Revista epm®

Publicación especializada en la gestión de servicios públicos

No. 19 | Enero - Junio 2022

Caso de estudio:
Buenas prácticas en diagnóstico de equipos hidromecánicos Grupo EPM

Gentrificación
y Derecho a la Ciudad

Cooperación Internacional
en EPM

Gestión del conocimiento
y el papel de la comunicación en las estrategias de divulgación

epm®

energía | gas natural | aguas

Revista
Publicación especializada en la gestión de servicios públicos
epm®
estamos ahí.

Revista EPM No.19
Enero - Junio 2022
ISSN: 2145-1524

Grupo Directivo EPM:
Jorge Andrés Carrillo Cardoso
Gerente General
María Cristina Toro Restrepo
Secretaria General
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
Martha Lucía Durán Ortiz
Vicepresidente Ejecutivo Finanzas Corporativas e Inversiones
Carlos Israel Orduz Aguilar
Vicepresidente Generación Energía
Andrés Moreno Múnera
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
Adriana María Palau Ángel
Vicepresidenta Estrategia y Planeación (E)
Juliana Carolina Zapata Molina
Vicepresidenta Talento Humano y Desarrollo Organizacional
Carlos Enrique Londoño Amariles
Vicepresidenta Suministros y Servicios Compartidos
Jhonatan Villada Palacio
Vicepresidente Asuntos Legales
Mabel R. López Segura
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

Equipo editorial Biblioteca EPM
Amparo Elisa Peña Peña
Dahianna Elisey Moreno
Elizabeth Cristina Zuluaga Ramírez
Estefanía Londoño Delgado
Valeria Flórez García
Alejandro Ruiz Bonilla
Stevens Aguirre Pérez
Catalina Cardona Otálvaro

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

El Grupo EPM comparte su gestión empresarial, de manera directa y a través de los medios de comunicación, con los distintos grupos de interés, como uno de los mecanismos para fortalecer y trascender la función informativa y afianzar las relaciones con ellos. Para lograrlo, cuenta con Medios Externos, gestión de medios de comunicación destinados a públicos y grupos de interés en las áreas de influencia de cada una de las empresas del Grupo EPM; con información relevante sobre la interacción con el territorio, asuntos relacionados con los servicios públicos y mecanismo de participación para las comunidades, los clientes y usuarios (Informe de Sostenibilidad Grupo EPM. 2021).

En este contexto, la Revista EPM se convierte en un espacio donde confluye el conocimiento que se genera en EPM en función de sus actividades económica, técnica, social y ambiental; con un enfoque en la prestación de los servicios públicos, que exige el estudio permanente de las distintas materias que lo componen, una dinámica de investigación y de profundización para mejorar la atención a la comunidad y ofrecer soluciones a favor de la sostenibilidad.

La Revista EPM es un esfuerzo de la Universidad EPM para documentar y transferir el conocimiento a los distintos grupos de interés, en especial la academia y la comunidad.

Para abrir esta edición, los autores del artículo Cooperación en el Grupo EPM, cuestión de sostenibilidad comparten la forma cómo en el Grupo EPM se vive la cooperación y es vista como un músculo organizacional en desarrollo, y nos recuerda nuestra naturaleza comunitaria y colaborativa, que se inspira en el propósito empresarial para contribuir con la sostenibilidad de la organización, en consonancia con el desarrollo de los territorios donde tiene presencia.

En el artículo Caso de estudio: buenas prácticas en diagnóstico de equipos hidromecánicos - Grupo EPM, los autores dan a conocer los resultados del diagnóstico realizado, que se basa en la inspección visual calificada, ensayos no destructivos, medición y análisis de vibraciones, juicio de expertos y discusiones técnicas al interior de la organización. Este diagnóstico aporta a la toma de decisiones en cuanto a la criticidad y prioridad en la intervención de los equipos con base en su condición estructural y confiabilidad operativa.

De otro lado, y con el propósito de actualizar el modelo de correlación existente de acuerdo con la operación actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales -PTAR- San Fernando y dar cumplimiento a la normatividad exigida para ello, los autores presentan el estudio llamado Modelo de correlación de metales entre el agua residual y el biosólido generado en la PTAR San Fernando de EPM de acuerdo con lo requerido en el Decreto 1287 de 2014.

