

# Revista

Publicación especializada en la gestión de servicios públicos

epm<sup>®</sup>

No. 15 | Enero - Junio 2020

Es posible un  
**entorno laboral  
incluyente:**  
experiencia EPM

Subestaciones digitales,  
una **apuesta  
al futuro**

Cómo los sistemas de puesta a tierra,  
protegen la seguridad y vida de las  
**personas que trabajan**  
en los sistemas eléctricos de  
transmisión y distribución







energía | gas natural | aguas



# Revista

Publicación especializada en la gestión de servicios públicos

**epm**<sup>®</sup>

*estamos ahí*

**Revista EPM No. 15**  
**Enero - Junio de 2020**  
**ISSN: 2145-1524**

## **Grupo Directivo EPM:**

**Álvaro Guillermo Rendón López**

Gerente General

**Marcela Salgado Gutiérrez**

Secretaría General (e)

**Daniel Arango Ángel**

Vicepresidente Ejecutivo Gestión de Negocios

**Darío Amar Flórez**

Vicepresidente Ejecutivo Nuevos Negocios, Innovación y Tecnología

**Gabriel Jaime Betancourt Mesa**

Vicepresidente Ejecutivo Proyectos e Ingeniería

**Jorge Andrés Tabares Ángel**

Vicepresidente Ejecutivo Finanzas Corporativas e Inversiones

**Carlos Alberto Solano Bonnet**

Vicepresidente Generación Energía

**Inés Helena Vélez Pérez**

Vicepresidenta Transmisión y Distribución Energía

**Carlos Israel Orduz Aguilar**

Vicepresidente Gas

**Santiago Ochoa Posada**

Vicepresidente Agua y Saneamiento

**William Giraldo Jiménez**

Vicepresidente Proyectos Generación Energía

**Juan Felipe Valencia Gaviria Fernández**

Vicepresidente Comercial

**Alejandro Jaramillo Arango**

Vicepresidente Crecimiento Negocios

**Mónica María Ruíz Arbeláez**

Vicepresidenta Estrategia y Planeación

**Alejandra Vanegas Valencia**

Vicepresidenta Talento Humano y Desarrollo Organizacional

**Ana Milena Joya Camacho**

Vicepresidenta Suministros y Servicios Compartidos (e)

**Jhon Alexander Sánchez Pérez**

Vicepresidente Asuntos Legales

**Eduardo Osorio Lozano**

Vicepresidente Comunicación y Relaciones Corporativas

**Andrés Felipe Uribe Mesa**

Vicepresidente Riesgos

**Óscar Alberto Cano Castrillón**

Vicepresidente Auditoría Corporativa

## **Edición y coordinación de la Revista EPM:**

**Carlos Mario Montoya Díaz**

Dirección Desarrollo del Talento Humano

**Luz Beatriz Rodas Guerrero**

Dirección Desarrollo del Talento Humano

**José Ignacio Murillo Arango**

Gerencia Comunicación Corporativa

**Paola Andrea Valencia Valencia**

Gerencia Identidad Corporativa

**Amparo Elisa Peña Peña**

**Ana María Bustamante Moreno**

**Dahianna Elisey Vanegas Moreno**

**Lady Johana Romero Herrera**

Biblioteca EPM - Fundación EPM

Periodicidad: semestral

Solicitud de Canje a:

Biblioteca EPM

Carrera 54 No.44-48 Plaza de Cisneros

Teléfono: 3807500

Bibliotecaepm@epm.com.co

Medellín – Colombia

Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

Carrera 58 No. 42 – 125 Apartado 940

E-mail: epm@epm.com.co Tel: 3808080

Medellín – Colombia

www.epm.com.co

© Copyright: Empresas Públicas de Medellín E.S.P. No está permitida su reproducción por ningún medio impreso, fotostático, electrónico o similar, sin la previa autorización escrita del titular de los derechos reservados. Las opiniones expresadas por los autores en este número corresponden a su posición personal.

## Presentación

Una vez más la Revista EPM pone a disposición de los lectores el trabajo intelectual y experiencial de su gente al servicio de la comunidad académica y, en general, de todas las personas que se interesan por acercarse a la multiplicidad de conocimientos y prácticas que hay detrás de la prestación de los servicios públicos.

Esta nueva edición, al igual que las anteriores, presenta un balance entre temas técnicos y otros temas de corte “blando” en donde lo que se pretende es compartir con las empresas algunas prácticas que pueden eventualmente ser replicadas en sus procesos.

En el artículo “Modelo bidimensional hidrodinámico de condiciones máximas en el Embalse La Fe y caso de erosión” los autores muestran el resultado de la modelación total del embalse La Fe y su aplicación en un caso puntual para la restauración y el uso sostenible de este sistema hídrico ubicado en el Retiro, Antioquia.

Un “abrebocas”, parafraseando a sus autores, para dar un vistazo a nivel global de a las tendencias en subestaciones digitales y de su mercado financiero se encuentra en el artículo que lleva el título “Subestaciones digitales, una apuesta al futuro”. La demanda energética a nivel mundial cada día crece más lo que implicará a las empresas del sector eléctrico un crecimiento a corto plazo de su infraestructura.

Conocer el análisis del cálculo de las fuerzas de empuje requeridas en la técnica de instalación sin zanja conocida como pipe jacking y cómo se ven afectadas dichas fuerzas debido a la variabilidad de los parámetros geotécnicos

en los suelos del Valle de Aburrá, se presenta en el artículo “Influencia de los parámetros geotécnicos del suelo en el cálculo de las fuerzas de empuje para la técnica pipe jacking”.

Otro texto de este número de la Revista EPM aborda la necesidad de contar con el conocimiento y la forma cómo se debe interactuar con equipos eléctricos y líneas de transmisión y, la forma en que los sistemas de puesta a tierra se comportan ante fallas eléctricas y descargas atmosféricas. Restricciones existentes y cuáles son los niveles de vulnerabilidad del cuerpo humano es lo que el autor comparte en el artículo llamado “Cómo los sistemas de puesta a tierra protegen la seguridad y vida de las personas que trabajan en los sistemas eléctricos de transmisión y distribución”.

Otros temas, con corte más “blando” son los presentados en “Estilos y efectividad en el liderazgo e intervención en los conflictos: análisis de equipos de proyectos en EPM”, en donde sus autores presentan los resultados obtenidos del estudio realizado en los equipos adhocráticos de los miembros de la Gerencia Ambiental y Social de EPM. Oportunidades de mejora relacionadas con las habilidades de conducción de los equipos de proyectos, el establecimiento de relaciones en los rasgos predominantes de liderazgo y negociación, y su relación con las recomendaciones establecidas por el PMI en torno a las habilidades blandas.

De otro lado, en el artículo “Es posible un entorno laboral incluyente” tres funcionarias de EPM presentan las acciones que ha puesto en práctica EPM, a través de las cuales busca

posibilitar un entorno laboral incluyente con equidad de oportunidades para las personas con discapacidad. Hacen un recorrido por los aprendizajes adquiridos en esta experiencia con el fin de contribuir a que otras empresas incorporen dentro de sus prácticas este proceso, aportando conjuntamente al alcance de los objetivos de desarrollo sostenible para contribuir a la construcción de una sociedad con equidad y participación para todos.

Terminamos esta edición con el artículo: "La tasa retributiva por vertimientos como instrumento económico". Su autora hace un recorrido por la normatividad existente, con sus aciertos y desaciertos, y lleva a reflexionar

sobre la necesidad de cambiar nuevamente el instrumento con una propuesta diferente con miras a corregir y mitigar la contaminación a las fuentes hídricas producto de las actividades antrópicas.

EPM sigue avanzando en sus programas y proyectos, y su recurso humano, enfocado en investigar, generar conocimiento y compartirlo, es factor fundamental para cumplir el propósito empresarial que nos hemos fijado: "Contribuir a la armonía de la vida para un mundo mejor".

**Comité Editorial Revista EPM**





# Contenido

## Modelo bidimensional hidrodinámico de condiciones máximas en el embalse La Fé y caso de erosión

Two-dimensional hydrodynamic model of maximum flow conditions and wind in the reservoir La Fe and erosion case



PAG.10



PAG.28

## Subestaciones digitales, una apuesta al futuro

Digital substation, a bet to future

## Estilos y efectividad en el liderazgo

e intervención en los conflictos: análisis de equipos de proyectos en EPM

Styles and effectiveness in leadership and conflicts intervention: analysis of project equipment in EPM



PAG.48



PAG.62

## Influencia de los parámetros geotécnicos del suelo en el cálculo de las fuerzas de empuje para la técnica pipe jacking

Influence of the geotechnical parameters of soil in the calculation of jacking forces for the pipe jacking technique





PAG.80

## Es posible un entorno laboral incluyente: experiencia EPM

An inclusive work environment is posible. EPM experience

## Cómo los sistemas de puesta a tierra, protegen la seguridad y vida de las personas que trabajan en los sistemas eléctricos de transmisión y distribución

How the grounding system, protect the human body against lightning, flashover and electrical fault.



PAG.98



PAG.118

## La tasa retributiva por vertimientos como instrumento económico

The tax rate for discharges as an economic instrument





# Modelo bidimensional hidrodinámico de condiciones máximas en el Embalse La Fe y caso de erosión

Two-dimensional hydrodynamic model of maximum flow conditions and wind in the reservoir La Fe and erosion case

**Andrés Camilo  
Cardona Zapata**

Unidad Gestión Infraestructura  
A&S - EPM

[andres.camilo.cardona@epm.com.co](mailto:andres.camilo.cardona@epm.com.co)

**Gloria Isabel  
Ramírez Bolívar**

Unidad Gestión Infraestructura  
A&S - EPM

[gloria.isabel.ramirez@epm.com.co](mailto:gloria.isabel.ramirez@epm.com.co)

## Resumen

El Embalse La Fe, ubicado en el municipio de El Retiro - Antioquia, hace parte de la infraestructura de EPM para el sistema de acueducto de la ciudad de Medellín y dentro del mismo, el viento y los cambios de niveles del agua generan en muchos casos la erosión de orillas y remoción de vegetación existente, amenazando con afectar en ocasiones predios privados. Por lo anterior, conocer el comportamiento hidrodinámico en

condiciones máximas de caudales y vientos dentro del embalse se convierte en insumo para toma de decisiones en el marco de la gestión para la sostenibilidad del embalse. Este artículo muestra el resultado de la modelación total del embalse y su aplicación en un caso puntual para la restauración y el uso sostenible de este sistema hídrico.

## Palabras clave:

Embalse La Fe, Erosión, Hidrodinámico, Restauración, Sostenibilidad, Medio ambiente.

## Key words:

Reservoir La Fe, Erosion, Hydrodynamic, Restoration, Sustainability, Environment.



## Introducción

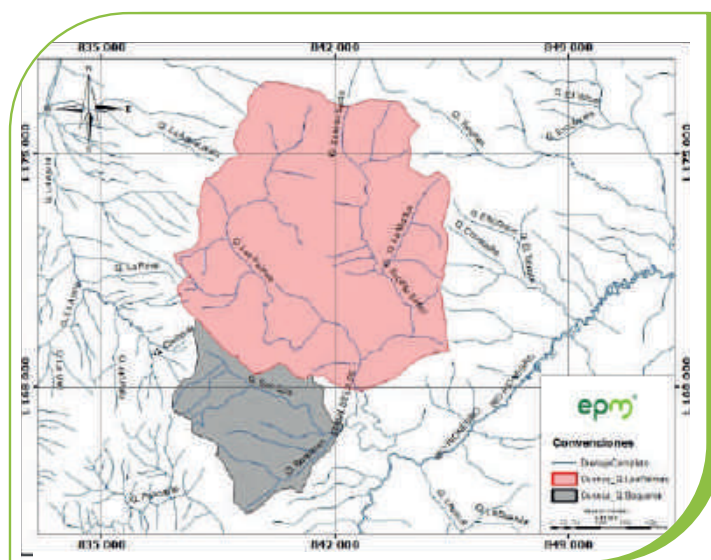
Actualmente se tiene gran preocupación por el deterioro del medio ambiente, manifestado en el cambio climático y variabilidad climática que alteran el comportamiento hidrológico e hidrodinámico de cuerpos de agua, provocando cambios en el entorno; por tal motivo, resulta de gran importancia conocer el funcionamiento hidrodinámico en cualquier ecosistema natural existente, y como parte de este conocimiento obtener la representación espacial del sistema

en función de las variables conocidas. Por su parte, los modelos bidimensionales que representan los fenómenos hidrodinámicos dentro de un sistema permiten entender, caracterizar y predecir comportamientos hidráulicos en volúmenes de agua como es el caso del embalse de interés. La gestión integrada de los recursos hídricos debe ir de la mano de acciones de preservación del medio ambiente y desarrollo económico.

## Localización y características morfológicas del Embalse La Fe

El Embalse La Fe, se encuentra ubicado al norte del municipio de El Retiro y al oriente de Medellín, es abastecido por la quebrada Las Palmas y en una menor cuantía por la quebrada Boquerón, ubicadas al norte y oeste del embalse, respectivamente. Las cuencas de la quebrada Las Palmas y quebrada Boquerón en su confluencia con el embalse La Fe, se encuentran ubicadas en suelo rural de la vereda El Salado del municipio de El Retiro (Antioquia), y limitan al norte con la cuenca de la quebrada Santa Elena, al oriente con la quebrada La Ayurá y al sur y oriente con el río Rionegro (Figura 1).

La cuenca de la quebrada Las Palmas y quebrada Boquerón al punto de confluencia con el Embalse La Fe son de gran tamaño, con aproximadamente 56,41 km<sup>2</sup> y 14,74 km<sup>2</sup>, respectivamente. Ambas cuencas presentan una pendiente en su morfología y del cauce del 4.40% y 8,85%, son cuencas de forma redondeada y el 75% y 46% de la extensión presenta pastizales, respectivamente, con lo anterior, predominando el coeficiente de escorrentía (French, 1988; Chow, 1994) para este tipo de suelo.

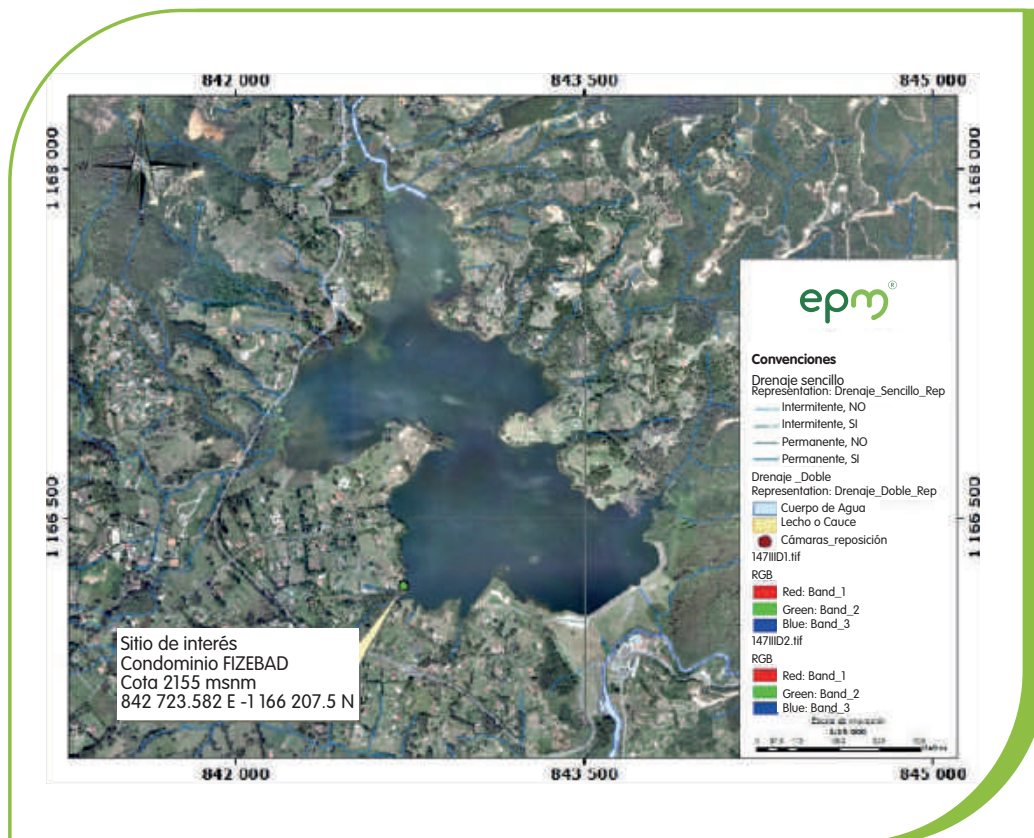


**Figura 1.** Localización general de las cuencas de estudio. Capas de Red hídrica, 2010. Recuperado de: <http://www.cornare.gov.co>

## Caso de interés

Desde el año 2018 se viene presentando un proceso de erosión de una de las márgenes ubicada en el costado suroccidental del Embalse La Fe, el cual se manifiesta como un proceso de

socavación y movimientos en masa del tipo caídos y que afectan los taludes existentes en la zona (Figura 2).



**Figura 2.** Ubicación específica del caso de estudio. Condominio FIZEBAD. Capas de Red hídrica y ortofoto, 2010. Recuperado de: <http://www.cornare.gov.co>, <https://www.medellin.gov.co/>

La margen de interés del Embalse se encuentra conformada por materiales meteorizados asociados al Complejo El Retiro, el cual agrupa rocas metamórficas de medio a alto grado que afloran entre las poblaciones de Medellín y El Retiro y lo conforman las unidades denominadas Anfibolitas de Medellín, Migmatitas de Puente Peláez, Neis Milonítico de Sajonia, Neis de La

Ceja y Granofels de Normandía (Rodríguez G, Gl, H. González I. y G. Zapata G, 2007). Los materiales expuestos en los taludes afectados corresponden principalmente a suelos limo arcillosos de color amarillo, los cuales hacen parte del perfil de meteorización de las rocas existentes en la zona, así mismo, sobre estos materiales se presentan cenizas volcánicas.



**Imagen 1.** Material vegetal removido por deslizamiento del talud.



**Imagen 2.** Material vegetal removido por deslizamiento del talud.



**Imagen 3.** Taludes verticales a causa de la erosión.



**Imagen 4.** Protección existente con llantas.

Desde el punto de vista morfológico, los márgenes del Embalse corresponden a colinas, las que se sumergen en la lámina del agua. En la actualidad, estas colinas presentan taludes los cuales se han formado en muchas ocasiones por procesos de socavación sucesivos en el sitio, asociados al oleaje que generan los vientos en

la superficie de agua del embalse (Imágenes 1,2,3 y 4).

Estos taludes poseen una pendiente entre 150 y el 300%, y en ocasiones esta es negativa debido a la caída constante de material.



## 1. Objetivos

Implementar un modelo bidimensional hidrodinámico del Embalse La Fe, como herramienta para la gestión sostenible del recurso hídrico, ante agentes externos como caudales y vientos máximos, con el fin de atender casos puntuales de erosión local, generando una solución sostenible con el medio ambiente. Para el desarrollo de este objetivo es necesario adelantar:

- Crear un modelo hidrodinámico del Embalse La Fe, teniendo en cuenta agentes externos

como caudales de ingreso, direcciones y magnitud de vientos.

- Analizar los resultados obtenidos para eventos máximos y en específico sobre un lote de interés.
- Diseñar una solución a la problemática de erosión puntual, la cual sea sostenible con el medio ambiente.

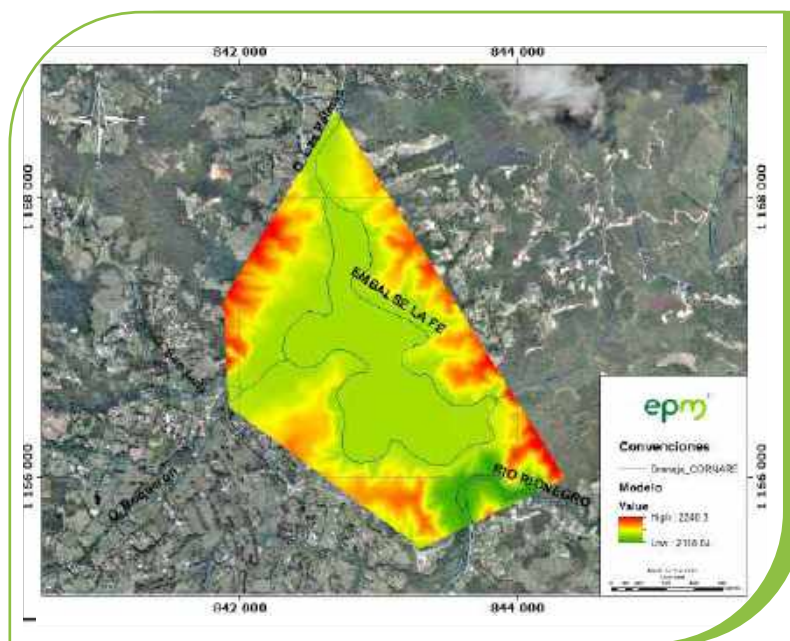
## 2. Metodología

### 2.1 Información primaria y secundaria

La topografía y batimetría del Embalse la Fe fueron realizadas por EPM a partir de información LIDAR (Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) compilada como Cartografía de Antioquia CARTOANTIOQUIA, realizada en el año 2010, batimetría realizada en

el año 2017 y topografía convencional realizada en el año 2019.

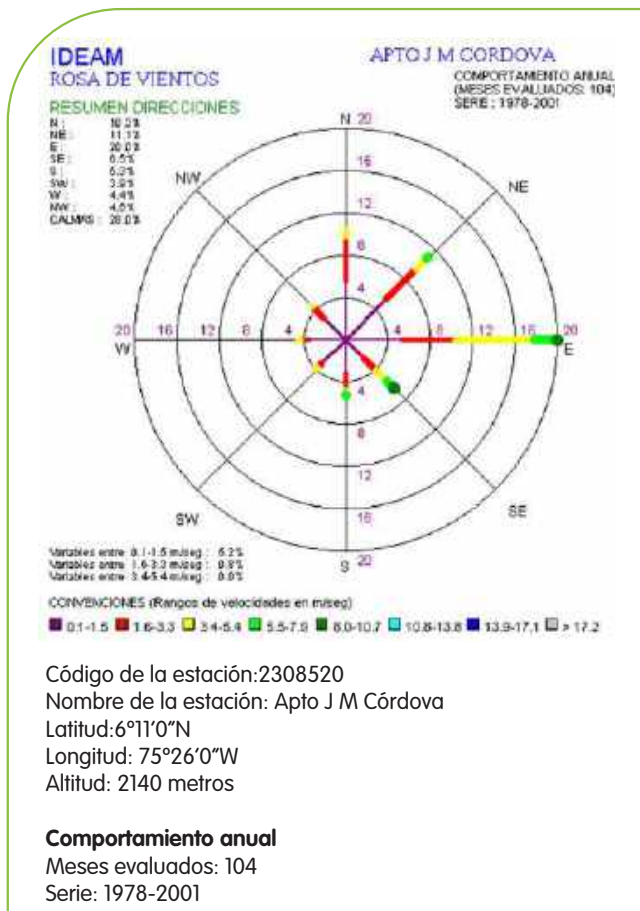
A partir del acople de la topografía y batimetría, se genera un ráster con ayuda de la herramienta Spatial Analyst del Software ARCGIS, con resolución de píxel de 1 m, valor elegido por la calidad de la información. (Figura 3)



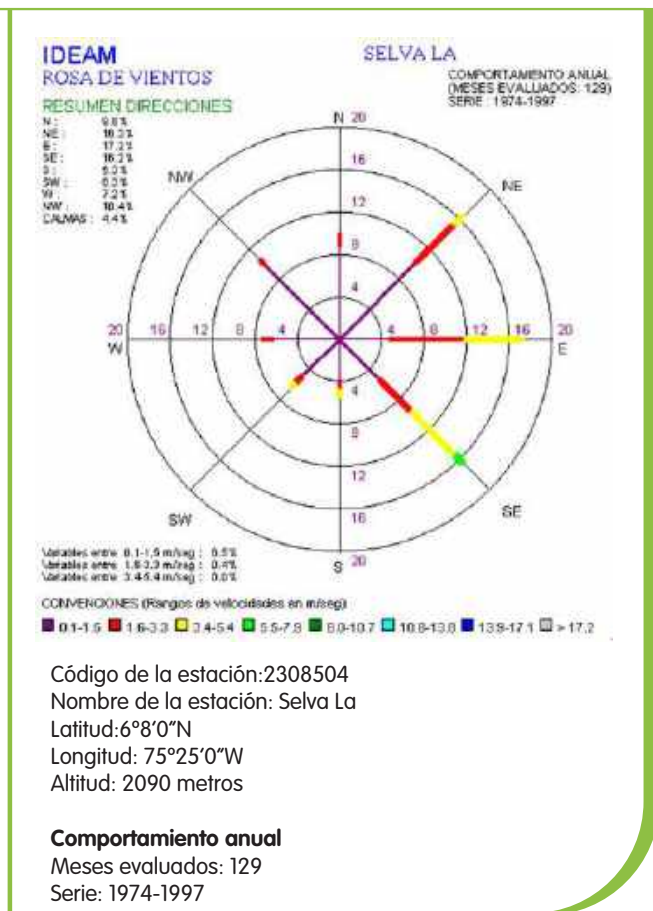
**Figura 3.** Rasterización Embalse La Fe. Capas de Red hídrica y ortofoto, 2010. Recuperado de: <http://www.cornare.gov.co>, <https://www.medellin.gov.co/>

Dentro del área de influencia de la Red Nacional del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, se tiene la construcción de la rosa de vientos interanual de valores de direcciones y magnitudes de velocidades de viento de las estaciones

meteorológicas Aeropuerto Jose María Córdoba entre los años 1978 – 2001 y La Selva, 1974 y 1997, ubicadas dentro del municipio de Rionegro. Se presenta una velocidad máxima en dirección Este-Oeste con magnitud entre 8,00 m/s y 10,70 m/s. (Figuras 4 y 5).



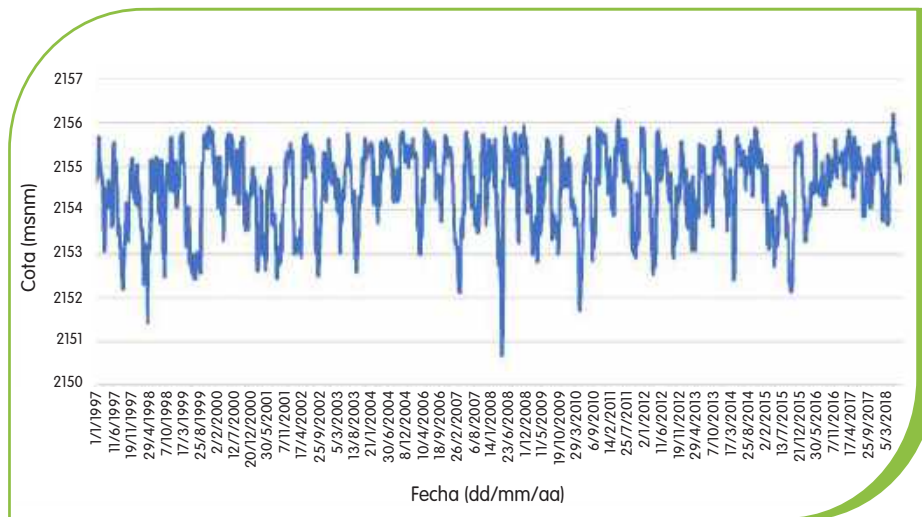
**Figura 4.** Rosa de vientos, estación Aeropuerto José María Córdoba. (2017). Recuperado de: <https://www.ideam.gov.co/>



**Figura 5.** Rosa de vientos, estación Aeropuerto La Selva. (2017). Recuperado de: <https://www.ideam.gov.co/>

Los niveles de agua en el Embalse La Fe, fueron suministradas por el sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos SCADA de EPM,

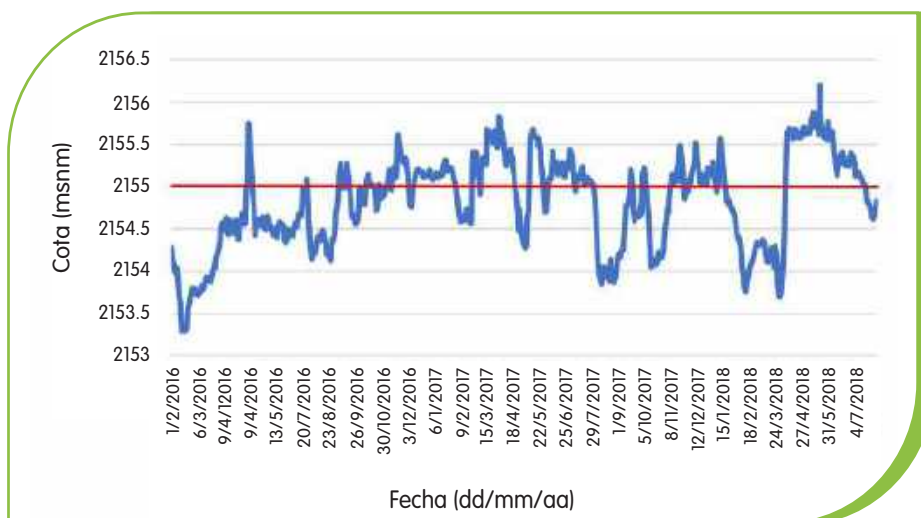
con información recopilada entre los años 1998 y 2018 (Gráfico 1).



**Gráfico 1.** Niveles de agua en el embalse la Fe 1998-2018.

Los niveles del agua dentro del Embalse La Fe entre los años 2016 a 2018, muestra un nivel promedio en la cota 2155 msnm, valor asumido como

condición inicial para el proceso de modelación (Gráfico 2).



**Gráfico 2.** Niveles de agua en el embalse la Fe 2016-2018.

## 2.2 Hidrología y Modelación bidimensional

Los parámetros morfométricos de cada una de las cuencas de estudio fueron estimados a partir de la base cartográfica CARTOANTIOQUIA,

realizada por EPM en el año 2012, con curvas de nivel distanciadas cada 2.0 metros (Tabla 1).



Parámetro	Las Palmas	Boquerón
Área (km <sup>2</sup> )	56,41	14,74
Perímetro de la cuenca (km)	29,57	16,62
Longitud del canal principal (m)	14,42	8,42
Cota máxima de la cuenca (msnm)	2790	2900
Cota de nacimiento (msnm)	2750	2890
Cota de salida (msnm)	2150	2150
Pendiente promedio del cauce (%)	4,40	8,85
Pendiente promedio de la cuenca (%)	4,16	8,79

**Tabla 1.** Parámetros morfométricos de la cuenca.

Del análisis hidrológico se obtienen los caudales máximo de cada una de las quebradas que drenan al Embalse, las cuales sirven como información base para la alimentación del IBER que es un software libre que cuenta con modelo matemático bidimensional desarrollado por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC) y el Instituto FLUMEN (Universitat Politècnica de Catalunya, UPC, y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE), el cual fue diseñado para la simulación de flujo en ríos y estuarios, en régimen permanente o transitorio, bajo la hipótesis de distribución de presión hidrostática y velocidad promediadas en la profundidad. Este modelo utiliza el método de discretización de volúmenes finitos para mallas estructuradas o no estructuradas y, adicionalmente,

soluciona esquemas apropiados para cambios de regímenes de flujo y frentes seco-mojado (frentes de inundación).

### 2.3 Definición de una solución a la problemática

Este software IBER, permite obtener modelos bidimensionales del desarrollo de condiciones de ingreso, salida, además de condiciones iniciales de variables como caudal y viento, en este caso dentro del Embalse La Fe, donde se analizan variables como velocidad y altura del agua promediada por oleaje, los resultados del comportamiento del embalse permiten identificar problemas generados en una de las orillas. Se procede a definir claramente una solución, orientada al desarrollo sostenible del embalse.

## 3. Resultados y análisis

### 3.1 Hidrología

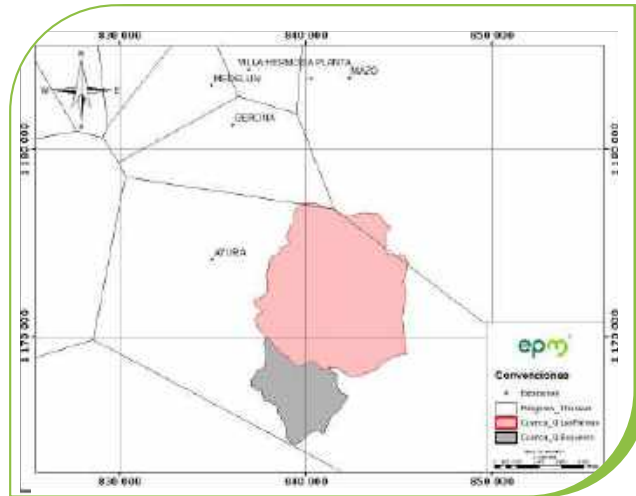
El tiempo de concentración se define como la duración del recorrido del agua desde el punto más alejado hidráulicamente de la cuenca

hasta el sitio de salida, o el tiempo necesario para que la totalidad de la cuenca aporte caudal en la salida. Es un parámetro sumamente importante, ya que define la intensidad de lluvia y la tormenta de diseño, al igual que parte de la

forma de los hidrogramas de salida. El tiempo de concentración para la cuenca de la quebrada Las Palmas y quebrada Boquerón es de 103 min y 54 min, respectivamente.

Debido a que las cuencas de interés no se encuentran instrumentadas, la estimación de

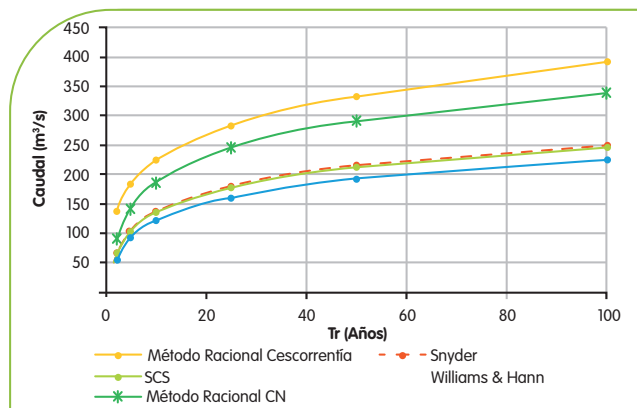
los caudales máximos se centra en métodos indirectos de lluvia – escorrentía, recurriendo a las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de las estaciones pluviométricas con incidencia en las cuencas de interés, para nuestro caso, la estación Ayurá y Mazo (Figura 6).



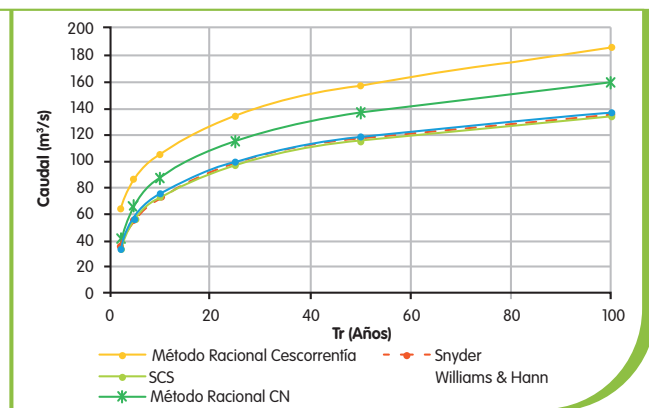
**Figura 6.** Área de influencia de las estaciones pluviométricas de EPM. Estaciones pluviométricas operadas por EPM, (2017). Recuperado de: <https://www.epm.com.co/>, <http://www.cornare.gov.co>

Teniendo en cuenta la distribución temporal de la intensidad de la lluvia, cobertura del suelo y pérdidas hidrológicas, se calculan los caudales máximos a partir de diferentes metodologías:

método racional, hidrógrafas sintéticas de Snyder, Soil Conservation Service (SCS) y Williams y Hann (Chow, 1994). (Gráficos 3 y 4).



**Gráfico 3.** Caudales máximos cuenca quebrada Las Palmas.



**Gráfico 4.** Caudales máximos cuenca quebrada Boquerón.

A partir de los caudales máximos estimados, se toman los valores obtenidos como el promedio de los valores obtenidos por las hidrógrafas

sintéticas, los cuales son aptos para cuencas mayores a 2,50 km<sup>2</sup> (Tablas 2 y 3).

Período de retorno	CN	Escorrentía	Hidrógrafas Unitarias (m <sup>3</sup> /s)			Caudal de diseño Q (m <sup>3</sup> /s)
	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Snyder	SCS	Williams & Hann	
<b>2.33</b>	91.03	137.57	65.99	60.04	54.81	60.28
<b>5</b>	141.28	183.72	103.04	101.83	93.11	99.32
<b>10</b>	185.82	222.99	135.75	134.30	122.48	130.84
<b>25</b>	245.48	283.67	179.63	177.76	161.76	173.05
<b>50</b>	291.64	333.33	214.62	211.33	192.91	206.29
<b>100</b>	338.72	392.62	250.39	245.53	224.72	240.21

**Tabla 2.** Caudales máximos Cuenca quebrada Las Palmas.

Período de retorno	CN	Escorrentía	Hidrógrafas Unitarias (m <sup>3</sup> /s)			Caudal de diseño Q (m <sup>3</sup> /s)
	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Snyder	SCS	Williams & Hann	
<b>2.33</b>	42.69	63.61	35.48	32.71	32.57	33.59
<b>5</b>	66.37	86.24	55.35	55.68	56.61	55.88
<b>10</b>	87.24	105.16	73.03	73.34	74.70	73.69
<b>25</b>	115.06	133.95	97.21	96.85	98.78	97.61
<b>50</b>	136.49	157.53	115.88	114.93	117.30	116.04
<b>100</b>	158.28	185.41	134.90	133.29	136.12	134.77

**Tabla 3.** Caudales máximos Cuenca quebrada Boquerón.



### 3.2 Modelo hidrodinámico bidimensional

El software IBER resuelve las ecuaciones de Saint Venant bidimensionales, incorporando los efectos de la turbulencia y rozamiento superficial del viento (Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez, E., Dolz, J., Coll, A., 2012). En las ecuaciones 1, 2 y 3 se presenta la formulación para la conservación de masa, momentum lineal en la dirección x y momentum lineal en la dirección y, promediadas en profundidad, respectivamente.

$$\frac{\delta h}{\delta t} + \frac{\delta h U_x}{\delta x} + \frac{\delta h U_y}{\delta y} = 0$$

■ Ecuación 1.

$$\frac{\delta}{\delta t} (h U_x) + \frac{\delta}{\delta x} \left( h U_x^2 + g \frac{h^3}{2} \right) + \frac{\delta}{\delta y} (h U_x U_y) = -g h \frac{\delta Z_b}{\delta x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{\delta}{\delta x} \left( v_t h \frac{\delta U_x}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left( v_t h \frac{\delta U_x}{\delta y} \right)$$

■ Ecuación 2.

$$\frac{\delta}{\delta t} (h U_y) + \frac{\delta}{\delta x} \left( h U_x^2 + g \frac{h^3}{2} \right) + \frac{\delta}{\delta y} (h U_x U_y) = -g h \frac{\delta Z_b}{\delta x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{\delta}{\delta x} \left( v_t h \frac{\delta U_x}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left( v_t h \frac{\delta U_x}{\delta y} \right)$$

■ Ecuación 3.

