psicología cuando el grupo liderado por Max North de la Clark Atlanta University (CAU)

(North, North y Coble, 1996) descubrió, fruto de la casualidad, que los ambientes de realidad virtual eran capaces de inducir una alta activación emocional en pacientes diagnosticados de trastornos fóbicos [1]. En Estados Unidos esta técnica ha venido siendo utilizada desde hace varios años, sin embargo en Colombia aún no es muy conocida.

Estudios como los realizados por la Universidad de Ámsterdam en personas que tenían miedo a las alturas desveló que el tratamiento con Realidad Virtual es tan eficaz como la exposición en vivo a las situaciones fóbicas, pero más seguro, y en la intimidad de una consulta de Psicología [2].

Existe también una noticia periodística (cyberdige) acerca de un estudio llevado a cabo por el Grupo Médico Káiser-Permanente de California en el que se utilizó realidad virtual para el tratamiento de acrofobia en 1994. Los 32 pacientes sobre los que se realizó el estudio debían de atravesar un profundo barranco pasando por un puente colgante y una tabla de madera, obteniendo un porcentaje de éxito del 90%.

Ha habido otros estudios como los realizados por Rothbaum y grupos del Norte de la universidad de Clark Atlanta, además, Choi Jack, Ku, Shin y Kim (2001) y Jang, Ku, Choi, Wiederhold, Nam, Kim y Kim (2002) quienes también han demostrado que la técnica de exposición a través de realidad virtual ha sido eficaz en el tratamiento de la acrofobia.

Los miembros del Departamento de Psicología Básica, Clínica y Psicología de la Universidad Jaime I, en Castellón, piensan que las herramientas basadas en la realidad virtual pueden ofrecer una manera muy útil para esta clase de tratamientos; por ello han desarrollado terapias basadas en la realidad virtual aplicada a pacientes con claustrofobia, agorafobia, fobia a los insectos y miedo a volar [3].

## II. MÉTODO

### A. Definición de parámetros

Este proyecto propone ser una herramienta de apoyo en el tratamiento de la fobia a las alturas mediante la realidad virtual, el cual debe de ir de

la mano con especialistas de la salud mental quienes deberán medir su efectividad a través de herramientas que permitan medir signos vitales, nivel de sudoración, frecuencia cardiaca, frecuencia de la voz, entre otros que ellos consideren.

Para dar desarrollo al proyecto se llevó a cabo una serie de procedimientos que se enumeran a continuación:

1. Se estableció un cronograma con las actividades a desarrollar y los tiempos de ejecución de cada una de ellas, hasta llegar al producto final.
2. Se establecen que recursos humanos y financieros son necesarios para generar el ambiente virtual y poderlo vender al usuario final, en este caso, áreas de la psicología orientadas al tratamiento de la fobia a las alturas.
3. Para determinar la fobia a la cual iría orientado el escenario virtual se realizó inicialmente una encuesta a 100 personas ubicadas en la ciudad de Bogotá D.C, Colombia, esto con el fin de:
  - Identificar la fobia a tratar.
  - Identificación de la población.
  - Analizar y evaluar la información recaudada.
  - Establecer un campo de desarrollo.
4. Se encuestó a un profesional de la salud especialista en el área de psicología y un psicólogo en formación, con el fin de:
  - Identificar la viabilidad del proyecto que se desea implementar como apoyo al tratamiento de la fobia a las alturas, según los datos obtenidos en la encuesta inicial.
  - Conocer de qué manera se está tratando esta fobia actualmente en Colombia.
5. Para crear un mundo virtual completo, se requiere tener: un software de creación de escenarios en 3D, un sistema de captura de

movimientos en tiempo real, y unas gafas de realidad virtual que permitan al usuario experimentar ese nuevo universo inventado. Todas estas herramientas existen desde hace años, pero sólo ahora ofrecen la potencia y versatilidad suficientes para trabajar en equipo y, aún más importante, en tiempo real, para lo cual se generó una discusión acerca de cuál sería la mejor plataforma para desarrollar el ambiente virtual a implementar a través de las gafas 3D de la marca VR BOX, decidiéndonos por Unity que es un motor de videojuego multiplataforma creado por Unity Technologies.

6. Se define el diseño del escenario deseado para empezarlo a implementar, ejecutar y así realizar su debido seguimiento para las posteriores mejoras.

## B. Descripción del escenario

El proyecto se desarrollará en Unity por ser multiplataforma, por tanto, está disponible como una herramienta de desarrollo para Windows, OSX, otra característica importante es que cuenta con soporte de compilación. En el proyecto se propone un escenario principal basado en dos edificios ubicados en un terreno rodeado por árboles y poco montañoso, por tanto, se contará con el efecto del viento, los edificios estarán comunicados entre sí con una tabla para que la persona se pueda desplazar del uno al otro, en cada uno de los pisos del edificio se encontraran ubicada una tabla, con el fin de que el paciente comience interactuando desde un piso bajo y a medida de que se vayan evidenciando resultados se incrementa gradualmente la altura, adicional a esto se tendrá una superficie acolchada ubicada en la parte inferior, es decir, sobre el piso esto con la finalidad de que el paciente tenga una sensación de seguridad y en caso de caer de alguna de las tablas fuera a la superficie acolchada donde rebotaría. Figura 1.

La escala de unidades de medida aplicada fue la predeterminada por Unity, cuando se aplica rigidbody a los objetos es 1 unidad = 1 metro, entonces la escala de su mesh importado se mantiene [4].

Teniendo esto en cuenta, podemos decir que las unidades de medida (las proporciones físicas/

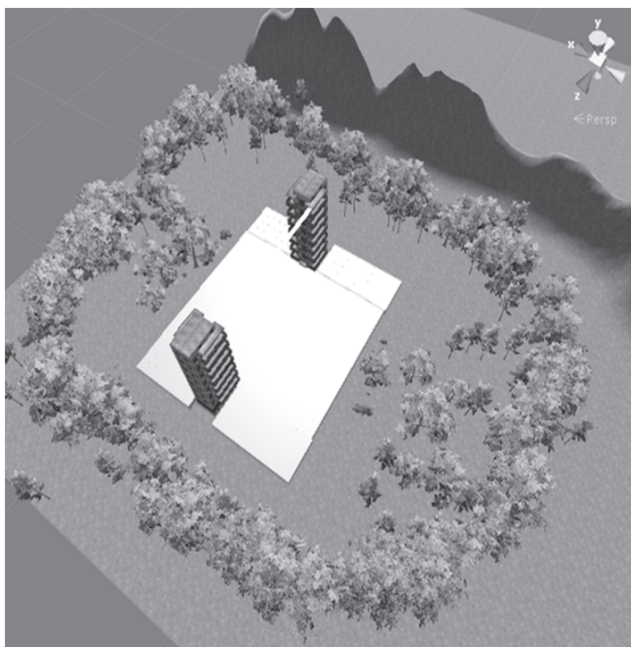


Fig. 1. Perspectiva completa del escenario.

geométricas) de un proyecto en Unity trabajan con unidades que cada cual a su gusto determinan y que significan las mismas, por tanto, pueden ser tomadas como metros, centímetros, kilómetros, pulgadas, pies, pársecs, angstroms, etc. Es decir, al considerar un objeto de escala  $(x, y, z) = (1, 1, 2)$  entonces suponiendo que tomamos las unidades como metros, el objeto va a medir en el eje X 1 metro, en el eje Y 1 metro y en el eje Z 2 metros, y tomando la posición con respecto al origen de coordenadas de la escena como  $(x, y, z) = (2.5, 3.5, 4.5)$  esto significará que el objeto estará a 2.5m en X del origen, a 3.5m en Y del origen y a 4.5m en Z del origen [5]. Figura 2.

### III. PROYECCIÓN

Existen varios autores que resaltan la efectividad de la realidad virtual en el tratamiento de las fobias, entre ellos esta Iván Alsina psicólogo y profesor universitario, especialista en el uso y aplicaciones de las TIC en psicología, salud mental, y educación, por lo que nos habla de VirtualRet, plataforma virtual de atención de ansiedad y fobia y de las bases de la nueva psicología que nace en el año 2012 debido al trabajo en equipo de expertos en Psicología Clínica y profesionales de la Tecnología, con el ánimo de hacer llegar las ventajas que

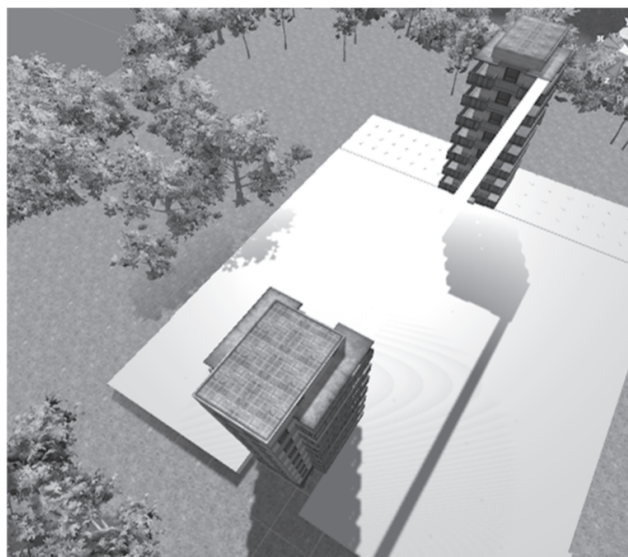


Fig. 2. Ambiente virtual.

ofrecía la realidad virtual a los profesionales del campo de la salud mental, afirmando que la técnica era basada en un entorno que día tras día iba en auge a consecuencia de los avances tecnológicos y que a pesar de que contaban con el acceso a dicha tecnología, en la ciudad donde residía era un campo en el que pocos habían explorado y para él darlo a conocer en el sector de la salud era un reto que quería lograr.