En el artículo Modelo para calcular sistemas de puesta a tierra utilizando varillas se propone un modelo simple para realizar estos cálculos a través de una deducción de las ecuaciones involucradas. De acuerdo con sus autores, la mayoría de los libros de diseños de sistema de puesta a tierra presentan las ecuaciones, pero no ilustran su deducción. Dado los bajos costos que representa la construcción de un sistema de puesta a tierra utilizando varillas, los cálculos de la ingeniería involucrada en algunas ocasiones son omitidos, por lo que el método propuesto puede ayudar a subsanar este vacío,

dado lo simple que resulta determinar la resistencia de puesta a tierra requerida, una de las variables más relevantes cuando se utiliza esta tecnología.

Desde otra perspectiva más social, en el artículo Gentrificación y Derecho a la Ciudad sus autores conceptualizan sobre el término de gentrificación, y abordan algunos procesos urbanos que generan un desplazamiento o expulsión de comunidades desfavorecidas económicamente de territorios valorizados. Igualmente, tratan de definir lo que es el derecho a la ciudad y su ejercicio, viendo la planeación territorial como un acto de participación donde interactúan la razón y la emoción, como atenuante al fenómeno de gentrificación.

Se cierra esta edición con la afirmación de que, en todos los sistemas empresariales, las personas y su capacidad de pensamiento constituyen el recurso indispensable para que estos continúen vivos y progresen en un mercado cambiante e incierto. El sustento de esta afirmación la hacen sus autoras en el artículo La comunicación y la vigilancia estratégica como parte fundamental de la gestión del conocimiento, dentro de las organizaciones empresariales; y aquí presentan los procesos de Vigilancia y Comunicación estratégicas, que pueden aportar a la Gestión del Conocimiento, tanto a nivel individual, como en alianza, de modo que la organización se transforme para consumir, generar, divulgar y asimilar conocimientos propios y externos de manera efectiva, lo cual mejorará su competitividad, desarrollo e innovación.

Comprometidos con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) contribuimos a la armonía de la vida para un mundo mejor.

Comité Editorial Revista EPM

Contenido

Cooperación en el Grupo EPM, cuestión de sostenibilidad
Cooperation at EPM's Group, matter of sustainability
PAG 7

Caso de estudio: buenas prácticas en diagnóstico de equipos hidromecánicos - Grupo EPM
Case study: best practices in diagnosis of hydro mechanical equipment in small hydro - EPM Group
PAG 17

Modelo de correlación de metales entre el agua residual y el biosólido generado en la PTAR San Fernando de EPM de acuerdo con lo requerido en el Decreto 1287 de 2014
Metal conversion model between wastewater and biosolids generated at EPM's San Fernando WWTP in accordance with the requirements of Dec. 1287 of 2014
PAG 33

Modelo para calcular sistemas de puesta a tierra utilizando varillas
Model for calculating grounding systems using rods
PAG 53

Gentrificación y derecho a la ciudad
Gentrification and right to the city
PAG 73

La comunicación y la vigilancia estratégica como parte fundamental de la gestión del conocimiento, dentro de las organizaciones empresariales
Communication and strategic surveillance as a fundament part of knowledge management, within business organizations
PAG 83

Cooperación en el Grupo EPM, cuestión de sostenibilidad

Cooperation at EPM's Group, matter of sustainability

Ángela Cristina Buriticá Mejía
Dirección de Cooperación para el Desarrollo de Negocios, EPM
angela.buritica@epm.com.co

Juan David Martínez Ruiz
Dirección de Cooperación para el Desarrollo de Negocios, EPM
juan.martinez@epm.com.co

Víctor Hernán Giraldo Calderón
Dirección de Cooperación para el Desarrollo de Negocios, EPM
victor.giraldo.calderon@epm.com.co

Resumen

La palabra cooperación se utiliza en diferentes contextos, frecuentemente se ve como uno de esos asuntos de moda que las organizaciones se ven forzadas a asimilar para estar a la vanguardia frente a sus grupos de interés; sin embargo, la historia ha demostrado que este concepto nunca ha sido ajeno a la sociedad, ni a las empresas, debido a que entrega herramientas para trabajar con otros y para asumir retos colectivos que desde lo individual serían imposibles. En el Grupo EPM vemos la cooperación como un músculo organizacional en desarrollo, un término que nos remite a nosotros mismos como individuos, y nos recuerda nuestra naturaleza comunitaria y colaborativa; que, desde la arquitectura para un mundo mejor, se inspira en el propósito empresarial para contribuir con la sostenibilidad de la organización en consonancia con el desarrollo de los territorios donde tiene presencia.

Palabras clave:
Cooperación, Cooperación para el desarrollo, Sostenibilidad, ODS, Capacidad organizacional, Red de cooperación.

Keywords:
Cooperation, Development cooperation, Sustainability, SDG, Organizational capacity, Cooperation network.