Donde  $h$  es la profundidad del flujo,  $U_x$ ,  $U_y$  son velocidades en la dirección x y y respectivamente,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $\rho$  es la densidad del agua,  $Z_b$  es la cota del fondo,  $\tau_s$  es la fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento (en este caso despreciable),  $\tau_b$  es la fricción debida al rozamiento del fondo y  $v_t$  es la viscosidad turbulenta.

### 3.3 Modelos de turbulencia

El software IBER presenta diferentes modelos de solución para la turbulencia, entre los cuales está el modelo de viscosidad turbulenta constante, modelo parabólico, longitud de mezcla y k-ε de Rastogi y Rodi, siendo este último el más usado debido que considera la energía cinética turbulenta (k) y la tasa de disipación de energía turbulenta (ε). En las ecuaciones 4 y 5, se presenta la formulación para dicho modelo de turbulencia (Bladé, y otros, 2012).

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\delta U_x k}{\delta x} + \frac{\delta U_y k}{\delta y} = \frac{\delta}{\delta x_j} \left( \left( v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\delta k}{\delta x_j} \right) + 2 v_t S_{ij} S_{ij} + c_k \frac{u_f^3}{h} - \epsilon$$

■ Ecuación 4.

$$\frac{\delta \epsilon}{\delta t} + \frac{\delta U_x \epsilon}{\delta x} + \frac{\delta U_y \epsilon}{\delta y} = \frac{\delta}{\delta x_j} \left( \left( v + \frac{v_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\delta \epsilon}{\delta x_j} \right) + c_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} 2 v_t S_{ij} S_{ij} + c_\epsilon \frac{u_f^4}{h^2} - c_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{k}$$

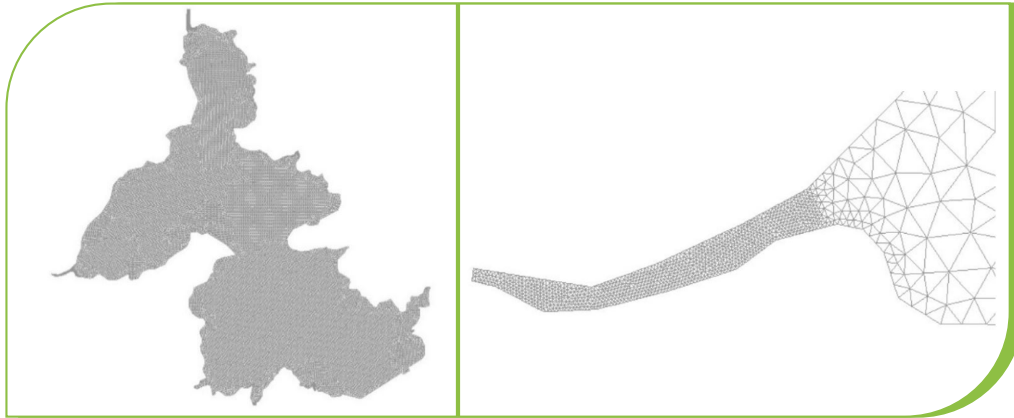
■ Ecuación 5.

Donde:

$$v_t = c_\mu \frac{k^2}{\epsilon}, \quad c_k = c_f^{-1/2}, \quad c_\epsilon = 3.6 c_k^{3/2} c_\epsilon 2 c_\mu^{1/2}, \quad c_f = \frac{\tau_b}{\rho |U|^2}$$

$$c_\mu = 0.09, \quad c_\epsilon = 1.44, \quad c_{\epsilon 2} = 1.92, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\epsilon = 1.31$$

El mallado de la superficie se realizó a partir de la construcción de un mallado no estructural (Cea, L., & Blade, E., 2015) (Figura 7) con tamaño de celda 10m para el Embalse La Fe y 2m para los cauces de las quebradas Las Palmas y Boquerón (Figura 8), para un total de 33747 elementos triangulares y 17531 nodos.



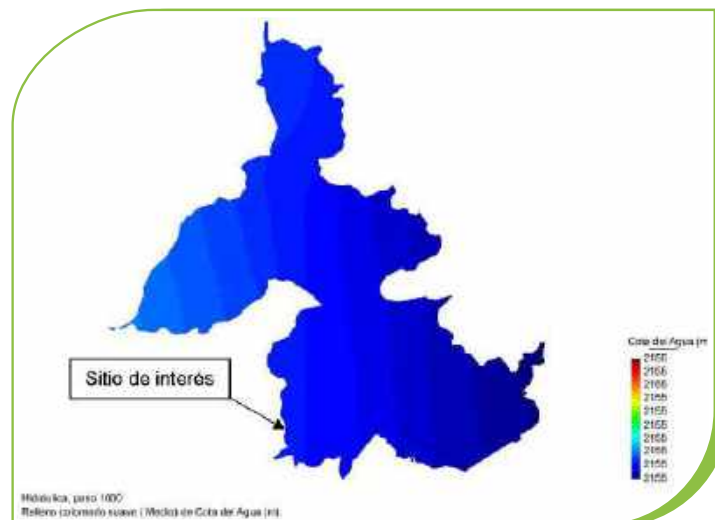
**Figura 7.** Mallado no estructurado embalse La Fe. IBER.

**Figura 8.** Diferentes tipos de tamaño de mallado para los cauces de la quebrada Las Palmas y Boquerón. IBER.

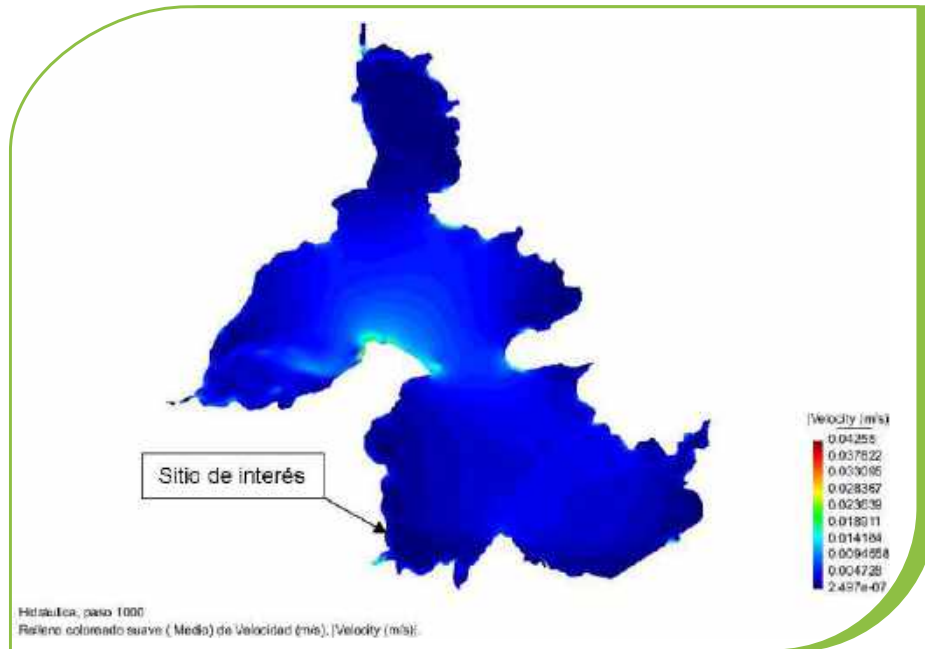
### 3.4 Resultados Modelo Hidrodinámico

La simulación se realizó durante 1000 s, con reporte cada 5 s, el límite seco-mojado, es decir, el inundar una celda adyacente a causa de una profundidad en dicha celda, fue asumida como 0.01 m, además de tener en cuenta el efecto Coriolis, dado el tamaño del Embalse.

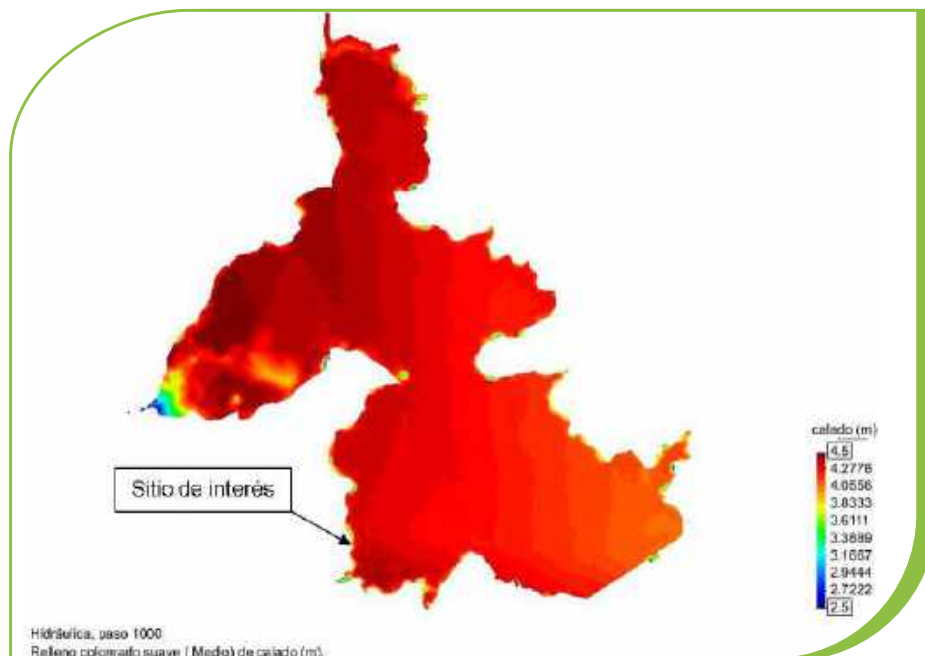
Bajo la condición inicial de cota de embalse, el modelo inicia su simulación con un volumen total de 5'825.838 m<sup>3</sup>. La solución del modelo toma un tiempo total de 26 min. Se presenta oleaje predominantemente en dirección Este-Oeste (oriente – occidental), con alturas de ola que oscilan entre 10 a 20 cm y con velocidades inferiores a 0.1 m/s (Figura 10).



**Figura 9.** Resultados cota del agua en el Embalse La Fe.



**Figura 10.** Velocidades máximas en el Embalse La Fe.



**Figura 11.** Profundidad del agua en el Embalse La Fe.



### 3.5 Medidas de protección planteadas

Considerando los resultados obtenidos en relación con las velocidades que se esperan en la superficie del agua, asociadas al oleaje que llega hasta los taludes se proponen como medidas de mitigación al fenómeno la protección del talud con coberturas vegetales con las cuales se busca minimizar el impacto ambiental y visual de la solución.

Como se había mencionado anteriormente, la zona de interés con afectaciones puntuales corresponde a una margen caracterizada por la existencia

de taludes con alturas variables y pendientes de hasta el 100% y superficies irregulares.

La zona ubicada al sur se caracteriza por su baja altura (entre 2 y 4,5 metros) (Figura 12), en esta zona la erosión genera superficies cóncavas (Figura 14). Por su parte, la zona localizada al norte (Figura 12), presenta un talud con alturas de hasta 13 metros y una pendiente mucho mayor que la existente en el sector sur. En esta última, las afectaciones son más evidentes con la existencia de materiales caídos y árboles que amenazan su desplome.

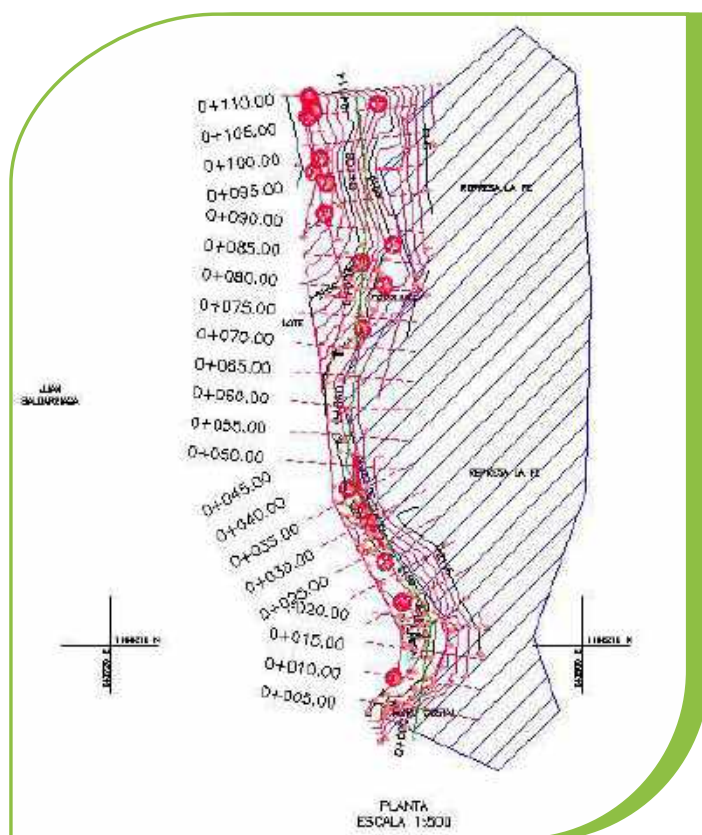


Figura 12. Topografía sitio interés, 2019.



Figura 13. Sección transversal 0+085 m.

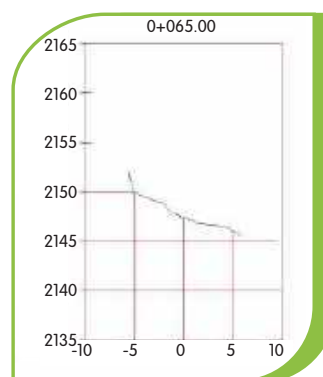


Figura 14. Sección transversal 0+065 m.

Considerando las condiciones antes mencionadas, la implementación de soluciones que impliquen obras de ingeniería está limitada por complicaciones de accesibilidad en la zona (sector norte), por otro lado, este tipo de soluciones resulta tener un impacto visual en las márgenes del embalse, debido al uso del concreto u otros elementos artificiales. Por su parte, una solución con elementos de bioingeniería favorece las condiciones ambientales en el entorno del embalse.

Para el sitio de afectación se está proponiendo el uso específico de especies gramíneas para la protección ante procesos erosivos, en este caso se trata de vetiver (*Chrysopogon zizanioides* o *Vetiveria zizanioides*) el cual provee un solución armoniosa con el medio ambiente, de larga duración y bajo costo, que ha sido analizada en numerosos estudios como una alternativa ante la protección de oleajes tanto en costas marinas, ríos (oleajes por embarcaciones) y embalses, lo cual es en este caso la principal causa del fenómeno de erosión.

De acuerdo con el análisis realizado en el modelo hidrodinámico para el sector específico de interés se presentan velocidades del agua dentro del embalse (asociadas al oleaje) inferiores a 0.10 m/s, las cuales se esperan reducir para contrarrestar sus efectos sobre los taludes actualmente expuestos (sin vegetación). En este caso el vetiver o la vegetación suele usarse en condiciones donde la velocidad del agua está por debajo del 1.5 m/s, la cual es la condición de la zona de interés.

El vetiver por su parte es una planta la cual con sus raíces genera un aparente incremento en la

resistencia del suelo por lo que su uso es común en el control de procesos erosivos; así mismo, posee características especiales en su relación con el agua pudiendo soportar hasta 3 meses sumergida en río o embalses (Imagen 5), condición que se puede presentar en algunas situaciones de llenado del embalse, igualmente, se trata de una especie vegetal no invasiva, lo que favorece su uso de manera puntual y por último puede ser tolerante a las temperaturas que se presentan en la zona de El Retiro.



**Imagen 5.** Condiciones de trabajo del vetiver en reservorios de agua o embalses. (Vetiver system for dam, pond and lake bank stabilization, 2017. Recuperado de: <https://www.vetiver.org/>)

Considerando que en la zona se tienen taludes, los cuales se encuentran en una condición de alta pendiente, el procedimiento para implementación incluirá la perfilación de estos en lo posible con el fin de generar una superficie apropiada para la siembra del pasto.

## Conclusiones

- A partir de información primaria y secundaria, se realiza un estudio hidrológico de caudales máximos para las cuencas de la quebrada Las Palmas y quebrada Boquerón que abastecen el embalse La Fe, los caudales para un tiempo de retorno de 100 años son 240.21 m<sup>3</sup>/s y 134.77 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, calculados como el promedio de las hidrógrafas sintéticas de Snyder, SCS y Williams y Hann.
- Se construye un ráster y posterior mallado no estructurado con tamaño de celda de 10 m para el Embalse la Fe y 2 m para los cauces de la quebrada Las Palmas y quebrada Boquerón. A partir de los niveles históricos se define una cota de agua en el embalse como condición inicial y caudales y vientos máximos como condiciones de contorno. Se resuelven las ecuaciones bidimensionales de Saint-Venant bajo el modelo de turbulencia.
- Se presentan resultados espaciales de cota del flujo (msnm), velocidades (m/s) y profundidades del agua (m) como solución promediada en profundidad del embalse. Le generan olas en dirección Este-Oeste, con profundidades que oscilan entre 10 a 20 cm, y velocidades inferiores a 0.1 m/s.
- A partir del modelo bidimensional, se establece una solución vegetal con el uso de especies gramíneas de tipo vetiver, para la protección de procesos erosivos con alta durabilidad y bajo costo de instalación.

## Agradecimientos

Especial agradecimiento al ingeniero Juan Camilo Hernández Díaz, profesional Operaciones Negocios, Unidad de Producción Aguas, por sus aportes técnicos a esta problemática.

## Referencias

- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez, E., Dolz, J., Coll, A. (2012). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. En: Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería, 40, 1-10.
- Cea, L., & Blade, E. (2015). A simple and efficient unstructured finite volume scheme for solving the shallow water equations in overland flow applications. En: Water Resources Research (51), 1-23.



- Chow, V. T. (1994). Hidrología aplicada (Primera ed.). Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- French, R. H. (1988). Hidráulica de canales abiertos (Primera ed.). México D.F., México: McGraw-Hill.
- Rodríguez, G., González, H. y Zapata, G. (2007). Complejo El Retiro, cordillera central, Colombia, En: Bolefín Ciencias de la Tierra, (22), p.101-122. ISSN electrónico 2357-3740. ISSN
- Vetiver. (2017). Vetiver system for dam, pond and lake bank stabilization. Recuperado de: <https://www.vetiver.org/>



### Cómo citar este artículo:

Cardona Zapata, A. y Ramírez Bolívar, G. (2020). Modelo bidimensional hidrodinámico de condiciones máximas en el Embalse La Fe y caso de erosión. Revista EPM, (15), p. 10-27.





# Subestaciones digitales, una apuesta al futuro

Digital substation, a bet to future

**Juan Camilo  
Peña Suárez**

Gerencia Proyectos Subestaciones y  
Líneas EPM

juan.pena.suarez@epm.com.co

**Ana Isabel  
Vanegas Restrepo**

Gerencia Proyectos Subestaciones  
y Líneas EPM

ana.vanegas@epm.com.co

## Resumen

La demanda energética a nivel mundial cada día crece más, esto se ve reflejado en el continuo crecimiento poblacional y el aumento del consumo eléctrico por persona, lo que implicará a las empresas del sector eléctrico un crecimiento a corto plazo de su infraestructura. Para encarar esta nueva dinámica, en la última década han tomado fuerza las subestaciones digitales, las cuales han

demostrado múltiples beneficios en cuanto a la agilidad, economía, seguridad, confiabilidad y menor impacto ambiental en la construcción y expansión de subestaciones eléctricas nuevas y existentes. En este artículo se explica y se da un abrebocas a las subestaciones digitales, se da un vistazo a nivel global de esta tendencia y de su mercado financiero.

## Palabras clave:

Subestaciones digitales, Bus de estación, Bus de proceso, IEC-61850-8-1, IEC-61850-9-2, Valores Medidos Muestreados (SMV), Especificación de Mensaje Fabricados (MMS), Eventos de Subestación Orientados a Objetos Genéricos (GOOSE), Merging Unit (MU).

## Key words:

Digital substation, Station bus, Process bus, IEC 61850-8-1, IEC 61850-9-2, Sampled Measurement Values (SMV), Manufacturing Message Specification (MMS), Generic Object Oriented Substation Events (GOOSE), Merging Unit (MU).



## Convenciones

**IEC 60870-5-101:** Norma internacional para el monitoreo de los sistemas de energía, sistemas de control y comunicaciones asociadas. Serial y asincrónico.

**IEC 60870-5-104:** Extensión del protocolo IEC 101 con cambios en la capa de transporte, red, enlace y física, para garantizar la totalidad de accesos a la red.

**DNP3:** Protocolo industrial para comunicar los IED con estaciones de control y componentes SCADA.

**IEC 61850:** Estándar para la automatización de subestaciones.

**MMS-GOOSE-SMV:** Protocolos del estándar IEC 61850.

## Introducción

La demanda energética de la población mundial está en aumento y la Agencia Internacional de la Energía (AIE) anuncia un crecimiento en el consumo de energía de más del 30% para el año 2040, el equivalente a añadir otra China y otra India a la demanda global (Delgado, C, 2017). Este crecimiento se da porque cada vez existen más dispositivos electrónicos por persona y a su vez hay más habitantes en el mundo, ocasionando un aumento en la demanda de este recurso. Para soportar ese aumento en la demanda, debe crecer la oferta y, así mismo, la infraestructura del sistema eléctrico de potencia, tanto en generación, como en transmisión y distribución.

La infraestructura puede seguir creciendo de manera convencional o pasar a una era digital que proporciona ventajas y beneficios a los operadores y a sus clientes, y las subestaciones digitales hacen parte de esta evolución.

Las subestaciones digitales permiten reducir enormemente la cantidad de cable de cobre utilizado en una subestación eléctrica, como es el caso del transporte de señales desde equipos de

patio hasta la sala de control. Estas subestaciones digitalizan la información proveniente de equipos de patio y la conducen hasta donde es requerida a través de un único cable de fibra óptica, lo que se traduce en un sinfín de beneficios como menor espacio y gabinetes requeridos, mayor cantidad de información y facilidad de instalación, así como, disminución de tiempo en las pruebas para puesta en funcionamiento, entre otros. Aunque estos beneficios sugieren un ahorro, los costos asociados a los nuevos cables de fibra, los equipos de comunicaciones, y el nivel de redundancia para garantizar la confiabilidad en la operación, deben ser evaluados para alcanzar la viabilidad de implementar una subestación digital.

Empresas Públicas de Medellín (EPM), dentro de sus objetivos estratégicos de Gestión del Conocimiento, actualmente está en la etapa de diseño para la construcción de la nueva Subestación Eléctrica Santa Rosa, la primera subestación digital, llevando al Grupo EPM a asumir los nuevos retos del sector, contribuyendo a la era de la gestión digital en energía eléctrica en Colombia, fomentando el desarrollo y la competitividad.

## 1. ¿Qué es una subestación eléctrica?

Una subestación eléctrica es una instalación, o conjunto de dispositivos eléctricos, que forma parte de un sistema eléctrico de potencia. Su principal función es la conversión, regulación y distribución de la energía eléctrica. La subestación debe modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica, para que la energía pueda ser transportada y distribuida. Estas subestaciones presentan sistemas de control, protección y medición que garantizan su correcto funcionamiento, además, ayudan a reducir el riesgo y evitar accidentes eléctricos.

Estas subestaciones están compuestas por diferentes equipos: los equipos de patio, encargados de la medida y la manipulación

del flujo eléctrico; los dispositivos de control y protección, encargados de recibir la información de patio y tomar decisiones locales con el objetivo de controlar el flujo de energía; y los equipos de monitoreo, encargados de visualizar, vigilar, supervisar y controlar de manera remota el funcionamiento de toda la subestación. En cuanto al nivel de tensión se refiere, las subestaciones eléctricas se dividen en subestaciones de transmisión (niveles de tensión iguales o superiores a 220kV) y subestaciones de distribución (niveles de tensión inferiores a 220kV).

## 2. ¿Qué es una subestación digital?

Una subestación digital no se refiere a que el flujo de energía primario sea digital, sino a que toda la información que fluye entre protecciones, controles, mediciones, condiciones de monitoreo, sistemas de registro y supervisión asociadas con ese flujo de energía, sea completamente digital (Varghese, A, 2018).

En términos generales, una subestación digital es una subestación eléctrica en donde la mayoría de los datos disponibles relacionados con el flujo de energía son digitalizados en el punto donde son medidos. Al digitalizar las señales, el intercambio de datos entre dispositivos ocurre a través de ethernet, logrando transmitir gran volumen de información a través de pocos cables de fibra óptica, a diferencia de los muchos de kilómetros

de cableado de cobre que puede existir en una subestación convencional (McGinn, D. 2009), a este cable de fibra óptica de alta velocidad se le conoce como bus, debido a que este mismo medio transporta información de varios nodos o equipos finales. En las subestaciones digitales se presentan dos buses, el bus de estación y el bus de proceso.

La arquitectura de una subestación digital está dividida en tres niveles, el primero es el nivel de proceso, en donde se encuentran los equipos de patio como, seccionadores, transformadores de corriente, transformadores de voltaje, interruptores, transformadores de potencia y Merging Units (MU); estas últimas son las encargadas de digitalizar las señales

de los equipos de patio mencionados. En el nivel intermedio está el nivel de bahía, y allí se encuentran los equipos de protección y control del flujo eléctrico, conocidos como Intelligent Electronic Device (IED), ubicados en la sala de control, los cuales reciben la información de patio a través de las MU. En el nivel más alto, nivel de estación, se encuentran los equipos de monitoreo, como los PC de gestión, Interfaz Hombre Máquina (IHM), los equipos de control remoto como los Controladores de Subestación (CSE) y estampadores de tiempo, conocidos como GPS. En la Figura 1, se observan los equipos y los niveles mencionados.

## 2.1 Nivel de proceso

Es el encargado de medir variables y actuar sobre equipos para mantener la operación deseada del flujo eléctrico, esta información se digitaliza y se transmite al nivel superior para ser interpretada y procesada. En este nivel se realizan las acciones de control como apertura y cierre de

interruptores, seccionadores en caso de fallas o inconvenientes, estas acciones también pueden ser llevadas a cabo por niveles superiores.

## 2.2 Nivel de bahía

En este nivel los IED reciben la información proveniente del nivel de proceso y estos equipos se encargan de revisar en todo momento que el flujo eléctrico se encuentre en condiciones normales, tan pronto existe una anomalía se toman acciones correctivas. Existen equipos para protección y otros para control, los primeros actúan y los segundos informan sobre los equipos de patio.

## 2.3 Nivel de estación

Este nivel contiene estaciones de operación e ingeniería, así como el controlador de subestación, los cuales son usados para operar, monitorear, controlar y adquirir datos de la subestación.

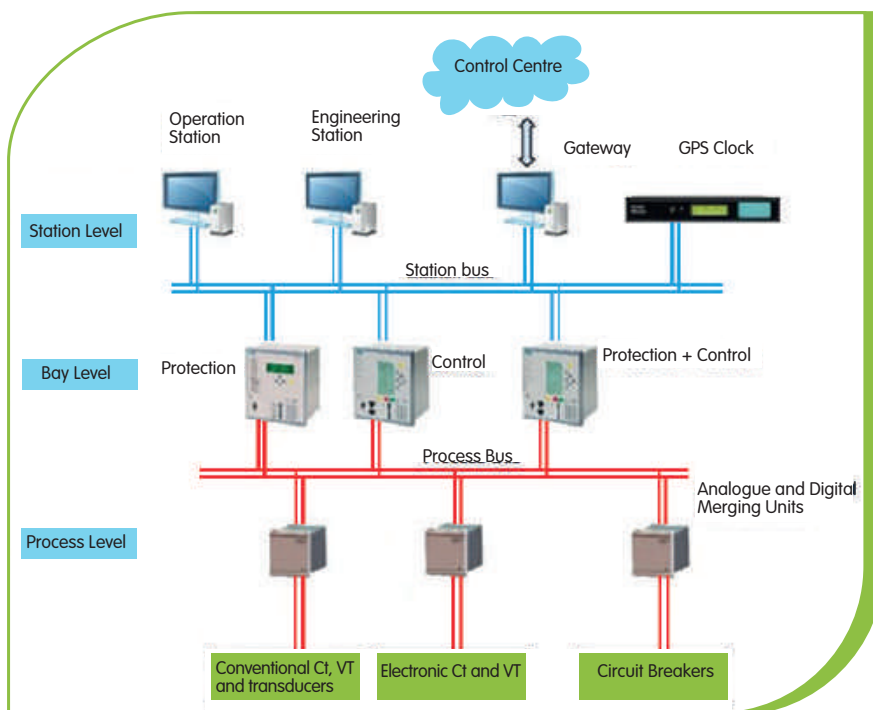


Figura 1. Arquitectura subestación digital.

### 3. Comparación entre subestaciones convencionales, modernas y digitales

#### 3.1 Subestación convencional

Las subestaciones convencionales presentan desventajas frente a las subestaciones modernas y digitales debido a que presentan una limitación en la cantidad de información transmitida por sus conexiones físicas, aumento de posibles puntos de falla, requieren mayores recursos en personal y en tiempo para ingeniería, instalación y comisionamiento. En cuanto al principio de funcionamiento de sus equipos de control y protección (relés), si son electromecánicos, presentan menor sensibilidad, son ruidosos, tienen altos índices de mantenimiento y son

más voluminosos, implicando mayor espacio en gabinetes y en área física. Si, por el contrario, los relés son de estado sólido sin microprocesador, su exactitud y rango dinámico están limitados por sus componentes electrónicos.

Otro aspecto de las subestaciones convencionales es que los equipos de patio, usados para la medición de corriente y voltaje, son grandes, pesados y voluminosos, y requieren constante mantenimiento para pruebas y calibraciones. En la Imagen 1, se observan los principios de funcionamiento de los relés.



Imagen 1. Relés. a) Electromecánico b) Estado sólido c) Microprocesador

#### 3.2 Subestación moderna

En las subestaciones modernas se comienza a presentar digitalización de los datos en los niveles de bahía y estación. En el nivel de estación, la información se transmite por estándares ágiles y veloces como ethernet, y se sustituyen grandes cantidades de equipos por otros de menor tamaño y con mayores capacidades de computo, generando reducción de espacio. En este tipo de subestaciones se crea el bus de estación, y sobre

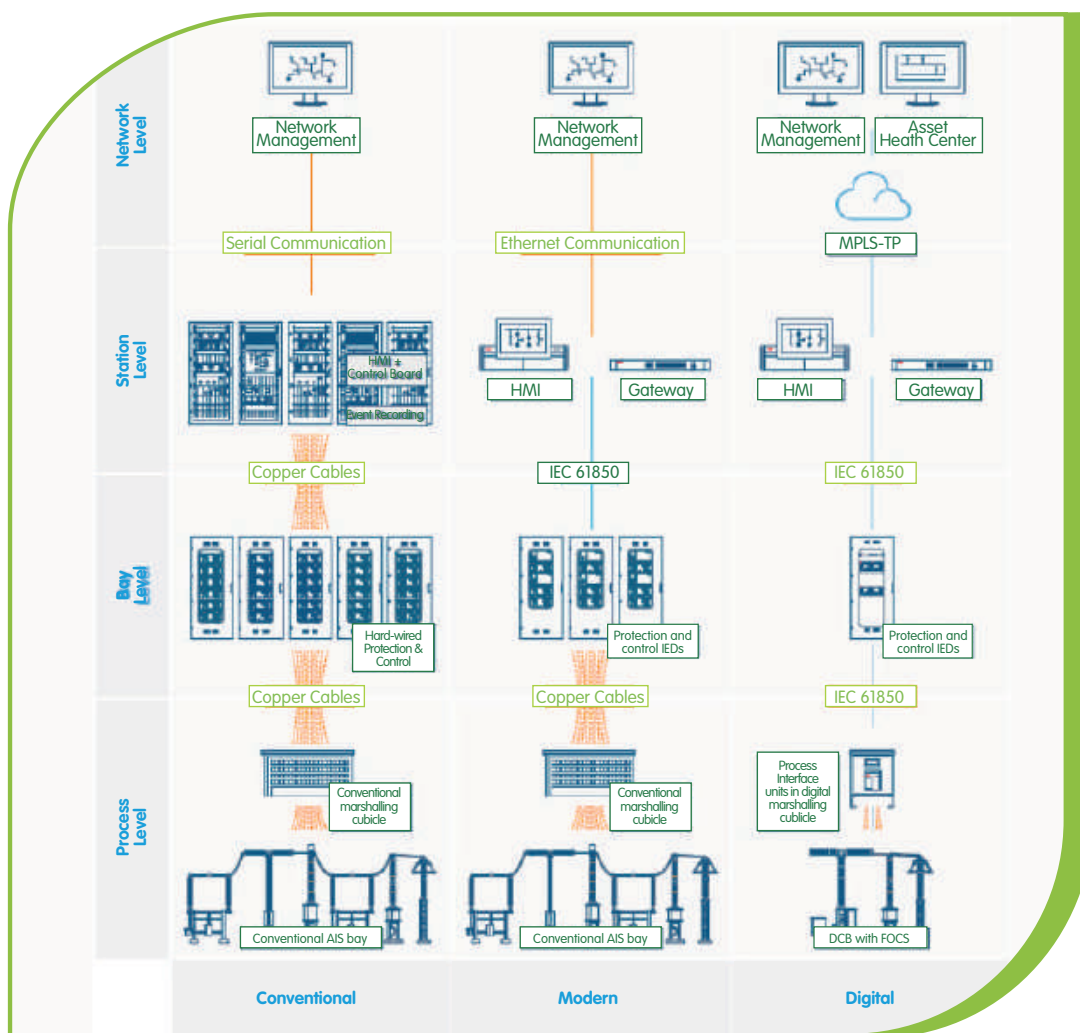
este se implementa el estándar IEC 61850, el cual permite la comunicación entre equipos de nivel de bahía y nivel de estación por un solo medio compartido, un cable de fibra óptica. En el nivel de proceso este tipo de subestación es similar a una convencional, en donde se utilizan equipos de patio tradicionales que entregan sus señales de manera análoga y digital, y la conexión con los equipos de control y protección, también se realiza de manera convencional, cable de cobre por cada señal.



### 3.3 Subestación digital

Este tipo de subestación digitaliza toda la información suministrada por los equipos de patio y en todos los niveles de la subestación se implementa el estándar IEC 61850. En el nivel de procesos se puede contar con equipos convencionales u ópticos, los primeros realizan la digitalización de información a través de las

MU, y los segundos, lo hacen con los mismos equipos tan pronto realizan la medición. En este tipo de subestación se crea el bus de estación y el bus de proceso, el primero comunica el nivel de estación con el de bahía, y el segundo el nivel de bahía con el nivel de proceso (Hodder, S, 2009). En la Figura 2, se visualiza la comparación entre estos tres tipos de subestación.



**Figura 2.** Comparación entre subestación convencional, moderna y digital. Recuperado de: [https://new.abb.com/docs/librariesprovider78/eventos/jfts-2017/presentaciones-peru/\(thiago-lopez\)-subestaciones-digitales---bus-de-proceso.pdf?sfvrsn=2](https://new.abb.com/docs/librariesprovider78/eventos/jfts-2017/presentaciones-peru/(thiago-lopez)-subestaciones-digitales---bus-de-proceso.pdf?sfvrsn=2)

## 4. Estándar IEC 61850

IEC 61850 no es solo un nuevo protocolo de comunicación, sino que abarca todos los aspectos para diseñar, operar y mantener una subestación en lo relativo a control y protección, incluyendo la arquitectura, configuración, modelos de datos, requisitos eléctricos y medioambientales. En la primera versión IEC 61850 fue un estándar basado en redes de comunicaciones y sistemas en subestaciones, surgido de la necesidad de unificación de protocolos, estandarizados como, IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-104, Modbus, DNP, como protocolos propietarios, con el fin de conseguir que relés, controladores de subestación e interruptores fueran interoperables entre funciones de diferentes fabricantes. El protocolo fue tan exitoso que rápidamente no solo se utilizó en sistemas de subestaciones, sino que se expandió a sistemas de generación, sistemas de automatización de distribución eléctrica y carga de vehículos eléctricos, y ahora la segunda versión se llama redes de comunicación y sistemas para automatización de la red eléctrica. El estándar presenta tres focos: comunicación, estructura de datos y lenguaje de configuración.

### 4.1 Comunicación

IEC 61850 ha definido tres protocolos de comunicación para tres aplicaciones. El primero y el más usado es Manufacturing Message Specification (MMS), un protocolo tipo cliente/servidor. El MMS es usado para la comunicación entre IED y el sistema SCADA, para el reporte de estados y enviar instrucciones de control.

El segundo protocolo es Generic Object Oriented Substation Event (GOOSE), es usado para enviar mensajes prioritarios entre IED como disparos

y bloqueos. Los mensajes GOOSE entregan información de manera rápida, en menos de 4ms. Este protocolo no cuenta con capa de transporte por lo que no tiene un mecanismo para saber si el mensaje llegó a su destino, por lo tanto, el mensaje se repite durante cierto tiempo con incrementos en la frecuencia para garantizar que el mensaje sea recibido. GOOSE tiene ventajas comparadas con la conexión cableada como la facilidad para configurar y reconfigurar sin tener que recablear los IED.

El último protocolo es Sampled Measurement Values (SMV), al igual que GOOSE tampoco presenta confirmación de paquete recibido. SMV permite enviar información de corriente y voltaje de manera digital a través del bus de proceso gracias a las MU. Debido a que SMV es de tipo publicador/suscriptor estas mediciones de corriente y voltaje pueden ser usadas por cualquier IED que requiera esta información sin adicionar cableado, solo usando el bus de proceso, el cual requiere suficiente ancho de banda para soportar este volumen de información.

Debido a la naturaleza de tiempo real de las aplicaciones GOOSE y SMV requieren redundancia con tiempos de recuperación cero para garantizar la entrega de la información, para ello se definen dos esquemas de redundancia: High availability Seamless Redundancy (HSR) y Parallel Redundancy Protocol (PRP), en ambos protocolos la información es enviada por dos puertos independientes y rutas diferentes hasta el destino, tan pronto llega uno de los datos el otro es descartado.