Por otro lado Joaquín Cantó, profesor del Instituto de Ciencias de la Educación de Alicante (España), psicólogo y master en psicología de la salud le apuesta todo a este método de realidad virtual, quien dice afirmar «es una terapia, con ellas trasladamos al paciente al entorno adecuado a sus necesidades y podemos ir controlando el grado de exposición al mismo».

Y como bien lo dice Cantó es una terapia moderna, la cual busca revolucionar, innovar y acortar esos tratamientos extensos y de alto costo. Con esta nueva herramienta de apoyo en el campo de la salud en Bogotá se quiere brindar estos beneficios, con pocos recursos y eficaces [6].

El objetivo principal de este trabajo es diseñar un escenario como herramienta de apoyo en el tratamiento del miedo a las alturas mediante realidad virtual obteniendo una excelente satisfacción en el sector de la salud, el cual está compuesto prin-



principalmente por psicólogos y especialistas en el tratamiento de las fobias (acrofobia); quienes comentan que por una parte esta herramienta les puede ser de gran apoyo en el momento de tratar los pacientes que sufren de esta fobia, los costos podrían bajar notablemente al igual que el tiempo en cada terapia o tratamiento.

Nuestro proyecto finalizaría con la implementación de la herramienta inicialmente en unos 10 centros psicológicos con el fin de comprobar su efectividad y determinar si el ambiente virtual creado es adecuado en el tratamiento del miedo a las alturas.

De igual manera con los resultados obtenidos de la prueba realizada por los diferentes centros se pretende generar mejoras a la herramienta de apoyo con el fin de que más centros médicos vean en nosotros una oportunidad de hacer un tratamiento más preciso a sus pacientes pudiendo vender nuestro producto y contribuir a la salud.

#### IV. DISCUSIÓN

La realidad virtual ha venido tomando fuerza, debido a que los proyectos que implementan este método han demostrado un alto índice de eficacia. Pueden llegar a abarcar cualquier situación de la vida cotidiana puesto que esta tiene la capacidad de que un ser humano tenga la sensación de encontrarse en un entorno real pero en realidad está actuando en un mundo virtual y lo mejor de todo es que permite que el usuario interactúe en tiempo real.

Otra de las ventajas con las que nos encontramos es que este mundo de Realidad Virtual (RV) es controlado estrictamente por nosotros, quienes somos los que le programamos y decimos que debe hacer. No se necesita salir y exponer al paciente para tratarle la fobia de la cual padece, adicional permite realizar el procedimiento o terapia las veces que se considere necesario a muy bajo costo y obteniendo los mismos o incluso mejores resultados a de los procedimientos clásicos [7].

Psious empres nació en julio de 2013, quien se dedica en la actualidad a implementar la realidad virtual en el sector de la salud, consiguió una inversión de un millón de euros para el tratamiento

de varias fobias con simulación en 3D. Esta gran compañía lo integran un grupo de 21 personas, entre las que se pueden destacar a, psicólogos, ingenieros, diseñadores, videojugadores, especialistas en 3D e informáticos. Su modelo de negocio es alcanzar facturación internacional en un 60% con la venta de esta aplicación [8].

#### V. CONCLUSIONES

La exposición mediante realidad virtual ha demostrado ser eficaz para el tratamiento del miedo a las alturas, ya que se han realizado diversos estudios que han demostrado su eficacia.

Muchas investigaciones realizadas sobre el tratamiento de las fobias con realidad virtual son controvertidas debido a que los resultados pueden producir un gran avance para algunas partes o una gran inconformidad para otras.

Algunos centros médicos podrían interesarse en nuestro producto y de acuerdo a los resultados generados implementarlo de manera permanente, para lo cual se debe de garantizar las actualizaciones necesarias y así estar a la vanguardia del avance de las TICs, por ejemplo cada vez hay un rol cada vez mayor de las tecnologías móviles.

La realidad virtual ha ayudado a las TICs a encontrar un espacio de trabajo significativo a lo que refiere a la salud.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] I. Alsina. Entornos de Realidad Virtual para combatir la ansiedad. (s. f). Universidad Oberta de Catalunya. Mosaic. Disponible en: <http://mosaic.uoc.edu/2013/10/31/entornos-de-realidad-virtual-para-combatir-la-ansiedad/>. 2013.
- [2] El Prado psicólogos. Realidad virtual: eficacia e innovación en el tratamiento de las fobias y miedos. Disponible en: <http://www.elpradopsicologos.es/terapia/realidad-virtual/>
- [3] A. Bartolomé. Realidad virtual, una herramienta eficaz para tratar las fobias. CuidatePlus. Disponible en: <http://www.dmedicina.com/enfermedades/psiquiatricas/2003/12/10/realidad-virtual-herramienta-eficaz-tratar-fobias-3713.html>. 2013.

- [4] Unity Documentation. Disponible en: <https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/class-Rigidbody.html>. 2016.
- [5] [Unity 3D] Tutorial para novatos (2 - Objetos). Olivera, J. 08 de abril de 2013. Disponible en: <https://alittlebigof.wordss.com/2013/04/08/unity-3d-tutorial-para-novatos-2-objetos/>
- [6] A. Pino. Realidad virtual contra las fobias. Disponible en: <http://www.diarioinformacion.com/alicante/2016/10/09/realidad-virtual-fobias/1814664.html>. 2016.
- [7] Previ. (s.f). Disponible en: <http://www.previsl.com/ver/79/realidad-virtual.html/>
- [8] LaVanguardia. (s.f). Disponible en: <http://www.lavanguardia.com/economia/pymes/20160202/301841591008/psious-tratamiento-fobias.html>



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# EL MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON PARA LA OBTENCIÓN DE RAÍCES DE ECUACIONES MEDIANTE PROGRAMACIÓN EN MATHCAD. ALGORITMO DE CÁLCULO

*The Newton-Raphson method for obtaining roots of equations by  
programming in mathcad. Calculation algorithm*

CARLOS M. MATA RODRÍGUEZ\*

*Recibido: 2 de noviembre de 2016. Aceptado: 12 de diciembre de 2016*

*DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n7.a25>*

## RESUMEN

El método de Newton-Raphson es un procedimiento algorítmico que permite hallar raíces de funciones, conocido un valor numérico cercano a la raíz. Es un método iterativo, en general de rápida convergencia, muy útil para el cálculo de raíces cuadradas y de mayor grado.

**Palabras clave:** método de Newton-Raphson.

## ABSTRACT

Newton's method, also called the Newton-Raphson method, is a root-finding algorithm that uses the first few terms of the Taylor series of a function in the vicinity of a suspected root. Newton's method is sometimes also known as Newton's iteration, although in this work the latter term is reserved to the application of Newton's method for computing square roots.

**Keywords:** Newton-Raphson method.

## I. INTRODUCCIÓN

UNO DE LOS problemas más comunes que se presentan en Matemáticas, es resolver una ecuación, pero debido a las características algebraicas que esta posee, el procedimiento puede tornarse largo y complejo.

Supongamos que se desea calcular una raíz de la ecuación  $f(x) = 0$ , la cuestión es sencilla cuando la ecuación es lineal o cuadrática y, aunque sea menos conocida existen fórmulas para resolver ecuaciones de tercer y cuarto grado, pero en el caso de ecuaciones de grado quinto o superior, no se dispone en general de fórmulas algebraicas para resolverlas, esta conclusión es debida al matemático noruego Niels Henrik Abel (1802-1829) [1].

El método que se expondrá en el siguiente trabajo posee las siguientes ventajas [2] [3].

- a) Se aplica a una ecuación de cualquier grado, incluso a las ecuaciones no algebraicas, (transcendentes) es un método iterativo.
- b) Proporciona la respuesta en forma numérica, pudiendo continuar los cálculos hasta lograr el grado de aproximación deseado.

Su inconveniente es que exige operaciones de cálculo largas y tediosas, salvo que se disponga de un sistema de cómputo, tal como se mostrará en el contexto del documento.

\* Profesor Licenciado en Matemáticas. Consultor para la Formación de Personal en Informática. Miembro de la ANIR (Asociación Nacional de Inventores y Racionalizadores). Actualmente Departamento de Matemáticas, Universidad de Ciego de Ávila. Cuba. Correo electrónico: camaro@unica.cu

## II. DESARROLLO

En análisis numérico, el método de Newton (conocido también como el método de Newton-Raphson), es un algoritmo eficiente para encontrar aproximaciones de los ceros o raíces de una función real [4].