Cooperación para el desarrollo humano sostenible

Quizá en los últimos años hemos escuchado sobre el Distrito Térmico de EPM, un complejo físico que hoy es un referente nacional y produce centralizadamente energía térmica (calor y frío), la cual es entregada a diferentes tipos de clientes para climatizar espacios y procesos industriales; o tal vez hemos escuchado algo en relación con las acciones que hicieron parte de un programa riguroso que implementó EPM hace una década para mejorar integralmente sus embalses. También hemos sabido de los esfuerzos de la filial DELSUR, donde han promovido decididamente la equidad de género en sus procesos y operaciones. Estos tres (3) ejemplos son apenas una muestra de las iniciativas que se vienen promoviendo en EPM y sus filiales, las cuales ponen de manifiesto la visión empresarial y dan cuenta de la responsabilidad del Grupo con el ambiente, los territorios, y los grupos de interés; pero adicionalmente, tienen algo más en común: han sido llevadas a cabo con el respaldo de recursos provenientes de cooperación internacional, entendida como el apoyo de unos países a otros en su desarrollo económico, social y ambiental.

Proyecto Hidroeléctrico Pórce II. Programa de mejoramiento integral de los embalses de EPM.

Cooperación, es un tema del que no se habla mucho y que a simple vista podría parecer del interés solo de los gobiernos, las grandes fundaciones o los representantes de las poblaciones más vulnerables; sin embargo, su significado es más cotidiano de lo que podríamos imaginar. La Cooperación es obrar juntamente con otro u otros para la consecución de un fin común (Real Academia Española, s.f.) y esto es, en términos cotidianos, lo que hacemos con nuestros amigos, familiares e incluso desconocidos cuando ponemos nuestro granito de arena en el desarrollo de una acción, o en el cumplimiento de un sueño, que se convierte en un gana-gana para nosotros y para ellos.

Aunque solo hasta el 2020 se creó una dependencia en EPM llamada Dirección de Cooperación para el Desarrollo de Negocios, la cual está adscrita a la Vicepresidencia Estrategia y Planeación y fue concebida para orquestar la cooperación en el Grupo, buscando promover el intercambio de recursos que contribuyan al desarrollo de proyectos o iniciativas de la organización, los cuales se ejecutan con el fin de aportar a la materialización de los retos del Grupo y de la misión de nuestros cooperantes; las prácticas de cooperación nacional e internacional están presentes en la historia de EPM y de sus filiales desde hace mucho tiempo atrás.

Hoy más que nunca la humanidad enfrenta desafíos sociales, ambientales, y económicos que nos invitan a abordajes colaborativos mediante la unión de destrezas, conocimientos, recursos y tiempo. En el mundo de las organizaciones, es igual, ninguna puede sobrevivir sin apoyarse en el trabajo con otros, sin desarrollar iniciativas con sus proveedores, reguladores, usuarios, clientes y colegas. En resumen, podríamos decir que quien no coopera con otros, inclusive con la naturaleza, está condenado a desaparecer.

Lo anterior, nos permite entender la cooperación en su sentido más humano y profundo como un conjunto de acciones que nos hacen viables como individuos, organizaciones y planeta; pero, además, es importante conocer que este término ha cobrado un sentido especial para la humanidad y por ende para las naciones, enmarcándose en un propósito superior que busca el desarrollo humano sostenible, que genera crecimiento, un crecimiento con empleos, con protección del medio ambiente, un crecimiento que potencia a las personas, un crecimiento con equidad.

Objetivos de Desarrollo Sostenible guían la cooperación global

A lo largo de nuestra historia han sido innumerables los conflictos entre pueblos, razón por la cual los hemos naturalizado; basta con ojear los titulares de la prensa en las últimas décadas para darnos cuenta de que todos hemos convivido con las atrocidades de la guerra, narradas por los vencedores como hazañas y por los derrotados como crímenes y tristeza. Muestras no muy lejanas de ello son la Primera y Segunda Guerra Mundial y sus consecuencias padecidas por la humanidad entera. La historia también ha mostrado que después de cada gran guerra, pese a nuestra naturaleza, impera la reflexión y el deseo de evolucionar hacia una forma diferente de relacionarnos, por esta razón, tras la Segunda Guerra Mundial, con la firma de la Carta de las Naciones Unidas de 1945 y después de la consolidación del discurso Estado de la Unión en 1948, nace oficialmente la cooperación internacional, con la intención de apoyar el desarrollo económico y social de países en desarrollo, mediante la transferencia de tecnologías, conocimientos, habilidades o experiencias por parte de países u organizaciones multilaterales (Ponce et al., 2018), trayendo como resultado el desarrollo de proyectos a nivel país y empresarial, que propendan por la sostenibilidad al contribuir al logro de objetivos globales.