## 4.2 Estructura de datos

IEC 61850 ha modelado todos los dispositivos y funciones existentes en una subestación, tales como interruptores, protecciones, HMI, entre otras, a través de una descripción orientada a objetos. El elemento clave de esta estructura es conocido como nodo lógico y representa la parte

más pequeña de una función que intercambia información. Cada nodo lógico contiene características de su operación y estas a su vez contienen atributos. Los nodos lógicos son agrupados en dispositivos lógicos y estos a su vez en dispositivos físicos tal como se visualiza en la Figura 3.

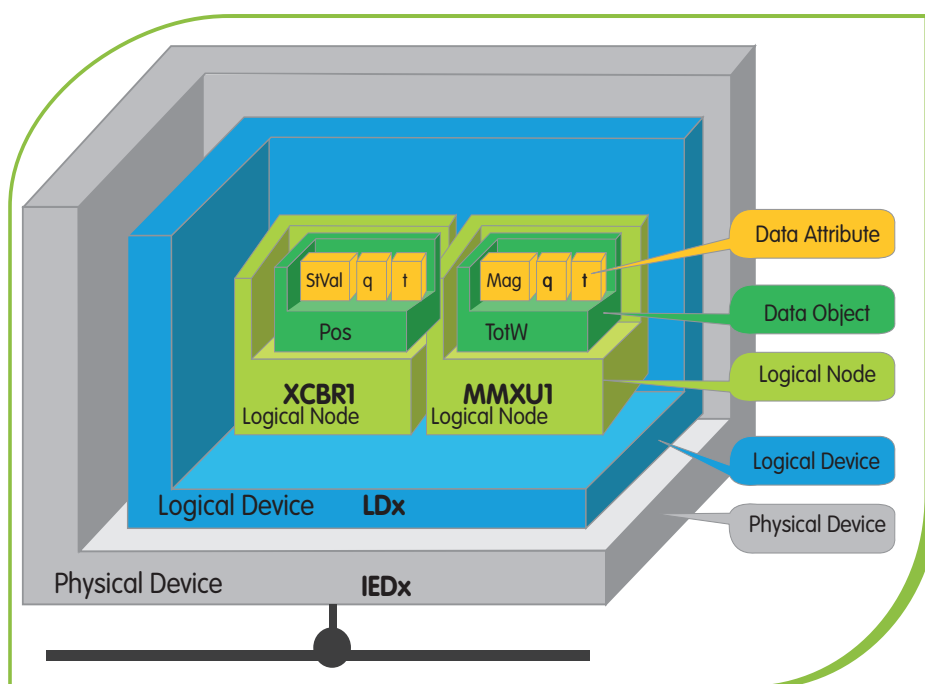


Figura 3. a) Agrupamiento lógico, dispositivo, nodo, clase y datos.  
Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=ZlAw0X0D9Lo>

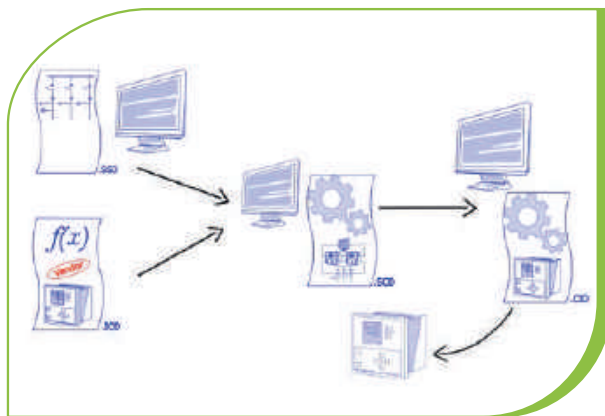
## 4.3 Lenguaje de configuración

La configuración es basada en el lenguaje, lenguaje de configuración de subestación. Este lenguaje de configuración toma dos archivos, el primero un archivo llamado SubStation Description (SSD), el cual describe la subestación traduciendo el unifilar eléctrico de la subestación y el segundo archivo IED Capacity Description

(ICD), el cual es un archivo que describe las capacidades intrínsecas de cada IED. Ambos archivos son usados a través de un configurador el cual crea un nuevo archivo llamado *Substation Configuration Description (SCD)*, el cual describe la configuración de la subestación a través de las capacidades de los IED y el unifilar de la subestación. Al final, se extrae desde este último la configuración individual de descripción para

cada IED, el cual es llamado Configuration IED Description (CID), y este archivo se transfiere a los IED para ajustar automáticamente su

configuración. En la Figura 4, se ilustra el proceso del lenguaje de configuración de subestación implementada por el estándar IEC.



**Figura 4.** Lenguaje de configuración de subestación.  
Recuperado de:  
<https://www.youtube.com/watch?v=ZIAw0X0D9Lo>

## 5. Ventajas de una subestación digital

### 5.1 Aumento de seguridad en la operación

- La manipulación de los circuitos de transformadores de corriente y voltaje representa una amenaza a la vida y los equipos, por lo que eliminar estos circuitos en los paneles de control y protección, genera beneficios en la seguridad física de los trabajadores, al disminuir la necesidad de intervención manual.
- La eliminación de cables en el circuito de transformador de corriente reduce el riesgo de lesiones debido a su apertura.
- La disminución de la cantidad de cables en el patio aumenta la seguridad operativa del personal, reduciendo el riesgo de contacto, caídas, inducciones eléctricas e incendios.

### 5.2 Estandarización, interoperabilidad e intercambiabilidad

El cumplimiento del estándar IEC 61850 por parte de los equipos, permite que sean interoperables, simplificando tareas asociadas con la ampliación de la subestación y permitiendo el uso de soluciones de diferentes fabricantes. Evita depender de un solo fabricante y permite una competencia más sana en el mercado, buscando mejor calidad y precio. Lograr la interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes representa un beneficio tanto en el diseño como en el control y la operación de la subestación.

### 5.3 Mejora en capacidades de comunicación

- Se logra tener comunicación con los equipos de potencia.



- Redes de área local (LAN) en lugar de múltiples conexiones directas de cables de cobre.

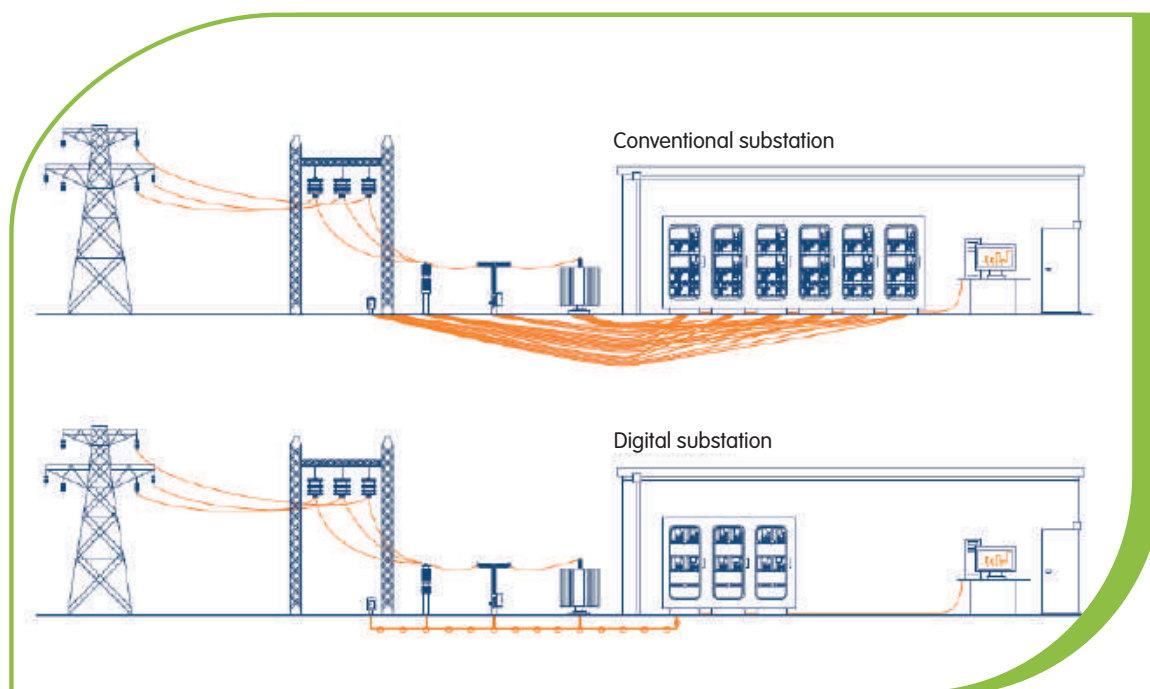
## 5.4 Optimización de inversiones

El costo del capital de inversión de los proyectos es reducido en muchos frentes:

- Ahorro de tiempo requerido para diseñar e instalar una subestación.
- Necesidades inmobiliarias reducidas (menos espacio requerido).
- Cableado de cobre es reducido hasta en 80% a través del uso de fibra óptica, con la reducción asociada de los terminales de cableado.

- Las herramientas de optimización de activos permiten establecer áreas débiles donde se requiere reforzar, permitiendo una reducción del costo operacional.

- En las subestaciones digitales, con la implementación del bus de estación y el bus de proceso, se logran reemplazar las conexiones punto a punto de cobre entre equipos por una sola línea de fibra óptica. Estos buses eliminan el costo de la compra de gran cantidad de cable de cobre, reduce tiempo en su instalación, y el comisionamiento resulta menos complicado. En la Figura 5 se ilustra la reducción de cables desde patio hasta sala de control.



**Figura 5.** Subestación convencional - Subestación digital.  
Recuperado de: Meier, S (2015)

### 5.5 Gestión activa del ciclo de vida de los activos

- La tecnología digital puede monitorear y diagnosticar las funciones de misión crítica de los transformadores de potencia y seccionadores de línea continuamente, lo que permite una gestión proactiva del ciclo de vida del activo.
- A futuro los servicios y las inversiones serán duraderos a pesar de los rápidos cambios tecnológicos.

### 5.6 Menor transporte implica mejoras al ambiente y menos costo

Menos material implica menos transporte y menos emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente. El peso del cableado de fibra óptica es 90% menos que el cable de cobre que reemplaza, lo que también reduce emisiones y si adicionalmente los CT son reemplazados por ópticos, se logra aún más una reducción del peso en transporte.

### 5.7 Menor espacio en la subestación

Se puede lograr una reducción de al menos un 60% de espacio en gabinetes de control y protección, debido a que los nuevos IED requieren menos tamaño debido al intercambio de entradas y salidas convencionales cableadas por uno o dos puertos de fibra óptica. Esto permite la integración de más IED por gabinete. Igualmente, en el área en el patio se reduce el espacio hasta en un 50%.

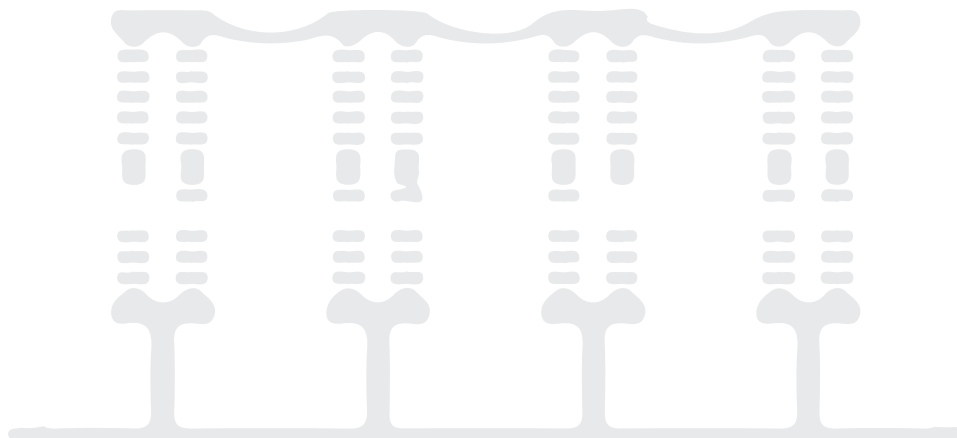
### 5.8 Menor tiempo de instalación y de interrupciones

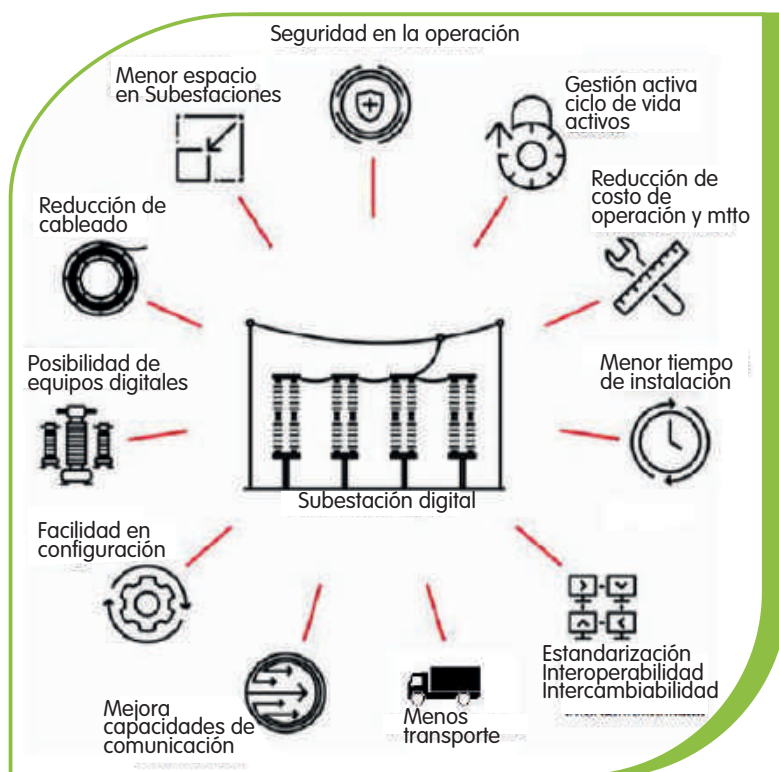
Menos tiempo para instalación del sistema secundario y de las remodelaciones, reducción en tiempo de instalación para nuevos sistemas de control y protección debido a que hay menos gabinetes a instalar y menos cable para instalar y probar. La reducción en el tiempo de interrupción durante mejoras o modernizaciones aumenta la disponibilidad y los ingresos. Se disminuyen los tiempos de interrupción ante fallas al tener más información y en tiempo real.

### 5.9 Reducción del costo operación y mantenimiento

- Al poder realizar supervisión de todos los intercambios de datos, reduce la necesidad de pruebas de mantenimiento periódicas y permite beneficios en mantenimiento predictivo.
- La supervisión permanente permite acciones rápidas y precisas en fallas. Las funciones de prueba y simulación de IEC 61850 permiten pruebas rápidas y seguras de las funciones de protección.

En la Figura 6, se visualizan algunas de las ventajas o beneficios de la implementación de una subestación digital.





**Figura 6.** Subestación convencional - Subestación digital. Recuperado de: Meier, S (2015)

## 6. Retos en la implementación de una subestación digital

Los retos más relevantes para la implementación de una subestación digital son el manejo del cambio, la alta inversión inicial en equipos de comunicaciones, la ciberseguridad y el reporte y reconocimiento de las unidades constructivas.

### 6.1 Manejo del cambio

El miedo a realizar actividades de otra forma es algo normal en las personas, el cambio no es una decisión fácil de tomar, lleva tiempo adaptarse al cambio. Por lo tanto, se debe ir cambiando la manera de pensar de las personas que han venido operando el sistema

de una manera convencional e ir llevándolos a la era digital a través de capacitaciones, pruebas, implementaciones y conocimiento de los nuevos equipos, mientras el personal de operación y mantenimiento acepta, confía y se realizan mejoras en ellos.

Desde el 2019, EPM viene trabajando en el manejo del cambio para la implementación de una subestación digital por medio de la Metodología para el Manejo del Cambio establecida por la dependencia de Gestión de Activos. Esta metodología consiste en la identificación y clasificación de los riesgos asociados a la

implementación de una subestación digital. El mapa de riesgos es presentado al Comité de Proyectos Intermedios para aprobación del cambio, una vez aprobado se procede a identificar e implementar acciones para el manejo y la mitigación de los riesgos identificados.

Con esta metodología se busca lograr la implementación exitosa de la subestación digital Santa Rosa, teniendo en cuenta que el objetivo particular es que EPM pueda adquirir un conocimiento suficiente de la tecnología que permita evaluar, cuantificar y documentar la materialización de los beneficios que la literatura y los proveedores le atribuyen. Adicionalmente, se busca obtener un dominio sobre la tecnología de subestaciones digitales, que permita identificar riesgos y oportunidades no previstos sobre los objetivos del negocio y de EPM, de manera que se optimice la toma de decisiones sobre el desarrollo de proyectos futuros de mayor tamaño y de configuraciones más complejas y, en caso de optar por la implementación masiva de esta tecnología, se incremente la probabilidad de capturar y maximizar los beneficios que supone la implementación.

Cabe mencionar que existe el riesgo de que no se materialicen la totalidad o parte de los beneficios esperados, lo cual, en caso de ocurrir, se convertirá en elemento determinante sobre las decisiones de avance y oportunidad de implementación futuras, así como de la implementación masiva de la tecnología (EPM, 2020).

## **6.2 Alta inversión inicial en equipos comunicaciones y control**

La inversión inicial para la subestación digital es comparativamente mucho más alta que la de una subestación tradicional. Esto se

debe principalmente al uso de IED y MU más especializadas, además del costo inicial que requiere la primera programación y configuración de equipos, estos últimos se irán reduciendo tan pronto se vaya conociendo los equipos y no se requiera tanto de terceros para esta actividad.

## **6.3 Riesgos de ciberseguridad**

Las crecientes amenazas de ciberseguridad en la industria energética se deben a la intrusión por ciberataques en los equipos de control, de automatización y de comunicaciones. La integración de software en la subestación ha aumentado el riesgo de amenazas de ciberseguridad. Estas amenazas provienen de numerosas fuentes, como gobiernos hostiles y grupos terroristas. Por lo tanto, controlar los riesgos de ciberseguridad es uno de los principales desafíos en el mercado de subestaciones digitales.

A nivel país, se viene adelantando un trabajo conjunto en materia de ciberseguridad y ciberdefensa. Como consecuencia, el Consejo Nacional de Operación CNO, elaboró una "Guía de Ciberseguridad" dirigida a los operadores de red del sistema de potencia nacional, en el cual a través del Acuerdo 1241, recomienda la adopción de requerimientos de ciberseguridad para la protección de los activos del sistema eléctrico que son considerados críticos para la operación confiable del Sistema Interconectado Nacional. Para ello el grupo EPM ha realizado la identificación de activos y ciberactivos críticos, los riesgos y sus vulnerabilidades y se encuentra trabajando en la Gestión de la Ciberseguridad, la Seguridad Física y los Planes de Recuperación.



## 6.4 Reporte y reconocimiento de Unidades Constructivas (UC)

A la luz de la Resolución CREG 015 de 2018, el reporte de las Unidades Constructivas (UC) para la subestación digital se debe considerar como una Unidad Constructiva Especial debido a que

por el uso de nueva tecnología y su costo no se puede asimilar en las UC definidas. En este sentido, la dependencia de Planeación T&D solicitará a la CREG el reconocimiento de esta UC posterior a su puesta en operación, entregando el costo de la implementación y la justificación para ser tenida en cuenta como UC Especial.

## 7. El mundo frente a las subestaciones digitales

### 7.1 Reino Unido, proyecto Future Intelligent Transmission Network SubStation (FITNESS)

Proyecto en el que estaban trabajando las firmas ALSTOM, ABB y la Universidad de Manchester, el proyecto finalizó en marzo del 2020. Este proyecto es un piloto multimarca, en donde existen diferentes firmas que buscan trabajar en conjunto para comunicar entre sí sus diferentes equipos, logrando beneficios para clientes y proveedores. Los beneficios que se esperan obtener son: la reducción de costo en la construcción y modernización de la subestación, reducción de tiempo, aumento en seguridad de datos, reducción del impacto ambiental y flexibilidad operacional.

### 7.2 Australia, subestación digital Avon, proyecto piloto

En Australia se construyó la primera subestación digital basada en el protocolo IEC 61850 tanto para el bus de proceso como para el bus de estación, su puesta en operación en 2018. La subestación Avon está ubicada 100km al sur de Sydney y contempla tres líneas de 330kV (Hinkley, K, 2018). El proyecto realizó una comparación de escritorio entre la implementación de tres soluciones: 1. Bus de estación, 2. Bus de estación + bus de proceso y 3. Bus de estación + bus de proceso + transformadores de baja potencia (LPIT). Los resultados de escritorio se visualizan en la Tabla 1, en donde se obtuvieron mayor reducción de costos con la alternativa bus de estación + bus de proceso sin LPIT. Esta fue la implementada.

Reducción	Bus Estación	Bus Estación + Bus de proceso	Bus Estación + Bus de proceso + LPIT
Costo	2%	11%	9%
Zanjas	40%	93%	93%
Gabinetes	7%	47%	30%

**Tabla 1.** Datos obtenidos posterior a la puesta en marcha de la SE Avon, Australia. Recuperado de: Hinkley, K y Mistry, C (2018)

### 7.3. Francia, Poste Intelligent Projet

El proyecto hace referencia a la nueva generación de subestaciones inteligentes para la red de energía eléctrica en Francia. Como dice Buhagiar, (2016) el proyecto busca probar en condiciones reales los últimos desarrollos tecnológicos para equipos primarios y secundarios con tecnología de comunicación completamente interoperable. Para el proyecto, en equipos primarios, se utilizaron transformadores de corriente ópticos, transformadores de tensión de baja potencia e interruptores, seccionadores y transformadores de energía completamente digitales. En equipos secundarios, se implementó bus de proceso basado en una red completamente óptica, además de la instalación de varios sensores en equipos de primaria y secundaria para una solución de monitoreo completa. Este proyecto además transporta en el bus de proceso y bus de estación otras necesidades como meteorología, control de acceso, video infrarrojo, monitoreo de sensores, suministro de agua y electricidad. El presupuesto total del proyecto es de 32 millones de euros.

### 7.4. China, más de 10.000 subestaciones digitales

En China desde el año 2005 existen más de 10.000 subestaciones digitales entre 35kV a 1000kV que tienen IED 100% digitales y con una comunicación basada IEC 61850 principalmente. Cientos de esas subestaciones tienen implementado bus de proceso en IEC 61850 con CT y VT ópticos digitales, y son llamadas subestaciones digitales o inteligentes (digital/smart substation) (Xiang, G, 2014).

A finales del 2004, China tenía 6 pruebas de interoperabilidad con múltiples proveedores, en el 2005, china oficialmente adaptó el protocolo IEC 61850 como estándar nacional chino DL/T860 y fue creado el laboratorio de pruebas del IEC 61850 con KEMA en el China National Center of Quality Supervision & Testing of Relays (INCQTR). En marzo del 2006, la primera subestación completamente digital con el bus de proceso (subestación de 110kV) fue puesta en operación. En el 2013, diez mil subestaciones entre 35kV y 1000kV con protocolo IEC 61850 basado en

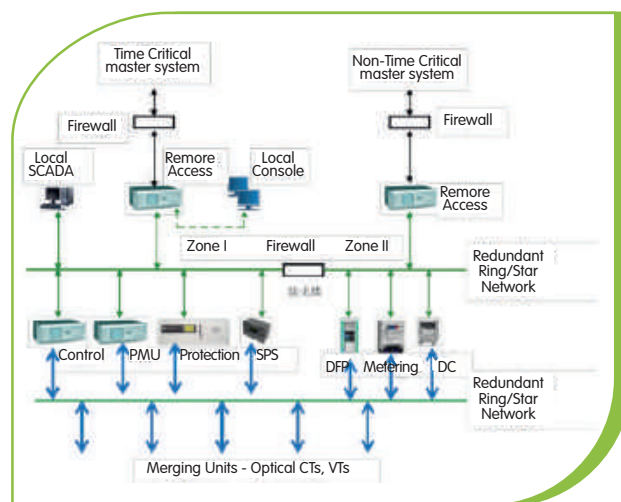


Figura 7. Típica configuración de red de subestación en China. Recuperado de: Xiang, G (2014)

IED estaban en operación. A finales del mismo año, había 893 subestaciones completamente digitales con bus de proceso en operación (Xiang, G, 2014). En la Figura 7 se muestra una configuración típica de una red de subestación esquemática en China.

### 7.5. Singapur, Secure and Private Smart Grid (SPEAR Project)

General Electric se asoció con Singapore Power para suministrar una subestación digital innovadora como parte del programa de Investigación y Desarrollo Avanzado (SPEAR) del Centro de Excelencia SP de Singapur Power.

Este proyecto tiene como objetivo lograr una digitalización completa de la electricidad de Singapur, mediante la creación de una plataforma única que integre la tecnología existente y los nuevos dispositivos electrónicos inteligentes.

Ayudará a optimizar la implementación de activos y mantenimiento, ofreciendo la capacidad de analizar y predecir cuándo se necesita reforzar y mantener los activos antes de que fallen, minimizando las interrupciones e inconvenientes. Este proyecto ofrece información analítica para las operaciones al proporcionar alertas de acción cuando se detecten posibles daños a los activos en los sitios de trabajo, evitando caídas de tensión o interrupción del suministro eléctrico.

### 7.6. América latina

**Brasil** no se ha quedado atrás en esta tecnología y es por esto que en Juazeiro al norte de Brasil, fue puesta en funcionamiento la primera subestación digital de energía solar en América Latina, una subestación de 230kV.

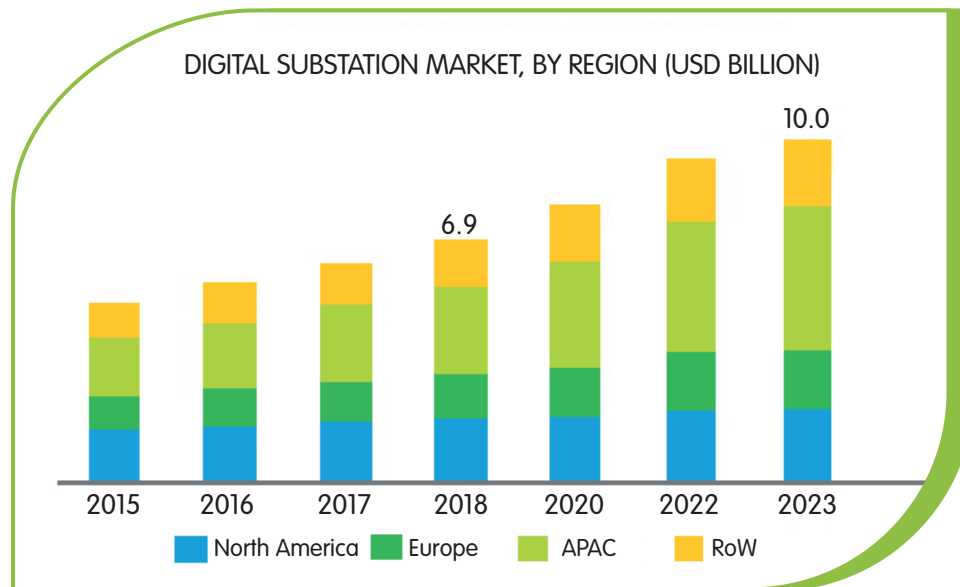
**Perú** también ha comenzado a migrar a la digitalización como forma eficiente para asegurar la energía que el país requiere hoy y en el futuro. En el 2019, se puso en marcha una subestación digital, la primera del país, Subestación Manchay 220kV.

En **Colombia** se han implementado algunos proyectos pequeños, en el 2013 se implementó en la PCH San Miguel para su salida a la Subestación San Lorenzo de 110kV un sistema de bus de estación y de bus de proceso. En el 2015 el proyecto hidroeléctrico El Molino implementó para su salida a la misma subestación un sistema digital. En el 2018 se implementó Merging Units Stand -alone en subestación existente de CELSIA en una subestación de 110kV línea Buga – Calima.

## 8. Mercado de subestaciones digitales

Según Global Market Insight (2019) existe una tendencia creciente para el mercado de subestaciones digitales como se visualiza en el Gráfico 1. La región donde existe mayor crecimiento hoy es Asia Pacífico (APAC, por sus siglas en inglés), seguida por Norte América y posterior en proporciones similares Europa y el

resto del mundo (RoW). Entre todas ellas sumaron a finales del 2018, 6.9 billones de dólares y se estima que llegará a unos 13 billones para el 2025, un crecimiento casi del 50% en solo 7 años. Solo la región de Asia (APAC) generó más de 2.5 billones de USD en el año 2018.



**Gráfico 1.** Mercado subestaciones digitales, por región (USD). Recuperado de: [www.gminsights.com](http://www.gminsights.com)

Los principales impulsores de subestaciones digitales en el mercado son:

- La creciente cantidad de proyectos de energía renovable que adoptan esta tecnología impulsan su crecimiento. Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), la cantidad de energía global a partir de fuentes renovables crecería del 3% en 2009 al 38% en 2050, solo en Europa.
- Las inversiones de gobiernos e iniciativas tomadas por organizaciones privadas para satisfacer la creciente demanda.
- La subestación digital está encontrando cada vez más usos en la transmisión y distribución.
- La rápida industrialización y las próximas empresas de servicios de energía.
- La creciente demanda energética y el aumento del gasto público.
- Proyectos de ciudades inteligentes, lo cual incluye la distribución de energía, por lo que se visualiza una creciente necesidad de implementación de subestaciones digitales.



## Conclusiones

- Se observa que el mundo tiene tendencia hacia la implementación de esta tecnología.
- China es el país con mayor ventaja a nivel de subestaciones digitales en el mundo, llevando su sistema eléctrico de potencia a una era digital.
- Gran parte de países del mundo están realizando proyectos tipo piloto, creando poco a poco una cultura de digitalización eléctrica.
- La vida útil de una infraestructura de red suele ser de 40 a 50 años, reemplazar infraestructura convencional envejecida impulsará el crecimiento del mercado de subestaciones digitales.
- Al observarse una creciente de demanda de proyectos de energía renovable a nivel mundial, existe la oportunidad de crecimiento de subestaciones digitales.
- El éxito de una subestación digital depende de la eficacia del sistema de comunicaciones digitales para conectar todas las protecciones, controles y dispositivos de monitoreo dentro de la subestación.
- Actualmente EPM está trabajando en la Subestación Eléctrica Santa Rosa, la cual iniciará operación en 2022. Proyecto desplazado por COVID-19.

## Referencias

- Buhagiar, T, Cayuela JP, Procopiou, A, Richards, S (2016). Poste Intelligent – The next generation smart substation for the french power grid. Edinburg, UK: IET
- Delgado, C (2017). El mundo consumirá un 30% más de energía en 2040 y se aleja de cumplir el acuerdo de París. El Tiempo. Recuperado de [https://elpais.com/economia/2017/11/14/actualidad/1510661591\\_352717.html](https://elpais.com/economia/2017/11/14/actualidad/1510661591_352717.html)
- EPM (202): Plantilla para el manejo del Cambio. Medellín, EPM.
- Hinkley, K. y Mistry, C. (2018). First digital substation in TransGrid-Australia: a journey, business case, lessons. United Kingdom: IET
- Hodder, S., Kasztenny B., McGinn, D., Hunt, R. (2009). IEC 61850 Process Bus Solution Addressing Business Needs of today's utilities. Carolina del Sur, Estados Unidos: IEEE.

- McGinn, D, Adamiak, M, Goraj, M, Cardenas, J (2009). Reducing conventional cooper signaling in high voltage substation with IEC 61850 process bus system. Bucharest, Romania: IEEE.
- Varghese, A (2018). ¿Why go digital?. Atlanta: GE Grid Solutions.
  - Xiang, G Zha, Jun (2014): A few facts on IEC 61850-based Substation Integration & Automation in China. USA: Doubletree Systems Inc.
  - Meier, S (2015). Introduction to digital Substation and portfolio: ABB Group.



### Cómo citar este artículo:

Peña Suárez, J. y Vanegas Restrepo, A. (2020). Subestaciones digitales, una apuesta al futuro. Revista EPM, (15), p. 28-47.





# Estilos y efectividad en el liderazgo e intervención en los conflictos: análisis de equipos de proyectos en EPM

Styles and effectiveness in leadership and conflicts intervention: analysis of project equipment in EPM

**Elizabeth Cristina  
Calle Úsuga**

Unidad Técnica Ambiental y Social  
Proyectos e Ingeniería EPM

[elizabeth.calle@epm.com.co](mailto:elizabeth.calle@epm.com.co)

**Francisco  
López Gallego**

Escuela de Administración.  
Universidad EAFIT

[flopez@eafit.edu.co](mailto:flopez@eafit.edu.co)

## Resumen

Este artículo presenta los resultados obtenidos del estudio realizado en los equipos adhocráticos de los miembros de la Gerencia Ambiental y Social (GASPeI) de EPM, y tiene sus bases en la valoración de las preferencias y efectividad en los estilos de liderazgo e intervención en los conflictos, según el modelo situacional de Hersey y Blanchard, las premisas de manejo del conflicto de Thomas y Kilmann y las recomendaciones establecidas por el Project Management Institute (PMI) respecto a las habilidades blandas requeridas para la gestión de equipos de proyectos.

La metodología utilizada está fundamentada en la investigación cualitativa mediante la aplicación de instrumentos de valoración avalados académicamente, a partir de los cuales se logró identificar oportunidades de mejora relacionadas con las habilidades de conducción de los equipos de proyectos, el establecimiento de relaciones en los rasgos predominantes de liderazgo y negociación, y su relación con las recomendaciones establecidas por el PMI en torno a las habilidades blandas.

## Palabras clave:

Liderazgo, Proyecto, Intervención en el conflicto, Estilos de liderazgo, Efectividad del liderazgo.

## Key words:

Leadership, Project, Conflict intervention, Leadership styles, Leadership effectiveness.



## Introducción

EPM trabaja bajo el esquema de equipos adhocráticos, conformados a partir de las necesidades del banco de proyectos institucional. Dichos equipos son evaluados anualmente, con base en criterios de desempeño y desarrollo, orientados a capacidades técnicas y teóricas. Sin embargo, en tal evaluación, se identifica una situación problemática referida a la carencia de revisión de las habilidades blandas propuestas por el Project Management Institute.

En atención a la mencionada situación por resolver, en el presente trabajo se realizó una valoración de las preferencias y efectividad del liderazgo, e intervención en los conflictos en los equipos de proyectos de los miembros de la Gerencia Ambiental y Social (GASPel), adscrita a la Vicepresidencia Ejecutiva de Negocio Proyectos e Ingeniería (EPM, 2017).

La metodología implementada en el desarrollo del estudio fue de modalidad cualitativa, la cual permitió la valoración de los estilos de liderazgo e intervención en el conflicto en los miembros seleccionados, que hacen parte de los equipos de proyectos, a partir del modelo de liderazgo situacional de Hersey y Blanchard, el modelo de manejo de conflicto de Thomas y Kilmann y las habilidades blandas en las cuales se centra el Project Management Institute, con el fin de identificar señales que permitan mejorar las habilidades de conducción de los equipos de trabajo.

Los datos primarios fueron recopilados a través de dos cuestionarios de uso libre y avalados académicamente, los cuales correspondieron a: "Cuestionario de Liderazgo Situacional" del modelo de Hersey y Blanchard (1998) y "Cuestionario sobre manejo del conflicto" del

modelo de Thomas y Kilmann (Laca, 2004). Ambas pruebas fueron aplicadas a la totalidad de los individuos seleccionados para el estudio.

Los hallazgos de esta investigación llevan a concluir que, de acuerdo con el modelo de liderazgo situacional en los participantes predomina un estilo de liderazgo persuasivo (E2), con preferencia hacia los comportamientos orientados a las personas, sin olvidar los comportamientos orientados a la tarea, apoyado en el estilo participativo (E3) y su efectividad promedio se ubica en un rango entre neutro y parcialmente efectiva. Ahora bien, respecto al manejo del conflicto, el equipo de trabajo no muestra una marcada propensión a entrar en situaciones de pugna o controversia, además no se utiliza la rivalidad ni la fuerza para intentar someter al oponente. Su manera de entrada en el conflicto es suave, lo cual no permite generar participación al oponente, de manera que sean posibles situaciones de gana – gana, ni de hacer que los demás se comprometan en las decisiones que se acojan. Más bien en situaciones de controversia, se hacen concesiones cuando se considere necesario.

El Project Management Institute (2017), propone que:

Para la gestión de proyectos, el líder y sus seguidores deberán incorporar en sus actuaciones no solo habilidades técnicas y de gestión estratégica y de negocios, también habilidades interpersonales, donde se incluye el liderazgo, la negociación, la resiliencia, la comunicación, la resolución de problemas y el pensamiento crítico.

A partir de los análisis obtenidos en la investigación, se identificaron oportunidades de fortalecer y desarrollar capacidades y habilidades blandas que permitan direccionar los equipos

adhocráticos de EPM a trabajos más eficientes para el logro de los objetivos de los proyectos y el cumplimiento de la estrategia organizacional.

## 1. Objetivos

### General

Valorar las preferencias en los estilos de intervención en el conflicto, así como las preferencias y efectividad en los estilos de liderazgo en los equipos adhocráticos de los miembros de la GASPEL de EPM, con el fin de identificar oportunidades de mejora en las habilidades de conducción de equipos de trabajo.

### Específicos

- Identificar los miembros de los equipos de proyectos a ser valorados a partir de las premisas típicas de selección de equipos adhocráticos en la GASPEL de EPM.
- Comparar las preferencias en los estilos de intervención en el conflicto, así como las preferencias y efectividad en los estilos de liderazgo de los miembros de la GASPEL que habitualmente conforman los equipos adhocráticos, con base en las metodologías de liderazgo situacional y de manejo de conflictos.
- Establecer similitudes y diferencias en los estilos de intervención en el conflicto, así como las preferencias y efectividad en los estilos de liderazgo de los miembros de la GASPEL, para obtener una valoración de las variables analizadas.

## 2. Metodología

El estudio planteado se fundamentó en una metodología de modalidad cualitativa y de alcance transversal, donde se identificaron las preferencias y la efectividad en los estilos de liderazgo e intervención en el conflicto en los equipos adhocráticos (proyectos) de los miembros de la GASPEL de EPM. Es importante tener en cuenta que no se incluyó la contrastación de hipótesis ni análisis cuantitativos de resultados, en virtud de no contar con una muestra estadísticamente representativa.

La condición de transversalidad del estudio se establece por el hecho de que se tomaron datos en un solo momento, sin hacer seguimiento de la evolución en el tiempo de los elementos analizados. Por su parte, la investigación es de tipo cualitativo, ya que se buscó "captar el significado de los procesos, comportamientos y actos, más que describir los hechos sociales, es decir, con la metodología empleada se busca la captación y reconstrucción de significado" (Ruiz, 2012).