Fig. 1. Joseph Raphson (1648-1715).

El método es llamado así por el matemático inglés Joseph Raphson (contemporáneo de Newton) siendo miembro de la Royal Society en 1691 por su libro «Aequationum Universalis», publicado en 1690, que contenía este método para aproximar raíces. Newton en su libro «Método de las fluxiones» describe el mismo método, en 1671, pero no fue publicado hasta 1736, lo que significa que Raphson había publicado este resultado 46 años antes. Aunque no fue tan popular como los trabajos de Newton, se le reconoció posteriormente [5].

Un procedimiento sencillo para determinar las posibles raíces de una función  $y = f(x)$  es mediante el empleo del Teorema de Bolzano, pues se cumple que si dada una función continua definida en

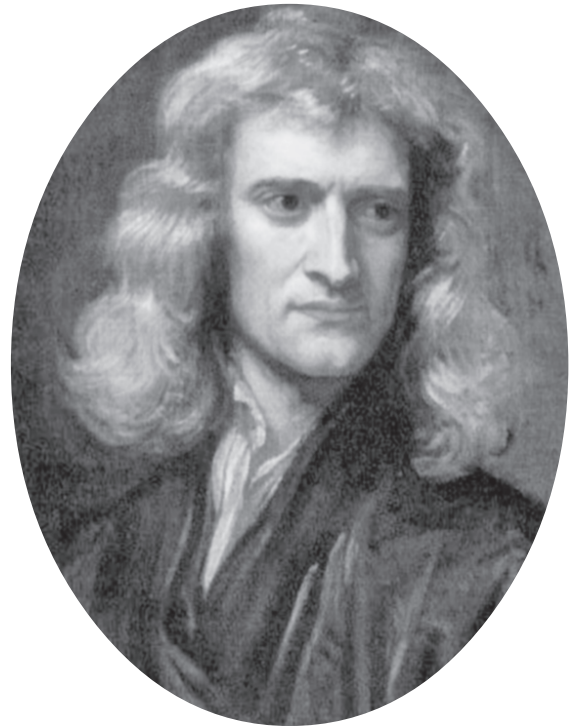


Fig. 2. Isaac Newton (1643-1727).

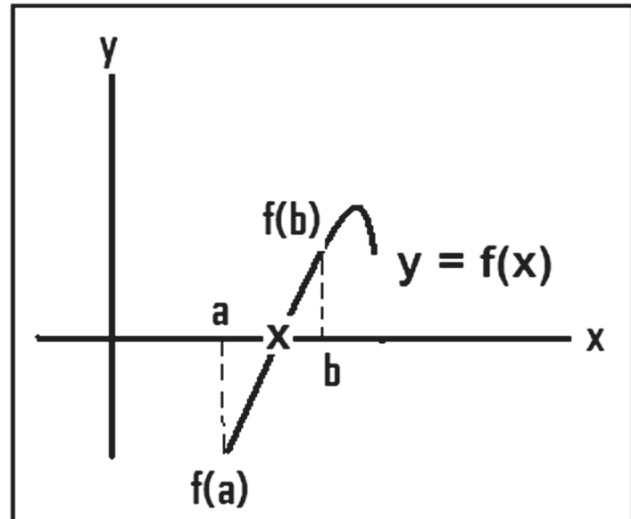


Fig. 3. Función  $y=f(x)$ .

un intervalo  $[a,b]$   $f(a) \cdot f(b) < 0$ , existirá un valor  $x$  dentro de dicho intervalo que representará la raíz (cero) de la función [6].

La única manera de alcanzar la convergencia es seleccionar un valor inicial ( $x$ , en el algoritmo llamado alfa) lo suficientemente cercano a la raíz buscada. Así, se ha de comenzar la iteración con

un valor razonablemente cercano al cero (valor supuesto). La relativa cercanía del punto inicial a la raíz depende mucho de la naturaleza de la propia función.

Con ayuda de Mathcad, es posible graficar la función y de este modo tener una idea aproximada de su raíz (como se muestra en la gráfica).

### III. FUNDAMENTO ANALÍTICO [4]

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x)}{f'(x)}$$

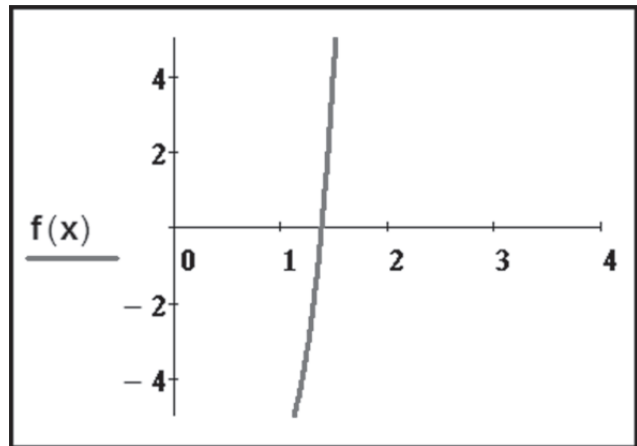
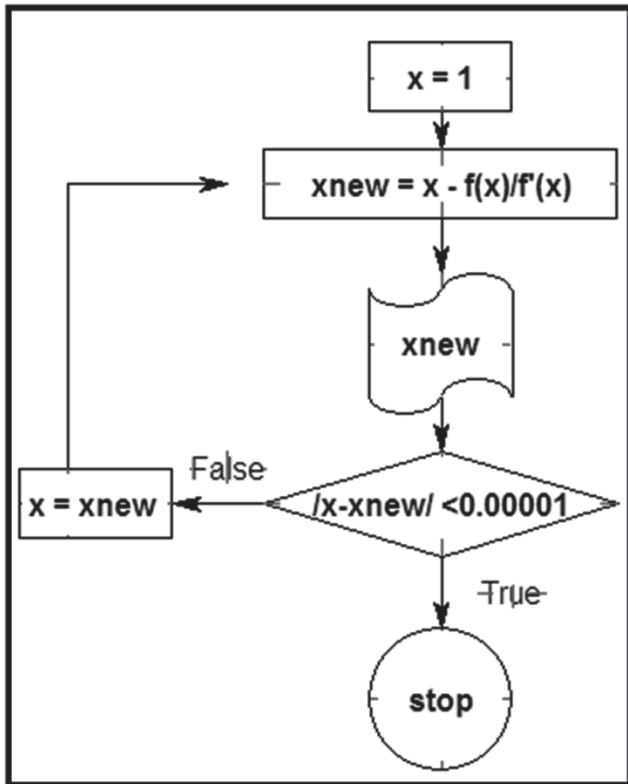


Fig. 4. Gráfica.

#### A. Algoritmo para el cálculo [3]



Donde alfa es el valor inicial, indicado en el diagrama de bloques como la variable x.

#### B. Ejemplo demostrativo

$$f(x) := x^6 - 7 \quad \text{FUNCION}$$

$$alfa := 1 \quad \text{VALOR INICIAL}$$

#### C. Programación en Mathcad [7]

```

newton(alfa) :=
  x ← alfa
  t ← 0
  r1,1 ← "I"
  r1,2 ← "Raiz"
  while 1
    xnew ← x - (f(x) / (d/dx f(x)))
    break if |x - xnew| ≤ 0.00001
    x ← xnew otherwise
    t ← t + 1
    r_{t+1,1} ← t
    r_{t+1,2} ← x
  r
  
```

#### D. Resultado de la iteración

Como se puede observar al valor de la raíz de la función es 1.38 aproximadamente, sólo bastaron seis iteraciones para encontrar el resultado correcto.

	"I"	"Raiz"
newton(alfa) =	1	2
	2	1.70312
	3	1.50069
	4	1.40386
	5	1.38384
	6	1.38309

#### IV. PROBLEMA

Calcular la raíz de la función  $f(x) = x^2 + 0.4x - 14.4$  en el intervalo  $[3,4]$ . Realizar un trazado de la función.

Resultado: 3.6.

#### V. CONCLUSIONES

El método de Newton - Raphson, es un método de rápida convergencia, aunque su rapidez depende fundamentalmente de la función  $f(x)$  y la aproximación inicial que se elija, experimentalmente se demuestra que con cinco o seis iteraciones se obtiene la raíz con excelente precisión. Su uso requiere el cálculo de la primera derivada de la función (dejando sentada su continuidad) por lo que podemos considerarlo como un procedimiento de matemáticas superior [1].

Este método es uno de los más utilizados para localizar raíces ya que en general es muy eficiente y siempre converge para una función polinómica.

Se requiere que las funciones sean diferenciables, y por tanto, continuas, para poder aplicarlo.

Se debe partir de un valor inicial para la raíz:  $x$ , este puede ser cualquier valor, el método convergirá a la raíz más cercana.

En los casos donde si converge a la raíz lo hace con una rapidez impresionante, por lo cual es uno de los métodos preferidos por excelencia.

Uno de los inconvenientes del método de Newton es la posibilidad de que se divida entre cero lo que ocurriría si  $f'(x_n) = 0$ .