Distrito Térmico EPM

Ya está claro que la cooperación ha trascendido lo comunitario y empresarial para convertirse en un asunto del orden internacional, pero ¿qué guía la Cooperación?, ¿en qué se enfoca? La hoja de ruta con la que todas las naciones y actores del sector privado se han comprometido a cooperar es la Agenda 2030, que se tradujo en los Objetivos de Desarrollo Sostenible-ODS, a través de los cuales se busca poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas disfruten de paz y prosperidad para el año 2030 (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2022). Esta agenda fue adoptada por la Asamblea general de Naciones Unidas en 2015 por 193 países, y establece globalmente 17 Objetivos, 169 metas y 240 indicadores, organizados en cinco (5) ejes temáticos que son: Personas, Planeta, Prosperidad, Paz y Alianzas. Parte de dos ideas primordiales: la primera es que las personas deben ser el centro de los debates del desarrollo, y la segunda, que tanto los recursos naturales se están agotando, al tiempo que el cambio climático se recrudece, mientras que la población mundial y sus necesidades siguen creciendo. En suma, los ODS buscan fortalecer la capacidad de satisfacer las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades (Organización de las Naciones Unidas, 2017).

Relevancia de la cooperación para el desarrollo en el Grupo EPM

Creería que en este punto no hay que presentar muchos argumentos para responder a la pregunta de ¿por qué es relevante la cooperación para el Grupo EPM? sin embargo, es justo decir que somos conscientes que honrar nuestro propósito empresarial *contribuir a la armonía de la vida para un mundo mejor es un gran reto que sólo es posible lograr cuando cooperamos.*

Frecuentemente las organizaciones empresariales son cuestionadas por incorporar prácticas de cooperación y buscar obtener recursos para sus propósitos, entrando, según la crítica, en competencia con los más necesitados; no obstante, de acuerdo con la comunidad internacional esto no es solo un derecho de estos actores, sino un deber. El Grupo EPM no ha sido ajeno a esta realidad, debido a que, en términos generales, el medio interpreta la cooperación internacional como el acto de *pedir recursos*, y aunque, innegablemente parte de la cooperación tiene que ver con esto, es necesario recordar que nuestros negocios cobran sentido a través del mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades y del desarrollo de los territorios donde tenemos presencia, responsabilidad que requiere del concierto y colaboración de muchos actores, más allá de EPM y las demás filiales del Grupo.

Programa Equidad de Género, DELSUR, El Salvador.

Basados en lo anterior, es preciso mencionar que en el Grupo EPM se define la cooperación desde un enfoque de doble vía en el cual se busca construir relaciones de mediano y largo plazo con cooperantes de diferente índole, para el logro de objetivos comunes. En otras palabras, actuamos desde un principio de corresponsabilidad, según el cual somos conscientes que necesitamos de los demás, pero también sabemos que tenemos mucho que ofrecer y estamos dispuestos a hacerlo.

De acuerdo con esta declaración, la cooperación para el desarrollo de negocios en el Grupo tiene varios objetivos que vale la pena resaltar:

- Apalancar el crecimiento armónico y sostenible del Grupo en consonancia con el desarrollo de los territorios donde tiene presencia.
- Contribuir con el posicionamiento del Grupo en los países donde tenemos presencia como una organización consecuente con su propósito empresarial.
- Acceder a nuevas tecnologías y mejores prácticas que hagan más eficientes los procesos y respalden el desarrollo de nuevos modelos de negocio.
- Intercambiar conocimientos y habilidades para el desarrollo del talento humano del Grupo EPM y de la sociedad.

Un músculo organizacional en formación

Teniendo claro que este es un asunto no menor en el Grupo, hablemos ahora de la manera como lo estamos viviendo. Por analogía, en nuestra organización la Cooperación para el desarrollo podría ser descrita como un músculo en formación que posibilita un intercambio permanente con diferentes actores. En la jerga corporativa este músculo es lo que podría llamarse una capacidad organizacional, una combinación de recursos, actividades y herramientas que le permiten a la empresa desarrollar una habilidad para generar valor de una manera sistemática y consistente (Grant, 1996). Desarrollar este músculo requiere, además del compromiso de los directivos y colaboradores del Grupo, de una intervención desde la arquitectura empresarial, que cree las condiciones necesarias para que la cooperación como dinámica se fortalezca en cada una de las dimensiones organizacionales (estrategia, procesos, personas, tecnología, e información).