La información primaria para el presente estudio se obtuvo de los equipos de proyectos de la GASPEL de EPM, siguiendo la forma más recurrente de conformación de dichos equipos adhocráticos, conformados por profesionales físicos, bióticos y sociales. En el momento de selección de la muestra, la dependencia en mención contaba con 70 funcionarios adscritos.

Se seleccionaron 12 participantes, a partir de los criterios de resultados de la última evaluación de desempeño realizada por la organización y criterios de preferencias de los líderes de la dependencia en mención. Los participantes de la investigación correspondieron a seis (6) miembros con los mejores resultados obtenidos a partir del instrumento de valoración y seis (6) miembros con mayores oportunidades de desarrollo.

Para este propósito se seleccionaron instrumentos definidos en la literatura, de uso libre y avalados académicamente, los cuales permitieron el análisis de los estilos y efectividad del liderazgo e intervención en el conflicto.

Respecto a la habilidad de liderazgo se empleó el Modelo de Hersey y Blanchard "Cuestionario de Liderazgo Situacional" (1998). Para la evaluación de los estilos de manejo de conflictos se implementó el Modelo de Thomas y Kilmann "Cuestionario sobre manejo del conflicto" (Laca, 2004). Ambas pruebas fueron aplicadas a la totalidad de los individuos seleccionados.

Ambos cuestionarios fueron entregados impresos a cada participante de la prueba, quienes contaron con 30 minutos para su diligenciamiento. Cada persona recibió las instrucciones pertinentes y la contextualización de las preguntas, advirtiéndole que sus respuestas tendrían un tratamiento de carácter

confidencial. Cada participante aceptó firmar el consentimiento informado.

Es de fundamental importancia aclarar que, aunque el estudio es de tipo cualitativo, se hizo el ejercicio de determinar el promedio obtenido en los resultados, con el fin de obtener un resumen de las tendencias al interior del grupo mismo, sin querer significar que dichos valores tengan una validez estadística.

El procesamiento de datos partió con la digitalización de los resultados obtenidos de las pruebas desarrolladas por cada participante, empleando el software MS Excel; posteriormente, se construyeron tablas y gráficos para obtener tendencias representativas de las variables objeto de análisis, con la finalidad de identificar relaciones y respuestas a la pregunta de investigación planteada: ¿Cuáles son las preferencias en los estilos de intervención en el conflicto, así como las preferencias y efectividad en los estilos de liderazgo de los miembros de los equipos de proyectos de la GASPEL de EPM?

Finalmente, se realizaron comparaciones de los resultados obtenidos de las pruebas aplicadas, enfocadas en la identificación de similitudes y diferencias de las preferencias de liderazgo e intervención en el conflicto, considerando como criterios de análisis las habilidades de negociación, resolución de problemas y habilidades interpersonales propuestas por el Project Management Institute como habilidades de liderazgo para la dirección de proyectos. Dichas comparaciones, permitieron realizar la valoración de las preferencias y efectividad en los estilos de liderazgo e intervención en el conflicto en los miembros de los equipos de proyectos estudiados.

### 3. Desarrollo y análisis de resultados

#### 3.1 Resultados consolidados de las preferencias y efectividad en el liderazgo e intervención en el conflicto

Tal como se expuso en la metodología, para analizar las preferencias de liderazgo de los miembros de los equipos de proyectos, que conformaron la muestra de estudio de la presente investigación, se empleó el Modelo de Hersey y Blanchard "Cuestionario de Liderazgo

Situacional" (1998) y para la evaluación de los estilos de manejo de conflictos se implementó el Modelo de Thomas y Kilmann "Cuestionario sobre manejo del conflicto" (Laca, 2004).

A continuación, se exponen los resultados más significativos obtenidos a partir de las pruebas en mención, y se plantean los puntos de atención prioritarios y las oportunidades de mejora.

Código participante	Resultados prueba comportamiento					Resultados preferencias conducción de equipos				Efectividad
	Competencia	Cooperación	Compromiso	Evasión	Adaptación	Estilo E1	Estilo E2	Estilo E3	Estilo E4	
Participante 1	9	6	10	4	1	0	9	3	0	+9
Participante 2	0	6	10	5	9	1	7	2	2	+5
Participante 3	5	6	11	3	5	2	5	3	2	+5
Participante 4	2	5	11	6	6	3	5	4	0	+6
Participante 5	8	3	7	7	5	2	6	4	0	-2
Participante 6	3	7	9	9	2	1	7	4	0	+4
Participante 7	7	4	9	9	1	5	5	2	0	-6
Participante 8	4	6	8	7	5	0	7	5	0	+4
Participante 9	3	7	12	1	7	3	4	5	1	+9
Participante 10	4	5	11	4	6	0	7	5	0	+14
Participante 11	3	7	9	7	4	1	6	4	1	+7
Participante 12	5	5	8	7	5	2	7	3	0	+4
<b>Valores promedio</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>+5</b>

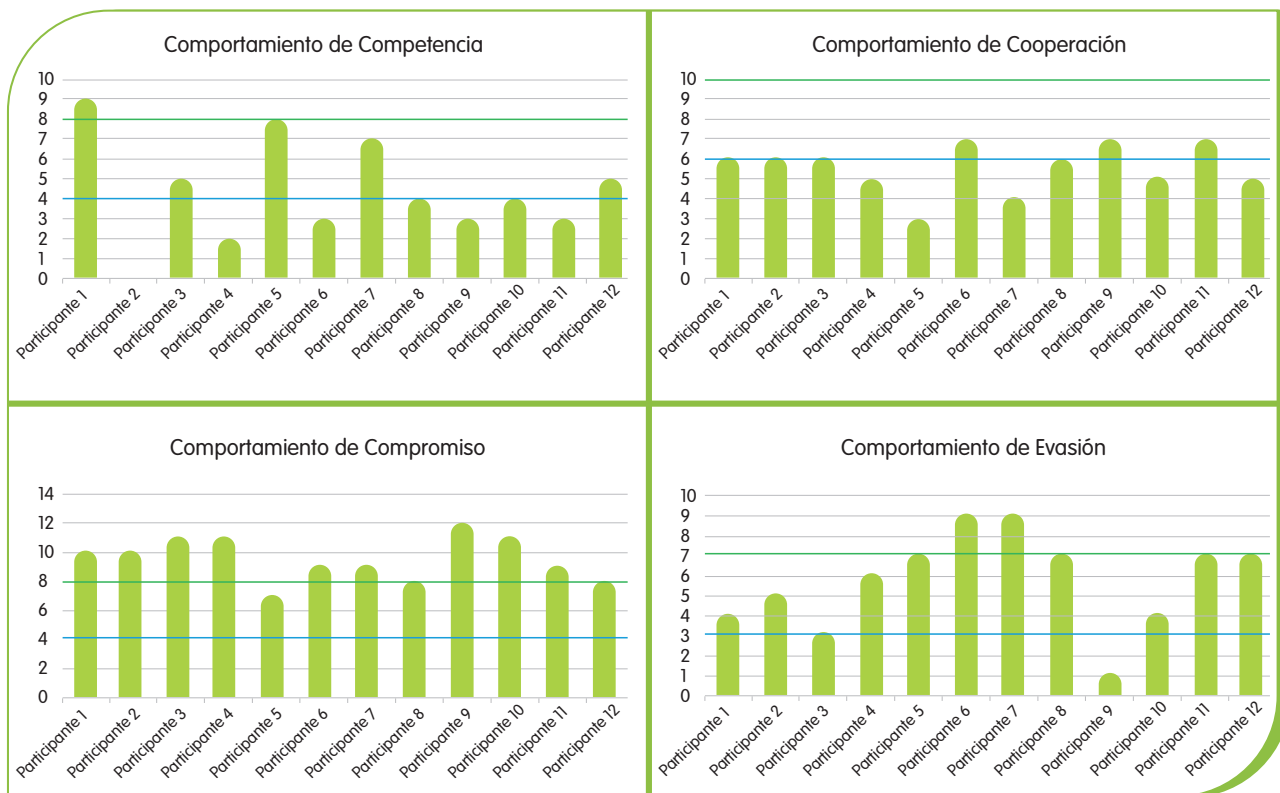
**Tabla 1.** Resultados consolidados de la prueba de comportamiento y preferencias en la conducción de equipos de la muestra analizada.

Es importante tener en cuenta que, aunque el estudio es de tipo cualitativo, se hizo el ejercicio de determinar el promedio obtenido en los resultados, con el fin de establecer un resumen de las tendencias al interior del grupo mismo, sin querer significar que dichos valores tengan una validez estadística. En los numerales 3.2 y 3.3, se exponen los detalles interpretativos de los resultados expuestos en la Tabla 1.

#### 3.2 Resultados de las preferencias en los estilos de intervención en el conflicto

A partir del análisis de similitudes y diferencias de los resultados obtenidos en la muestra analizada, a continuación, se presentan las señales más relevantes.





**Figura 1.** Resultado de las valoraciones consolidadas de cada comportamiento analizado en la intervención en el conflicto.

El comportamiento de evasión expone que, de la totalidad de la muestra analizada, el 58% de los participantes se ubica en un nivel alto (valores superiores a 7), seguido del 33% en un nivel bajo (valores inferiores a 3), y el 8% en un nivel medio (valor de 5), alcanzando un promedio de 6 (valor muy cercano a alto). Es así como se identifica que la mayoría de los participantes presentan una conducta de ignorar los conflictos y esperar a que estos sean resueltos por otros.

En ocasiones se prefiere poner los problemas bajo observación o guardarlos o se puede acudir a invocar procedimientos lentos para sofocar los conflictos. También es importante considerar que este comportamiento marcado de alta evasión hace presumir que el equipo de trabajo analizado utiliza la discreción para evitar la confrontación y generalmente, apela a las reglas burocráticas como fuente de solución de los conflictos (Ver Figura 1).

Para la variable comportamiento de competencia, se identifica que, del total de la muestra analizada, el 25% de los participantes se encuentran en el rango alto (valores superiores a 8), el 58% de los participantes en bajo (valores inferiores a 4), y 17% en nivel medio (valores entre 5 y 6), con un valor promedio de 4 (bajo). Esta tendencia refleja en general una conducta del equipo de trabajo en no crear situaciones de ganancia -pérdida (yo gano y usted pierde), lo cual implica que se entra en el conflicto de manera poco afirmativa y poco asertiva (Ver Figura 1).

Respecto al comportamiento de cooperación, se tiene que la totalidad de los participantes se encuentran en un nivel bajo o muy cercano a bajo (valores inferiores a 6), con una media de 6 (bajo), lo cual permite inferir que el equipo de trabajo analizado presenta conductas orientadas a una postura incipiente a buscar soluciones que integren y a hallar soluciones conjuntas. Esta condición no favorece el trabajo colaborativo, buscando situaciones en las que todas ganan (Ver Figura 1).

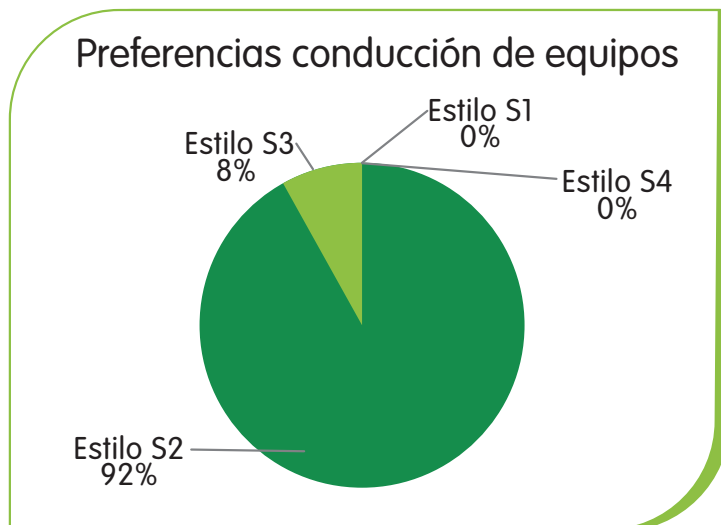
Al analizar el comportamiento de compromiso, entendiéndose este como la capacidad de negociación (partir la diferencia), los resultados obtenidos en la muestra analizada exponen una tendencia general a alto (valores superiores a 8), con un valor promedio de 10, lo cual permite inferir que el equipo presenta una marcada tendencia a encontrar soluciones de compromiso, negociación y regateo, generando en ocasiones un clima de querer ganar a toda costa, con una tendencia a concentrarse en tácticas de negociación y a descuidar principios, valores y objetivos a largo plazo y el bienestar de la compañía (Ver Figura 1).

Finalmente, al analizar los resultados obtenidos en el comportamiento de adaptación, se identifica que esta variable presenta mayor dispersión, debido a que el 33% de la muestra se ubica en nivel alto (valores superiores a 7), al igual que en el nivel medio (valor de 5) y bajo (valores inferiores a 3), donde para ambos niveles se tiene un 33% de la muestra analizada, registrándose una media de 5 (valor medio). Esta tendencia, expone que el equipo de trabajo analizado presenta una conducta de hacer concesiones cuando lo considere conveniente y necesario, conducta sensata de hacer acuerdos cuando sea requerido (Ver Figura 1).

En general, se identifican similitudes en las conductas adoptadas por los miembros de los equipos de proyectos de la GASPEL de EPM, principalmente en los comportamientos de competencia, cooperación, compromiso. Las variables de evasión y adaptación presentan algunas diferencias asociadas a las conductas adoptadas de negociación y resolución de problemas por los miembros de los equipos de proyectos de la muestra estudiada.

### **3.3 Resultados en la preferencia de conducción de equipos con base en el modelo situacional de Hersey y Blanchard**

Por su parte, respecto a las tendencias identificadas en la variable analizada de preferencias en la conducción de equipos de la muestra analizada, se identifica una preferencia significativa de 92% por el estilo persuasivo (E2), seguido del estilo participativo (E3) con un valor del 8%, y una nula preferencia hacia el estilo directivo (E1) y al estilo delegativo (E4).



**Figura 2.** Resultados consolidados en la preferencia de conducción de equipos.

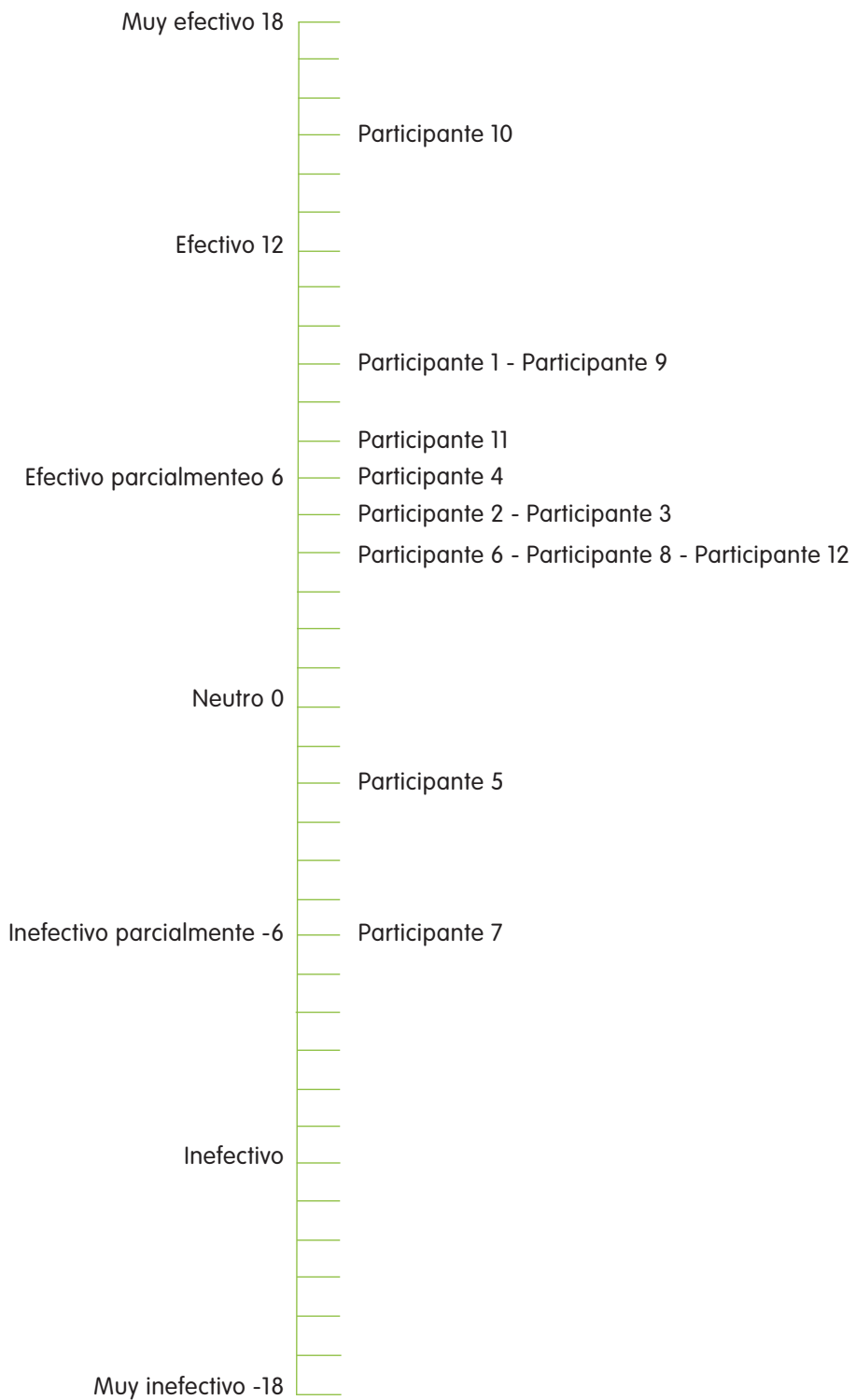
Esta similitud identificada en la mayoría de los participantes analizados en la preferencia de conducción de equipos, orientada al estilo persuasivo, es decir, comportamiento de tarea alta – relación alta, permite considerar que se podrán satisfacer las necesidades del equipo de trabajo desde que se logren establecer las metas claras y se cuente con un plan de trabajo estructurado, combinado eficientemente con un gran apoyo socioemocional.

Respecto a la efectividad, se identifica en una escala que oscila entre 18 y -18 puntos, una puntuación promedio de 5, correspondiente a una efectividad de liderazgo situacional entre neutro y parcialmente efectiva, lo cual refleja que, aunque el equipo de trabajo tiene preferencia por el estilo persuasivo (E2), de forma esporádica

puede adaptar su estilo de conducción de equipos de trabajo, si eventualmente reconoce los cambios, dependiendo del nivel de madurez que percibe en el grupo de trabajo.

Respecto al PMI, esta guía propone como las habilidades blandas con las que deben contar los miembros de los equipos de proyectos, la resolución de problemas, negociación y las relaciones interpersonales. A partir de los resultados obtenidos, se identifica una oportunidad de mejora enfocada a fortalecer los comportamientos de los miembros participantes de competencia, compromiso, cooperación y evasión, con lo cual se podrán mejorar la resolución de problemas al interior de los equipos de proyectos y lograr enfocar los esfuerzos en relaciones ganar – ganar.

### Escala de afectividad



**Figura 3.** Resultados de la muestra analizada en la escala de efectividad de liderazgo situacional.



## Conclusiones y recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos de los miembros del equipo adhocrático analizado respecto a los estilos y preferencias en el liderazgo e intervención en el conflicto, se identifica, en general, un perfil similar en los tres aspectos evaluados, tanto en las preferencias, así como en la efectividad de conducción de equipos y en la conducción del conflicto.

Respecto al resultado de la prueba de preferencia de estilos de conducción de equipos, se identifica una tendencia de dirección estilo persuasivo (E2), orientado a la relación interpersonal y consideración por las personas, con un fuerte componente de disposición a la tarea y a la punición, apoyado en ocasiones en el estilo participativo (E3), con mínima preferencia al estilo directivo (E1) y estilo delegativo (E4).

En los miembros del equipo de proyectos estudiado, se observa una tendencia clara de su estilo de liderazgo persuasivo (E2), orientado a las personas y a la tarea. Este tipo de liderazgo permite que las decisiones sean expuestas y da la oportunidad a los diferentes miembros de aclarar inquietudes, además para la toma de decisiones se permite la participación del equipo en pleno o de sus representantes. Este estilo es efectivo en el marco de la gerencia de proyectos, ya que, de acuerdo con el PMI, se recomiendan dentro de las buenas prácticas que los equipos de proyectos se centren en las personas, donde se logre guiar, influir y colaborar utilizando el poder de las relaciones, a partir de acciones de confianza y con visión a largo plazo.

Es importante resaltar que se identifica ausencia en el estilo directivo (E1) y estilo delegativo (E4), pero que debido a las actividades que en el día a día se desarrollan en los equipos de proyectos, se puede concluir que es natural este comportamiento, debido a que todas las actividades dentro de los proyectos requieren de responsables, donde las funciones no son transferibles ni pueden ser delegadas, sino más bien, se requiere compromiso y empoderamiento.

Por su parte, en la efectividad, se identifica en una escala que oscila entre 18 y -18 puntos, una puntuación promedio de 5, correspondiente a una efectividad de liderazgo situacional entre neutro y parcialmente efectiva, lo cual refleja que, aunque el equipo de trabajo tiene preferencia por el estilo persuasivo (E2), de forma esporádica puede adaptar su estilo de conducción de equipos de trabajo, si eventualmente se reconocen los cambios, y dependiendo del nivel de madurez que se perciba en el grupo de trabajo.

Ahora bien, en lo que a manejo del conflicto se refiere, el perfil general del grupo expone un puntaje en evasión de 7 (alto), lo que implica que en situaciones de conflicto no se muestra una marcada propensión a entrar en situaciones de pugna o controversia. El puntaje en competencia es de 4 (bajo), lo que significa que no se utiliza la rivalidad ni la fuerza para intentar someter al oponente. La puntuación de 6 (baja) en cooperación, hace presumir que la manera de entrada en el conflicto es suave, lo cual no permite generar participación al oponente, de manera que sea posible situaciones de

gana – gana, ni de hacer que los demás se comprometan en las decisiones que se acojan. Más bien en situaciones de controversia se hacen concesiones cuando se considere necesario, lo cual se refleja en la puntuación obtenida de 8 en la variable compromiso (alta) y la puntuación de 5 (media) en adaptación.

Se identifica que evitar es la estrategia preferida por los miembros del equipo de trabajo analizado, acompañada de baja competencia y cooperación, lo cual es una estrategia recomendable en aquellas situaciones en que el conflicto o la relación con la otra parte no es relevante. Pero en situaciones donde se requiere empoderamiento y decisión para defender los puntos de vista y lograr los propósitos, estos comportamientos son poco efectivos. El compromiso y la adaptación permiten identificar comportamientos en los miembros del equipo, orientados a realizar concesiones cuando se considere adecuada dicha estrategia.

“En palabras de Thomas y Kilmann (1974), ‘la evitación’ es una estrategia adecuada cuando el daño potencial de afrontar un conflicto sobrepasa los beneficios de su resolución” Además, respecto a la competencia, dichos autores expresan que “el ‘competir’ es una estrategia que surge para protegernos de la gente que se aprovecha de los comportamientos no competitivos de otros” (Laca, 2004, p. 29).

Los estilos y comportamientos adoptados en el liderazgo y en el manejo del conflicto por los participantes son similares, independiente de su rendimiento laboral calculado a partir de los instrumentos de valoración corporativos, lo cual expone que corresponden a habilidades y

comportamientos propios de los equipos de trabajo y a posibles rasgos de la cultura empresarial.

En general, es importante considerar que, tanto para el liderazgo como para la resolución de conflictos, no existe una teoría única y universal, ya que estas condiciones son expresiones de la complejidad humana que se vivencia en las organizaciones, y como tal, se requiere profundizar su comprensión, antes de realizar una aplicación funcionalista o utilitarista. Los perfiles obtenidos en el equipo analizado no deben ser percibidos desde la visual de bueno o malo, sino como oportunidades de fortalecer aspectos relevantes que permitan al equipo adoptar comportamientos que conduzcan eficazmente al logro de los objetivos personales, grupales y de la organización.

Se recomienda, como oportunidad de mejora, la implementación de acciones de capacitación en liderazgo situacional a los equipos de proyectos, a partir de las cuales los miembros de la organización aprenderán a reconocer los estilos de madurez, identificar e implementar posibilidades de cambio en los comportamientos, además a formular e incluir, en la ejecución de sus actividades, pautas en función del estilo de madurez.

Respecto al gerenciamiento de proyectos, el PMI recomienda que no solo se requieren habilidades técnicas y estratégicas para liderar equipos de trabajo. Las habilidades blandas con las que se debe contar en el equipo de trabajo incluyen liderazgo, negociación y relaciones interpersonales. En este sentido, considerando que EPM ha adoptado dentro de sus prácticas, el PMI como guía para la gestión de equipos adhocráticos, es fundamental desarrollar estas habilidades en los miembros de



los equipos en mención, lo cual permitirá fortalecer la dirección y gestión de proyectos, orientados al logro de los objetivos por equipos, y en general, de la organización.

Es importante subrayar la importancia de generar espacios de capacitación y entrenamiento que permitan desarrollar en las participantes habilidades de reconocimiento situacional de la madurez que, a su vez, posibilite flexibilidad y versatilidad en el cambio de estilo, según la situación lo requiera. De igual manera, para que los miembros del equipo logren desarrollar habilidades para la identificación de diferentes estilos de conflictos y desarrollar habilidades de intervención adecuada según la necesidad.

Esta investigación hace parte de un estudio macro, que en la actualidad se lidera desde la Universidad EAFIT, a cargo del docente Francisco López Gallego PhD, enfocado en el análisis de liderazgo, negociación e intervención en el conflicto, con distintos grupos en empresas, tales como EPM, empresas de Leasing de maquinaria pesada para la construcción, Tele Medellín y en la Cúpula Militar Colombiana saliente y entrante, en donde se realizan comparaciones de las preferencias de uso de estilos de liderazgo, la efectividad que tienen los líderes al utilizar ciertos modelos de estilos de liderazgo, y al mismo tiempo, los estilos y las preferencias en la intervención de los conflictos.

## Referencias

- EPM. (2017). Estructura administrativa. [Intranet institucional EPM], 1-36. Recuperado de [https://mibitacora.epm.com.co/areas/dhc/505\\_DTL/Estructura%20Administrativa/Estructura%20Administrativa%20EPM.pdf#search=estructura%20administrativa](https://mibitacora.epm.com.co/areas/dhc/505_DTL/Estructura%20Administrativa/Estructura%20Administrativa%20EPM.pdf#search=estructura%20administrativa)
- Hersey, P., Blanchard, K. H. y Johnson, D. (1998). Administración del comportamiento organizacional: liderazgo situacional (7.ª ed.). México: Prentice Hall
- Laca, F. y Alzate R. (2004). Estrategias de conflicto y patrones de decisión bajo presión de tiempo. Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, SOCIOTAM, 14(1), 11-32.
- Project Management Institute, (2017). La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK). Newtown Square: Editorial NISO (National Information Standards Organization).
- Ruiz, J. (2012). Metodología de la investigación cualitativa (5.ª ed.). Bilbao: Universidad de Deusto, serie ciencias sociales.

### Cómo citar este artículo:

Calle Úsuga, E., López Gallego, F. (2020). Estilos y efectividad en el liderazgo e intervención en los conflictos: análisis de equipos de proyectos en EPM. Revista EPM, (15), p. 48-61.







# Influencia de los parámetros geotécnicos del suelo en el cálculo de las fuerzas de empuje para la técnica pipe jacking

Influence of the geotechnical parameters of soil in the calculation of jacking forces for the pipe jacking technique

**Sergio Andrés  
Otálvaro Velásquez**

Unidad CET Normalización y  
Laboratorios EPM

[sergio.otalvaro@epm.com.co](mailto:sergio.otalvaro@epm.com.co)

## Resumen

En este artículo se presenta un análisis del cálculo de las fuerzas de empuje requeridas en la técnica de instalación sin zanja conocida como pipe jacking, y cómo se ven afectadas dichas fuerzas debido a la variabilidad de los parámetros geotécnicos en los suelos del Valle de Aburrá.

Adicionalmente, se presenta una comparación entre los valores calculados y los datos de campo de dos proyectos desarrollados por Empresas Públicas de Medellín donde se utilizó la técnica pipe jacking, con el fin de analizar que tanto se aproximan los valores calculados con datos reales.

## Palabras clave:

Tecnología sin zanja, Pipe jacking, Fuerzas de empuje, Parámetros geotécnicos, Valle de Aburrá.

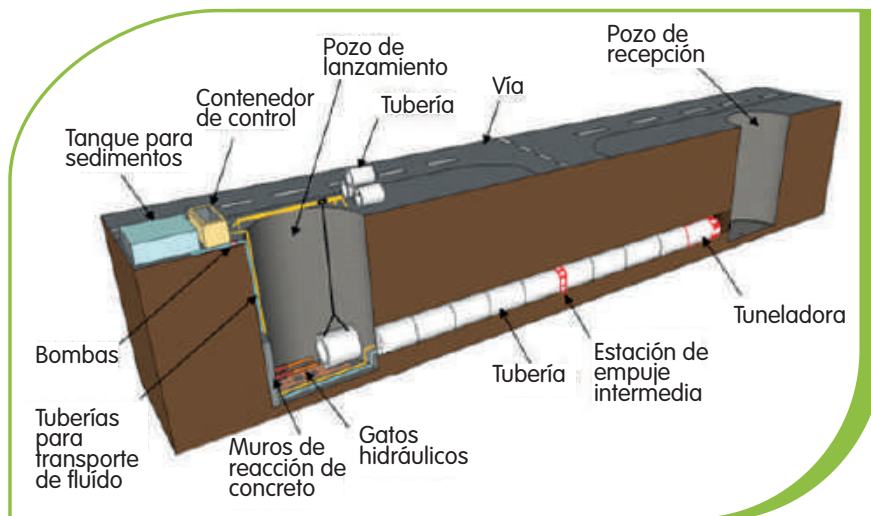
## Key words:

Trenchless technology, Pipe jacking, Jacking force, Geotechnical parameters, Aburrá Valley.

## Introducción

El hincado de tuberías o “pipe jacking” es una técnica de instalación sin zanja en el cual se excavan dos pozos, uno de lanzamiento y otro de recepción. En el primero de ellos, se instala una máquina tuneladora que va excavando a lo largo del alineamiento. La tubería se introduce dentro

del pozo de lanzamiento y por medio de gatos hidráulicos, apoyados sobre muros de reacción de concreto, se van empujando las secciones de tubería dentro del túnel. Este proceso se realiza hasta completar el tramo entre los pozos, tal como se observa en la Figura 1.



**Figura 1.** Esquema del pipe jacking. Recuperado de: (Otálvaro, 2019)

Una práctica común para ayudar a que la tubería se deslice con mayor facilidad a través del túnel es utilizar un fluido de lubricación, usualmente bentonita, el cual es inyectado a través de boquillas localizadas en el perímetro de la tubería y separadas a una distancia específica.

En algunas ocasiones, es posible que se requiera la utilización de estaciones intermedias de empuje que van incorporadas dentro de la tubería a una distancia detrás de la máquina tuneladora. Estas estaciones intermedias ayudan a reducir la fuerza de empuje total de los gatos hidráulicos principales, debido a que las secciones de

tubería que se encuentran entre la tuneladora y la estación intermedia son empujadas por esta última, reduciendo la cantidad de tubos que deben empujar los gatos hidráulicos principales ubicados en el pozo de lanzamiento.

Considerando las ventajas de esta técnica de instalación sin zanja, y conociendo la necesidad de Empresas Públicas de Medellín de expandir la cobertura y mejorar la prestación de los servicios públicos de agua y saneamiento en el Valle de Aburrá, es necesario contar con criterios técnicos que permitan a los planeadores y diseñadores evaluar la viabilidad de este tipo

de técnicas, mediante el cálculo de los valores de las fuerzas de empuje que se requieren para hincar un tramo de tubería.

La cuantificación de las fuerzas de empuje es esencial para las diferentes fases de un proyecto de pipe jacking, bien sean en su fase de factibilidad, diseño o en la construcción, ya que el conocimiento de sus magnitudes permite el dimensionamiento de gran parte de la

infraestructura que se requiere para el proyecto, como por ejemplo el dimensionamiento de los muros de reacción, la capacidad de los gatos hidráulicos, la necesidad o no de utilizar estaciones intermedias y el espaciamiento máximo que deben tener los pozos de lanzamiento y de recepción. Todos estos aspectos tienen un impacto económico muy importante en la toma de decisiones para considerar la utilización de la técnica pipe jacking.

## 1. Condiciones geológicas y geotécnicas en el Valle de Aburrá

Desde el punto de vista geológico, el Valle de Aburrá presenta en general formaciones de materiales superficiales conformadas por depósitos aluviales y depósitos de vertiente de extensión considerable. La primera formación corresponde a una secuencia de depósitos aluviales que están asociados a eventos torrenciales del río Medellín y sus quebradas afluentes. Estos eventos torrenciales han transportado el material por zonas donde el flujo del río Medellín y sus quebradas presentan un comportamiento turbulento hasta llevarlo a las partes bajas de las laderas donde es depositado.

Por otra parte, los depósitos de vertiente presentan una típica disposición escalonada, donde los depósitos más antiguos se ubican en la parte superior de las laderas y los depósitos más recientes, derivados en parte del material de los depósitos más antiguos, se ubican en la parte inferior.

La mayoría de estos depósitos, están compuestos por mezclas de materiales finos (arenas, limos y arcillas) y materiales gruesos (gravas y bloques de roca). Su contenido de humedad es variable, sobre todo en las

laderas, donde se generan deslizamientos que son movilizados por el efecto de la gravedad y depositados en las partes bajas (García, 2006).

### 1.1 Parámetros geotécnicos en el Valle de Aburrá

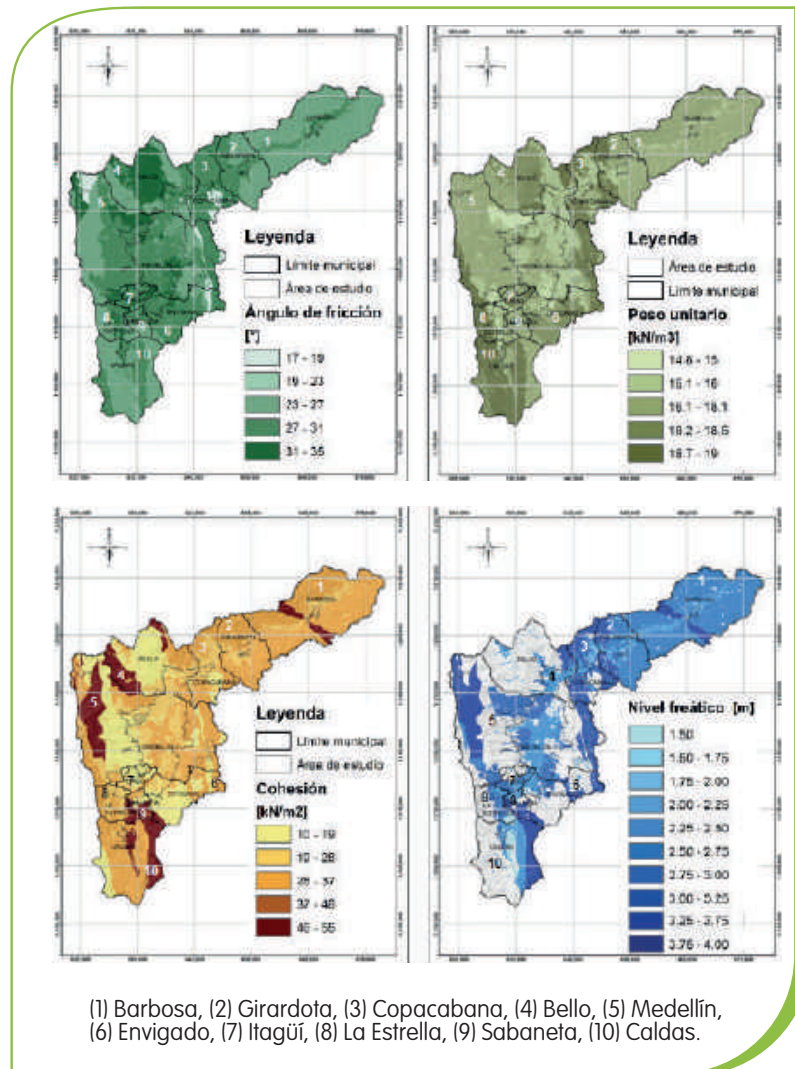
Para poder calcular las fuerzas de empuje necesarias para hincar tuberías mediante la técnica del pipe jacking, se requiere conocer los parámetros geotécnicos del suelo, dichos parámetros son: el ángulo de fricción ( $\Phi'$ ), el peso unitario ( $\gamma$ ), cohesión ( $c'$ ) y la profundidad del nivel freático ( $H$ ). Estos parámetros presentan una variabilidad significativa en el terreno, por lo que es usual realizar perforaciones de campo y ensayos de laboratorio donde se puede determinar la magnitud y variación de cada uno de ellos.

Sin embargo, en las etapas tempranas del diseño de un proyecto, o en las fases de factibilidad normalmente no se cuenta con información de campo de estos parámetros, por lo que es útil consultar información técnica de referencia como por ejemplo la que se encuentra en la Armonización de la microzonificación sísmica de los municipios del Valle de Aburrá, elaborado

por la Universidad de Los Andes en 2016. En la Figura 2 se presentan la variabilidad de los parámetros geotécnicos en el Valle de Aburrá de acuerdo con la información de dicho documento.

Cabe mencionar que la información presentada en la Figura 2 debe ser tomada únicamente como referencia y no deben ser utilizados para realizar diseños detallados, para esto se requiere realizar

perforaciones y recolectar datos de campo y laboratorio que permitan determinar con un mayor grado de precisión dichos parámetros. Sin embargo, para el objeto de este documento, la información presentada en la Figura 2 es de utilidad en etapas tempranas de planeación o prefactibilidad, para el estimativo de las fuerzas de empuje teóricas en el pipe jacking.