#### REFERENCIAS

- [1] T. Finney. Calculus and Analytic Geometry. London, Addison Wesley, 1980.
- [2] P. Henrici. Elements of Numerical Analysis, New York, Wiley International Edition, 1967.
- [3] D. McCracken. Programación Fortran. México, Editorial LIMUSA, 1974.
- [4] P. M. Merino. Elementos de Algebra Superior. Cultural S.A. La Habana, 1943.
- [5] J. Hofmann. Historia de la Matemática. Editorial Labor, Buenos Aires, 1960.
- [6] M-Spivak. CALCULUS, Editorial Reverte. Madrid, 1970.
- [7] Mathematical Solutions, Mathcad 14. User's Guide.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# CONTROL SYSTEMS FOR CURRENT OPTICAL NETWORKS BASED ON GMPLS PROTOCOL

## *Sistemas de control para redes ópticas actuales basadas en el protocolo GMPLS*

CAROLINA VÁSQUEZ\*

*Recibido: 19 de diciembre de 2016. Aceptado: 29 de diciembre de 2016*

*DOI: <http://dx.doi.org/10.21017/rimci.2017.v4.n7.a26>*

### ABSTRACT

Optical transport systems have evolved in many senses with the pass of years. A first advance can be seen on the transport network, which at the beginning used TDM protocol for transport. PDH was the first used protocol, but due to its equipment complexity was replaced for SDH which gives to the optical network a better management. Later, optical networks use WDM to transport data and its improvement, DWDM is currently used providing to transport networks velocities over 100Gbps.

On the other hand, a new control plane protocol was development, MPLS and its improvement for optical networks GMPLS, which is based on the forwarding of information separated from header IP content and the label swapping between MPLS routers, allowing a faster processing of packets or optical signals over the network, this due to the use of labels on packets which contains its own routing information.

**Keywords:** DWDM, MPLS-GMPLS, label, SDH, ROADM, routing, RSVP-TE.

### RESUMEN

Los sistemas de transporte óptico han evolucionado en muchos sentidos con el paso de los años. Un primer avance se puede ver en la red de transporte, que al principio utilizó el protocolo TDM para el transporte. PDH fue el primer protocolo utilizado, pero debido a su complejidad de equipos se sustituyó por SDH que da a la red óptica una mejor gestión. Posteriormente, las redes ópticas utilizan WDM para transportar datos y su mejora, DWDM se utiliza actualmente para proporcionar velocidades de redes superiores a 100Gbps.

Por otro lado, se desarrolló un nuevo protocolo de plano de control, MPLS y su mejora para redes ópticas GMPLS, que se basa en el reenvío de información separada del contenido IP de cabecera y el intercambio de etiquetas entre routers MPLS, permitiendo un procesamiento más rápido de paquetes o señales ópticas a través de la red, esto debido al uso de etiquetas en paquetes que contiene su propia información de enrutamiento.

**Palabras clave:** DWDM, MPLS-GMPLS, etiqueta, SDH, ROADM, enrutamiento, RSVP-TE.

## I. INTRODUCCIÓN

THE INCREASED volume of data traffic generated on last twenty years pushed the evolution of optical transport systems to support high data traffic and transmission capacity. That is why optical systems have evolved through the years, passing for Time Division Multiplexing systems for digital transmissions, which at first were based on the Plesiochronous Digital Hierarchy, but due to

the difficulties to identify a low level traffic line on a high order traffic, (because of the necessity to use a high number of demultiplexers) and the lack of standardization, led to leave behind the use of PDH, to begin to use the Synchronous Digital Hierarchy standard as a better solution for transport networks, which provides an efficient management of the network. To reduce electro-nical complexity of SDH for transmissions over 10Gbps, service providers (SPs) begin to use

\* Ingeniera de telecomunicaciones de la Universidad de Antioquia, con énfasis en la línea de comunicaciones ópticas y conocimiento en el diseño de redes de transporte DWDM y redes GPON. Correo electrónico: [carolina.vasquezc@udea.edu.co](mailto:carolina.vasquezc@udea.edu.co)

Wavelength Division Multiplexing, which is a great solution for high capability networks. Sometime later, to improve the transmission capacity, WDM evolved to DWDM multiplexing which today is allowing transmission velocities over 400Gbps.

Having a solution for transport networks of high capacities on the transport data plane, researchers focus on the control data plane to reach a faster processing routing over the network. This introduced the MPLS and GMPLS protocols definition, where the last one protocol is an improvement of the first one for implementations of optical networks. This new protocol was created around 2000 by the Internet Engineering Task Force (IETF) and operates between link layer and transport layer of the OSI model, allowing a faster routing over the network.

Over the last years, IP routing has evolved to include new functionalities under MPLS, extending it as a control plane that can be used not just with routers, but also with legacy devices such as SDH, OXCs and OADMs equipment, this offer the necessary standardized common control plane which simplifies operation and management, and provides several deployment scenarios form overlay to peer models (or a combination of them). An Overlay model hides inner network details, in that sense uses two separated control planes, one of them operating in the core of the network and the other one operating between the core and edge devices. On the other hand a Peer model allows to edge devices participate on routing decisions, this means that there is just one control plane [1].

This paper focus on the explanation of functionalities of MPLS, its evolution to GMPLS and is outlined as follows. In Section II, a state of the art of optical transport systems is presented. Section III presents an overview of MPLS and GMPLS, while Sections IV and V present an explanation of ROADM operation and conclusions, respectively.

## II. STATE-OF-THE-ART

The following state-of-the-art shows the evolution of optical transport systems beginning at time division multiplexing, its characteristics and protection schemes, and later wavelength division multiplexing, its components and configurations.

### A. Time Division Multiplexing (TDM)

Time division multiplexing is a method of putting multiple data streams on a single signal by separating the signal into many segments, each having a very short duration (time slot). Each individual data stream is reassembled at the receiving end based on the timing. This way to operate allows multiplexing several low velocity channels into a very fast channel, to be transmitted through the network [2].

TDM is used to transmit digital signals where the basis unit is 64 kbps (DS0) which is equivalent to one voice channel. TDM for a voice channel consists on assign a time slot to each channel for transmission which repeats every 125  $\mu$ s, the multiplexed signal forms a frame, and each frame consists of a given number of time slots. With the purpose of bring together the biggest quantity of channels using multiplexing, can be explained two different multiplexing hierarchies.

#### 1) Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH)

*T1-Carrier:* This is an American standard where 24 telephone channels or any type having an output rate of 64 kbps are combined. The frame is organized with 24 channels of 8-bit, one bit is added for frame alignment, giving a total of 193 bit/frame. The output rate is 1544 kbps and the signaling is done by stealing the least significant bit of every sixth frame each channel, which gives a signaling rate of  $8000/6 = 1333.3$  Hz [3].

*E1-Carrier:* This is a European standard where 30 telephone channels of 64 kbps are multiplexed,

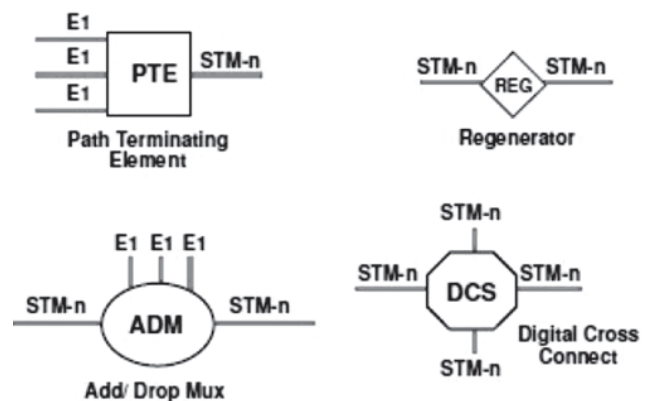


Fig. 1. SDH network elements.



and two additional channels for timing and signaling are used. The output rate is 2048 kbps and channel 1 and channel 16 are used for frame alignment, signaling and monitoring.

## 2) Synchronous Digital Hierarchy (SDH)

Since in PDH access to individual channels from signals of superior order requires a demultiplexation and subsequent full multiplexing, more expensive equipment is needed to locate where it is desired remove and insert channels, SDH becomes a great solution for this problem, this is a standard that allows the integration of different TDM signals allowing its transmission over optical fiber.

SDH supports other hierarchies as PDH, ATM, FDDI, among others, which makes it a very flexible hierarchy. SDH also defines the transmission rate, signal format, multiplexing structure, line coding, optical parameters and performance standards of equipment and network management [4].

Fig. 1 shows the basic components of a SDH network. Path Terminating Element (PTE) is the endpoint device where lower speed channels entering and leaving the SDH network, the Add/Drop Mux has the ability to download and insert

low speed channels, and the Digital Cross Connect may connect individual frames E1.

With knowledge of the components of a SDH network, it is now possible to identify all SDH network sections, considering the use of the above explained components.

Fig. 2 shows three important sections on a SDH network: Path Section is created and terminated by a PTE at both ends of the link, the Multiplex Section starts where the SDH frame is assembled and ends where the frame is disassembled (PTE or ADM), and the Regenerator Section is located between a PTE or ADM and a Regenerator.