Lo mencionado en el párrafo anterior puede sonar complejo y académico, pero es fácil de entender con una breve descripción de la manera como se está fortaleciendo este músculo en el Grupo. Desde la creación de la Dirección de Cooperación para el Desarrollo de Negocios, la organización ha venido creando su propio entendimiento de este concepto, como se evidencia en los párrafos precedentes; definió cómo concebirlo al servicio de la estrategia, diseñó e implementó su despliegue y propuso un mecanismo de gobierno para regular sus decisiones e interacciones.

La cooperación, como se ha mencionado, se inspira en el propósito empresarial; así mismo, se alinea con el Modelo de sostenibilidad del Grupo, el cual establece la importancia de conciliar el logro de objetivos empresariales con objetivos de desarrollo humano sostenible desde las actividades nucleares de la organización y distante de enfoques filantrópicos. Ahora, la pregunta obvia podría ser ¿cómo lograr que la cooperación esté alineada y al servicio de la estrategia? En el Grupo estamos garantizando esta alineación a través de algo que hemos llamado *Líneas Temáticas de Cooperación*, que no es nada distinto a una declaración de aquellos temas relevantes en los que se concentra el quehacer de la cooperación y donde se espera que aporte todo su valor. Basado en estas líneas temáticas, que se actualizan año a año con los Planes Empresariales, se construye un portafolio de necesidades de cooperación, el cual es el punto de partida para determinar el tipo de relaciones que posteriormente desarrollaremos con los cooperantes y las convocatorias a las que nos interesa aplicar; siendo el portafolio de cooperación el mecanismo del Grupo que delimita el territorio o situaciones concretas para las que buscamos la colaboración con cooperantes.

Resumiendo lo anterior, desde las categorías llamadas Líneas de Cooperación nos articulamos con la estrategia, y éstas se particularizan en necesidades (de nuestros negocios y de los territorios donde tenemos presencia), las cuales integran un gran portafolio que recoge los requerimientos de las filiales del Grupo, pero ¿Cómo se desarrolla en el día a día? El reto de fortalecer la cooperación en el Grupo y lograr su orquestación ha sido una actividad permanente durante un poco más de 1 año en operación, que ha significado traer expertos externos como lo ha sido la Agencia de Cooperación e Inversión de Medellín (ACI) – entidad líder en el proceso de internacionalización de la ciudad-Región-, identificar el conocimiento de expertos en cooperación que trabajan en el Grupo EPM, trabajar de manera articulada con otras dependencias de la organización, contactar posibles cooperantes, embajadas y aliados clave, y ganar curva de aprendizaje a través de la ejecución de las actividades propias de la gestión de la cooperación. Como parte de este recorrido y en respuesta a la necesidad de implementar una estrategia de coordinación y articulación con las empresas del Grupo, en diciembre 2021 se crea la Red de Cooperación Grupo EPM, un equipo de trabajo en el que participan representantes de las filiales operativas de la organización, con el propósito de favorecer la alineación del Grupo EPM en materia de cooperación para el aprovechamiento de oportunidades y captura de sinergias. Actualmente, la Red cuenta con 18 nodos, actores que se reúnen mensualmente a compartir mejores prácticas, socializar oportunidades vigentes y avanzar en la construcción y gestión del portafolio de cooperación. A través de la Red descubrimos que algunas de las empresas del Grupo tienen un gran camino recorrido en cooperación y se han convertido en nuestras maestras, como ejemplo podría hablarse de DELSUR en el Salvador, ENSA en Panamá o CHEC en Colombia. Estas empresas no solo han logrado subvenciones o apoyo en conocimiento técnico para sus territorios y proyectos, sino que han desarrollado relaciones prósperas con entidades como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID), y la Sociedad Alemana de Cooperación Internacional (GIZ).

Finalmente, es importante mencionar que existen diversas modalidades de cooperación o alternativas para acceder a estos recursos, es posible hacerlo según su origen, el tipo de recurso entregado, el nivel de desarrollo de los participantes, la vía de canalización y las condiciones o requisitos. En el Grupo decidimos basar nuestro portafolio en el tipo de recurso entregado, en el cual, adicionalmente, nos enfocamos en dos categorías que son: cooperación técnica y cooperación financiera no reembolsable. En relación con la primera, promovemos el intercambio de conocimiento, el cual puede venir expresado en misiones técnicas, cursos cortos, visitas de expertos, consultorías y estudios de pre y factibilidad. Respecto a la segunda, buscamos subvenciones o donaciones dirigidas a desarrollar o apropiar conocimiento, o mejorar las condiciones de vida de las personas en los territorios donde nos encontramos.