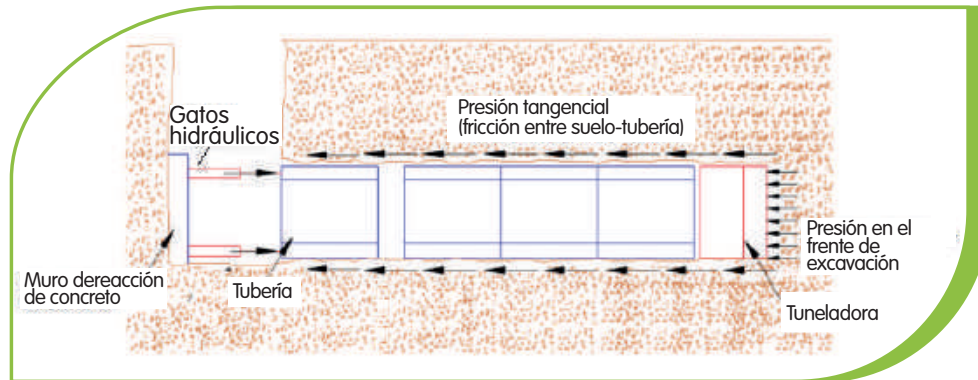


**Figura 2.** Parámetros geotécnicos en el Valle de Aburrá. Recuperado de: (Universidad de Los Andes, 2016)

## 2. Cálculo de las fuerzas de empuje

Las fuerzas de empuje que deben ser aplicadas a la tubería están compuestas por dos componentes: la presión del frente de excavación debida al empuje del suelo y el agua (cuando el

túnel excavado está bajo el nivel freático), y la segunda componente es la presión tangencial o la fricción que se genera entre el tubo y el suelo (ver Figura 3).



**Figura 3.** Fuerzas de empuje durante el pipe jacking. Adaptado de: (Staheli, 2006)

La presión del frente de excavación es equilibrada normalmente mediante el bombeo de bentonita en la parte frontal de la máquina tuneladora, con el fin de permitir que esta pueda realizar la excavación. El equilibrio entre el empuje del suelo y el agua en el frente de excavación y la presión de la bentonita depende de la operación y la velocidad de la máquina tuneladora, ya que, si se tiene una velocidad alta, la presión en el frente se incrementaría demasiado, impidiendo el avance de la tuneladora. Por otra parte, si la velocidad es demasiado baja, el material del frente podría desprenderse y obstruir la máquina.

En general, la presión del frente de excavación sobre la tuneladora se mantiene en un rango de valores que oscila entre la presión activa y pasiva del terreno.

Adicionalmente, la experiencia en diferentes proyectos alrededor del mundo ha mostrado que la presión del frente de excavación representa una componente baja en las fuerzas de empuje que se requieren vencer por parte de los gatos hidráulicos, la cual está influenciada en mayor proporción a la componente de fricción que debe vencerse para deslizar la tubería dentro del túnel (Staheli, 2006).

Teniendo en cuenta lo anterior, la componente de fricción es la fuerza principal que se debe vencer para poder realizar el hincado de tuberías.

Dependiendo del material excavado por la tuneladora, la abertura en el suelo puede ser estable o inestable. Si se tiene un material estable (por ejemplo, suelos puramente cohesivos),



la excavación del túnel puede permanecer temporalmente abierta y la tubería se instala con relativa facilidad mediante el empuje con los gatos hidráulicos. En este caso, la componente de fricción únicamente está relacionada a la fricción dada por la ley de fricción de Newton, expresada mediante la siguiente ecuación:

$$F_r = W \cdot \tan(\delta) \quad (1)$$

$F_r$ : Resistencia a la fricción por unidad de longitud (kN/m)

$W$ : Peso del tramo de tubería por unidad de longitud (kN/m)

$\delta$ : Ángulo de fricción entre la tubería y el suelo (°)

Por otra parte, si se tiene un material menos estable (usualmente asociado a suelos no cohesivos), el terreno puede llegar a colapsar en las paredes de la tubería, induciendo presiones radiales que generan una mayor resistencia al movimiento de la tubería dentro del túnel (Milligan & Norris, 1999).

Varios autores han desarrollado análisis para el cálculo de la fuerza de empuje en suelos no cohesivos. Auld en 1982, desarrolló un modelo basado en la teoría del arqueado de Terzaghi, en el cual se puede determinar las presiones horizontales y verticales ejercidas por el suelo una vez éste ha colapsado sobre las paredes de la tubería (ver Figura 4).

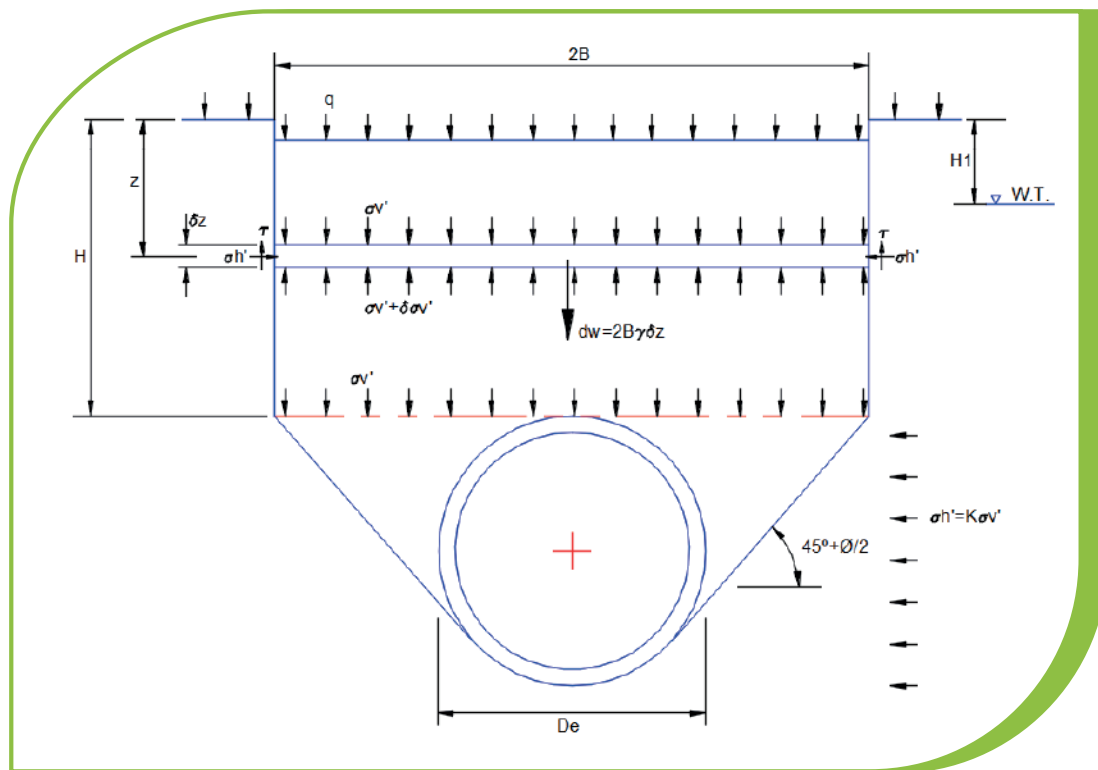


Figura 4. Cargas del terreno sobre la tubería. Recuperado de: (Auld, 1982)

Las ecuaciones del modelo de Auld para el cálculo de la fuerza de fricción resistente que debe ser vencida por los gatos hidráulicos para realizar el hincado de la tubería está dada por la ecuación (2):

$$F_r = \frac{\pi D_e e}{2} (\sigma'_v + \sigma'_h) \tan \delta \quad (2)$$

Donde:

$F_r$ : Fuerza de fricción resistente por unidad de longitud (kN/m)

$D_e$ : Diámetro externo de la tubería (m)

$\sigma'_v$ : Esfuerzo vertical efectivo del suelo sobre la tubería (kPa)

$\sigma'_h$ : Esfuerzo horizontal efectivo del suelo sobre la tubería (kPa)

$\delta$ : Ángulo de fricción entre la tubería y el suelo (°)

Los esfuerzos verticales y horizontales que ejerce el suelo sobre las paredes de la tubería se calculan de acuerdo con las ecuaciones (3), (4) y (5):

$$\sigma'_v = \frac{B(\gamma' - c'/B)}{K_o \cdot \tan(\phi')} \left( 1 - e^{-\frac{(z-H_1)K_o \tan(\phi')}{B}} \right) + \sigma'_{v1} \cdot e^{-\frac{(z-H_1)K_o \tan(\phi')}{B}} \quad (3)$$

$$\sigma'_{v1} = \frac{B(\gamma' - c'/B)}{K_o \cdot \tan(\phi')} \left( 1 - e^{-\frac{H_1 K_o \tan(\phi')}{B}} \right) + q \cdot e^{-\frac{H_1 K_o \tan(\phi')}{B}} \quad (4)$$

$$\sigma'_h = K_o (\sigma'_v + 0.5 \gamma' D_e) \quad (5)$$

$$B = \frac{D_e \cdot \tan(45^\circ - \phi'/2)}{2} + \frac{D_e}{2 \cdot \tan(45^\circ + \phi'/2)} \quad (6)$$

Donde:

$B$ : Ancho del suelo afectado (m)

$\gamma'$ : Peso unitario sumergido del suelo (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma$ : Peso unitario del suelo (kN/m<sup>3</sup>)

$c'$ : Cohesión del suelo (kPa)

$H$ : Profundidad entre el nivel de la superficie del terreno y la clave de la tubería (m)

$H_1$ : Profundidad del nivel freático (m)

$K_o$ : Coeficiente de presión en reposo del terreno (adimensional)

$\phi'$ : Ángulo de fricción efectivo del suelo (°)

También puede evaluarse los esfuerzos sobre la tubería en términos de los esfuerzos radiales, de acuerdo con la ecuación (7):

$$\sigma' r = \left( \frac{\sigma' v + \gamma R \text{Sen } \alpha}{2} \right) (1 + K_o - (1 - K_o) \text{Cos } 2\alpha) \quad (7)$$

Donde "α" es el ángulo a cualquier punto de la circunferencia de la tubería (entre 0° y 360°) y "R" es el radio de la tubería.

Otros autores han propuesto métodos alternos para el cálculo de las presiones horizontales y verticales que ejerce el suelo sobre la tubería, sin embargo, la mayoría están basados en la teoría del arqueado del suelo de Terzaghi. La diferencia entre los diferentes métodos se basa en el cálculo del ancho del suelo afectado "B" el cual varía de uno a otro autor. Por ejemplo, la norma alemana DWA - A 161

Statische Berechnung von Vortriebsrohren (2014) recomienda que el ancho sea:

$$B = D_e \cdot \sqrt{3}$$

En resumen, el cálculo de las fuerzas de empuje depende directamente de los parámetros geotécnicos del terreno ( $\Phi$ ,  $c$ ,  $\gamma$ ,  $H$ ), así como de otras características geométricas de la tubería y de la profundidad de instalación ( $D_e$ ,  $H$ ), por lo que es de suma importancia conocer la variabilidad de estos parámetros su influencia en el proceso de instalación de tuberías por el método de pipe jacking.

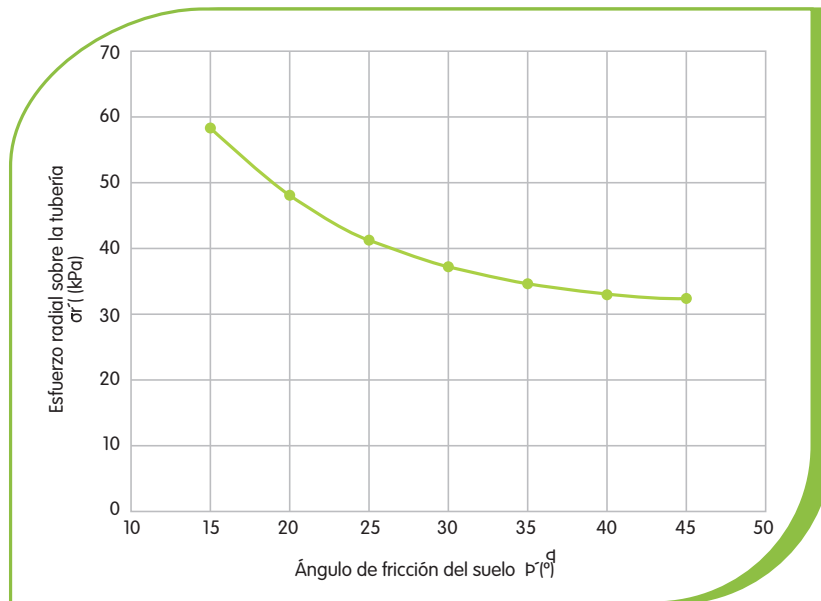
### 3. Variabilidad de las fuerzas de empuje

Los parámetros geotécnicos del suelo tienen un impacto directo en el cálculo de las fuerzas de empuje de las tuberías instaladas con la técnica del pipe jacking. Los efectos de la variabilidad de estos parámetros en el Valle de Aburrá se analizan en este numeral, tomando como información de referencia los valores consignados en la microzonificación sísmica del Valle de Aburrá (ver Figura 2) y las ecuaciones (2) a (7).

#### 3.1 Variación de la fuerza de empuje con el ángulo de fricción del suelo

Se utilizó la ecuación (7) para evaluar la variación de los esfuerzos sobre una tubería de 1.00 m de diámetro instalada a una profundidad de 10.00 m. El peso unitario se tomó en un valor fijo de 19 kN/m<sup>3</sup>, el nivel freático se asumió a 5.00 m de profundidad y los valores del ángulo de fricción del suelo se tomaron en el rango entre 17° y 35°, de acuerdo con la información de la microzonificación sísmica del Valle de Aburrá. En la Figura 5 se presentan los resultados.

$$\sigma' r = \left( \frac{\sigma' v + \gamma R \text{Sen } \alpha}{2} \right) (1 +$$



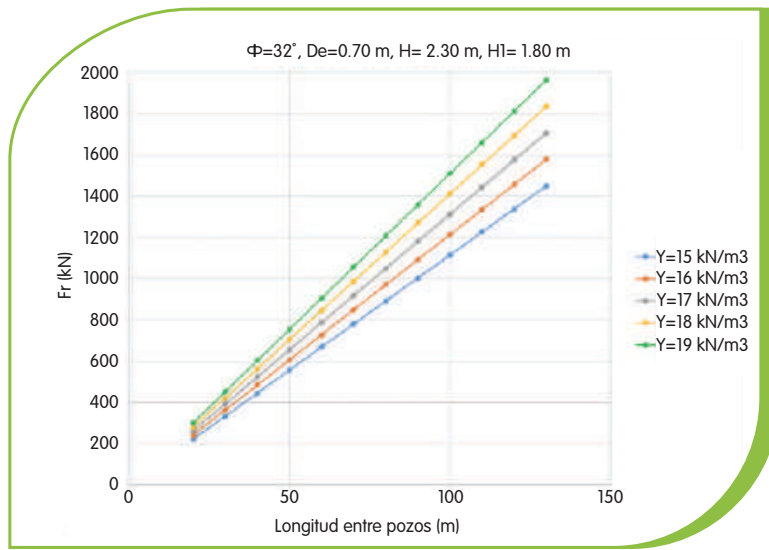
**Figura 5.** Variación de los esfuerzos radiales en la tubería con el ángulo de fricción del suelo

Como puede verse en la Figura 5, un incremento en el valor del ángulo de fricción induce menores esfuerzos causados por el empuje del suelo sobre la tubería, debido al aumento en la resistencia a cortante y a una menor tendencia del suelo a presentar el efecto del arqueado descrito por Terzaghi, 1943. Lo anterior permite deducir que las fuerzas de empuje para tuberías hincadas en suelos no cohesivos con valores altos del ángulo de fricción, presentarán menores fuerzas de empuje durante la instalación.

### 3.2 Variación de la fuerza de empuje con el peso unitario del suelo

En la Figura 6 se presenta la variación de las fuerzas de empuje de un tramo de tubería entre dos pozos, de acuerdo con los rangos de valores del peso unitario que se manejan en el valle de Aburrá. En este caso, se asumió un diámetro externo de la tubería de 0.70 m, un ángulo de fricción del suelo de  $32^\circ$ , una altura de enterramiento de la tubería de 2.30 m y una profundidad del nivel freático de 1.80 m.

$$K_o = (1 - K_o) \cos 2\alpha$$

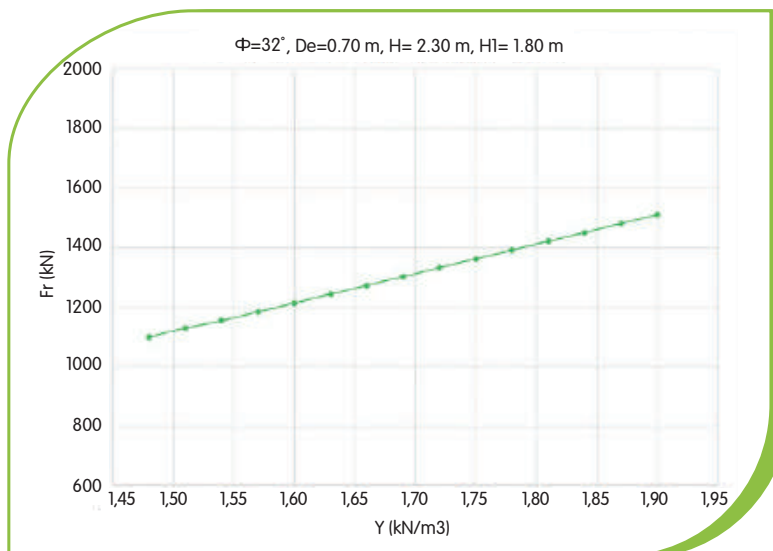


**Figura 6.** Fuerza de empuje Vs. Longitud entre pozos, para diferentes valores de peso específico

Como puede verse en la Figura 6, las fuerzas de empuje tienen una relación proporcional con el peso específico del suelo, esto significa que, si este parámetro se incrementa, las fuerzas de empuje también lo harán.

fuerzas de empuje para un tramo de longitud de 100 m, pero considerando la variación del parámetro del peso específico en dicha longitud. Se observa que la fuerza de empuje puede variar en un mismo tramo entre 1100 kN a 1511 kN, lo cual representa una variación del orden de 37%.

Debido a que en un tramo entre pozos el peso específico puede variar y no tener un valor fijo, en la Figura 7 se presenta la variación de las



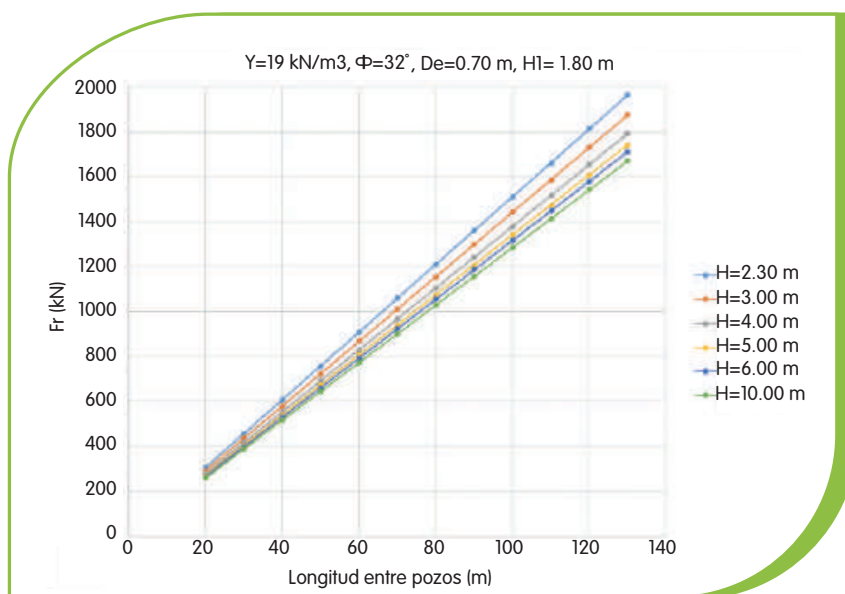
**Figura 7.** Fuerza de empuje Vs. Peso unitario del suelo



La variabilidad del peso específico del suelo a lo largo de un tramo entre pozos tiene implicaciones en el cálculo de la fuerza de empuje, por lo que es indispensable contar con un buen número de sondeos y ensayos en la mayor cantidad de puntos del trazado de la tubería, con el fin de conocer los rangos en los que se encuentra el peso específico y disminuir la posibilidad de errores en la cuantificación de las fuerzas de empuje durante el diseño.

### 3.3 Variación de la fuerza de empuje con la profundidad

En este caso se evalúa la variabilidad de las fuerzas de empuje de acuerdo con la profundidad de instalación de la tubería (ver Figura 8).

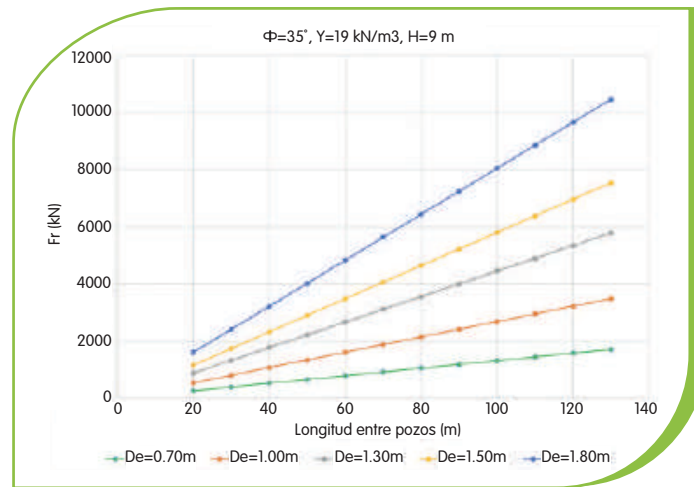


**Figura 8.** Fuerza de empuje Vs. Longitud entre pozos, para diferentes valores de profundidad de instalación

Como puede verse en la Figura 8, si los parámetros geotécnicos se mantienen relativamente constantes entre los pozos, no hay una variación significativa en la magnitud de las fuerzas de empuje. Por ejemplo, en este caso para una longitud entre pozos de 100 m, la fuerza de empuje requerida sería de 1317 kN a una profundidad de instalación de la tubería de 6 m, mientras que si la profundidad se incrementa hasta los 10 m la fuerza sería de 1285 kN, lo que representa una diferencia de 2.4%.

### 3.4. Variación de la fuerza de empuje con el diámetro de la tubería

En la Figura 9, se presenta la variación de la fuerza de empuje para unas condiciones de profundidad y parámetros geotécnicos constantes a lo largo del alineamiento entre pozos.



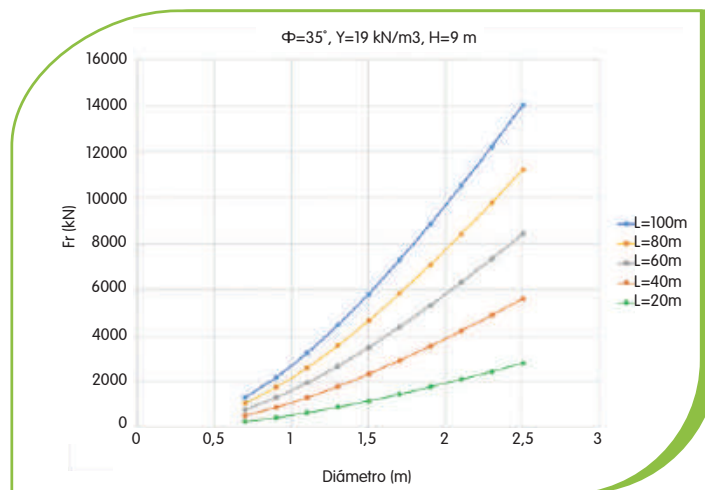
**Figura 9.** Fuerza de empuje Vs. Longitud entre pozos, para diferentes diámetros de tubería

En este caso la variabilidad de las fuerzas de empuje es significativa, lo que indica claramente que a medida que se incrementa el diámetro de la tubería, las fuerzas de empuje crecen rápidamente.

Este efecto de la influencia del diámetro en las fuerzas de empuje se debe a que el área superficial que queda en contacto con el terreno es superior a medida que se aumenta

el diámetro de la tubería, por lo que se requiere de una mayor fuerza de empuje para vencer la fricción y la restricción de movimiento para la instalación de la tubería.

En la Figura 10 puede observarse que la relación entre el diámetro de la tubería y las fuerzas de empuje no es lineal. El diámetro es la variable que más impacta las fuerzas de empuje comparado con las otras variables involucradas en su cálculo.



**Figura 10.** Fuerza de empuje Vs. diámetro de la tubería, para diferentes longitudes entre pozos

## 4. Comparación de las fuerzas de empuje teóricas con proyectos desarrollados en el Valle de Aburrá

En el Valle de Aburrá, Empresas Públicas de Medellín ha desarrollado dos proyectos donde se utilizó la técnica del pipe jacking. El primero de ellos es Centro Parrilla, el cual consistió en la renovación de redes de acueducto y alcantarillado a través de diferentes tecnologías sin zanja en el Centro de Medellín. “La tecnología sin zanja se implementó en el 67% de las redes de acueducto y 71% de las redes de alcantarillado que fueron rehabilitadas” (Arenas, 2017).

En Centro Parrilla se construyeron redes de alcantarillado con tuberías de concreto de diámetros entre 600 mm a 1500 mm mediante la técnica de pipe jacking.

El otro proyecto desarrollado por Empresas Públicas de Medellín utilizando pipe jacking fue el Interceptor Norte, el cual consiste en la construcción de una tubería que transporta

las aguas residuales del norte de la ciudad de Medellín y del municipio de Bello hasta la nueva planta de tratamiento PTAR Aguas Claras. La tubería de concreto reforzado usando la técnica pipe jacking tiene una longitud aproximada de 7.5 km y diámetros entre 2.20 m y 2.40 m.

Con el fin de comparar las fuerzas de empuje calculadas mediante las ecuaciones (2) a (6), se utilizaron los parámetros geotécnicos obtenidos para dos tramos entre pozos de cada uno de los proyectos.

### 4.1 Fuerzas de empuje calculadas Vs. Fuerzas registradas en campo para el proyecto Centro Parrilla

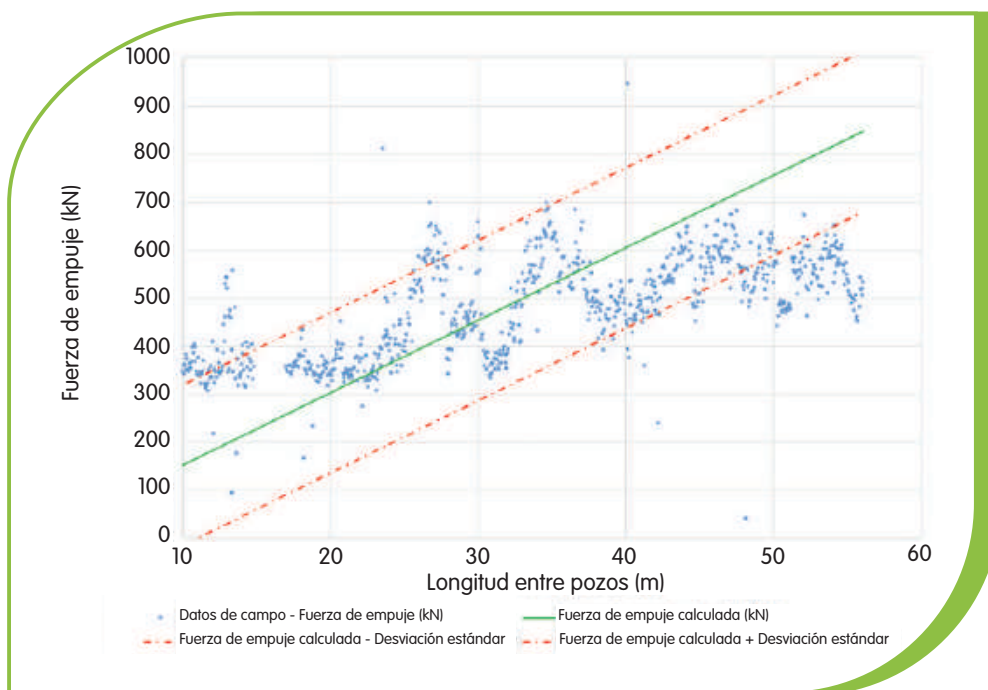
En la Tabla 1 se presentan los datos de la tubería y los parámetros geotécnicos obtenidos del informe de investigaciones geotécnicas del proyecto (Ingetec SA - Ingenieros Consultores, 2013).

<b>Descripción del tramo</b>	Pozos C 348A - C 359A
<b>Material de la tubería</b>	Concreto reforzado
<b>Diámetro tubería</b>	0.70 m
<b>Longitud entre pozos</b>	74.13 m
<b>Longitud efectiva de tubería</b>	56.08 m
<b>Profundidad de la tubería</b>	H = 2.30 m
<b>Tipo de suelo en el tramo</b>	Depósitos aluviales
<b>Ángulo de fricción del suelo</b>	$\Phi' = 32^\circ$
<b>Cohesión</b>	$c' = 11 \text{ kPa}$
<b>Peso unitario del suelo</b>	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
<b>Profundidad nivel freático</b>	H1 = 1.80 m

**Tabla 1.** Información tramo entre pozos C 348A - C 359A. Proyecto Centro Parrilla (Ingetec SA - Ingenieros Consultores, 2013)

En la Figura 11 se presentan los valores calculados de la fuerza de empuje usando las ecuaciones (2) a (6) para el tramo entre los pozos C 348A - C 359A del

proyecto Centro Parrilla. Adicionalmente, se presentan los datos de las fuerzas registradas en campo durante el proceso de instalación de la tubería.



**Figura 11.** Fuerza de empuje registradas en campo Vs. Fuerzas de empuje calculadas. Tramo entre pozos C 348A - C 359A del proyecto Centro Parrilla

Como puede verse, los datos de campo presentan puntos máximos y mínimos que están asociados a factores relacionados con la lubricación utilizada durante el proceso constructivo (uso de bentonita para reducir la fricción).

Los otros valores máximos representan instantes en los cuales se realiza una detención del hincado de la tubería. Esta parada hace que, en el momento de reanudar la operación, la fuerza de empuje se incremente considerablemente en relación a la fuerza que venía registrándose previo a la parada. Cabe mencionar que estos efectos no son tenidos en cuenta por el modelo

teórico, por lo que la línea de la fuerza teórica calculada representa la componente neta de fricción entre el suelo y la tubería, sin considerar efectos de lubricación ni detenciones en la operación.

Aunque el modelo teórico no incluye estos efectos, se observa que la fuerza calculada es una aproximación aceptable para la estimación de las fuerzas de empuje, sobre todo en etapas tempranas de proyectos, donde no se cuenta con información para realizar el dimensionamiento de equipos y obras civiles requeridas en un proyecto de pipe jacking.

## 4.2 Fuerzas de empuje calculadas Vs. Fuerzas registradas en campo para el proyecto Interceptor Norte

De manera análoga, para el Interceptor Norte, en la Tabla 2 se presentan los datos de la tubería

y parámetros geotécnicos obtenidos de los informes de la caracterización geotécnica del proyecto (GICA, 2011).

<b>Descripción del tramo</b>	Pozos C14 - C16
<b>Material de la tubería</b>	Concreto reforzado
<b>Diámetro tubería</b>	2.40 m
<b>Longitud entre pozos</b>	712 m
<b>Profundidad de la tubería</b>	H = 8.00 m
<b>Tipo de suelo en el tramo</b>	Depósitos aluviales
<b>Ángulo de fricción del suelo</b>	$\Phi' = 42^\circ$
<b>Cohesión</b>	$c' = 0$ kPa
<b>Peso unitario del suelo</b>	$\gamma = 19$ kN/m <sup>3</sup>
<b>Profundidad nivel freático</b>	H1 = 5.30 m

**Tabla 2.** Información entre pozos C14 - C16. Proyecto Interceptor Norte (GICA, 2011)

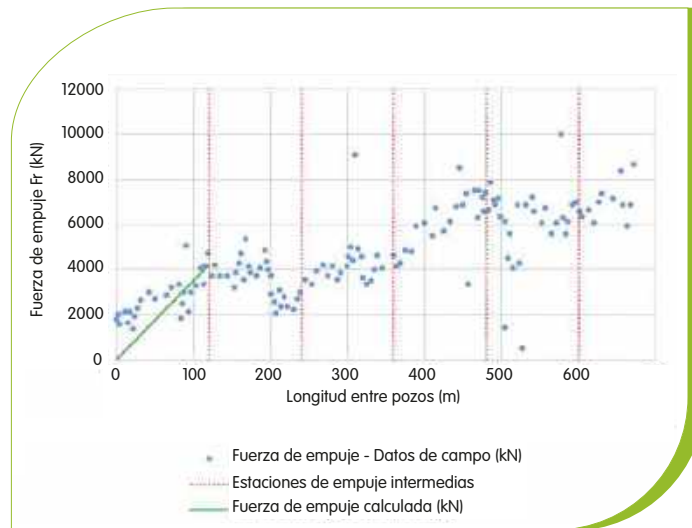
Para comparar las fuerzas de empuje calculadas con los datos de campo en el tramo entre los pozos C14 y C16 del Interceptor Norte, se debe tener en cuenta que en este tramo fueron utilizados estaciones intermedias y lubricación con bentonita durante la construcción. Las estaciones intermedias estaban ubicadas cada 120 m con el fin de proteger las tuberías de un daño estructural por un incremento exagerado en las fuerzas de empuje, y la lubricación se hizo en secciones ubicadas cada tubo de por medio.

Adicionalmente, en el proyecto se definió un valor límite admisible de fuerza de empuje para las tuberías, dicho valor quedó establecido en 18300 kN (Consortio CICE, 2011). Teniendo en cuenta lo anterior, la fuerza registrada en campo corresponde a la de los gatos hidráulicos

principales. Dicha fuerza es afectada por el efecto de las estaciones intermedias y la lubricación con bentonita, lo cual permite tener fuerzas que no superan el límite admisible de la tubería mencionado anteriormente.

En la Figura 12 se observa la fuerza calculada únicamente para los primeros 120 m comprendidos entre el pozo de lanzamiento C14 y la primera estación intermedia de empuje. Cabe mencionar que no se calcularon las fuerzas para el tramo completo de 712 m entre los pozos C14 y C16, teniendo en cuenta que no podría realizarse una comparación adecuada, ya que el registro de la fuerza de empuje en campo se ve afectada por la presencia de las estaciones intermedias y la lubricación, aspectos que no son tenidos en cuenta en el modelo teórico.





**Figura 12.** Fuerza de empuje registradas en campo Vs. Fuerzas de empuje calculadas. Tramo entre pozos C14 - C16 del proyecto Interceptor Norte

## Conclusiones

- Los parámetros geotécnicos influyen considerablemente en el cálculo de las fuerzas de empuje para la técnica del pipe jacking tal como se pudo evidenciar en los análisis presentados en este artículo. Adicionalmente, estos parámetros no son valores que permanezcan constantes en el terreno a lo largo del alineamiento de una tubería, por lo tanto, es importante realizar análisis de sensibilidad durante el diseño sobre de la variabilidad de estos parámetros, con el fin de determinar con un grado de certeza aceptable las fuerzas de empuje que se requerirán durante la fase de construcción de un proyecto determinado.
- La comparación de las fuerzas de empuje calculadas con respecto a los datos de los dos proyectos del interceptor Norte y

Centro Parrilla, muestran que los cálculos teóricos tienden a sobreestimar las fuerzas de empuje, esto se debe a que el modelo analítico no tienen en cuenta varios factores tales como el uso de bentonita para disminuir la fricción entre las paredes del tubo y el suelo, el uso de estaciones intermedias de empuje y las detenciones temporales de la tuneladora que deben hacerse durante el proceso constructivo. Sin embargo, esta sobreestimación provee un factor de seguridad que puede ser de utilidad a la hora de dimensionar las obras civiles y los equipos mecánicos para proyectos en fases de prefactibilidad o factibilidad, donde no se cuenta con información geotécnica detallada de la zona donde se planea el proyecto.

## Referencias

- Área Metropolitana del Valle de Aburrá - AMVA. (2006). Microzonificación sísmica detallada de los Municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado.
- Arenas, H. L. (2017). EPM con tecnologías sin zanja interviene las redes del centro de Medellín. Trenchless World Congress: No Dig Medellín 2017.
- Auld, F. (1982). Determination of pipe jacking loads. Proceedings of the Pipe Jacking Association Conference. Pipe Jacking Association. London.
- Consorcio CICE. (2011). Informe cálculo presiones, fuerzas gateo y asentamientos. Túnel interceptor norte del río Medellín. Medellín.
- Consorcio CISE. (2011). Diseño detallado y construcción del interceptor del río Medellín y obras accesorias. Manual de construcción Túnel. Medellín.
- DWA-A161-Standard. (2014). Working sheet. Statische Berechnung von Vortriebsrohren.
- EPM-51MED23-07RE-0337. (2013). Planos y especificaciones del diseño conceptual y detallado para la reposición y optimización del sistema de alcantarillado del sector denominado Centro Parrilla Grupo 1. Medellín.
- García, C. (2006). Estado del conocimiento de los depósitos de vertiente del Valle de Aburrá. Revista Boletín Ciencias de la Tierra.
- GICA. (2011). GICA\_20111015-CICE\_IN\_02 Informe final caracterización geológica geotécnica del intercetor norte. Medellín.
- Ingeniería y Contratos S.A.S. (2013). Fuerzas de gateo Centro parrilla drive 1\_C348A-C359A\_S01 BOLIVAR LONG 64m. Medellín.
- Ingetec SA - Ingenieros Consultores. (2013). Diseño conceptual y detallado para la reposición y optimización del sistema de alcantarillado del sector denominado Centro Parrilla. Anexo F1 Informe de investigaciones geotécnicas. Sector 1. Medellín.
- Milligan, G. W., & Norris, P. (1999). Pipe-soil interaction during pipe jacking. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering, Vol. 137. pp 27-44.
- Montoya, R. A. (2017). Visión de EPM sobre las tecnologías sin zanja en la construcción y rehabilitación de redes de acueducto y alcantarillado. Trenchless World Congress: No Dig Medellín 2017.
- Otálvaro, S. (2019). Analysis of the radial and tangential soil pressure on pipes installed by the pipe jacking method in the Aburrá Valley. Medellín: Universidad EAFIT.
- Staheli, K. (2006). Jacking force prediction: An interface friction approach based on pipe surface roughness. Doctoral thesis. Atlanta: Georgia Institute of technology.
- Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. New York: Wiley and Sons.
- Universidad de Los Andes. (2016). Armonización de la microzonificación sísmica de los municipios del Valle de Aburrá e inclusión de los corregimientos de Medellín. Bogotá D.C.