Modern SDH networks include several automated mechanisms for protection and recovery failure systems. A problem on a link or a network element does not cause the collapse of the entire network, which could be an economical disaster for the provider. These protection circuits are also controlled by a management system. Following are some protections schemes for lineal SDH networks:

*Path switching:* This protection uses two links and duplicates the signal on the working and protection paths. Allows to protect low capacity services individually.

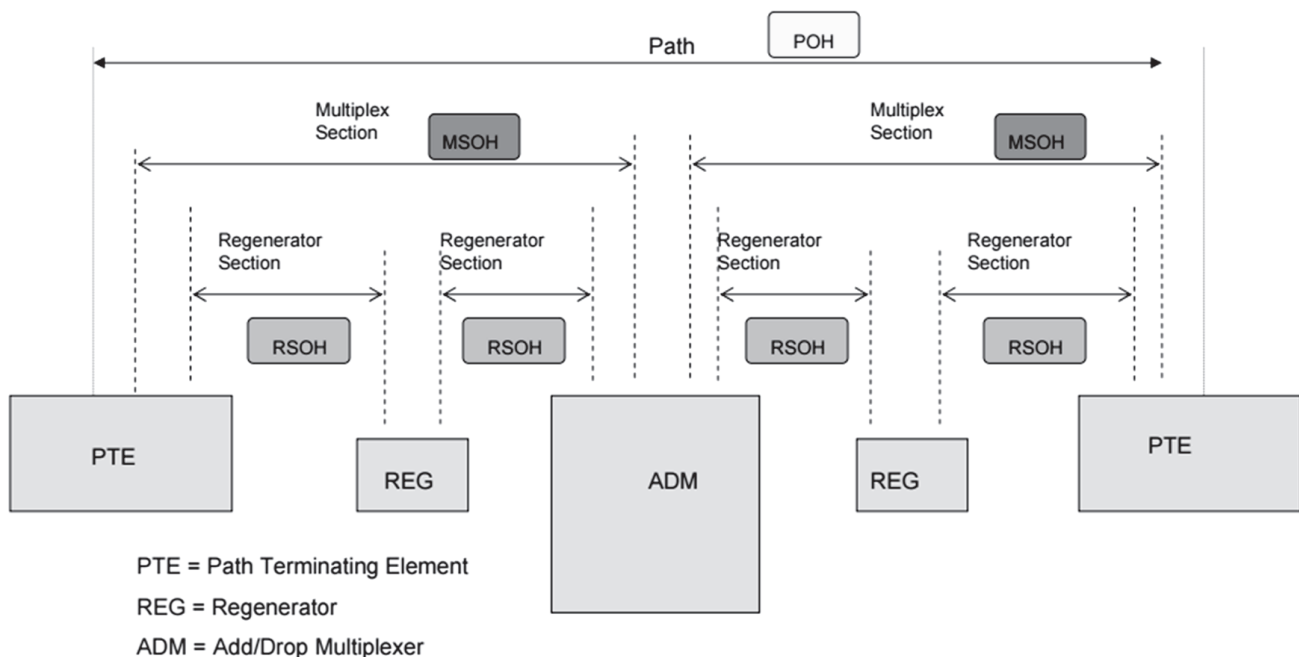


Fig. 2. SDH network sections.

*1+1 protection switching:* It requires twice as many resources in the system, providing dedicated protection. Traffic is initially sent by both the working path as the protection path. If a loss of traffic is detected on the receiving end, switching process begins towards the protection path. The protection path cannot be used to transmit any traffic.

Fig. 3 shows the different protection schemes mentioned below. Fig. 3(a) details the path protection switching, where the dashed line represents the use of the protection path in case of failure. Fig. 3(b) represents the 1+1 protection switching.

*1:1 protection switching:* It is a double ended scheme. Traffic is initially sent by the working path only. A fault is detected on the opposite end when it do not receive traffic for an extended period of time. A signal is sent to the transmitting end that triggers protection switching, sending traffic to the protection path at both ends. This means that low-priority traffic can be carried by the protection link while travel by the operating channel. This traffic will be lost when a protection switching process starts.

In this sense, also N:M protection switching can be done, this consists on N working paths and M protection paths, where the operational principle is the same for 1:1 protection switching.

Functionality of 1:1 and N:M protection schemes are detailed on Fig. 4(a) and 4(b), respectively.

For ring topology the following are the most used protection switching schemes:

*Multiplex Section- Shared Protection (MS-SP) ring:* Employs just the half capacity at each sense. When there is a fault, the adjacent nodes detected it and send the traffic on the other direction. This procedure is shown on Fig. 5(a), where line green represents the traffic re-routed.

*Subnetwork Connection Protection (SNCP) ring:* Traffic is sent over the working path and the protection path (1+1 protection), protecting the system against fiber cut or node failures [5].

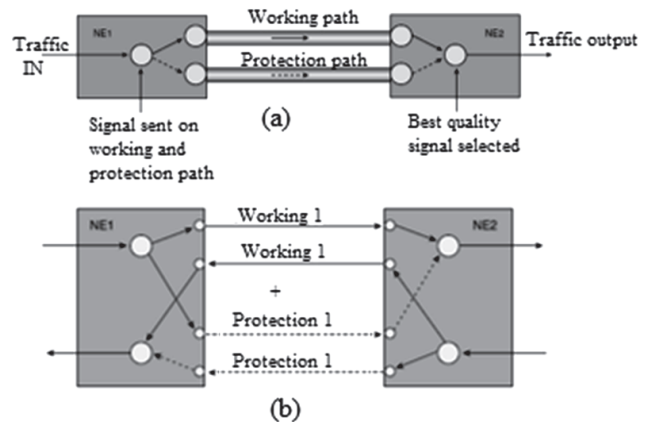


Fig. 3. Path switching (a) and 1+1 protection switching (b).

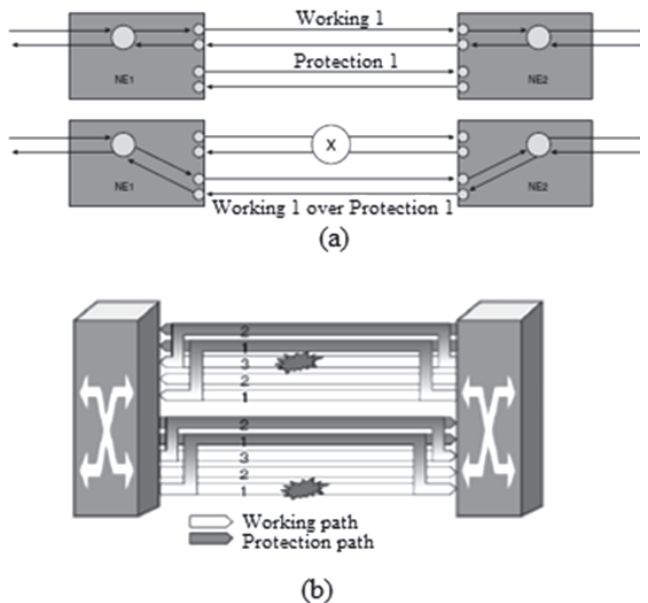


Fig. 4. 1:1 protection (a) and N:M protection (b).

Since demand for high-speed connections is growing up due the increasing number of people using data services and devices connected to Internet (IOT), TDM systems cannot supply the demand of a higher bit rate over 10Gbps, because of the electronical devices complexity. In that sense, WDM rises as a better and economical way to transmit information at a bigger bit rate than 10Gbps over backbone networks.

## B. Wavelength Division Multiplexing (WDM)

Wavelength division multiplexing is a technology of numerous optical carrier signals of varying

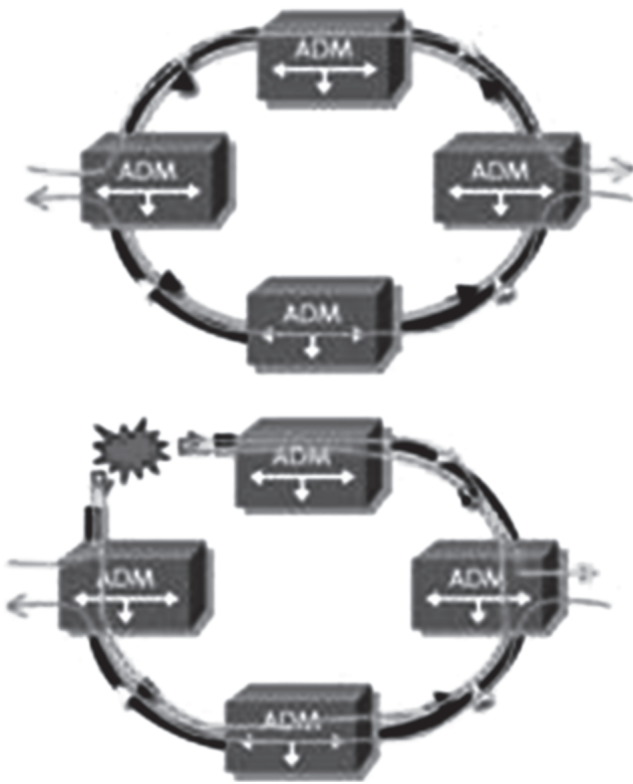


Fig. 5. MS-SP ring (a) and SNCP ring (b).

wavelengths (colors) of laser light, onto a single optical fiber. WDM enables bidirectional communication as well as multiplication of signal capacity in enterprise, access, backhaul, metro and long-haul networks by creating virtual fibers.