En definitiva, este periplo por la Cooperación en el Grupo EPM, más allá de lo organizacional, nos remite a nosotros mismos como individuos, y nos recuerda que como seres sociales poseemos una naturaleza comunitaria y colaborativa; consecuente con ello, nos muestra un Grupo empresarial comprometido con la arquitectura para un mundo mejor, una organización que trabaja en red y que se reconoce viable a través del otro, en donde el rol de cada filial, pero sobre todo, de cada colaborador, es fundamental para continuar siendo sostenibles como organización y contribuyendo con la sostenibilidad de los territorios donde nos encontramos.

Referencias

- ACI Medellín. (2022). *ACI Medellín*. https://rb.gy/ch70c5
- Grant, R. (1996). *Dirección estratégica. Conceptos, técnicas y aplicaciones.* Civitas.
- Organización de Naciones Unidas. (2017). *Naciones Unidas.* https://rb.gy/e8hoe5
- Ponce, E., Lucatello, S., Huacuja, L., y Velázquez, R. (2018). *Teoría y Práctica de la Cooperación para el Desarrollo.* https://rb.gy/7tvohm
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2022). *Nuestra misión, nuestros objetivos, nuestro mandato.* https://rb.gy/puabe6
- Real Academia Española. (s.f.). Cooperación. *En Diccionario de la lengua española.* Recuperado el 12 de abril de 2022, de https://rb.gy/ibk1zi

Cómo citar este artículo:

Buriticá, A. Martínez, J. y Giraldo, V. (2022). Cooperación en el Grupo EPM, cuestión de sostenibilidad. *Revista EPM,* (19), 7-15.

epm

Caso de estudio: buenas prácticas en diagnóstico de equipos hidromecánicos - Grupo EPM

Case study: best practices in diagnosis of hydro mechanical equipment - EPM Group

José David Vera Rodríguez
Gerencia Centros de Excelencia Técnica, EPM
jose.vera@epm.com.co

César Alfonso Paredes Gutiérrez
Gerencia Centros de Excelencia Técnica, EPM
cesar.paredes@epm.com.co

Resumen

El objetivo de este artículo es presentar como caso de estudio el diagnóstico de equipos hidromecánicos en dos centrales de generación del Grupo EPM. El diagnóstico realizado se basó en la inspección visual calificada, ensayos no destructivos, medición y análisis de vibraciones, juicio de expertos y discusiones técnicas al interior de la organización. Los hallazgos detectados obedecen principalmente a aspectos atribuibles a la falta de mantenimiento y a errores o deficiencias en los diseños originales de cada central. Este diagnóstico permitió la toma de decisiones en cuanto a la criticidad y prioridad en la intervención de los equipos con base en su condición estructural y confiabilidad operativa.

Palabras clave:
Equipos hidromecánicos, Confiabilidad operativa, Inspección calificada, Pruebas diagnósticas, Vibraciones.

Keywords:
Hydromechanical equipment, Operational reliability, Qualified inspection, Diagnostic tests, Vibrations.

Introducción

Uno de los aspectos de mayor relevancia en cuanto a la seguridad operacional en proyectos hidroeléctricos, tanto en grandes como en pequeñas centrales, es la condición operativa de los equipos hidromecánicos a través de los cuales se controla el flujo del caudal desde su captación hasta su descarga en turbina. Estos equipos tienen una gran incidencia en la continuidad o disponibilidad de la generación en cualquier central hidráulica. A pesar de esta relevancia, resulta bastante común encontrar deficiencias significativas en estos equipos, debido principalmente a una baja frecuencia de operación y a prácticas inadecuadas de limpieza y mantenimiento durante su vida útil.

Debido a lo anterior, el Grupo EPM ha venido desarrollando e implementando metodologías de diagnóstico basadas en inspección calificada, pruebas diagnósticas y análisis de ingeniería, a fin de mejorar la capacidad de decisión en relación con las intervenciones requeridas en centrales hidráulicas nuevas o existentes, ya sean de pequeño o gran tamaño, buscando además, ejecutar mejoras sustanciales a estos equipos de manera que se puedan minimizar o mitigar los riesgos asociados a una condición operativa inestable como consecuencia de su mal estado por falta de mantenimiento.

1. Antecedentes

Los equipos hidromecánicos son aquellos equipos que controlan el flujo de la central de generación desde la captación hasta la descarga de turbina[1] y tal como lo evidencian los siguientes ejemplos, tienen gran incidencia e importancia en la seguridad operacional de las centrales de generación hidráulica. El colapso de los equipos hidromecánicos en cualquier central hidráulica genera grandes afectaciones y pérdidas (ambientales, sociales, económicas, reputacionales, entre otros).