### Cómo citar este artículo:

Otálvaro Velásquez, S. (2020). Influencia de los parámetros geotécnicos del suelo en el cálculo de las fuerzas de empuje para la técnica pipe jacking. Revista EPM, (15), P. 62-79



# Es posible un entorno laboral incluyente. Experiencia EPM

An inclusive work environment is posible. EPM experience

**Milena  
Giraldo Giraldo**

Dirección Desarrollo del Talento  
Humano

[sonia.giraldo@epm.com.co](mailto:sonia.giraldo@epm.com.co)

**Andrea  
Sierra Hernández**

Dirección Desarrollo del Talento  
Humano

[andrea.sierra@epm.com.co](mailto:andrea.sierra@epm.com.co)

**Sandra Suleima  
Rivas Hoyos**

Dirección Desarrollo del Talento  
Humano

[sandra.rivas@epm.com.co](mailto:sandra.rivas@epm.com.co)

## Resumen

La inclusión laboral de personas con discapacidad es un desafío para las organizaciones. A través del tiempo los paradigmas sociales y culturales se han convertido en barreras que obstaculizan el acceso al mercado laboral de las personas con algún tipo de discapacidad. Este artículo presenta las acciones que ha puesto en práctica EPM, a través de las cuales busca posibilitar un entorno laboral incluyente, con equidad de oportunidades para las personas

con discapacidad en todos los procesos organizacionales, plantea los aprendizajes adquiridos en esta experiencia con el fin de contribuir a que otras empresas incorporen dentro de sus prácticas este proceso, aportando conjuntamente al alcance de los objetivos de desarrollo sostenible para contribuir a la construcción de una sociedad con equidad y participación para todos.

## Palabras clave:

Discapacidad, Enfoque social, Inclusión laboral, Equidad laboral, Empresas incluyentes, Empleados con discapacidad, Ayudas técnicas.

## Key words:

Disability, Social approach, Labor inclusion, Labor equity, Inclusive companies, Employees with disabilities, Technical help



## Introducción

Durante las distintas épocas de la humanidad han existido personas con limitaciones físicas, sensoriales, cognitivas y mentales, que de acuerdo con la cultura y el contexto histórico se han abordado desde diferentes enfoques. Los prejuicios, estereotipos, creencias y paradigmas sociales han marcado significativamente el destino de estas personas: sus posibilidades de superación personal, de desarrollo, potencialización de sus habilidades y capacidades, el alcance de niveles de independencia y autonomía personal y social, se han plegado a las voluntades de poder en cada contexto histórico.

De acuerdo con algunas investigaciones en torno a este tema, entre ellas la de Padilla (2010), han surgido distintas perspectivas y modelos a través de los cuales se ha pretendido abordar y dar respuesta a las personas que presenten alguna discapacidad. Al respecto expone Padilla que, en los siglos XVII y XVIII predominó el modelo de prescindencia en el que se pensaba que las personas con discapacidad debían ser encerradas y exterminadas. Para finales del siglo XVIII y hasta mitad del siglo XX, se adopta el modelo médico rehabilitador que partía de la concepción de enfermedad y se pretendía curar la discapacidad. En la década de los 60, se piensa en un modelo con enfoque social en el que se concibe que la discapacidad aparece como resultado de la interacción entre una persona con una deficiencia o alteración en la función biológica y las barreras que se encuentran en el entorno que obstaculizan su participación (Padilla. 2010).

Este último postulado sobre la discapacidad ha venido tomando fuerza a través del tiempo.

Hoy, entidades como la Organización Mundial de la Salud, la Clasificación Internacional del Funcionamiento, la Convención para las Personas con Discapacidad y las mismas leyes y decretos, se acogen a esta visión y perspectiva.

El modelo social permanece vigente en la actualidad y se soporta en un marco legal que se actualiza permanentemente respondiendo a las demandas y necesidades de las personas con discapacidad, quienes han tenido cada vez más presencia activa en los escenarios de participación social, comunitaria, educativa y laboral; puesto que la concepción de la discapacidad, desde esta mirada, proporciona un marco de oportunidades en el que estas personas participan en los distintos escenarios, potenciando sus habilidades y competencias, lo que les ha permitido mayor autonomía e independencia en sus distintas áreas y dimensiones.

Hoy el Estado colombiano, las entidades de carácter nacional e internacional, el sector empresarial y la sociedad misma, se encuentran en un cambio importante de paradigmas que generan una transformación social respecto a la concepción de las personas con discapacidad y su inclusión laboral. EPM no es ajena a esta transformación, pues su esencia misma es la de crecer en una relación de equilibrio con la sociedad, adaptándose a los cambios y respondiendo a las señales del entorno que contribuyan a la sostenibilidad, brindando servicios con calidad, cercanía y responsabilidad social.

Desde sus inicios y hasta la fecha, EPM ha trabajado en pro de los Derechos Humanos, por la No discriminación, respetando la diferencia y particularidad de las personas, resaltando



en estas sus habilidades y competencias como elementos que favorecen el progreso y la mejora continua; lo cual se evidencia en las prácticas al interior de sus procesos.

Para materializar el reto de la inclusión de personas con discapacidad, EPM adopta la perspectiva del enfoque social, implementando en sus procesos, políticas y dinámicas organizacionales, acciones afirmativas que han dado lugar y participación a este colectivo en equidad de oportunidades, potencializando sus competencias y contribuyendo a la transformación social en el marco de sus valores

y de su propósito organizacional en el que se busca Contribuir a la armonía de la vida para un mundo mejor<sup>1</sup>.

Hoy EPM cuenta con varios aprendizajes en torno a la inclusión laboral de personas con discapacidad, los ha implementado como buenas prácticas en cada uno de los procesos organizacionales y pueden ser referente para entidades y organizaciones del sector empresarial, que se encuentren interesados en incorporar en sus políticas, procesos y experiencias con enfoque de inclusión y diversidad.

**En EPM creemos que una discapacidad no define nuestro potencial**

**Imagen 1.** Mensaje publicado en medios internos EPM acerca de su concepción sobre la discapacidad. Recuperado de: Medios de comunicación internos EPM, 2019

## 1. Antecedentes

Según Padilla (2010), las primeras leyes y declaraciones normativas para las personas con discapacidad datan del año 1955 y fueron pensadas principalmente como hitos que favorecieran la rehabilitación de estas personas. A partir de la pronunciación de los mismos líderes con discapacidad, quienes mostrando sus potenciales y habilidades pedían ser vistos no solo como personas enfermas que necesitaban rehabilitarse sino también como sujetos de derechos que pueden aportar a la sociedad, se empieza a pensar en modelos

y leyes que garanticen su participación en el entorno sin distinción o discriminación por razón de su condición.

En 1980 la Organización Mundial de la Salud (OMS) aprobó la clasificación internacional de las deficiencias, las minusvalías y las discapacidades. En 1982 se lanza un programa de acción mundial por parte de las Naciones Unidas para las personas con discapacidad. En 1983 la Organización Internacional del Trabajo (OIT) lanza el Convenio 159 sobre la empleabilidad

para personas con discapacidad. En 1993 las Naciones Unidas mediante la Resolución 4896, publicó las normas uniformes referidas a igualdad de oportunidades para las personas con discapacidad, adoptando principios que garanticen tal objetivo; desde entonces se adoptó la Convención Interamericana para la Eliminación de la Discriminación de las Personas con Discapacidad la cual fue suscrita en Guatemala en 1999 y fue incorporada a la legislación colombiana por medio de la Ley 762 de 2002.

En el año 2006 se lanza la Convención para los Derechos de las Personas con Discapacidad, la cual fue aprobada en Colombia en el año 2009 por

medio de la Ley 1346. Actualmente se encuentra en vigencia la Ley Estatutaria 1618 de 2013 en la cual se garantiza la plena participación de las personas con discapacidad en el ejercicio laboral, salud, educación, vivienda, deporte, vida activa en el entorno social y otras. Para dar cumplimiento a las disposiciones expuestas en esta ley han sido aprobados varios decretos y entre ellos el Decreto 2011 de 2017, que compromete a las empresas públicas del país a tener dentro de su planta de empleados un porcentaje de personas con discapacidad, promoviendo de esta forma, el derecho al empleo para esta población.

## 2. La discapacidad hoy

Actualmente se continúa con la tarea de la adopción de nuevos paradigmas y desligamiento de prejuicios respecto a la concepción de las personas con discapacidad. Hoy se cuenta con una visión distinta a través de la mirada del enfoque social de derechos en el que se entiende la discapacidad como el resultado de las barreras que se encuentran en el entorno. Desde esta perspectiva se plantea que la discapacidad desaparece en la medida que las barreras se minimicen para permitir la plena participación de las personas en los diferentes contextos.

En la misma línea, la Ley Estatutaria 1618 acoge la definición del concepto de discapacidad que propone la OMS en la que plantea que este es un término general que abarca las deficiencias, las limitaciones de la actividad y las restricciones de la participación. Al respecto expone que las deficiencias son problemas que afectan a una

estructura o función corporal, las limitaciones de la actividad son dificultades para ejecutar acciones o tareas, y las restricciones de la participación son problemas para participar en situaciones vitales. Por consiguiente, el concepto "discapacidad" refleja una interacción entre las características del organismo humano y las características de la sociedad en la que vive". (Organización Mundial de la Salud. 2011 en Ley Estatutaria 1618 de 2013). Se trata entonces de reconocer que existe una condición que está en directa relación con las personas, así mismo existen barreras para el acceso y la participación que son propias del contexto social al que esta pertenece. Por tal razón se requiere la identificación y el reconocimiento de ambas condiciones para promover acciones que eliminen las barreras a través de herramientas que le permitan a la persona con discapacidad su participación plena y activa.

Canimas, (2015) cita lo expuesto en algunos foros Internacionales en los que se propone que el término discapacidad debe ser mirado desde la perspectiva de la diversidad funcional, replanteando las deficiencias como formas distintas de hacer las cosas (pp. 81, 82). Esta óptica aporta a la equidad en la participación desde el amplio panorama de la diversidad, en el que se puede pintar el mundo en distintos matices, pero son estos mismos los que llenan de magia y color el entorno del que hacen parte.

La discapacidad de las personas se minimiza cuando desaparecen las barreras a través de la utilización de las ayudas técnicas y la implementación de ajustes razonables. A continuación, se definen estos dos términos:

**Ayudas técnicas:** las ayudas técnicas o dispositivos de apoyo son: productos, instrumentos, equipos o sistemas utilizados por las personas con discapacidad, fabricados especialmente o disponibles en el mercado para prevenir, compensar, disminuir o neutralizar una deficiencia, discapacidad o minusvalía (Norma ISO 9999 en Declaración Estocolmo, 2004).

Estos dispositivos son de uso personal. Si la persona con discapacidad los requiere, debe adquirirlos por sus propios medios o por solicitud a su sistema de salud.

**Ajustes razonables:** Los ajustes razonables son aquellas modificaciones y adaptaciones (ajustes) necesarias y adecuadas (razonables) requeridas

para garantizar a la persona con discapacidad física, sensorial, mental y/o intelectual el pleno ejercicio del derecho al trabajo en igualdad de condiciones que los demás trabajadores (Paredes, 2016). Tal como lo indica la definición, es la Empresa la responsable de realizar e implementar estos ajustes, propiciándole al funcionario con discapacidad espacios y escenarios incluyentes.

La Organización Mundial de la Salud a través de la CIF, propone clasificar la discapacidad en algunos tipos para efectos de comprensión y adopción de estrategias que promuevan escenarios de inclusión. Esta clasificación se agrupa en discapacidades de tipo sensorial que comprometen o alteran los órganos de los sentidos, discapacidades físicas que se relacionan con el movimiento corporal, discapacidades intelectuales en las que se afecta principalmente la curva de aprendizaje y la habilidad para solucionar situaciones de la vida cotidiana, y discapacidades psicosociales, relacionadas con la interacción y el manejo de las emociones. En la Tabla 1 se muestra un esbozo de lo aquí expuesto, así como las principales ayudas técnicas y los ajustes razonables que se implementan para garantizar la participación con equidad de las personas con discapacidad en los entornos laborales.

Tipo de discapacidad	Definición	Ayudas técnicas	Ejemplo de ajustes razonables
<b>Sensorial visual</b>	Consiste en la pérdida total o parcial de la visión. La afectación principal se encuentra en la incapacidad de percibir información a través de los ojos.	Bastón Sistema Braille	Softwares lectores de pantalla como jaws, nvda, magnificadores de pantalla, magnificadores electrónicos, guía táctil, señaléticas de ubicación, lupas, teclados en alto contraste, impresiones en macrotipo (entre otros)
<b>Sensorial auditiva</b>	Se caracteriza por la pérdida total o parcial de la audición. Su principal alteración se encuentra en la incapacidad de percibir información a través del oído. Esta se clasifica en tres grupos: Sordo profundo Sordas hipoacusias Sordociegas	Lenguaje de señas Lectura labiofacial Señas táctiles	Servicio de intérprete Servicio de guía intérprete Señalética en lengua de señas Video interpretación (entre otros)
<b>Física</b>	Se manifiesta por la limitación o pérdida parcial o total, permanente o temporal del movimiento corporal y/o ausencia de algunas de sus extremidades y su interacción con las barreras del entorno.	Silla de ruedas Muletas Bastón de apoyo Prótesis	Rampas Baños accesibles Elementos accesibles según la necesidad
<b>Intelectual cognitiva</b>	Resulta de la interacción entre una persona con una alteración en el nivel de desempeño de las funciones psíquicas superiores y las barreras que presenta el entorno.	Comunicador portátil Recordatorios Calculadora (entre otros)	Lecturas en texto fácil Tareas acordes a su capacidad intelectual Pictogramas Comunicación sencilla (entre otros)
<b>Psicosocial</b>	Se define como la alteración de las estructuras psíquicas y emocionales que en relación con las barreras del entorno pueden resultar incapacitantes en su cotidianidad	Adherencia a los tratamientos médicos	Empatía, lectura integral del contexto de la persona, ajuste en las dinámicas relacionales.

Tabla 1. Tipos de discapacidad y principales ajustes para la inclusión laboral.

### 3. Algunas estrategias de empleabilidad con enfoque de inclusión

#### 3.1 Estrategias en Colombia y el mundo

A través del tiempo se han generado diferentes estrategias para propiciar la inclusión laboral en el mundo. Algunas están hoy vigentes y son implementadas por las organizaciones como buenas prácticas. Citando la tesis de Garavito

(2014) sobre inclusión de las personas con discapacidad en el mercado colombiano, se exponen las siguientes estrategias:

- **Los Centros Especiales de Empleo:** la creación de estos centros tiene como objetivo posibilitar que las personas con discapacidad

puedan realizar un trabajo productivo participando en los procesos productivos de las organizaciones y asegurando un empleo con remuneración que permita el ajuste social de esta población.

- **La Ley de Cuotas:** consiste en una norma legal mediante la cual se exige a las empresas públicas y/o privadas la contratación de cierto porcentaje de personas con discapacidad de acuerdo con el número total de empleados que posean en su planta de personal. Con esta estrategia se pretende dar un primer paso para visibilizar los derechos de las personas con discapacidad en el ámbito laboral y fortalecer la capacitación y escolarización de estas personas con el fin de generar mayor empleabilidad y ajuste al mercado laboral.
- **El empleo con apoyo:** consiste en brindar un acompañamiento a través de entrenadores laborales debidamente preparados para la formación sistemática de las personas con discapacidad, así como para el seguimiento, tutoría y desarrollo de estas, con el objetivo de fortalecer su inclusión al mundo laboral de una manera independiente y autónoma.
- **La Responsabilidad Social Empresarial:** es otra estrategia que promueve el ajuste en las políticas, procesos y prácticas, la incorporación de elementos que propicien la inclusión, la diversidad y el aporte responsable en el desarrollo social de la región en actividades que van más allá del hecho de cumplir con la legislación; esto habla de un cambio de mentalidad y no simplemente de una práctica normativa.

- **El Teletrabajo:** esta modalidad promueve el acceso al trabajo para las personas con discapacidad que presenten alguna restricción para desempeñar el trabajo en la Empresa.

Es importante aclarar que, tanto la estrategia de responsabilidad social empresarial como el teletrabajo, no son exclusivas de la población con discapacidad, estas son aplicables también para la población en general.

Colombia contribuye a la transformación social a través de la incorporación de un marco normativo que propende por el respeto por los Derechos Humanos en el trabajo; independiente de la raza, credo religioso, político, condición social, discapacidad u orientación sexual. Garavito (2014) indica que Colombia se acoge al Pacto Global en el cual se declara que, "las organizaciones públicas y privadas signatarias de este, propendan por el desarrollo de iniciativas que aportan a la inclusión laboral para cooperar con el principio de "Eliminación de la discriminación respecto al empleo y la ocupación".

### 3.2 Estrategias en EPM

EPM en su compromiso con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, su Política de Responsabilidad Social Empresarial y su Política de Derechos Humanos, plantea en su Direccionamiento Estratégico lograr la sostenibilidad a través del propósito "*Contribuir a la armonía de la vida para un mundo mejor*"; es por esta razón que desde hace varios años viene trabajando en generar las condiciones organizacionales para lograr un ambiente laboral incluyente, declarando así que, el empleo va más allá de una relación laboral, es un tema de sostenibilidad social.



En su Política de Derechos Humanos, EPM se compromete a cumplir y promover el acatamiento de lo consagrado en la Carta Universal de los Derechos Humanos y sus protocolos, convenciones y pactos vinculantes, incluidos el Derecho Internacional Humanitario y lo dispuesto por la Constitución Política y el marco legal colombiano. (Política Derechos Humanos EPM. 2012). Este compromiso se verá reflejado en el desarrollo de todos los proyectos y procesos, al tiempo que estará alineado con las políticas institucionales y con los principios internacionales sobre el tema.

Para EPM, Sostenibilidad es el “conjunto de condiciones económicas, sociales y ambientales que favorecen la permanencia y el desarrollo de una empresa en una relación de beneficio mutuo

con la sociedad” (Informe de Sostenibilidad EPM. 2018). En consonancia con el concepto universal de sostenibilidad, es un compromiso de permanencia de y con las generaciones futuras. Esto significa adoptar estrategias y actividades que cumplan las necesidades actuales de la empresa y de sus Grupos de Interés mientras se protege, mantiene y mejora los recursos humanos y naturales que se requerirán en el futuro.

En este sentido EPM participa activamente en el accionar de inclusión y cambio a través de su compromiso en la apertura para la inclusión de personas con discapacidad. Es por esto que en el año 2017, decide implementar una iniciativa que busca promover la diversidad e inclusión en la organización.

#### 4. La experiencia de inclusión laboral en EPM



**Imagen 2.** Funcionarios vinculados en el marco del programa de inclusión laboral EPM 2019. Recuperado de: Gerencia Comunicación Corporativa EPM, 2020

EPM ha sido partícipe de la transformación social que hoy se experimenta a partir de la evolución en el cambio de paradigmas en torno al tema

de discapacidad y diversidad. Pero ¿Qué sabía la organización de esto? y ¿Qué tanto estaría preparada para la inclusión de personas con

discapacidad dentro de su planta de empleados? Para quienes han tenido algún acercamiento con el tema, quizás estas preguntas serían sencillas de resolver, y es posible que se pudiera asumir de una forma natural la inclusión laboral de personas con discapacidad. Sin embargo, para aquellas personas u organizaciones para quienes esta realidad no es tan conocida, inicialmente aparecen temores y prejuicios que han acompañado en el transcurso de la historia a estas personas.

EPM, como una empresa de naturaleza pública cuyo motor principal es el servicio a la sociedad, asume el reto de la inclusión de personas con discapacidad, recorriendo un camino de preparación y compromiso con el fin de materializar tal reto de la mejor manera posible.

Desde sus inicios EPM ha sido una empresa que promueve el desarrollo social, lo cual se ha visibilizado en sus prácticas de No discriminación a personas por su raza, etnia, credo religioso, político, condición social, discapacidad u orientación sexual y es así como a través de los años ha contado dentro de su planta de empleados con personas con discapacidad. Sin embargo, en el año 2017, la organización decide de manera deliberada emprender una iniciativa para generar un ambiente laboral incluyente, retomando y actualizando el diagnóstico de barreras y facilitadores realizado en el 2011 por el programa Pacto de Productividad de la Fundación Corona.

#### 4.1 Las buenas prácticas

Para lograr esto se contrata, en el marco de la Política de Responsabilidad Social Empresarial de EPM, una asesoría técnica especializada para la implementación de buenas prácticas de inclusión laboral de personas con discapacidad con la Fundación Corona – Pacto de Productividad. En

adelante, esta entidad será el consultor y aliado para la implementación de este proyecto, con el fin de cualificar este proceso de inclusión laboral propiciando la generación de un entorno laboral incluyente y accesible.

La organización declara la apertura y la voluntad de trabajar en la Inclusión Laboral de Personas con Discapacidad, haciendo explícito a través de la divulgación en los medios de comunicación internos y externos, el compromiso y apertura para la eliminación de barreras, promoviendo la participación con equidad en todos los procesos organizacionales.

Se retoma y actualiza el diagnóstico de barreras y facilitadores realizado en el año 2011. Los estudios se focalizan en la sede principal del Edificio EPM y en la sede del Almacén General en la 30. Para la elaboración del diagnóstico se parte de la conceptualización que propone la Clasificación Internacional del Funcionamiento (CIF). Los resultados fueron analizados y entregados haciendo énfasis en los siguientes aspectos:

- Políticas organizacionales
- Prácticas de contratación
- Procesos y procedimientos organizacionales
- Accesibilidad al medio físico
- Acceso a información y comunicaciones
- Prácticas anteriores de vinculación de personas con discapacidad

Para la recolección de la información se hizo uso de varias técnicas, entre ellas: la observación, las entrevistas a diferentes grupos poblacionales de la Empresa, el análisis documental, el análisis de puestos de trabajo y encuestas de opinión.

El diagnóstico permitió visibilizar las barreras y facilitadores, así como los ajustes razonables requeridos en cada uno de los aspectos revisados. Simultáneamente se analizaron

algunos cargos que, por sus condiciones, hicieran posible la vinculación de personas con discapacidad con el fin de identificar los ajustes requeridos en los requisitos y, así mismo, identificar los tipos de discapacidad de acuerdo con los requerimientos del cargo.

Con el fin de lograr un entorno laboral incluyente, se implementó un programa piloto que facilitara el “Aprender-Haciendo”. El programa se materializa a través de la vinculación con contrato de un año de 20 funcionarios con discapacidad y con el patrocinio de 25 aprendices con discapacidad para participar en las actividades de formación que lidera el SENA.

Este reto implicó la definición y el diseño de actividades que debían desarrollarse antes, durante y después de la vinculación de este grupo de personas. Donde se realizaron acciones como encuentros de preparación para el inicio del proceso, talleres de sensibilización sobre la desmitificación del tema y sesiones de capacitación técnica, normativa y conceptual, en las cuales se ejecutaron las actividades de los siguientes apartados.

#### **4.1.1 Acciones asociadas a la Estrategia de Cambio**

Se desplegó una estrategia de cambio, que incluyó las siguientes acciones:

- Socialización a los Directivos de EPM sobre buenas prácticas de inclusión laboral de personas con discapacidad.
- Talleres al personal que participa en los procesos de Talento Humano sobre los ajustes razonables a implementar.
- Talleres a los directivos y colaboradores de los equipos de trabajo a los cuales llegarían

los funcionarios, donde se abordaron mitos, prejuicios y el relacionamiento con personas con discapacidad.

- Asesoría legal a relaciones laborales en temas de legislación y contratación de personas con discapacidad.
- Asesoría a comunicaciones y cambio en la definición de la estrategia de Comunicaciones, Cambio y Cultura.
- Capacitación a los funcionarios de EPM a través de un curso virtual auto dirigido sobre la inclusión laboral de personas con discapacidad.
- Construcción de un glosario de 50 señas en el marco de la lengua de señas colombiana, relacionadas con el negocio de EPM y la seguridad en el trabajo, con el fin de fomentar este como una estrategia de comunicación.

#### **4.1.2 Inicio del proceso de vinculación**

Inicio del proceso de vinculación de los funcionarios y aprendices, para ello se ejecutaron las siguientes actividades:

- Diseño y publicación de una convocatoria intencionada para personas con todo tipo de discapacidad, con difusión en diferentes medios de comunicación con alcance nacional.  
Análisis de los requisitos de la convocatoria y se identificaron los tipos de discapacidad y las ayudas técnicas utilizadas por las personas que estaban participando en el proceso.
- Realización de actividades para la preselección y la valoración implementando los ajustes razonables requeridos por cada

tipo de discapacidad. Ajuste de pruebas, metodologías y técnicas. Identificación de espacios físicos y elementos accesibles de acuerdo con la particularidad de las personas: servicio de intérprete, lector de pantalla, impresiones macro tipo, entre otros ajustes requeridos.

- Ajuste al contrato de trabajo incluyendo el tipo de discapacidad y el porcentaje de pérdida de capacidad, con el fin de hacer explícito el interés de vincular personas bajo esta condición.

#### 4.1.3 Ajustes razonables posterior al ingreso

Posterior al ingreso de los funcionarios con discapacidad, se realizaron los ajustes razonables para que cada uno de los

servidores con discapacidad vinculados pudieran desempeñar los cargos en equidad de oportunidades. Los ajustes realizados fueron:

- Análisis y adaptación de puestos de trabajo de los 20 funcionarios vinculados con el fin de identificar los ajustes razonables y las recomendaciones ergonómicas requeridas para el desempeño del cargo.
- Implementación de los ajustes razonables y entrega de las herramientas de trabajo requeridas para la adaptación al puesto de trabajo.
- Seguimiento bimensual al desempeño de cada uno de los funcionarios con el fin de conocer los logros obtenidos y dificultades presentadas para luego hacer las recomendaciones necesarias para el desempeño y desarrollo de las funciones del cargo.



**Imagen 3.** Reconocimiento por la implementación de prácticas de inclusión laboral de personas con discapacidad. Recuperado de: premio de inclusión de Comfenalco para EPM, 2019 y Gerencia Comunicación Corporativa EPM, 2020

## 5. Lecciones aprendidas en EPM

En EPM se comprendió que, más allá de las barreras ambientales, tecnológicas, arquitectónicas u otras; lo esencial, que marcaría una verdadera transformación que soportaría posteriormente la reducción de estas barreras, era enfocarse en derribar aquellas de tipo actitudinal relacionadas con los mitos, prejuicios e ideas que aún quedan de ese pasado de inequidad para las personas con discapacidad.

Para incorporar los aprendizajes, se documentaron la experiencia y las lecciones aprendidas en cada proceso y se realizó una

devolución a cada dependencia responsable con el fin de convertirlas en una herramienta de consulta permanente, es decir, la Empresa empieza a incorporar en el día a día, y de manera natural, el proceso de inclusión. A continuación se describen algunos aprendizajes que pueden ser de utilidad para las empresas que inician este proceso:

### 5.1. Proceso de selección

- Declarar en el portal de ofertas de empleo la apertura a la diversidad:

## Ofertas de empleo EPM

**¡En el Grupo EPM el centro de las estrategias son las personas!**

Agradecemos tu interés por formar parte de nuestra empresa, aquí trabajamos generando valor para la organización y nuestros colaboradores; actuamos desde una perspectiva incluyente, con respeto por los derechos humanos y reconociendo el valor de la diversidad.

**Imagen 4.** Anuncio declaratorio de la perspectiva incluyente. Recuperado de: portal de ofertas de empleo EPM. [www.epm.com.co](http://www.epm.com.co)

- Incluir, en el proceso de inscripción, preguntas que indaguen previamente si las personas presentan alguna discapacidad, el tipo de discapacidad, las ayudas técnicas que utiliza y los ajustes razonables que requiere, con el fin de promover un proceso de selección incluyente, que contemple las condiciones de los candidatos.
- Definir los ajustes razonables que se deben implementar en las etapas de preselección y valoración de acuerdo con cada discapacidad, esto con el fin de garantizar la equiparación de oportunidades y el acceso a la valoración con condiciones de igualdad. Incluye revisar los tipos de pruebas, metodologías, entrevistas y demás técnicas a utilizar en estas etapas.



- Por ejemplo, si se trata de un grupo de candidatos en el cual se encuentra una persona con discapacidad visual, las pruebas a utilizar deberán ser verbales y escritas con excepción de gráficos o figuras que no pueden ser leídas por los softwares, este es solo un ejemplo de los ajustes razonables que se deben realizar en estas etapas.
- Garantizar que las pruebas, técnicas y metodologías utilizadas en la etapa de preselección y valoración, posibiliten la demostración y exposición de las habilidades y competencias de todos los candidatos independientemente de su tipo de discapacidad.
- Asegurar que el psicólogo tenga la formación y conocimientos necesarios para acompañar este tipo de proceso y sus implicaciones. El análisis y la interpretación de la aplicación de pruebas psicotécnicas para personas con los diferentes tipos de discapacidad; estas se pueden realizar siempre y cuando se valide y garantice que no son una barrera en la participación o que el resultado se vea afectado o alterado por la discapacidad.
- Tener claridad respecto al tipo de ajustes razonables según la discapacidad, y no confundir la necesidad de estos con falta de autonomía del candidato. La autonomía en el desempeño de las actividades del cargo, el lugar frente a la discapacidad, el manejo de las emociones, la resiliencia, la motivación y la capacidad creativa son factores relevantes para tener en cuenta en la valoración de los candidatos con discapacidad.
- Tener presente para la vinculación las recomendaciones de interacción de acuerdo con cada tipo de discapacidad

y la particularidad de cada persona, así mismo ajustar el contrato de trabajo, para asegurar que la persona que se vincula declara que conoce y acepta la condición de discapacidad.

Es importante resaltar que el proceso de selección se sigue realizando de acuerdo con lo definido y establecido en la empresa, es un proceso basado en competencias en el que todos los candidatos, sin distinción, son evaluados con el mismo nivel de rigurosidad; solamente se garantiza los ajustes razonables para la plena participación de las personas con discapacidad. Finalmente se selecciona la persona que se ajuste al perfil del cargo.

## 5.2 Exámenes de ingreso y adaptación al puesto de trabajo

- Para la evaluación médica de ingreso de personas con discapacidad, el candidato debe aportar, adicional a los exámenes indicados por el profesional responsable según las demandas del cargo, su historia clínica y su certificado de discapacidad emitido por una entidad debidamente autorizada. Esto con el fin de que el médico evaluador conozca el diagnóstico de la persona con el único fin de realizar las recomendaciones pertinentes para el óptimo, seguro y saludable desempeño de sus funciones en el cargo.
- El médico responsable de la evaluación médica de ingreso debe tener en cuenta toda la información suministrada por la persona con discapacidad en lo referente a sus estrategias de adaptación y autonomía, de acuerdo con su discapacidad y, con base en estas, generar las recomendaciones pertinentes para el desempeño de las funciones.

- Una vez vinculada la persona se debe realizar una visita al puesto de trabajo para hacer los ajustes razonables requeridos y garantizar así la adecuada adaptación de las personas a su puesto de trabajo.
- Se deben definir los apoyos requeridos en caso de emergencia y evacuación de los lugares de trabajo y realizar las recomendaciones que se consideren pertinentes para garantizar el bienestar y la seguridad de los servidores con discapacidad.

la evaluación médica y de la adaptación a los puestos de trabajo, tengan el conocimiento y la capacitación en todo lo referente a tipos de discapacidad, interacción, ayudas técnicas y los ajustes razonables requeridos por cada tipo de discapacidad. Contar con este conocimiento y con un nivel de conciencia y manejo de la subjetividad con relación a los prejuicios, estereotipos sociales o mitos que se puedan tener en torno a las personas con discapacidad, posibilita la eliminación de las barreras en el proceso y brinda oportunidades con equidad a esta población.

Es importante tener en cuenta que, si se realizan las recomendaciones pertinentes para los candidatos con discapacidad, de ninguna manera estos representarán para la empresa un riesgo mayor respecto a las personas sin discapacidad.

Los ajustes que debe implementar la empresa son los pertinentes y asociados directamente con el desempeño de las labores propias del cargo: mobiliario, teclados de alto contraste, instalación de softwares, pantallas, entre otros. La empresa no es la responsable de otorgar las ayudas técnicas como bastones, muletas, caminadores y demás, utilizadas por los servidores con discapacidad, estas son de uso personal.

En el proceso de Ingreso del Talento Humano se hace muy relevante que el personal responsable de la realización del proceso de selección, de



**Imagen 5.** Aprendices con discapacidad patrocinados por EPM.  
Recuperado de: Gerencia Comunicación Corporativa EPM, 2020

### 5.3 Programa de Inducción

La inducción y el entrenamiento en el cargo se debe llevar a cabo como lo tiene dispuesto la empresa, solamente se debe ajustar bajo un esquema de metodología universal en el que se proponen diseños y prácticas en las presentaciones, piezas de comunicación, mensajes y videos entre otros ajustes, que garanticen la accesibilidad para todos.

Los facilitadores y tutores del entrenamiento deben conocer previamente que llegan personas con discapacidad, el tipo de discapacidad, las ayudas técnicas que utilizan y el tipo de ajustes razonables que requieren. La actitud, la capacidad empática, la motivación y recursividad para la utilización de diferentes estrategias por parte de los facilitadores, es un aspecto clave que permite la plena participación sin prejuicios o actos discriminatorios para todos, partiendo del respeto por el otro y por sus diferencias y particularidades.

### 5.4 Proceso Desempeño y Desarrollo

En esta etapa, como para cualquier otra persona de la empresa, se definen los objetivos de desempeño y el plan de desarrollo que apalanque el logro de los objetivos organizacionales. Se debe garantizar que se implementen los ajustes razonables y se sigan las recomendaciones de interacción de acuerdo con cada discapacidad, esto debe estar presente en el establecimiento de las metas, el seguimiento, la retroalimentación y el cierre. Durante este tiempo se ha evidenciado que el desempeño de las personas con discapacidad responde a las exigencias del cargo y cumple con las condiciones que se tienen para la población en general de la organización.

### 5.5 Comunicaciones

Se debe elaborar el plan de comunicaciones internas y externas, que contemple parámetros que permitan accesibilidad a la información de acuerdo con la metodología de diseño universal, que propone acciones que beneficien y favorezcan a todas las personas, así como el establecimiento de políticas de comunicación empresarial accesibles. Hoy EPM se encuentra en la modificación de su política de comunicación, en la que incluye a las personas con discapacidad como público objetivo, para posteriormente implementar en sus comunicados ajustes como accesibilidad con los lectores de pantalla, imágenes con contenidos incluyentes, declaraciones sobre la apertura y aceptación de la diversidad y particularidad de las personas y demás acciones que surgen cada día y que se actualizan promoviendo la inclusión laboral en EPM.

### 5.6 Adecuaciones en la Infraestructura

Los principales ajustes se dan para la inclusión de personas con discapacidad física, teniendo en cuenta que su desplazamiento es, en la mayoría de los casos, con el apoyo de ayudas técnicas como: sillas de ruedas, caminadores, bastones y otros. Las personas con discapacidad visual y auditiva también requieren de algunos ajustes y obedecen más a estrategias táctiles y visuales (señalética) para la ubicación, para estos casos se requiere implementar algunos ajustes razonables para garantizar la ubicación y accesibilidad en zonas comunes, como, por ejemplo, la señalización con el método de lectoescritura braille y en Lengua de Señas Colombiana, entre otros. Las personas con discapacidad cognitiva y psicosocial, si no presentan otra condición de discapacidad asociada, no requieren de estos ajustes.

## 5.7 Evolución Cultural

A partir de esta experiencia, han surgido y se han reforzado comportamientos que propician el abrazar la diversidad y la inclusión, esto se ha evidenciado a través de las vivencias y

experiencias diarias en los equipos de trabajo y en la organización en general. Se ha generado mayor conocimiento y apertura de las personas frente a la discapacidad e inclusión laboral, desmitificando temores, miedos e imaginarios.

## Conclusiones

- La adopción del enfoque social para el abordaje y comprensión de la discapacidad ha favorecido significativamente el progreso y participación de las personas que presentan tal condición. El hecho de buscar estrategias que minimicen las barreras en los distintos contextos habilita un escenario de oportunidades en el que se pueden visibilizar las competencias y habilidades y no la discapacidad ni el diagnóstico de estas personas. Hoy EPM actúa desde tal perspectiva, por lo cual la discapacidad cobra importancia únicamente con el fin de realizar los ajustes razonables.
- A través de la implementación de esta iniciativa, EPM comprendió que la mejor manera de aprender y aportar es en la práctica y ejercicio de estos procesos de inclusión. No se necesita ser una organización perfecta en accesibilidad, ni tampoco es necesario contar con todos los ajustes razonables implementados para proceder a la vinculación de personas con esta condición; lo importante es tomar la decisión de iniciar, superando los mitos y prejuicios sobre el tema.
- Se resalta que el éxito de los procesos de inclusión laboral y vinculación de personas con discapacidad parte principalmente de la apertura de las organizaciones, de la oportuna asesoría de entidades y personas conocedoras del tema, de un proceso de selección basado en las competencias de la persona y en sus niveles de autonomía y asimilación de su condición de discapacidad y de la implementación de los ajustes razonables.
- EPM desde sus valores y su propósito apunta cada día al reto de la cultura “abrazar la diversidad”, lo cual le permite aceptar, acoger y respetar a todos sus funcionarios como seres que aportan cada día desde sus habilidades y competencias al desarrollo y crecimiento del hacer organizacional. En el marco de esta perspectiva, se entiende la participación de las personas con discapacidad, quienes llegan en equidad de oportunidades para aportar desde sus competencias al logro de los objetivos de la organización.

## Referencias

- Canimas Brugué, J. (2015). Discapacidad o diversidad funcional. Salamanca: Ediciones de la Universidad de Salamanca, Siglo Cero, 46 (2).
- EPM. (2018). Informe de sostenibilidad. Medellín (Colombia): Recuperado de: [www.sostenibilidadgrupoepm.com.co](http://www.sostenibilidadgrupoepm.com.co)
- EPM. (2012). Políticas de responsabilidad social empresarial, Medellín (Colombia): Empresas Públicas de Medellín.
- EPM. (2011). Política institucional de derechos humanos. Medellín (Colombia): Empresas Públicas de Medellín.
- Estocolmo. (2004). Observatorio de la accesibilidad el buen diseño capacita y el mal diseño discapacita. Declaración Estocolmo revista EIDOS. Recuperado de: <https://www.observatoriodelaaccessibilidad.es/productos-apoyo/productos-apoyo/definicion/>
- Garavito Escobar D.M (2014). La inclusión de las personas con discapacidad en el entorno laboral colombiano, una acción conjunta (tesis de posgrado para la obtención del título de magister en discapacidad e inclusión social). Universidad Nacional, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://www.pactoglobal-colombia.org/pacto-global-colombia/pacto-global-red-colombia.html>
- Ministerio de Salud. (2013). Ley estatutaria 1618. Recuperado de: <https://discapacidadcolombia.com/phocadownloadpap/LEGISLACION/LEY%20ESTATUTARIA%201618%20DE%202013.pdf>
- Ministerio de Trabajo. (2017). Decreto 2011. Recuperado de: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=84502>
- Padilla Muñoz, A. (2010). Discapacidad: contexto, concepto y modelos. En: Revista de Derecho Internacional Humanitario de la Pontificia Universidad Javeriana. 16.
- Paredes Vereau, M. (2016). Los ajustes razonables para las personas con discapacidad en el lugar de trabajo. Privado Laboral IUS 360. Recuperado de: <https://ius360.com/privado/laboral/los-ajustes-razonables-para-las-personas-con-discapacidad-en-el-lugar-de-trabajo/>
- OMS. (2011). Informe de clasificación mundial de discapacidad. Edición Electrónica del Banco Mundial.
- OMS. (2001). Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la discapacidad y de la salud (CIF). Recuperado de: <http://www.imsero.es/InterPresent2/groups/imsero/documents/binario/435cif.pdf>.