WDM is now recognized as the layer 1 transport technology in all tiers of the network. It offers low-cost transport for all applications and services, scales easily in terms of capacity and reach and

provides rapid protection against any fiber plant failure [6].

Currently, there are two types of WDM: Coarse WDM (CWDM) and Dense WDM (DWDM).

*CWDM*: operates with 18 channels which have a channel spacing of 20 nm (2500 GHz). The first channel is located at 1270 nm and the last one is at 1610 nm. Each channel has a capacity of 2.5Gbps for a distance of 50 km [7].

*DWDM*: operates with 40 channels at 0.8 nm (100 GHz) channel spacing or 80 channels at 0.4 nm (50 GHz) spacing. Each channel can have a capacity of 2.5, 10, 40 or 100Gbps. Today's DWDM systems uses 16, 32, 64, 128 or more wavelengths in the 1550 nm window [8].

The essential components of a WDM system are primarily those of any network, like transmitters, optical fiber (for optical communications) and receivers. In case of WDM technology, the transmitters are laser sources with stable tunable wavelengths. Before sending the signal through optical fiber and multiplexers mix the wavelengths, at the receiver end there are photo detectors and wavelength demultiplexers. In addition, the system would require other components such as switches, modulators, optical amplifiers, isolators, etc. Fig. 6 shows a real configuration for a WDM link, where the optical signals generated on transmission end passes combines on the multiplexer and are send through the optical fiber to the receiver end, but in that travel signal is amplified several times depending of the distance between transmission and reception ends.

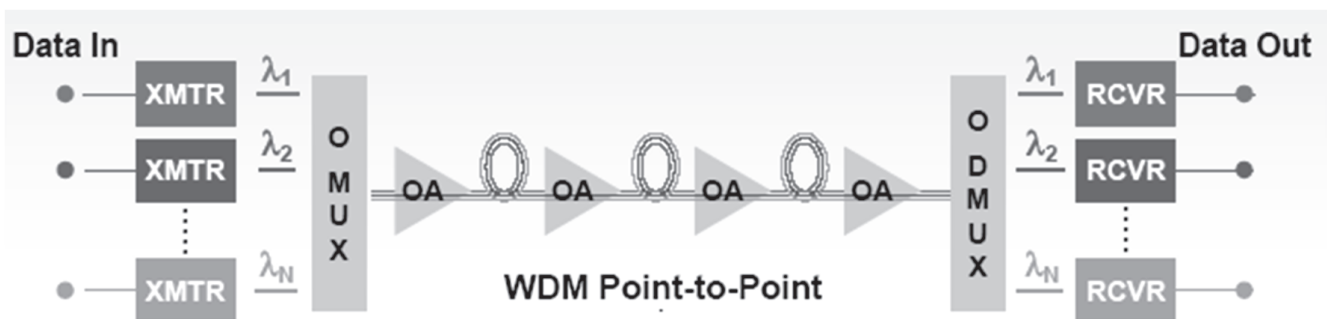


Fig. 6. Basic topology of WDM networks.

### III. MULTI-PROTOCOL LABEL SWITCHING

At the end of nineteenth century data networks had four layers: IP for carrying applications and services, asynchronous transfer mode (ATM) for traffic engineering, SDH for transport, and dense wavelength division multiplexing (DWDM) for capacity (Fig. 7). To remove ATM and SDH layers on high capacity transport networks is necessary that this layers bypass their functionalities to routers, DWDM and optical cross-connected (OXC), where OXCs are the most common option for switching multigigabit or even terabit data streams. This new conformation of data networks is more cost-efficient and allows to transport a wide range of data streams and high capacity traffic.

Nowadays the predominant traffic carried is IP based, because of this the development of fast router technologies is very important to supply the demand of high velocities connections for today costumers. In that sense, multiprotocol label switching (MPLS) is today implemented over high capacity and high traffic volume networks, giving them new functionalities at level of plane control which simplifies operations and management, and reduces the cost of operations.

MPLS is based on the forwarding of information separated from header IP content and the label swapping between MPLS routers. Label switch routers (LSRs) forward data using the label carried by the data. This label and the port on which the data was received for the LSR, is used to determine the output port and outgoing label for the data to move over the MPLS network. Each label defines a packets flow between two end points where

each flow is different and is called forwarding equivalence class (FEC). Each FEC has a specific route through the LSRs on the network, because of this, MPLS is considered a connection oriented protocol where FEC contains the QoS specifications and requirements of packets flow which allows to determinate the quantity of resources to reserve on the network [9].

The MPLS framework includes applications such as constraint based routing. This is a mix of different extensions to IP link-state routing protocols, specially Open Shortest Path First (OSPF) and Intermediate System to Intermediate System (IS-IS), with Reservation Protocol (RSVP) or Constraint-based Routing Label Distribution Protocol (CR-LDP) signaling as the MPLS control plane and the Constrained Shortest Path First (CSPF) heuristic.

Before to forward information over the network is necessary to establish a label switching path (LSP) between routers that transmits the FEC. These LSPs are like transport tunnels on the MPLS network.

The extensions to OSPF and IS-IS allows nodes to exchange information about network topology, resource availability and routing tables. This information is used by the CSPF heuristic to compute paths depending to specified resource and/or policy constraints. For example, for the creation of the LSP are needed either RSVP-TE or CR-LDP which is used to establish the label forwarding state along the routes computed by a CSPF-based algorithm, and later the MPLS data plane forwards the information along the established LSP.

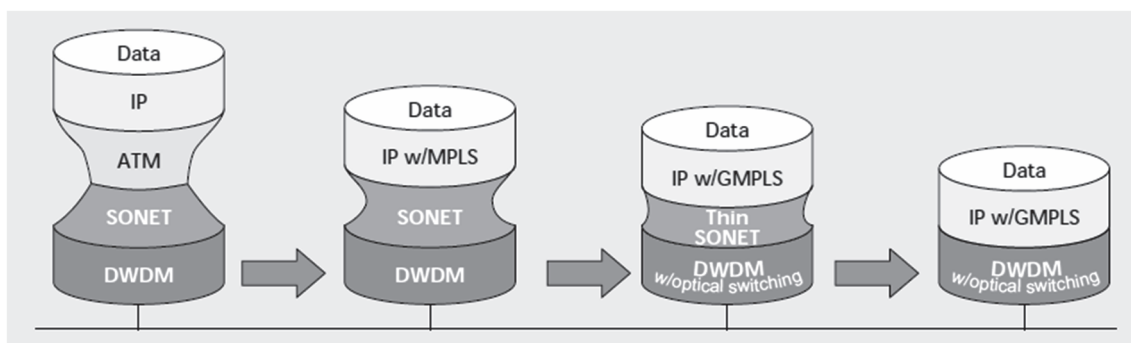


Fig. 7. Evolution of data networks [10].

As mentioned above ATM layer is removed as the layer in charge of traffic engineering, and constraint-based routing provided by MPLS to IP routing replaces this functionality where at the same time gives to the network a fast reroute, offering an alternative to SDH as a scheme for protection.

Label Edge Routers (LERs) provide the connection of each IP client, this routers analyze and classifies the input IP packets just considering IP destination address and QoS requirements and later puts the MPLS label at each IP packet, to identify the LSP where the packet is. This is, the LER decides the entire LSP which packets will take over the MPLS network. After assigning the label, LER passes the packet to the LSR which is located on the core of the MPLS network (Fig. 8).

Following are some benefits of MPLS networks:

1) Traffic engineering for ISPs to moving data traffic from the shortest path (calculated by routing protocols) to less congested paths or less susceptible to failures paths, i.e., that refers to the process of selecting which paths will takes the data, seeking the balance of traffic on all links, routers and switches, avoiding the overloaded of them.

2) Transport of differenced traffic with several classes of service (CoS), which defines the requirements of links to provide an adequate quality of service (QoS).

3) Support of virtual personal networks (VPN). MPLS offers a simple mechanism to create VPN, since provides the creation of tunnels or virtual circuits along an IP network.

Once seen the MPLS concept, we can talk about generalized MPLS (GMPLS) networks. This protocol not just supports packets switching devices but also devices that performs switching in the time, wavelength and space domains, i.e., GMPLS seeks total integration of control plane of IP switching networks and optical networks such as SDH and DWDM, resulting in intelligent next generation optical networks, whose final outcome will be the integration of IP directly on DWDM (Fig. 7).

Deploying GMPLS on an optical network is a combination of LSRs and optical switches, and LSPs and optical trails, where wavelengths (lambdas) assume the role of labels and optical switches toggle wavelengths from an input to an output port. For the establishment of an optical trail is necessary to configure all optical switches on the GMPLS networks to map one input lambda and port to an output lambda and port. As LSRs, optical switches need routing protocols like OSPF or IS-IS to exchange information about network topology (link-state topology) to compute paths. Optical switches also need signaling protocols like RSVP and LDP to automate the path establishment process.