A continuación, se presentan algunos casos de referencia de fallas en compuertas radiales:

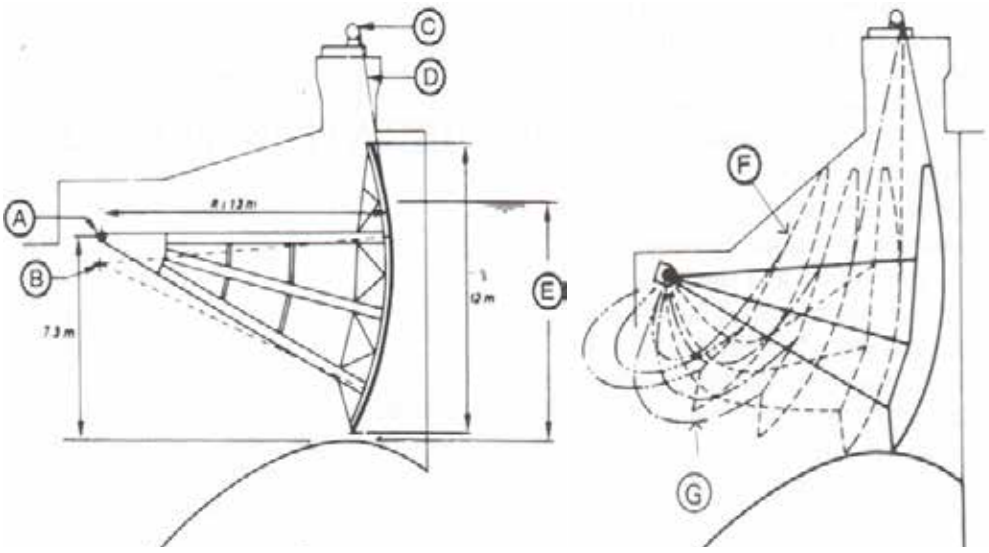


Figura 1. Colapso de compuerta radial en la presa de Washii, Japón, 1967. Recuperado de: (ICOLD,1996).

La figura 1 muestra la compuerta radial del vertedero de la presa de Washii con dimensiones de 9 m ancho x 12 m altura, fue diseñada con muñón excéntrico (punto de giro de la compuerta). Por debilidades en los refuerzos de los brazos se presenta el colapso de la compuerta durante una de sus operaciones (ICOLD, 1996).

Figura 2. Colapso de compuerta radial en la presa de Folsom, USA, 1995. Recuperado de: (United States. Bureau of Reclamation. Mid-Pacific Regional Office., 1996).

La figura 2 muestra la compuerta radial de la presa de Folsom de 12,8 m de ancho x 15,3 m de altura, la cual presentó una falla en los refuerzos de uno de sus brazos, generando un desbalance y posterior desequilibrio estructural que llevó al colapso de la compuerta. De acuerdo con el reporte forense elaborado por United States. Bureau of Reclamation. Mid-Pacific Regional Office (1995), la causa raíz de este colapso se debió a deficiencias del diseño (baja rigidez de los refuerzos estructurales) y al incremento de la fricción en el muñón por diseño inapropiado y baja frecuencia de mantenimiento (oxidación por falta de lubricación). Esta falla desencadenó una descarga súbita de 1.132 m^3/s hacia el afluente generando una contingencia aguas abajo de la presa.

Figura 3. Colapso de compuerta radial en la presa de Salto Osorio, Brasil, 2011. Recuperado de: (Wippel, 2012).

La figura 3 muestra la compuerta radial de la presa de Salto Osorio con 15,3 m de ancho x 20,8 m de altura la cual presentó problemas durante su operación, ya que su final de carrera no actuó durante apertura y la compuerta continuó su recorrido, lo cual, sumado al empuje hidráulico del embalse, generó la destrucción de la compuerta viajando 300 m aguas abajo de la presa[2].

2. Metodología de diagnóstico

La metodología empleada se desarrolló a través de tres componentes principales:

- Inspección: busca determinar el estado estructural de cada equipo empleando la inspección visual calificada y el uso de ensayos no destructivos.
- Pruebas diagnósticas: permiten conocer la condición operativa de los equipos mediante la realización de ensayos dinámicos y funcionales.
- Ingeniería: permite analizar los resultados del diagnóstico obtenido mediante la inspección y las pruebas bajo el criterio y juicio de expertos tanto externos como internos de la organización.