## Notas

1. Propósito del Grupo EPM declarado en el año 2019.

### Cómo citar este artículo:

Giraldo Giraldo, M., Sierra Hernández, A. y Rivas Hoyos, S. (2020). Es posible un entorno laboral incluyente. Experiencia EPM. Revista EPM (15), P. 80-97.







# Cómo los sistemas de puesta a tierra, protegen la seguridad y vida de las personas que trabajan en los sistemas eléctricos de transmisión y distribución

How the grounding system, protect the human body against lightning, flashover and electrical fault

**Nicolás Antonio  
Quintero Alzate**

Dirección Proyectos Subestaciones  
y Líneas 1 EPM

[nicolas.quintero@epm.com.co](mailto:nicolas.quintero@epm.com.co)

## Resumen

Existe un gran desconocimiento de los trabajadores, técnicos y otros operadores que interactúan con equipos eléctricos y líneas de transmisión en la forma en que los sistemas de puesta a tierra se comportan ante fallas eléctricas y descargas atmosféricas, qué restricciones existen y cuáles son los niveles

de vulnerabilidad del cuerpo humano. Es un conocimiento básico que debemos adquirir para adaptar nuestro comportamiento y forma de proceder al ingresar a una subestación a realizar algún trabajo, interactuar con algún equipo o infraestructura eléctrica.

## Palabras clave:

Voltaje de paso, Voltaje de contacto, Resistencia del cuerpo humano a la corriente eléctrica, Corriente que tolera el cuerpo humano, Sistema de puesta a tierra.

## Key words:

Step voltage, Contact voltage, Resistance of the human body to the electric current, Electric current that tolerates the human body, Grounding system

## Introducción

Hay un gran desconocimiento entre los obreros, técnicos y demás operadores que interactúan con equipos eléctricos y líneas de transmisión, sobre la manera cómo se comportan los sistemas de puesta a tierra ante fallas eléctricas y descargas atmosféricas, qué restricciones presentan y cuáles son los niveles de vulnerabilidad del cuerpo humano. Este es un conocimiento básico que se debe adquirir para adecuar comportamientos y formas de proceder al momento de ingresar a una subestación a realizar un trabajo, al operar un equipo o infraestructura eléctrica.

Para que un sistema de energía opere correctamente, brinde una adecuada continuidad de servicio y tenga un buen nivel de seguridad es indispensable disponer de un buen sistema de puesta a tierra.

Para ello se requiere que los diseños del sistema de puesta a tierra se realicen considerando las condiciones y variables propias de cada instalación, en lugar de utilizar parámetros prefijados que no consideran las condiciones locales a las que debe ser sometido el sistema.

Los objetivos de un sistema de puesta a tierra son los siguientes:

Obtener una baja resistencia de puesta a tierra.

- Mantener los potenciales producidos por las corrientes de falla dentro de los límites permitidos para no causar afectaciones a la salud humana o a la infraestructura instalada.
- Hacer que las protecciones operen más rápidamente ante fallas a tierra.
- Proporcionar un camino seguro a tierra de las corrientes generadas en descargas atmosféricas.
- Retornar las corrientes de circuitos desbalanceados.

Existen múltiples formas de aterrizar un sistema eléctrico que van desde utilizar una simple varilla enterrada, hasta el uso de mallas complejas.

## 1. Variables involucradas en la severidad de un accidente eléctrico

### 1.1 Resistividad del suelo

Una de las variables más relevantes en la afectación que pueda generar un accidente eléctrico sobre una persona y en el diseño de un sistema de puesta a tierra son las características del suelo, especialmente la resistividad ( $\rho$ ), que está determinada por: tipo de suelo, mezclas

de suelos, profundidad de la capa, humedad, temperatura, compactación, composición química, concentración de sales disueltas, etc. Las diversas combinaciones de estos elementos generan las diferentes resistividades que puede tener un suelo. Se ilustra este concepto en la siguiente tabla.

Tipo de suelo	Resistividad $\rho$ en ( $\Omega \cdot m$ )
Capa vegetal (tierra negra)	5 a 100
Tierra de jardín con un 50% de humedad	140
Tierra de jardín con un 20% de humedad	480
Arcilla seca	1500 a 5000
Arcilla con 40% de humedad	80
Arcilla con 20% de humedad	330
Arena mojada	1300
Arena seca	3000 a 8000
Piedra triturada	1000 a 5000
Granito	1500 a 10000

**Tabla 1.** Tipos de suelo y sus resistividades. Recuperado de: (Seidman y Mahrous, 1985)

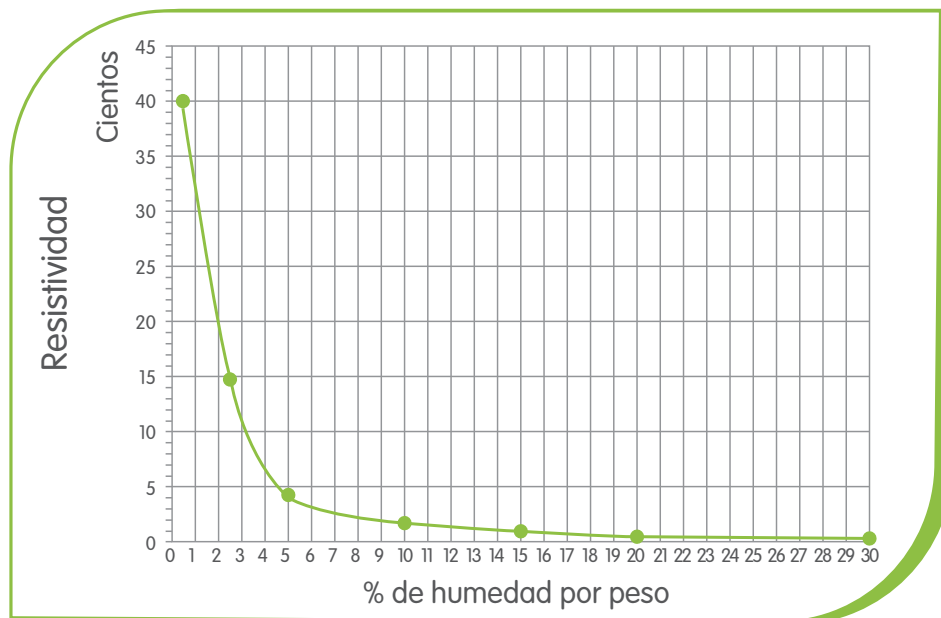
## 1.2 Influencia de la humedad en la resistividad del suelo

La resistividad se ve afectada por la humedad del suelo, esto se debe a que la conducción de cargas eléctricas a través de este es

predominantemente iónica. Las sales disueltas en el suelo forman un medio electrolítico que favorece o dificulta la conducción de corriente y por ende la resistividad del terreno. Este hecho se ilustra mejor en la siguiente Tabla.

Porcentaje de humedad (% por peso)	Resistividad en $\Omega \cdot m$ (suelo arenoso)
0	10,000,000.0
2.5	1,500
5	430
10	185
15	105
20	63
30	42

**Tabla 2.** Resistividad de un suelo arenoso en función del % de humedad. Recuperado de: (Seidman y Mahrous, 1985, 14-8)



**Figura 1.** Gráfica de resistividad  $\rho$  versus % humedad del suelo

### 1.3 Influencia de la temperatura en la resistividad del suelo

características constantes, su resistividad se comporta de acuerdo con la siguiente Tabla.

Si se toma un suelo arenoso y se varía solo la temperatura manteniendo las demás

Temperatura (en °C)	Resistividad en ( $\Omega \cdot m$ ), suelo arenoso
20	72
10	99
0 (agua líquida)	138
0 (formación de hielo)	300
-5	790
-10	1500
-15	3,300

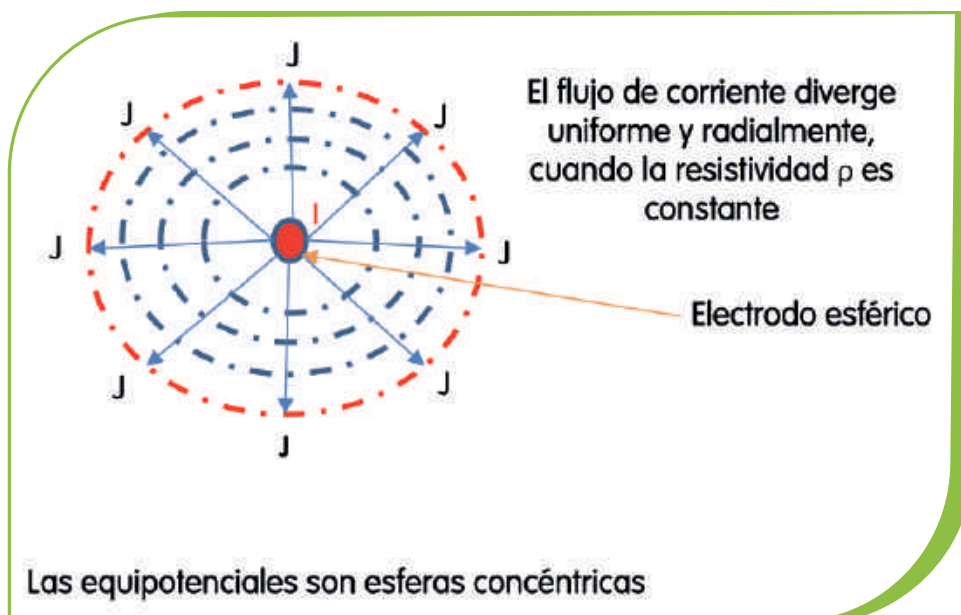
**Tabla 4.** Variación de la resistividad del suelo con la temperatura. Recuperado de: (Seidman y Mahrous, 1985,14-10)



De una manera genérica el comportamiento de la resistividad de un suelo por la variación de la temperatura puede ser expresada por los datos de la Tabla 4. A partir de los 0°C cuando el agua pasa del estado líquido al sólido se da un incremento brusco de la resistividad. El terreno se torna más seco por la congelación del agua, así mismo ocurre con temperaturas superiores a 100 °C donde se comienza a formar burbujas de aire por la ebullición del agua, que dificultan la conducción de corriente por el elevando valor

de la resistividad del terreno, generado por la formación de burbujas.

**Influencia de la estratificación del suelo en la resistividad  $\rho$ :** los suelos en su gran mayoría no son homogéneos son formados por diversas capas de resistividad y profundidades diferentes. Esas capas se deben a la formación geológica del suelo y en general son paralelas a la superficie del suelo.



**Figura 2.** Líneas de Campos eléctricos producidos por una corriente al interior de un suelo con resistividad uniforme.

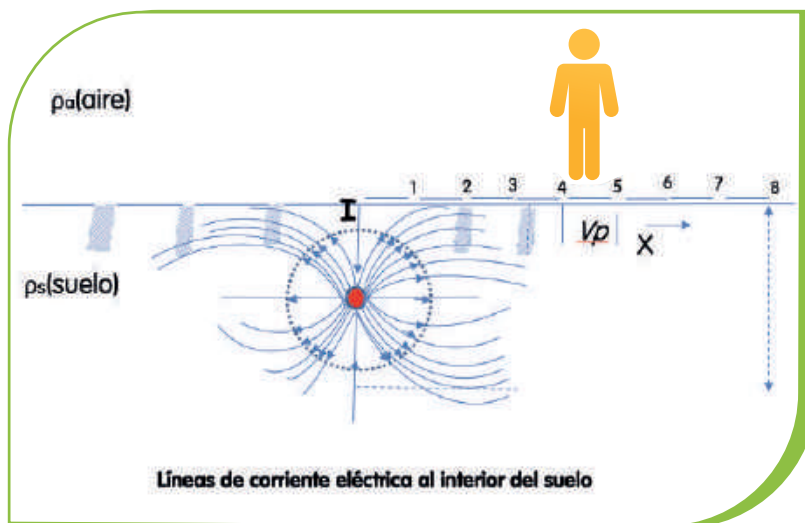
En física y teoría electromagnética se maneja el concepto de conductividad que es el inverso de la resistividad  $\sigma = (1/\rho) \Omega^{-1}m$  entonces las unidades de medida de la conductividad son (1/

$\Omega \cdot m$ ), la unidad (1/ $\Omega$ ) se denominan Siemens (S), por lo que las unidades de la conductividad se expresan como (S $m^{-1}$ )

Resistividades a temperatura ambiente (20°C)					
Sustancia Conductores		$\rho(\Omega \cdot m)$	Sustancia Conductores		$\rho(\Omega \cdot m)$
<b>Metales</b>	Plata	$1,47 \times 10^{-8}$	<b>Semiconductores</b>	Carbono puro (grafito)	$3,5 \times 10^{-5}$
	Cobre	$1,72 \times 10^{-8}$		Germanio puro	0,6
	Oro	$2,44 \times 10^{-8}$		Silicio puro	2300
	Aluminio	$2,75 \times 10^{-8}$		Ámbar	$5 \times 10^{14}$
	Tungsteno	$5,25 \times 10^{-8}$		Vidrio	$5 \times 10^{10}$
	Acero	$20 \times 10^{-8}$		Lucita	$10^{13}$
	Plomo	$22 \times 10^{-8}$		Mica	$10^{11}$
<b>Aleaciones</b>	Mercurio	$95 \times 10^{-8}$	<b>Aislantes</b>	Cuarzo (fundido)	$75 \times 10^{16}$
	Manganina (Cu 84%, Mn 12%, Ni 4%)	$44 \times 10^{-8}$		Azufre	$10^{15}$
	Constantán (Cu 60%, Ni 40%)	$49 \times 10^{-8}$		Teflón	$10^{13}$
	Nicromo	$100 \times 10^{-8}$		Madera	$10^8$

**Tabla 5.** Resistividad de los elementos más usados, en equipos eléctricos. Recuperado de: (Fleisch, 1999)

## 2. Campos generados por un electrodo esférico en un terreno con resistividad constante



**Figura 3.** Campos y potenciales generados por una corriente  $I$ , inyectados a un terreno con una resistividad ( $\rho$ ) constante, por medio de un electrodo esférico

Para entender los campos y voltajes generados durante una inyección de corriente (I) a tierra, revisaremos estos conceptos a partir de los cálculos para un electrodo (elemental) por medio del cual se inyecta la corriente al suelo, el suelo se considera con una resistividad constante  $\rho$  (es la misma en cualquier dirección).

Se utiliza un electrodo esférico porque es el que más simplifica los cálculos (dado las ecuaciones sencillas que requiere). Utilizar un electrodo tipo varilla dificulta mucho los análisis.

Las equipotenciales de voltaje generadas por la inyección de corriente en un suelo con resistividad uniforme (por un electrodo esférico), son múltiples esferas de potencial, que se alejan del electrodo.

Para realizar los cálculos de los campos y potenciales se hará uso de las fórmulas que se manejan en teoría electromagnética. Se calcula el potencial en un punto p ubicado en el exterior de una esfera de radio r, generado por una corriente "I" inyectada en el punto C. El punto C se considera inmerso en un suelo infinito y homogéneo con  $\rho$  constante.

$$\vec{E} = \rho \vec{J}$$

En donde **E** (Campo eléctrico) es igual a **J** (densidad de corriente) multiplicada por la resistividad  $\rho$ ,  $J = I/A$  (área de la esfera), el área de la esfera  $A = 4\pi r^2$  por lo que  $J$  (densidad de corriente)  $= I / (4\pi r^2)$  el término  $r^2$ , es el radio de la esfera elevado al cuadrado.

El campo en el punto p,  $\vec{E} = \rho \vec{J}$  (las letras en negrita representan vectores). Las letras en mayúscula, que no están en negrita representan la magnitud del vector.

$E(p) = \rho(I / (4\pi r^2))$ . El término rp es el radio hasta el punto p, medido desde el centro del electrodo

$V(p) = \int E(p).dr = \rho(I / (4\pi r^2))$ , el voltaje es una escalar no un vector.

Si consideramos que el electrodo (esfera conductora) no está completamente enterrada, sino que queda expuesta contra la atmosfera y que para efectos de simplificar los cálculos solo se enterró la mitad, entonces:

$I = J/2$ , el potencial  $V(P) = \rho(I / (2\pi r^2))$ .

La potencia seria  $P = V \cdot I = (\rho / (2\pi r^2)) \cdot I^2$

Cuando se entierra un electrodo superficial esférico de radio  $r=r_0$ , las superficies equipotenciales generadas, por la corriente inyectada son esferas cuyos centros coinciden con el centro del electrodo.

$V_0$  (voltaje en la superficie del electrodo)  $= R_0 \cdot J$ , donde  $R_0$  es lo que se denomina resistencia de propagación del electrodo.

$R_0 = \rho / (2\pi r_0)$ . Diferenciar  $R_0$ (resistencia) y  $r_0$  (radio del electrodo).

$$\vec{E} = \rho \vec{J}$$

Para aclarar mejor los conceptos realizamos un ejercicio práctico:

Si tenemos un electrodo semiesférico con un radio  $r_0 = 1$  m (un metro) y si la resistividad del terreno es  $100 \Omega \cdot m$  e inyectamos una corriente  $I = 1$  A. Tenemos los siguientes resultados:

$R_0$  (resistencia de propagación) =  $100 \Omega \cdot m / (2 \cdot (3.1416) \cdot 1 m^2) = (100 / 6,28) \Omega = 15.92 \Omega$  (ohmios).

$V_0$  (potencial en la superficie del electrodo) =  $100 \Omega \cdot m \cdot (1 A / 2 \cdot (3.1416) \cdot 1 m) = 15.92$  V (voltios).

$P_0$  (potencia del electrodo) =  $15.92 V \cdot 1 A = 15.92 W$  (vatios).

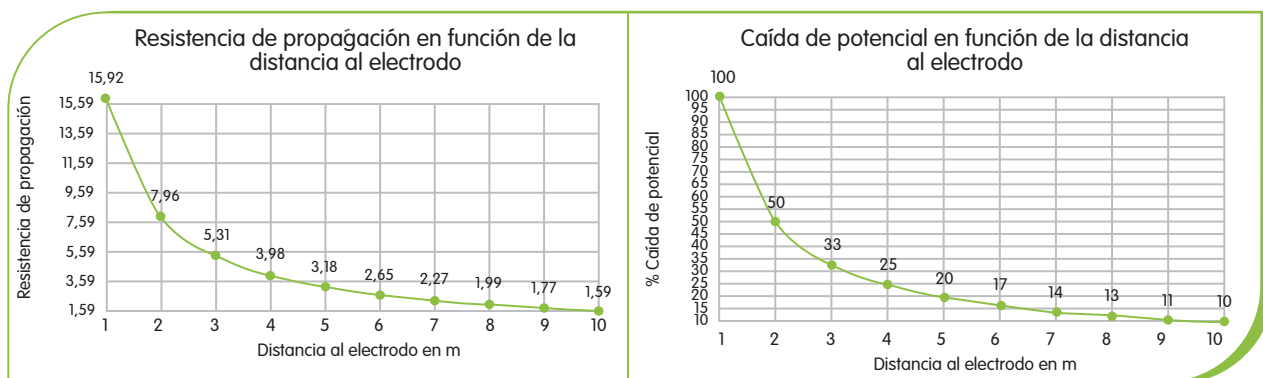
Superficie del electrodo ( $S_0$ ) =  $2 \cdot (3.1416) \cdot (1^2) m^2 = 6.28 m^2$

Con la relación  $V/I = \rho / (2 \cdot \pi \cdot r)$  se puede construir la curva de potencial alrededor del electrodo sobre el suelo. La forma de la gráfica es la de un

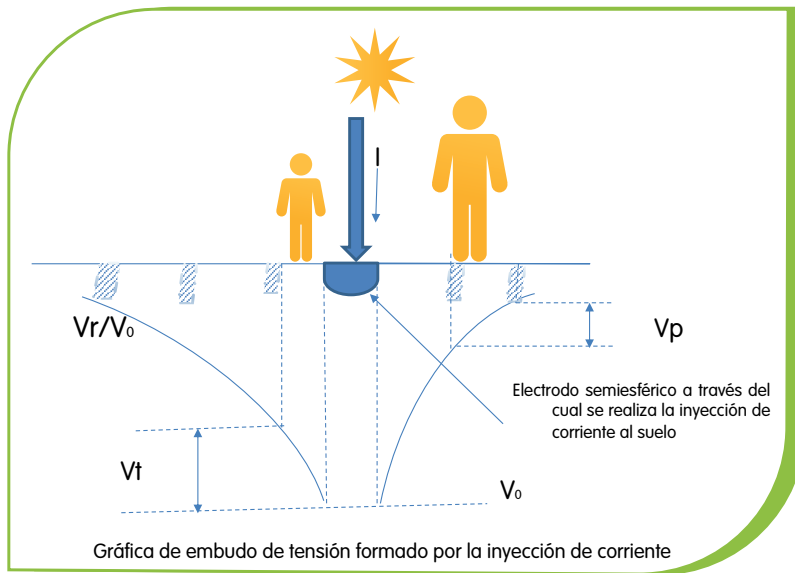
embudo y se denomina curva de "Embudo de tensión". Es claro que la única variable es  $r$  y se interpreta como la distancia a la que estoy del electrodo si  $r = 1$  m estoy sobre la superficie del electrodo y  $r = r_0$ .

$r(m)$	$R \Omega$	$Vr/V_0$
1	15.92	1
2	7.96	0.5
3	5.31	0.33
4	3.98	0.25
5	3.18	0.2
6	2.65	0.17
7	2.27	0.14
8	1.99	0.13
9	1.77	0.11
10	1.59	0.10

**Tabla 6.** Datos para construir la gráfica denominada "Embudo de tensión"



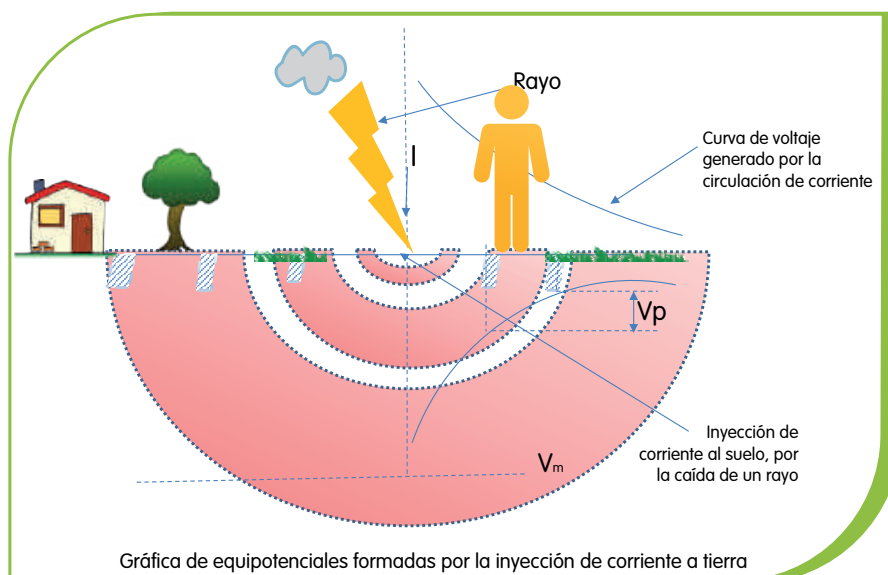
**Figura 4.** Gráfica de la resistencia de propagación y caída de potencial dependiendo de la distancia ( $r$ ) a la que se esté, del electrodo.



**Figura 5.** Gráfica del embudo de voltaje.

El “embudo de voltaje” formado por la inyección de corriente  $I$ , es tridimensional. En la figura solo se muestra lo correspondiente a un plano (corte).  $V_0$  corresponde al voltaje máximo (voltaje sobre la superficie del electrodo) generado por la corriente inyectada, si el terreno tiene una resistividad de  $100 \Omega \cdot m$  (terreno típico) y la

corriente inyectada es  $1 A$  el voltaje resultante es de  $V_0 = 15.92 V$ , es claro que en el caso de una descarga atmosférica la corriente inyectada será del orden de los miles de amperios y  $V_0$  será del orden de Kilovoltios, Si  $I = 1000 A$ ,  $V_0 = 15,920.0$ ,  $V_0 = 16 Kv$ .



**Figura 6.** Equipotenciales generadas por la caída de un rayo.



Es importante aclarar que el campo eléctrico generado por la inyección de corriente genera a su vez equipotenciales (esferas que tienen el mismo potencial), se puede estar parado sobre una equipotencial pero no experimentar circulación de corriente. Para que circule corriente por el cuerpo tengo que tener un pie en una equipotencial y el otro pie en otra equipotencial, es decir estar sometido a una diferencia de potencial  $\Delta V = V(\text{pie izquierdo}) - V(\text{Pie derecho})$ . Si no estoy en contacto con el electrodo la diferencia de potencial, que se denomina **Vp** (Voltaje de paso) y si una parte del cuerpo está en contacto con el electrodo, la diferencia de potencial se denomina **Vt** (voltaje de toque).

Complementamos esta explicación mencionando en este punto la fábula del toro y la garza. "... Cae una descarga atmosférica y una garza que estaba parada en una sola pata vio a un toro que estaba pastando a su lado, morir electrocutado."

¿Por qué murió el toro y no la garza, que es más frágil? Solo se puede explicar la muerte del toro entendiendo que el toro, por su tamaño tenía sus patas en diferentes equipotenciales y las equipotenciales estaban lo suficientemente alejadas, para que la diferencia de potencial  $\Delta V$  fuera tal alta que logró hacer circular una corriente suficiente para que el toro muriera.

Por su parte la garza estaba parada sobre una sola pata y tocando una sola equipotencial, su  $\Delta V$  es igual a cero, los potenciales a y b (por estar tan cercanos) son los mismos.

El concepto de equipotencialidad es el concepto que permite el trabajo en línea viva. Puedo estar tocando una línea que está energizada a varios miles de voltios, si mi cuerpo no está tocando otra superficie que este a un potencial diferente, lo que implica que mi cuerpo no experimenta una diferencial de potencial  $\Delta V$  que genere la circulación de corrientes por mi cuerpo.



El concepto de equipotencialidad también es una herramienta poderosa en el diseño de sistemas de puesta a tierra (mallas). Dado que la malla es un conductor gigante siempre estará al mismo potencial (tiene el mismo potencial en todos los puntos en donde esté el conductor de la malla) el cálculo de la malla comprende entre otros cálculos, determinar la diferencia de voltaje que percibe un operario cuando tenga un pie sobre un conductor de la malla y el otro en un lugar que no tenga conductor (las mallas por lo general son cuadrículas de cables de cobre), con esto se

determina el tamaño de la cuadrícula, es decir que tan separados pueden estar los conductores que conforman la malla teniendo en cuenta que un ser humano, cubre con un paso en promedio de un 0.8 metros de distancia.

Garantizar la equipotencialidad del sistema de puesta a tierra implica que cualquier elemento metálico que se encuentre dentro de una subestación o edificio industrial debe estar conectado directamente a la malla de puesta a tierra.

### 3. Voltajes de paso y de toque

El objetivo principal es mostrar como los sistemas de puesta a tierra controlan las corrientes eléctricas y voltajes debidos a fallas eléctricas o descargas atmosféricas, que podrían afectar gravemente la salud de las personas. Por ello lo primero que se debe definir son los diferentes tipos de voltajes a los que se ve sometido el cuerpo humano y las variables que se manejan:

- **Voltaje de toque o Contacto (Vt):** es el voltaje al que se somete una persona que está tocando una parte metálica, que está conectada directamente al sistema de puesta a tierra, cuando ocurre una falla o una descarga atmosférica.
- **Voltaje de paso (Vp):** es el voltaje al que se ve sometida una persona por el solo hecho de estar caminando sobre el terreno de una subestación eléctrica, cuando ocurre una falla o cualquier terreno cuando cae una descarga atmosférica.
- **Corriente por el cuerpo de una persona (Ic):** es la corriente que circula por el cuerpo humano producida por voltajes de paso o de toque.

- **Resistencia del cuerpo (persona) Rp:** es la resistencia que tiene una persona al paso de la corriente eléctrica al momento de verse sometido a un voltaje de paso o de toque. Esta resistencia depende de la contextura física del individuo y del equipo de protección personal que este usando en el momento del incidente.

Se acepta universalmente que la máxima corriente que puede tolerar el cuerpo humano es 50 miliamperios mA.

Para calcular el voltaje al que se puede someter el cuerpo humano sin generar afectaciones, primero debemos calcular la resistencia con la que se puede modelar.

Para lo cual consideraremos un terreno con una resistividad de  $100 \Omega \cdot m$  y el cuerpo perfectamente conductor, adicionalmente, consideramos que la planta del pie se puede modelar como una placa circular con un diámetro de 0,2 m (20 centímetros), para encontrar la resistencia del pie ( $R_{pi}$ )

La  $R_{pi} = \rho \cdot L / A$  al utilizar una placa circular la  $R_{pi} = \rho / 2 \cdot de$  (diámetro equivalente) =  $100 \Omega \cdot m / 2 \cdot 0,2 m = 250 \Omega$ .

Como la persona va caminando, la resistencia total buscada es la suma de las dos resistencias en serie (la de los dos pies),  $R_p$  (resistencia de paso) =  $2 \cdot R_{pi} = 500 \Omega$ .

Como  $I = V/R_p$  el voltaje que puede soportar es  $V = I \cdot R_p$ , Voltaje de paso máximo ( $V_p \text{ max}$ ) =  $500 \Omega \cdot 0.05 \text{ A} = 25 \text{ V}$ . Utilizando la corriente de 50 mA (máxima corriente que soporta el cuerpo humano)

Si consideramos que la persona está parada y toca una parte metálica, se deben considerar las resistencias de los dos pies en paralelo y la resistencia será  $R_t$  resistencia de toque =  $R_{pi} \cdot R_{pi} / 2R_{pi} = R_{pi} / 2 = 125 \Omega$  y el voltaje de toque máximo  $V_t \text{ max} = 125 \Omega \cdot 0.05 \text{ A} = 6.25 \text{ V}$ .

Si la persona está de pie con los pies juntos el diámetro equivalente es de 0,26 m y la resistencia equivalente es  $R_{eq} = 100 \Omega \cdot \text{m} / 2 \cdot 0,26 \text{ m} = 192,3 \Omega$ .

Los anteriores voltajes son muy bajos y en principio muestran la fragilidad del cuerpo humano a la corriente eléctrica, pero también estamos contemplando unas condiciones severas con el fin de determinar valores límites, a saber:

- Son los voltajes que no producen daño.
- No se está considerando equipo de protección personal.
- Estamos considerando que el cuerpo humano es un conductor perfecto.
- Estamos considerando que el terreno por el que se desplaza la persona no hay una malla de puesta a tierra que la proteja.

Resistividad del terreno en $\Omega \cdot \text{m}$	Resistividad equivalente de persona caminando sobre terreno $R_p(\text{paso})$	Resistividad equivalente de persona de pie sobre terreno (pies abiertos) $R_t(\text{toque})$	Resistividad equivalente de persona de pie sobre terreno (pies abiertos) $R_t(\text{toque})$
10	50	12.5	19,23
20	100	50	38.46
50	250	62.5	96.15
75	37.5	93.75	144.23
100	500	125	192.3
500	2500	625	961.5
1000	5000	1250	1923.08
5000	25000	6250	9615.38

**Tabla 7.** Resistencias de paso y de toque, requeridas para determinar voltajes de paso  $V_p$  y toque  $V_t$ .

Revisando los datos de la Tabla 7, se evidencia que en ausencia de una malla de puesta a tierra y la no utilización del equipo de protección personal, lo único que puede aumentar la resistencia (de paso y toque), que ayude a disminuir la corriente a la que se pueda afectar a un ser humano, ante una descarga atmosférica

o contacto con un equipo energizado, es el aumento de la resistividad del terreno.

La alta resistividad del terreno es una característica no deseable para construir un buen sistema de puesta a tierra (malla de

puesta a tierra), por lo que al construir las mallas se buscan terrenos de baja resistividad. Por lo tanto, para aprovechar esta enorme ventaja de tener un terreno de alta resistividad se utiliza la estrategia de cubrir el terreno de la subestación con cascajo (piedra triturada). La resistividad de la piedra triturada es superior a  $3000 \Omega \cdot m$ .

La otra alternativa es el uso de un equipo de protección personal. El equipo de protección personal (botas dieléctricas, casco, guantes

camisas de manga larga, etc.) tienen, la función, en el trabajo en subestaciones y en general en cualquier trabajo en sistemas de transmisión y distribución, de aumentar la resistencia de paso o toque, de manera que se limite la corriente que afecte a cualquier trabajador durante un contacto con equipo eléctrico energizado.

#### 4. Efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano

- Con intensidades de 1 hasta 25 mA (miliamperios)
- Con corrientes hasta de 1 mA es perceptible una sensación de cosquilleo.
- Con corrientes de 1 a 5 mA, se presenta una sensación de adormecimiento de las manos, así como un débil entumecimiento de ellas.
- Con corrientes entre los 15 mA y los 25 mA, se presentan convulsiones y las personas no pueden soltarse por voluntad propia de la fuente de corriente.
- Con intensidades entre los 25 y los 50 mA. Los efectos, aunque son soportables implica aumento en la presión sanguínea e irregularidades en el funcionamiento del corazón.
- Entre los 50 mA y los 80 mA. hay riesgos de sufrir fibrilación (se interrumpe el bombeo de la sangre) y desmayos por falta de oxígeno en el cerebro.
- Entre 80 mA y 3 A. Se establece plenamente la fibrilación del corazón, si la corriente permanece aplicada por más de 0.3 segundos.
- Con intensidades superiores a los 3 A hay pérdida del conocimiento y paro pulmonar que conducen a la muerte inmediata.

Con respecto a la peligrosidad, se considera que el contacto más peligroso es el contacto eléctrico que genera una circulación de corriente del brazo derecho al pie izquierdo, dado que la corriente circula por el tórax afectando directamente el corazón. También el contacto eléctrico en el que esté involucrada la cabeza porque la corriente eléctrica que recorre el cerebro genera pérdida del control de los movimientos.

El contacto que afecta menos órganos vitales afecta, es en el que están involucrados los dos pies. Dado que la corriente circula por la parte baja del abdomen.

Hasta ahora se revisaron los voltajes a los que se puede ver sometida una persona cuando hay una descarga atmosférica o una falla eléctrica

en un terreno abierto. Este evento se materializa cuando cae un rayo, hay una caída de una línea de transmisión o se toca accidentalmente un conductor o equipo energizado (sin las protecciones adecuadas).

Se encontraron los voltajes mínimos que puede soportar una persona y se determinó que son muy bajos. Se encontró también, que a una distancia

de 10 metros del punto de inyección de la corriente (figura 4) el voltaje ha caído a un valor de 10% del valor inicial  $V_0$ , sin embargo, dependiendo de la corriente inyectada, aún puede ser mortal.

Es claro que, ante la caída de un rayo en un campo abierto, y si estamos a menos de 10 metros de distancia del punto de impacto, hay pocas probabilidades de no sufrir lesiones graves.

## 5. Como el sistema de puesta a tierra controla los voltajes de paso y toque

Se analiza ahora como un sistema de puesta a tierra y el uso de un adecuado equipo de protección personal, nos ayuda a disminuir los voltajes de paso y toque, y por ende, disminuir

la corriente que puede circular por el cuerpo de un trabajador en el caso que se presente un accidente eléctrico.

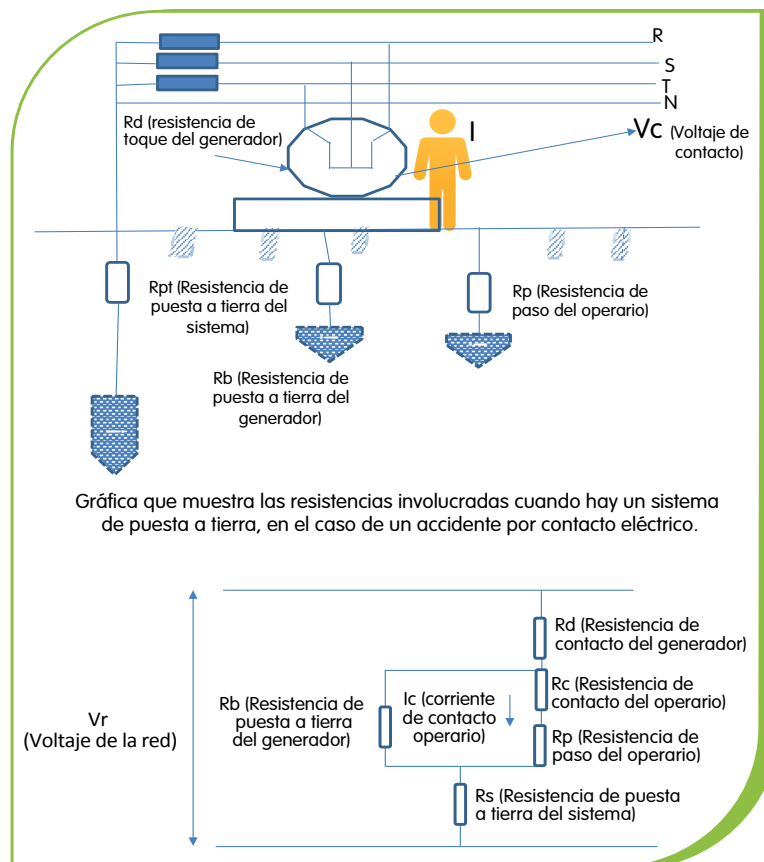


Figura 7. Circuito eléctrico equivalente.



Para calcular la corriente  $I_c$  (corriente que circula por el cuerpo), se deben conocer todos los valores de todas las resistencias involucradas y el voltaje de la red.

Si revisamos la situación inicial cuando no existía sistema de puesta a tierra el cálculo de la corriente que circula por el cuerpo dependía solo de: la resistencia de paso, la resistividad del terreno y la distancia de la persona al electrodo o punto de la descarga.