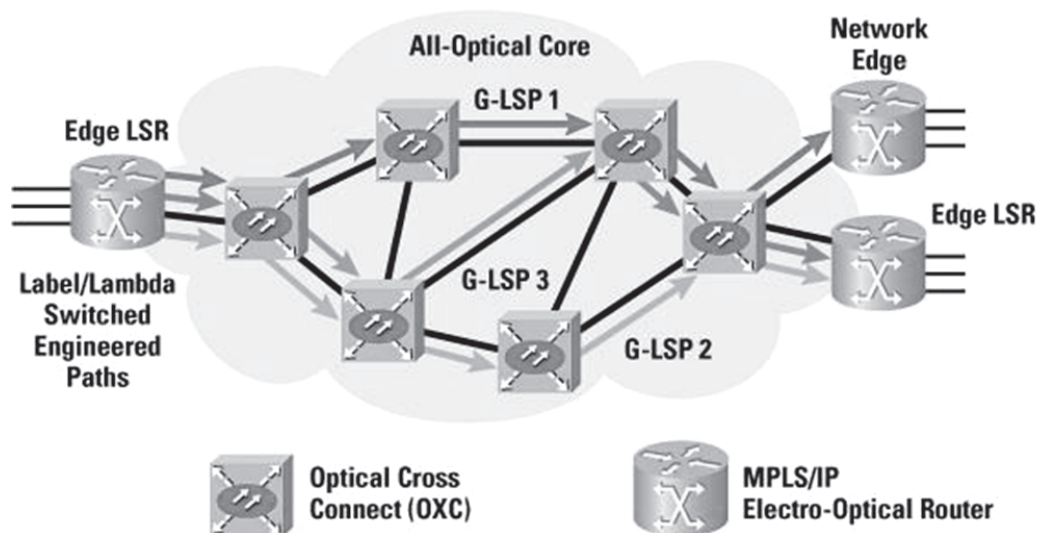


Fig 8. MPLS network example [11].

In that sense MPLS networks need some modifications and additions on the routing and signaling protocols to achieve an adequate match with optical switches for the development of GMPLS networks. Following are some of this modifications:

1) Deployment of a new *Link Management Protocol (LMP)* whose purpose is to solve issues related to link management in optical networks which use optical switches. LMP provides four basic functions for a node pair: control channel management, this is used to establish and maintain connectivity between adjacent nodes on the network. This functionality allows to send the component links of a bundled link separated of the control channel, i.e., the component links and associated control channel need not be transmitted over the same physical medium. Other functionality of LMP is the link verification which is used to verify the physical connectivity of the component links. Link property correlation of function link properties such as link IDs, protection schemes and priorities between adjacent nodes is provided by means of the *Link Summary* message of LMP. Finally LMP provides the functionality to isolate link and channel failures independent of the data format.

2) Design an enhanced OSPF/IS-IS routing protocols to show the availability of optical resources in the networks, such as, bandwidth on wavelengths, link protection schemes and fiber IDs.

To help understand the routing enhancements needed, a brief description of link state protocols such as IS-IS and OSPF will be given. A link state protocol allows all nodes on a network (MPLS switches, OXCs, etc.) to know not just the information about network topology but also about availability of resources such as the number of total wavelengths and the number of unused wavelengths for each link. With this information each node can build a picture of the network referred as the link state database. Once all nodes on the network knows the link state database, each node uses this information to build its own forwarding table. These tables allow nodes to know how to forward an incoming packet. Database will be resynchronized when a link is added or removed of the topology, and nodes will

recalculate their forwarding tables using the updated information in the link state database. In that sense, OSPF extension is used for the realization of multilayer traffic engineering.

3) Design an enhanced RSVP or CR-LDP signaling protocol for traffic engineering purpose, to allow an explicit and specified LDP over the optical network. RSVP is a protocol for connection establishment and network resource reservation for IP networks, where the resources reservation depends of the QoS needed by the service that will be transported over the network. RSVP can be used on MPLS and GMPLS networks by using traffic engineering extensions [10].

The main control messages in a RSVP are *Path* and *Resv* messages, originated from the senders and receivers, respectively. Path messages follow the route computed by the routing protocol and carry RSVP data to provide receivers with the description of the sender and traffic flow. Upon receipt of a valid Path message, each intermediate RSVP node updates their path state entry for the sender before forwarding the appropriately updated path message towards the receiver. After receiving a Path message, the receiver can make a reservation by sending a Resv message back to the source.

For MPLS networks, RSVP protocol adds new messages such as *Label Request* carried in Path messages and *Label* in Resv messages. Additional new data messages were defined to support explicit routing and to record the route taken by particular messages. These extensions to RSVP essentially made the protocol more adept at supporting traffic engineering (TE) and this version of RSVP is commonly referred to as RSVP-TE. This new version defines a hello extension, which are messages exchanged at regular intervals of time by adjacent RSVP nodes. This messages can help to know when a RSVP node could not have communication with its neighbors. When a node does not detects a Hello message within a certain interval it is said that the node could not have communication with its neighbors [12].

Following are some RSVP enhancements needed to support TE on GMLPS networks: suggested label, notify messages and bidirectional LSP setup.

The *suggested label* refers to a label suggested by an upstream node in the GMPLS network. This is very useful when it is desired to set up a bidirectional LSP using transmitter and receiver interfaces which sharing the same physical port (e.g., WDM transponders Tx/Rx pair) or to set up an LSP transiting certain kinds of optical switching equipment, where there is some latency associated with configuring the switching fabric. The suggested label concept allows an upstream node along a service path to start configuring its hardware with the suggested label before the downstream node communicates a label to it. Early configuration offered by a suggested label can reduce setup latency, and may be important for restoration purposes as well, where alternate LSPs may need to be rapidly established.

The *notify messages* provides to GMPLS networks a mechanism for informing non-adjacent nodes about LSP failures, giving to the network a faster reaction to possible failures which at the same time provides major reliability. This can be done by intermediate nodes (nodes where neither originates nor ends a connection) which only passing information about the failure to the node responsible for restoring the connections, without processing the message which could delay notifications and restoration of the service.

The *bidirectional LSP setup* is a new functionality of GMPLS networks, this because on traditional MPLS, LSPs are unidirectional. So to establish a bidirectional LSP can be possible using two unidirectional LSPs in opposite directions [13].

4) Deployment of some scalability enhancements such as hierarchical LSP formation, link bundling, and unnumbered links [14].

#### IV. RECONFIGURABLE OPTICAL ADD/DROP MULTIPLEXER

To add flexibility, DWDM networks evolved into multi-node linear and ring configurations. When a wavelength reached a node, it could be stopped at the node or pass through the node. In addition, wavelengths could be added into the DWDM stream at intermediate nodes. This introduces the concept of wavelength add/drop in nodes which well-known as optical add/drop multiplexers or OADMs [15].

An optical add-drop multiplexer (OADM) is a device that adds one or more wavelengths to the DWDM signal or drops one or more wavelengths passing that signals to another path without the ability of pre-configures the wavelengths to be added, dropped or passed through the fiber.

There are three stages in a traditional OADM: an optical demultiplexer, an optical multiplexer, and between them a method of reconfiguring the paths between the optical multiplexer and a set of ports for adding and dropping signals.

In that sense, a Reconfigurable OADM (ROADM) allows a dynamic configuration for extraction or insertion of wavelengths to the DWDM stream, this using a Wavelength Selective Switch (WSS). The main function of a WSS is independently switch each of the M wavelengths between a common port and one of the N ports of switching, controlling the attenuation for each one. Most of WSS works with the International Telecommunications Union (ITU) grid of 100 or 50GHz on C or L band. The WSS provides quick service start-up, remote cross-connect and DWDM mesh networking [16].

The ROADM scheme also allows inputting or outputting a single wavelength or wavelengths group via the fixed port. ROADM can configure as required without affecting traffic. It's also used for remote configuration or reconfiguration via Network Management System (NMS). This type of OADM is very flexible in rerouting optical streams, bypassing faulty connections, allowing minimal service disruption and the ability to adapt or upgrade the optical network to different WDM technologies.

Figure 9 describes the operational principle of one particular node on a ring network using ROADMs. For example, where a DWDM signal comes from left to right, the signal goes to the input port of the WSS and right there two process can be done, the first one is pass the signal from the input to the output port, and for the second process some wavelengths of the DWDM signal can be added o dropped. The same process is done in the sense right-left.

The WSS can select any color to be routed towards the drop side of the node or bypass to the next node. The input port can receive the whole

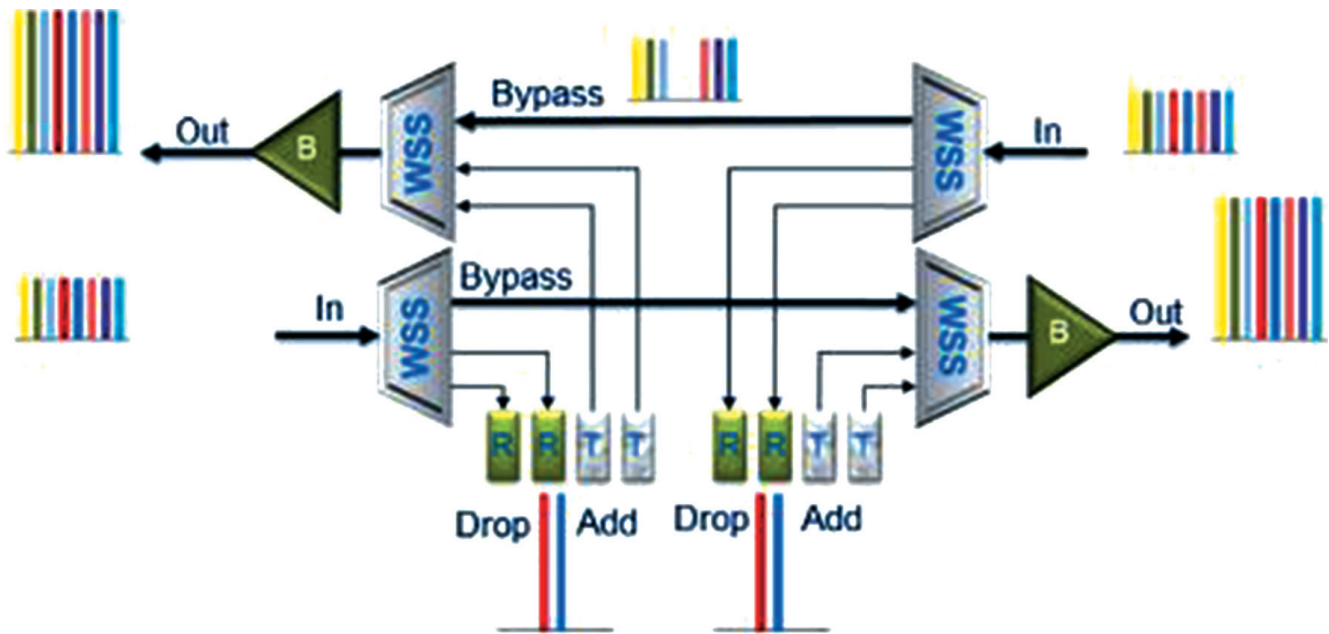


Fig. 9. ROADMs basic operation.

C band and the drop (or add) ports can drop (or add), bypass or block any channel as chosen.

The ROADMs can have different functionalities, giving them flexibility and major grade of quality. The following are some of this functionalities:

*Colorless:* There are several variations for building colorless ROADMs, but they typically involve the use of additional WSSs in place of multiplexers and demultiplexers, the result of this change is that any wavelength (color) can be assigned to any port at the add/drop site, completely by software control and without a technician on site.

*Directionless:* Directionless ROADMs allows any wavelength to be routed to any direction served by the add/drop node, by software control, and without physical rewiring.

*Contentionless:* When two wavelengths of the same color converge at the same WSS structure at the same time can be a wavelength blocking and this causes network contention. Operators must avoid this potential blocking/contention situation by partitioning the add/drop structures so that different colored wavelengths are associated with different structures, thus eliminating the possibility for two wavelengths equal to converge on the same add/drop multiplexer. This can

resolve wavelength contention but it means that operators sacrifice a level of flexibility and may require additional add/drop multiplexers to accommodate particular wavelength channels. A contentionless architecture, by contrast, allows multiple copies of the same wavelength on a single add/drop multiplexer.

*Flexible grid:* a conventional ROADMs uses a grid of 100 or 50GHz (in some cases 25 GHz or even 12.5 GHz), but a flexible grid or gridless ROADMs involves a more granular use of the spectrum to support velocities over 100Gbps. In case of 40Gbps the channel spacing will be of 75GHz and 1Tbps will require just 150GHz channel spacing [17].

A ROADMs with colorless, directionless, contentionless and flexible grid functionalities is so-called CDC gridless ROADMs (colorless, directionless, contentionless - any wavelength, any node, any time) and is fully flexible providing non-blocking. CDC gridless ROADMs (Fig. 10) are the foundation of a fully automated optical network, and they allow for intelligent interworking with the MPLS technology that rides on top [17].

Table 1 can show the evolution of ROADMs from their first generation to current ROADMs with their different characteristics and functionalities for each generation.



**Table 1.** Roadm generations [17]

ROADM generations	Characteristics
1st generation: Wavelengths Blocker based ROADMs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 degree nodes only</li> <li>• 100 GHz channel spacing</li> <li>• Add/Drop only</li> <li>• No channel equalization capability</li> <li>• Neither colorless nor directionless</li> </ul>
2nd generation: Planar Light-wave Circuit (PLC) based ROADMs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 degree nodes and very limited multi degree functionality</li> <li>• 100 GHz channel spacing</li> <li>• Add/Drop only</li> <li>• Channel equalization capability</li> <li>• Neither colorless nor directionless node support</li> </ul>
3rd generation: WSS 1:N based ROADMs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multi degree node support</li> <li>• 50 GHz and 100 GHz channel spacing</li> <li>• Channel equalization capability</li> <li>• Colorless and directionless node support</li> </ul>
3rd+ generation: WSS Liquid Crystal on Silicon (LCoS) based ROADMs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multi degree node support</li> <li>• Flexible channel spacing</li> <li>• Future proof on</li> <li>• Channel equalization capability</li> <li>• Colorless and directionless node support</li> <li>• Contentionless node support</li> </ul>

## V. CONCLUSION

The use of GMPLS on current data networks, works such a bridge between the IP and optical layers, allowing a parallel growth of services over the IP and optical domains. GMPLS provides a faster and cheaper way to operate over IP networks, giving to the network a better operational efficiency, as well as increasing economic opportunities for services providers, due to the faster processing of packets over the GMPLS network. The use of ROADM nodes on GMPLS networks simplify even more the network operation, because it allows the implementation of control points distributed in the DWDM transport network, specifically the use of CDC gridless ROADMs improves the GMPLS control plane, providing it more flexibility.

## VI. REFERENCES

- [1] International Union of Telecommunications, «Spectral grids for WDM applications: DWDM wavelength grid,» 2012.
- [2] M. Rouse, «time-division multiplexing,» 2005. [Online]. Available: <http://whatis.techtarget.com/definition/time-division-multiplexing-TDM>.
- [3] N. Massa, «Fiber Optic Telecommunication,» in fundamentals of photonics, Springfield: University of Connecticut, 2000, pp. 293-347.
- [4] FiberOptic.com, «SONET/SDH.» [Online]. Available: [http://www.fiberoptic.com/adt\\_sonet\\_sdh.htm](http://www.fiberoptic.com/adt_sonet_sdh.htm).
- [5] J. M. Domínguez, «Synchronous digital hierarchy (SDH),» 2004. [Online]. Available: <http://www.mailxmail.com/curso-jerarquia-digital-sincrona-sdh/esquemas-proteccion-2>.
- [6] ADVA Optical Networking, «WDM.» [Online]. Available: <http://www.advaoptical.com/en/products/technology/wdm.aspx>.
- [6] International Union of Telecommunications, «Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid,» 2003.
- [7] G. Papadimitriou, C. Papazoglou, and A. Pomportsis, «Optical Switching: Switch Fabrics, Techniques, and Architectures,» J. Lighthwave Technol., vol. 21, no. 2, pp. 384-405, 2003.
- [8] Z. Zhou, K. Chen, and L. Zheng, «GMPLS RSVP-TE Signaling Recovery with Graceful Restart in

- Optical User Network Interface,» in 2007, Optical Fiber Communication and the National Fiber Optic Engineers Conference.
- [9] O. Komolafe and J. Sventek, «Overview of Enhancements to RSVP-TE to Increase Control Plane Resilience,» in 2007, GMPLS Performance: Control Plane Resilience, Workshop on, pp. 1-6.
- [10] A. Banerjee et al., «Generalized Multiprotocol Label Switching: An Overview of Signaling Enhancements and Recovery Techniques,» IEEE Commun. Mag., vol. 39, no. 7, July. 2001.
- [11] F. Palmieri, «GMPLS Control Plane Services in the Next-Generation Optical Internet,» Internet Protoc. J., vol. 11, no. 3, 2008.
- [12] A. Banerjee et al., «Generalized Multiprotocol Label Switching: An Overview of Routing and Management Enhancements,» IEEE Commun. Mag., vol. 39, no. 1, Jan. 2001.
- [13] S. Gringeri and B. Basch, «Flexible Architectures for Optical Transport Nodes and Networks,» IEEE Commun. Mag., vol. 48, no. 7, July 2010.
- [14] Fiber Optic Solution, «Tutorial of OADM,» 2016. [Online]. Available: <http://www.fiber-optic-solutions.com/tag/roadm>.
- [15] S. Perrin, «The Need for Next-Generation ROADMs Networks,» 2010.
- [16] ADVA Optical Networking, «ROADM.» [Online]. Available: <http://www.advaoptical.com/en/products/technology/roadm.aspx>.
- [17] J. Fowler, «Next Gen optical networks,» 2012.