Con un sistema de puesta a tierra se forma un circuito, que ahora tiene por lo menos dos caminos para que las corrientes de falla retornen a tierra. Para calcular estas corrientes utilizamos las ecuaciones de teoría de circuitos que son más fáciles de manipular. Pasamos de las ecuaciones de campo eléctrico a las ecuaciones de teoría de circuitos.

Las resistencias ahora involucradas explican cómo el equipo de protección personal y un buen sistema de puesta a tierra ayudan a salvar vidas humanas, hay que recordar que la resistencia alta es una barrera contra la corriente (que es la que causa la muerte o afectaciones al cuerpo).

Un calzado adecuado, incrementa la resistencia de paso subiéndola de ohmios a varios cientos de ohmios, el uso de guantes y camisas de manga larga incrementa la resistencia de contacto.

Una baja resistencia de puesta a tierra del sistema incluyendo un adecuado aterrizamiento del equipo, configuran un camino de baja impedancia que drenará la mayor parte de la corriente de falla.

En condiciones normales las resistencias asociadas al cuerpo humano (resistencia de contacto más resistencia de paso) típicamente son del orden de  $3000 \Omega$ , retomando la corriente que puede soportar el cuerpo humano de 50 mA, el voltaje máximo de

contacto que podría soportar un ser humano es de  $V_c = 3000\Omega * 0,05 A = 150 V$ , que es el voltaje comercial para el servicio de energía que se utiliza en la mayoría de los países; en Colombia se utiliza 120V y 220V y no quiere decir que no sean voltajes peligrosos.

El RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas de Colombia), establece la resistencia del cuerpo humano en  $1000 \Omega$ .

En la mayoría de los hogares no hay una malla de puesta a tierra que cubra toda la casa, lo que sí se tiene es una alta resistividad del terreno, porque generalmente los pisos son en madera, cerámica, baldosa o concreto. En los hogares la alta resistividad del terreno es elemento que limita el ingreso de altas corrientes al cuerpo en caso de un contacto eléctrico. Pero no es así en las zonas rurales o jardines de la casa en donde el contacto eléctrico es más peligroso.

Analizamos ahora otra variable que es crítica en los accidentes eléctricos y es tiempo de exposición a la corriente.

El científico Charles Dalziel encontró que el 96% de las personas podrían soportar sin sufrir fibrilación ventricular (paro del corazón), corrientes determinadas por la siguiente ecuación.

$(I^2)*t = 0,0135$  con la corriente  $I$  en mA y el tiempo  $t$  en segundos.

Donde la corriente por el cuerpo humano:  
 $I_c = 0,116/\sqrt{(t)}$ .

Si se considera la corriente a la cual el ser humano se pueden soltarse de la fuente de corriente ( $I_d$ ), se configura la corriente peligrosa (corriente que puede ocasionar la muerte).

$I_{pe}$  (corriente peligrosa) =  $I_d$  (corriente que permite soltarse) +  $10/t$

Donde  $I_d$ : (corriente que permite soltarse) en mA, depende del tipo de persona.

$t$  : tiempo de permanencia de la corriente.  
Si retomamos lo comentado anteriormente que entre 15 y 25 mA la persona puede soltarse. Pero

esto depende del tipo de persona, por lo que debemos tomar una corriente conservadora de 10 mA, la ecuación se transforma en:

$$I(pe) = 10 + 10/t.$$

Tiempo en s (segundos)	Corriente peligrosa (I <sub>pe</sub> ), en mA. Estudios médicos	Corriente peligrosa (I <sub>pe</sub> ), en mA. Según Dalziel	Corriente peligrosa (I <sub>pe</sub> ), en mA. Otros estudios
3	13.3	67	100
2	15	82	130
1	20	116	180
0.6	26.6	150	220
0.3	43.3	211	250
0.2	60	259	400

**Tabla 8.** Corrientes peligrosas (peligro de muerte) en función del tiempo.

Si los tiempos de la tabla anterior, son los tiempos en los que la persona está en riesgo de muerte, por estar circulando corriente por su cuerpo. ¿Cuáles serían los tiempos máximos, para que se interrumpa la corriente (operación de las protecciones) o que la persona logre despegarse, de tal manera que no se vea afectada?

$100 = 10 + 10/t$ , en donde se obtiene que  $t = 0,111$  segundos, o sea 111 milisegundos.

Se tabulan a continuación los tiempos para las corrientes de contacto  $I_c$  y los tiempos de despeje de falla, o tiempos máximos para que la persona se despegue de la fuente de corriente.

Si hacemos uso de la ecuación  $I(pe) = 10+10/t$  y tomamos una corriente de 100 miliamperios (mA), se tiene.

<b>I<sub>c</sub>(mA)</b>	100	127	133	169	254	260	339	400
<b>t (s)</b>	0.111	0.086	0.076	0.063	0.04	0.04	0.03	0.02

**Tabla 9.** Corrientes peligrosas y tiempos máximos de exposición.

Otra área de estudio para determinar los voltaje y corrientes peligrosas son los estudios médicos, documentados a partir de las lesiones sufridas por pacientes en accidentes por contacto eléctrico con duración menor a un segundo. Lo estudios médicos clasifican las corrientes en tres zonas a saber:

- **Zona 1:** La corriente no influye sobre el ritmo cardiaco o sobre el sistema central.
- **Zona 2:** La intensidad de la corriente es aún tolerable, pero si se sobrepasan los 50 m A se llega a perder el conocimiento.
- **Zona 3:** Existe fibrilación ventricular y por lo tanto peligro de muerte.

Puesto que no existen experimentos en personas con intensidades que provoquen la muerte, solo hay ensayos documentados en animales. No se pueden fijar valores exactos de corrientes peligrosas para personas y animales, ni determinar valores exactos y seguros de tensiones de paso y contacto, pues estos varían en función de la resistencia del cuerpo humano que se asuma. Estos estudios consideran sin embargo que un voltaje máximo de contacto debe estar limitado a 65V para los cuales se tendrían los siguientes voltajes de paso y toque:

- **Contacto manual.** Para este primer caso se considera el caso de que el cuerpo humano no presenta resistencia alguna al paso de la corriente. Solo se considera la resistencia de paso, debido al contacto del pie con el suelo, si consideramos la resistencia encontrada en la Tabla 7, la resistencia de

cada pie se calcula como  $250\Omega/2 = 125 \Omega$  y tomado los 65 V como voltaje máximo permitido se tendría una corriente máxima  $I_c = 65 \text{ V} / 125 \Omega = 520 \text{ mA}$ .

- Si consideramos una resistencia interna del cuerpo humano de  $1000 \Omega$  (que es una resistencia ampliamente aceptada por muchos autores como la resistencia para modelar el cuerpo humano) y adicionamos la resistencia de paso de  $125 \Omega$ , la resistencia de contacto será en este caso de  $1125 \Omega$  y la corriente de contacto sería  $= 65 \text{ V} / 1125\Omega = 58 \text{ mA}$ .
- Si aceptamos que la resistencia del cuerpo humano es de  $3000 \Omega$ , la corriente de contacto sería  $I_c = 65 \text{ V} / 3000 \Omega = 22 \text{ mA}$ .

Revisando los datos parecen contradictorios, pues en principio se aceptaría que el cuerpo humano soportaría  $I_c = 520 \text{ mA}$ , pero lo que el resultado evidencia es que se tendría que interrumpir la corriente en 0,02 s. Implica más restricciones a la parametrización de la protecciones e interruptores que protegen el circuito (los obliga a operar en menos tiempo).

El RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas de Colombia) establece el voltaje de toque con base en la norma IEEE 80 que lo calcula con la siguiente fórmula:

Máxima tensión de toque  $= 116/\sqrt{t}$ , donde: t es el tiempo en el que se está en contacto, con la tensión.

Si reemplazamos el tiempo en la ecuación, encontramos voltaje máximo de toque permitido así: si el tiempo máximo que dura el contacto es  $t = 1 \text{ s}$ , máxima tensión de toque sería  $= 116/\sqrt{1}$

= 116 V, si  $t=500$  milisegundos (0.5 s) la máxima tensión de toque es:  $116/\sqrt{0.5} = 164$  V, si el tiempo de exposición a la tensión es 50 milisegundos, el voltaje máximo de toque sería 518 V.

La Tabla en el RETIE se rotula como "Tabla 22 Máxima tensión de contacto para un ser humano", pero se debe interpretar como Máxima tensión que puede soportar un ser humano con bajas probabilidades de sufrir afectación, si la

corriente se interrumpe como máximo durante el tiempo indicado. Lograr el despeje de la corriente en el tiempo requerido, es lo restrictivo y difícil de conseguir.

En EPM se parametrizan las protecciones y se tienen interruptores que garantizan el despeje

## Conclusiones

de la mayorías de las fallas en menos de 100 ms.

- El cuerpo humano soporta muy bajos niveles de voltaje, por lo que, ante un
- accidente eléctrico o caída de una descarga atmosférica, los sistemas que protegen al trabajador son: el sistema de puesta a tierra y su equipo de protección personal. Por lo que se ratifica la importancia de usar siempre el equipo de protección personal adecuado, pues es la herramienta que limita la corriente que puede ingresar a nuestro cuerpo y que es ausencia de un sistema de puesta a tierra podría ser la única barrera contra una corriente peligrosa.

- Los sistemas de puesta a tierra son difíciles de diseñar y fáciles de construir. Por, lo que
- no se debe omitir un diseño riguroso para garantizar que las condiciones particulares de cada instalación se modelaron, de manera que se garantice que los voltajes de paso y toque que se generen ante una falla

eléctrica o descarga atmosférica no afecten la salud e integridad de los operarios.

- El tiempo de despeje de la falla (operación de las protecciones) también es una
- variable crítica, de hay la responsabilidad del personal que parametriza y revisa los relés de protección, para que mantengan su operación en los tiempos mínimos que les permita el sistema.

- Invertir en mantener el sistema de puesta a tierra en óptimas condiciones, es invertir en
- la seguridad de las personas. Los sistemas de puesta a tierra por lo general se mantiene olvidados pero un buen sistema de puesta a tierra es un mecanismo efectivo y económico de controlar sobre voltajes, que de presentarse no solo afectan la salud e integridad de las personas si no también los propios equipos e infraestructura eléctrica. Vega Ortega, Miguel de la (1980). Ingeniería de puesta a tierra. México: Limusa.

## Referencias

- Fleisch, Kraus (1999). Electromagnetismo con Aplicaciones. México: Mcgrauw – Hill.)
- Kinderman, Gerardo y Campanolo, Jorge (1991). Aterramiento Eléctrico. Porto Alegre: SAGRA.
- Seidman, Arthur y Mahrous, Haroun (1985). Manual de cálculos de ingeniería eléctrica, México: Mcgrauw – Hill

### Cómo citar este artículo:

Giraldo Giraldo, N. (2020). Cómo los sistemas de puesta a tierra, protegen la seguridad y vida de las personas que trabajan en los sistemas eléctricos de transmisión y distribución. Revista EPM (15), P. 98-117.









# La tasa retributiva por vertimientos como instrumento económico

The tax rate for discharges as an economic instrument

**Tatiana María  
Vidal Gutiérrez**

Gerencia de Regulación en EPM

[tatiana.vidal@epm.com.co](mailto:tatiana.vidal@epm.com.co)

## Resumen

Desde hace 45 años, el Gobierno ha venido implementando una cantidad de instrumentos con miras a corregir y mitigar la contaminación a las fuentes hídricas producto de las actividades antrópicas. Realizando un recorrido por la normatividad, se encuentra aciertos y

desaciertos y estos últimos han presionado para que se hagan modificaciones. Lamentablemente persiste la precariedad de las condiciones del recurso hídrico, lo que lleva a reflexionar sobre la necesidad de cambiar nuevamente el instrumento con una propuesta diferente.

## Palabras clave:

Tasa retributiva, PTAR, Recurso hídrico, Instrumento económico.

## Key words:

Dumping rate, PTAR, Water resource, Economic instrument.

## Introducción

El acelerado crecimiento económico e industrial de algunos países y la concentración de la población en las ciudades han aumentado el uso intensivo de los recursos naturales por las actividades productivas y domésticas, generando presiones sobre el ambiente. (Baena Jaramillo, 2015).

El recurso hídrico es uno de los más afectados dadas las descargas directas e indirectas a las fuentes, lo que ha generado un deterioro en su calidad. El reto de las medidas empleadas por las sociedades, más específicamente los gobiernos, es conseguir los objetivos ambientales, logrando la eficiencia económica a través de instrumentos con miras a disminuir el daño ambiental.

El propósito de estas líneas es documentar la eficacia del instrumento, a través de un recorrido por la normatividad asociada a la tasa retributiva y las observaciones de entidades como la Contraloría y la Cepal, quienes en sus informes ambientales documentan los resultados de este instrumento económico en pro de mejorar la contaminación hídrica.

La preocupación por la utilización directa e indirecta del aire, el agua y el suelo como receptores de material contaminante se materializó luego del notable deterioro en los recursos naturales, en especial sobre las principales fuentes hídricas del país. En respuesta a ello, hacia el año 1974 nace la normatividad establecida bajo el Decreto Ley 2811, el cual establece un marco normativo para que el Estado ejerza un control sobre la adecuada utilización de los recursos naturales.

Posteriormente aparece la Ley 09 de 1979 en la cual se contempla la protección del medio ambiente y se establecen lineamientos sobre el control sanitario de los usos del agua, así como las condiciones para disponer los residuos líquidos.

De allí se desprenden mecanismos como las tasas retributivas que regulan el pago por el servicio de eliminación o control de vertimientos derivados de las actividades económicas. Para estas últimas encontramos vasta reglamentación, sin embargo, a pesar de que se han tenido logros importantes, la consolidación de dichos instrumentos también se ha visto frenada por señales adversas o porque dichos instrumentos no han tenido la complementariedad necesaria. En sus 45 años, se hará un recuento de esta junto con algunos de sus resultados.

La primera reglamentación comenzó bajo el Decreto 1594 de 1984, que establecía un cobro hacia actividades lucrativas, con pago semestral, en función de las cargas y los costos para programas de control de la carga combinada y de las sustancias de interés sanitario; adicionalmente en él se establecieron criterios de calidad admisibles. Estos instrumentos generaron altos costos administrativos, ya que se requería invertir en entes reguladores, estudios, inspecciones, etc.; es decir, una política de comando y control robusta que superaba el presupuesto asignado para su implementación.

Por el lado de los agentes contaminantes, esto implicó, entre tanto, unas inversiones en tratamiento elevadas, las cuales no se llevaron a cabo gracias a la falta de incentivos o señales

económicas que permitieran incorporar los costos de tecnologías limpias en la estructura de precios. Trece años más tarde, en 1997 el panorama de las cuencas era que “el 95% de las aguas negras municipales, 70% y 90% de las aguas residuales industriales y agroindustriales respectivamente, fluían a las cuencas colombianas sin tratamiento alguno”. (CEPAL/PNUD, 2001)

Como resultado de las reformas de principios de los 90 y con la expedición de la nueva Constitución Política, en 1993 se crea la Ley 99, con el cual se reordena el sector público en aspectos ambientales y otorgan responsabilidades y recursos económicos para establecer programas de control de la contaminación más efectivos. Una de las principales transformaciones fue el financiamiento de las autoridades ambientales, al establecer el régimen para que éstas pudieran constituir sus propias rentas.

En abril de 1997 se expide el Decreto Reglamentario 901, el cual incorporó el principio “el que contamina paga”, ampliando el alcance a las actividades que produzcan vertimientos, sean o no lucrativas; es decir, se incluye las empresas de servicios públicos de alcantarillado y demás usuarios sujetos a vertimientos. La metodología para la definición de la tasa incorporó un factor regional que estuviera en función del logro de un objetivo regional de reducción de la carga total contaminante hasta el nivel preestablecido para la meta de reducción, es decir, incorpora el criterio de región y la capacidad de asimilación que establece el artículo 42 de la Ley 99. También exige un reporte de las actividades de la tasa al Ministerio de Ambiente.

La CEPAL, a través del informe Evaluación de la efectividad ambiental y eficiencia económica de las tasas por contaminación hídrica en el

sector industrial colombiano (CEPAL/PNUD, 2001), comenta sobre la efectividad de dicha reglamentación, con base en los resultados de las siguientes autoridades ambientales, las cuales fueron seleccionadas por su efectividad ambiental: La Corporación Autónoma Regional de las Cuencas Río Negro y Río Nare – Cornare, quien fue la primera autoridad en realizar el cobro a los flujos de contaminación; la CAR del Valle del Cauca - CVC, que comenzó en 1998; y tramo del Río Magdalena en jurisdicción del Departamento Administrativo Distrital del Medio Ambiente de Barraquilla- DADIMA, que inició en el año 1999. La conclusión fue que:

La tasa retributiva ha sido una fuente efectiva de financiamiento para las Autoridades Ambientales, lo cual les permitió tener mayor estabilidad económica. La asignación de recaudos de la tasa se convirtió en motor de nuevos proyectos a través de la inversión ambiental y consideraron que el ingreso generado por las tasas retributivas unido a la creación de los fondos regionales crearía las condiciones para apalancar otros recursos necesarios para la inversión en grandes obras de infraestructura, plantas de tratamiento municipales, y programas orientados hacia la producción más limpia y la educación ambiental. (CEPAL/PNUD, 2001, pág. 49).

Posteriormente, la CEPAL, en el Informe Aplicación del Principio contaminar – pagador en América Latina, señalan como limitaciones y dificultades de la tasa: la flexibilidad en el cumplimiento de los límites de vertimientos, la falta de formalización de permisos de vertimientos, la resistencia de los municipios y empresas de servicios público de alcantarillado, considerado como el mayor violador de la normatividad, y la ineficiencia de las autoridades ambientales

(CEPAL, 2002). Finalmente, llama la atención que apenas en el año 2001 se adoptó el formulario de información, con la Resolución 081.

Seis años después se crea una nueva reglamentación de la tasa retributiva, el Decreto 3100 de 2003, derogando la normatividad anterior. Esta modificación trae consigo la priorización de las cuencas, las cuales se debían ordenar con base en un instrumento de planificación que se había establecido desde 1984 y que hasta ese momento no se había incluido.

Por otro lado, se creó en el siguiente año una guía para establecer el marco de actuación de los prestadores de alcantarillado, denominada Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos – PSMV (Resolución 1433/04 y 2145/05), y

finalmente se determinó de manera específica la destinación de los recursos que fueran exclusivamente para proyectos de inversión de descontaminación hídrica y monitoreo de la calidad del agua. Como resultado de dicha reglamentación, la Contraloría en su informe anual para 2012 presentó un resumen de cómo el gobierno entrante recibió el tema ambiental, concluyendo que se evidenciaron muchos instrumentos económicos, pero a pesar de ello, la contaminación ambiental había aumentado y las expectativas de su disminución no estaban claras. Así mismo, persistieron los problemas con el reporte de información, que además de ser disperso presentaba inconsistencias. (Contraloría General de la Nación, 2012). Esto se pudo evidenciar en el reporte de indicadores mínimos de gestión de la siguiente Tabla.

Resolución 964 de 2007 (IMG)		Resultados						
		2007 MAVDT	2007 MAVDT	2007 MAVDT	2007 MAVDT	2007 MAVDT		
11	Total de recursos recaudados con referencia al total de recursos facturados por concepto de tasa retributiva.	58%	53%	52%	74.53%	63.91%		
22	Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos – PSMV seguimiento por parte de la Corporación con referencia al número de cabeceras municipales de su jurisdicción.	20%	46%	34%	60.63%	54.79%		
23	Cumplimiento promedio de metas de reducción de carga contaminante, en aplicación de la tasa retributiva, en las cuencas o tramos de cuencas de la jurisdicción de la Corporación (SST y DBO).	DBO		7%	8%	29%	49.20%	63.24%
		SST		14%	27%		45%	

**Tabla 1.** Indicadores mínimos de gestión. Recuperado de: Informe del Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente 2011 – 2012. P. 109

La misma entidad, en su informe publicado en 2013. (Contraloría General de la Nación, 2013), concluye que el instrumento que fue

concebido con carácter económico ha perdido su esencia, convirtiéndose esencialmente en un mecanismo más de financiación para el SINA.



Además, les preocupó que las Autoridades Ambientales no estuvieran empleando bien el uso del factor regional y estuvieran dejando de percibir ingresos, aludiendo a ello como una

renuncia. En el siguiente cuadro se presenta el valor facturado por las Autoridades Ambientales durante el período 2006 – 2010.

	2006	2007	2008	2009 <sup>1</sup>	2010
<b>Total</b>	36.314.258	55.515.205	52.178.514	135.518.254	43.415.825
<b>% ESP ak</b>	88%	93%	65%	27%	88%
				<b>Total</b>	<b>322.942.056</b>

**Tabla 2.** Valor Facturado por las autoridades ambientales a todos los usuarios. Miles de pesos corrientes. Recuperado de: Informe del Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente 2012 - 2013. Contraloría General de la República.

Es importante precisar que estos datos presentan inconsistencias y falta de información por parte de algunas autoridades ambientales. Asimismo, es de resaltar que ninguno de los informes enunciados contiene información sobre la manera en que han sido ejecutados los recursos, si estos han seguido las orientaciones de la norma en que su destinación es específica para la descontaminación.

En este mismo periodo se presenta un gran precedente para las empresas de servicios públicos, quienes en principio se abstuvieron de pagar dicha tasa, porque la reglamentación tarifaria del servicio (Resoluciones CRA 09 de 1995 y 15 de 1996) si bien preveía las tasas ambientales, presentaba una indeterminación jurídica sobre la posibilidad de trasladar el cobro a los usuarios.<sup>2</sup> Es decir, se estaba desconociendo que el verdadero sujeto pasivo no era la empresa sino el usuario, quien es el

generador directo de la contaminación. Esta duda fue resuelta mediante la metodología tarifaria expedida por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA en la Resolución 287 de 2004, en la cual se hace el cobro por metro cúbico de agua suministrada.

Vale la pena resaltar que el cobro no está asociado directamente con la metodología de cálculo de la tasa, dado que no tiene en cuenta las concentraciones de las sustancias contaminantes, que es por lo que les cobran a los prestadores con la tasa retributiva. Miguel Ángel Galarza hace una crítica al respecto en el caso de Bogotá.

Este tipo de esquema ha generado incentivos perversos, ya que La Secretaria Distrital de Ambiente - SDA como autoridad ambiental, solo se preocupa por cobrar las tasas a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB,

quien independiente del valor pagado trasladará el costo a los usuarios. Por lo tanto, ni el SDA ni la EAAB tiene incentivos para incurrir en los costos de monitoreo, procesamiento de información y administrativos necesarios para establecer el nivel de vertimientos. (GALARZA, 2009)

En diciembre de 2012, se expide el Decreto 2667 con una nueva metodología para el cobro de la tasa, la cual continúa vigente. Entre las diferencias presentadas respecto a la anterior fórmula se resaltan las siguientes:

- Mientras que la meta global del Decreto 3100 se determinaba a partir de la importancia de la diversidad regional, disponibilidad, costo de oportunidad capacidad de asimilación del recurso y las condiciones socioeconómicas de la población afectada; la nueva metodología se basa en una línea base proyectando la carga de los usuarios y los objetivos de calidad para un quinquenio, la carga del tramo o cuerpo de agua, la ejecución de obras del PSMV, permiso de vertimientos y la reconversión de tecnologías.
- En el Decreto 3100 el factor regional se calculaba para los industriales a partir de la diferencia entre la carga recibida por la cuenca y la meta global al final del quinquenio, y para los prestadores de alcantarillado se hacía con base en los acuerdos establecidos en el PSMV. Con esta metodología no se estableció una diferencia entre los prestadores de alcantarillado con los demás usuarios de la cuenca, calculando una sola meta para todos.

Se estableció una obligación al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para expedir una regulación sobre el reporte de información relacionada con la aplicación del instrumento.

Adicionalmente, a través de la ley del Plan Nacional de Desarrollo, Ley 1450 de 2011, se enfatizó en que dichos recursos se debían destinar a proyectos de inversión en descontaminación y monitoreo, y sólo un 10% de los recursos recaudados para la implementación y seguimiento de la tasa.<sup>3</sup>

Después de 6 años de venir aplicándose la norma, el informe de la Contraloría del año 2019 concluyó para la región andina (que es donde mayor concentración de recursos naturales se demanda) que:

La gestión en PTARs, permisos de vertimientos, referentes de norma y resultados de calidad del agua vertida, en las ciudades con población de 100.000 habitantes es muy deficiente, lo que no permite pensar que el indicador de Calidad del agua superficial haya mejorado, desde el año 2013 (Contraloría General de la Nación, 2019)

Estas conclusiones de la Contraloría no son ajenas a la problemática que se viene suscitando en torno al manejo de la tasa retributiva y que se reafirma reclamo permanente de los diferentes grupos de interés, entre los que se encuentran las empresas prestadoras del servicio público domiciliario de alcantarillado, a las autoridades ambientales y al gobierno en general desde que se implementó esta metodología. Desde el inicio se encontraron errores en la fórmula y en los conceptos metodológicos.

Por un lado, la fórmula no genera incentivos a la descontaminación, toda vez que el factor regional no tiene un efecto inmediato sobre el cumplimiento de las metas; se encuentran en algunas autoridades ambientales procesos impositivos que van en contra de las mismas disposiciones de la norma, donde las metas que se suponen que son concertadas entre

los agentes, terminan siendo impuestas y se encuentran arbitrariedades al no aceptar las problemáticas con la consecución de recursos para el cumplimiento de las metas.

Además, se desconoce la definición de usuario de la tasa retributiva definida en el artículo 2.2.9.7.2.1 del Decreto 1076: *Usuario es toda persona natural o jurídica, de derecho público o privado, que realiza vertimientos puntuales en forma directa o indirecta al recurso hídrico, que reconoce que más allá de la forma de disponer el vertimiento, el sujeto pasivo debe ser el que lo genera y no el que lo transporta, por tanto, la responsabilidad de descontaminar es de todos.*

Por otro lado, persiste la falencia en el reporte de información, tarea que fue impuesta al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible<sup>4</sup> para reglamentar y que, a la fecha, sólo se evidencia una herramienta de reporte de seguimiento del año 2007 y un informe para el 2013<sup>5</sup>. Es importante precisar que el diligenciamiento de esa herramienta solo se pudo constatar para Cornare, en su página web. Este hecho evidencia la escasa información que se presenta respecto a la aplicación del instrumento. Adicionalmente, revisando informes de gestión de algunas autoridades ambientales, sólo se pudo apreciar los ingresos percibidos, y de forma poco clara la ejecución de estos.

Esto hace recordar el dicho “Aquel que no conoce su historia está condenado a repetirla<sup>6</sup>”, pues la falta de armonización entre los instrumentos y las fuentes de financiación se había anunciado desde la primera normatividad en 1984 y curiosamente se sigue manteniendo.

Se rescata el hecho de que el Gobierno ha comenzado a entender esas deficiencias, por lo que expidió el Decreto 2141 de 2015, para subsanar parcialmente la problemática en la financiación de los PSMV. No obstante, el problema persiste, en especial para los prestadores de alcantarillado, quienes son los mayores usuarios recolectores de vertimientos.

Asimismo, el gobierno consciente de lo cuantioso que es construir sistemas de tratamiento viene trabajando en el programa SAVER. El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio lo define en su página web como “programa para estructurar sistemas integrales sostenibles para el tratamiento de aguas residuales que incluyan componentes de innovación aportando al incremento de los porcentajes de cobertura de tratamiento de aguas residuales<sup>7</sup>”. Se priorizaron 10 cuencas críticas: Río Bogotá, Cuenca alta del Río Chicamocha, Río Medellín, Cuenca alta de Río Cauca, Río Suárez en los sectores de la Laguna de Fúquene y el Río Fonce, Río Pasto, Río Chinchiná, Cuenca de los Ríos Otún y Consota, Cuenca de los Ríos Quindío y La Vieja, y Río de Oro.

El aporte del gobierno en la financiación de las PTAR ha sido un factor importante para alcanzar esa reducción, aceptando que la recuperación de las fuentes hídricas es una tarea conjunta, que sin el gobierno involucrado se dificulta su implementación. En el Plan Nacional de Desarrollo PND 2014 – 2018 se trazaron las siguientes metas y a través del programa SAVER se han venido financiando.

Meta inmediata	Línea base 2013	Meta a 2018
Incrementar el porcentaje de aguas residuales urbanas tratadas.	33%	41%
Producto		
Caudal tratado de Aguas residuales en nuevos sistemas (l/s)	24.164	33.776
Sistemas de tratamiento de Aguas Residuales	622	628

**Tabla 3.** Metas de producto y resultado. Recuperado de: Bases del Plan Nacional de Desarrollo - PND 2014 – 2018. P. 300.

De acuerdo con el Estudio Sectorial de la Superintendencia de Acueducto y Alcantarillado de 2014 - 2017, los proyectos financiados por el

programa SAVER se encuentran en las siguientes condiciones:

Cuenca Programa Saver	Ciudad o municipio	Nombre del proyecto	Caudales en Tratamiento a 2018
Bogotá	Bogotá	Construcción de la estación elevadora de aguas residuales canoas para el Distrito Capital de Bogotá	El proceso licitatorio por valor de \$367.500 millones fue abierto por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB ESP en el año 2018.
Ubaté - Suárez	Chiquinquirá	Construcción Planta de Tratamiento de Agua Residual	La PTAR se encuentra en operación con caudales de tratamiento para 2017 de 85 l/s
Chicamocha	Tunja	Descontaminación río Chicamocha, Construcción de la PTAR de Tunja	La PTAR se encuentra en operación con caudales de tratamiento para 2017 de 88,06 l/s. Arranque, puesta en marcha y operación de la PTAR Tunja (Módulo II), departamento de Boyacá, con caudal de diseño de 120 l/s.
	Sogamoso	Construcción de la PTAR - Primera etapa	El proceso de arranque, estabilización y operación de la PTAR Sogamoso se encuentra en etapa contractual, a cargo de Cooservicios S.A. E.S.P.
Cauca	Tuluá	Construcción PTAR - Segunda etapa	La PTAR se encuentra en operación con caudales de tratamiento para 2017 de 560,03 l/s
	Santander de Quilichao Popayán	Construcción de la PTAR - Zona urbana Construcción de la PTAR - Primera etapa	No hay información De acuerdo con lo informado por el MVCT, se encuentran adelantando los estudios preliminares y trámites administrativos necesarios para la reubicación de la primera etapa del proyecto
Quindío La Vieja	Armenia	Construcción de la PTAR - La Marina	La PTAR se encuentra en operación con caudales de tratamiento para 2017 de 59 l/s
Río de Oro	Girón	Ampliación y modernización de la PTAR - Río Frío	Se encuentra en proceso de ampliación y modernización que beneficia al área metropolitana de Floridablanca, la parte sur de Bucaramanga, y en menor proporción de Girón.

**Tabla 4.** Proyectos Financiados Programa SABER. Recuperado de: Estudio sectorial de los Servicios Públicos Domiciliarios de Acueducto y Alcantarillado 2014 – 2017. P. 63.

La Contraloría incluyó un aumento del caudal de aguas residuales urbanas tratadas en el país por la puesta en marcha y operación de la PTAR Aguas Claras en el municipio de Bello, departamento de Antioquia; con un caudal de diseño de 5.000 l/s.

Como conclusión a este recorrido normativo se deduce que:

Los informes de la Contraloría demuestran un estancamiento de la norma al inferir que no se ha logrado el despliegue en infraestructura que requiere el país para cumplir con los objetivos y metas propuestas, que hoy día no solo se enmarcan en el ámbito local, sino que trascienden a compromisos internacionales dentro de los diferentes pactos en los que Colombia ha sido firmante.

Los otros instrumentos tales como el permiso de vertimientos, el límite máximo de vertimientos, el PSMV y el proceso sancionatorio, son los que finalmente están dando las señales para el control de vertimientos. Por el lado de las zonas urbanas se han establecido las señales para que se efectúen los tratamientos, pero es claro que la imposibilidad no ha sido por la falta de voluntad sino por la falta de financiamiento. Por tanto, como indicación directa, la tasa retributiva no es el instrumento que está dando las señales para descontaminar.

Es tiempo de realizar una reflexión sobre el instrumento de tasa retributiva, más aún cuando algunos analistas (OCDE, CEPAL, Contraloría) y

los últimos resultados de los informes señalan que los avances no han sido tanto por el cobro de la tasa. Es importante integrar las nuevas concepciones, el cambio climático, las recomendaciones de la OCDE y los compromisos con los organismos internacionales.

Esto nos lleva a pensar si debemos seguir mirando la tasa retributiva como el instrumento económico que persuade para descontaminar o si es necesario replantear el instrumento y darle una concepción diferente, ya sea que este realmente aporte al financiamiento de la construcción de plantas de tratamiento en zonas urbanas, o sea un medio económico de las autoridades ambientales para ejercer seguimiento y control.

Claramente hay que insistir en mejorar la calidad de la información, más en estos tiempos cuando estamos en la era digital, ser más transparentes y enfocarse no solo en la facturación y recaudo de las tasas sino en su destinación, armonizar todos los instrumentos de planeación hídrica, además lo más importante, construir un propósito como país.

Asimismo, vale la pena incluir en la reflexión el papel que tiene el usuario final en la contaminación, generar más conciencia en la población de modo que no vea esto como un problema de un tercero, sino que es un problema de todos, así como se está haciendo con la disposición de residuos sólidos (economía circular y responsabilidad extendida), y mostrar que los vertimientos no son un tema de sectores.



## Conclusiones

- La normatividad asociada al instrumento de la tasa retributiva no ha tenido los efectos esperados y persiste el problema de la contaminación hídrica, en parte por la poca armonización con los demás instrumentos y por la falta de claridad desde un principio en la destinación de esos recursos.
- Con la metodología vigente de la tasa, han sido las empresas de servicios públicos de alcantarillado las más perjudicadas, porque la concepción del factor regional es señal de ineficiencia, algo que el sector regulado no deja pasar.
- El país requiere de mayor transparencia y más disposición de la información pública, eso se evidencia en los reportes de las autoridades ambientales, quienes no están haciendo los debidos reportes al Ministerio ni a la Contraloría lo que hace ineficiente los informes que emite el estado sobre dicho instrumento.
- Hasta que no se resuelva la financiación de las PTAR en las zonas urbanas y no se haga una adecuada educación a la ciudadanía, la contaminación seguirá en aumento y el sueño de ver las fuentes hídricas limpias, quedara en solo eso, un sueño.

## Referencias

- Baena Jaramillo Maria Paulina (2015). Colombia Urbanizada y Biodiversa. Periodico El Espectador. <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/colombia-urbanizada-y-biodiversa-articulo-572840>
- CEPAL/PNUD (2001). Evaluación de la efectividad ambiental y eficiencia económica de las tasas por contaminación hídrica en el sector industrial colombiano. Recuperado de [https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/6/40506/4\\_CAEMA\\_2001\\_Evaluacion\\_tasas\\_contaminacion\\_Colombia.pdf](https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/6/40506/4_CAEMA_2001_Evaluacion_tasas_contaminacion_Colombia.pdf)
- Castro, Caycedo, Jaramillo y Morera. CEPAL (2002). Aplicación del principio contaminador – pagador en América Latina. Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5741/1/S02123\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5741/1/S02123_es.pdf)
- Consejo Nacional de Política Económica y Social – Conpes (2002). Documento Conpes 3177 Acciones Prioritarias y Lineamientos para la Formulación del Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales. <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3177%20-%202002.pdf>
- Contraloría General de la Nación (2012). Informe sobre el estado de los recursos naturales y del ambiente 2011 – 2012. Recuperado de <https://www.contraloria.gov.co/documents/2081/461276/Informe+Medio+Ambiente+2011+-+2012.pdf/a3c1de63-ef97-46e9-8b29-3f4e8c3032fd?version=1.0>

- Contraloría General de la Nación (2013). Informe sobre el estado de los recursos naturales y del ambiente 2012 – 2013. Recuperado de [https://www.contraloria.gov.co/documents/20181/461280/INFORME\\_MEDIO\\_AMBIENTE\\_2012\\_2013\\_def\\_web.pdf/04b901db-4075-427b-9e77-20d1a105be62?version=1.0](https://www.contraloria.gov.co/documents/20181/461280/INFORME_MEDIO_AMBIENTE_2012_2013_def_web.pdf/04b901db-4075-427b-9e77-20d1a105be62?version=1.0)
- Galarza García, Miguel Ángel. (2009). Análisis de la efectividad de las tasas retributivas en Colombia. Estudio de caso (Tesis). Recuperado de <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/economia/tesis147.pdf>
- Contraloría General de la Nación (2019). Informe sobre el estado de los recursos naturales y del ambiente 2018 – 2019. Recuperado de <https://www.contraloria.gov.co/resultados/informes/informe-sobre-el-estado-de-los-recursos-naturales-y-del-ambiente>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014). Informe sobre la aplicación de la tasa retributiva por vertimientos puntuales al agua. Recuperado de [https://www.minambiente.gov.co/images/NegociosVerdesysostenible/pdf/tarifas\\_retributivas/Informe\\_seguimiento\\_TR\\_2013.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/NegociosVerdesysostenible/pdf/tarifas_retributivas/Informe_seguimiento_TR_2013.pdf)
- Herramienta para apoyar el reporte de seguimiento a la Tasa Retributiva por vertimientos puntuales. Recuperado de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/negocios-verdes-y-sostenibles/instrumentos-economicos/tasa-retributiva-por-vertimientos-puntuales#informaci%C3%B3n-de-inter%C3%A9s>
- Cornare. Reporte Tasa Retributiva. Recuperado de <http://www.cornare.gov.co/tasas-retributivas/>

## Notas

1. Tiene una inconsistencia en Corantioquia.
2. CONPES 3177 de 2002. P. 15.
3. Art 211 Ley 1450 de 2011.
4. Artículo 2.2.9.7.6.1. Reporte de información. Decreto 1076 de 2015.
5. Informe sobre la aplicación de la tasa retributiva por vertimientos puntuales al agua. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, 2014.
6. Atribuido a Napoleón Bonaparte.
7. <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/programas/saneamiento-y-manejo-de-vertimientos>

## Cómo citar este artículo:

Vidal Gutiérrez, T. (2020). La tasa retributiva por vertimientos como instrumento económico. Revista EPM (15), P. 118-129.

Información sobre la Revista EPM

**Luz Beatriz Rodas Guerrero**

Profesional Gestión Humana y Organizacional

Teléfonos. 380 6341 - 380 6523

e-mail. luz.rodas@epm.com.co

Revista impresa en papel reciclado en Colombia, mediante el aprovechamiento de materias primas obtenidas a partir de material posconsumo.

*estamos ahí* comprometidos con el cuidado del medio ambiente.



epm<sup>®</sup>

*estamos ahí.*

[www.epm.com.co](http://www.epm.com.co)