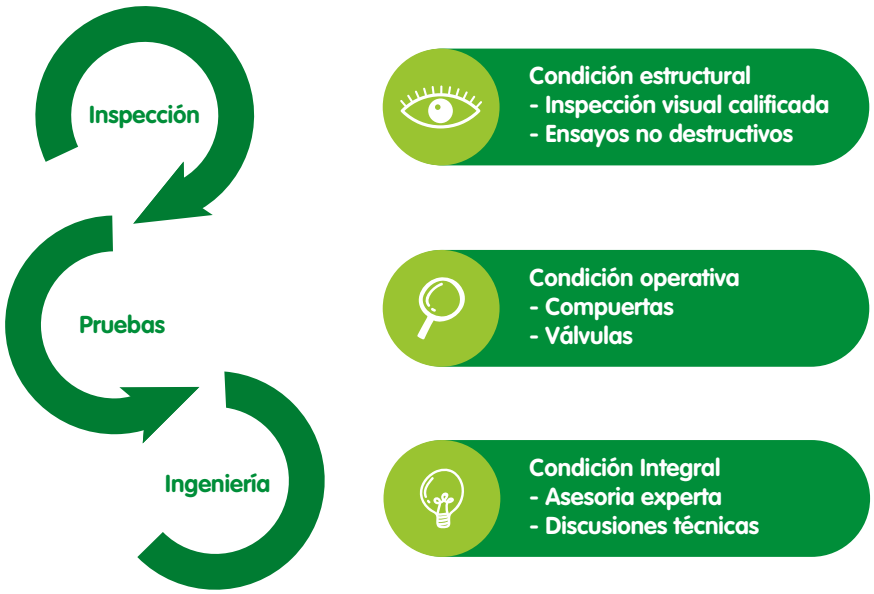


Figura 4. Componentes del diagnóstico de equipos hidromecánicos en EPM.

El proceso inició con una visita de campo que permitió la visualización general de los equipos y la planificación de las actividades a ejecutar en el diagnóstico. En esta etapa se obtuvo la información original existente para cada activo, se elaboró el plan de inspección con su respectivo cronograma y se trazó la ruta a seguir por parte de los inspectores.

Posteriormente se ejecutó la inspección visual como primera medida, lo que permitió definir la cantidad y el tipo de ensayos específicos que se requerían para cada equipo. Luego se procedió con las pruebas diagnósticas en los equipos que así lo requerían, principalmente compuertas y válvulas de servicio. Finalmente, a través del análisis de resultados se desarrolló un concepto integral de confiabilidad y condición operativa para cada equipo, a partir de lo cual se determinaron las necesidades de intervención o reposición para cada caso.

A continuación, se presenta información detallada de cada uno de los componentes del diagnóstico:

Figura 5. Etapas y criterios de análisis de la integridad.

2.1 Inspección calificada

La inspección calificada se realiza mediante la contratación de firmas especializadas en el tema, para lo cual se exigen certificaciones en estándares tales como inspección visual, corrosión y sistemas de recubrimiento superficial, inspección de soldaduras (estructuras, tanques y tuberías), además de la experiencia mínima del personal involucrado en las inspecciones (para el caso específico: Nivel II con experiencia mayor a 5 años y Nivel III con experiencia mayor a 20 años).

Los métodos utilizados durante estas inspecciones corresponden principalmente a los siguientes ítems:

- Inspección visual.
- Adherencia y medición de espesor de película seca en recubrimientos.
- Líquidos penetrantes.
- Partículas magnéticas.
- Radiografía.
- Ultrasonido (Scan A, C y CB).
- Metalografía y dureza.

2.2 Pruebas diagnósticas

Las pruebas diagnósticas también se realizan mediante la contratación de firmas calificadas con experiencia principalmente en el ámbito de las vibraciones y el análisis modal. Para estas contrataciones se establecieron requerimientos estrictos de participación, buscando garantizar la confiabilidad de los datos y resultados obtenidos en cada prueba, para lo cual se exigieron certificaciones según el *Vibration Institute* y una experiencia mínima en el personal técnico (igual que para el caso anterior, 5 años para Nivel II y 10 para Nivel III).

Para las pruebas tanto de las compuertas como de las válvulas se utilizaron sensores triaxiales con el fin de medir las vibraciones en los equipos, anemómetros para determinar la aireación, además de medir la variación de presión y la corriente eléctrica o de la presión hidráulica de los servomotores según el caso particular.

2.3 Análisis de ingeniería

Mediante el análisis de ingeniería se verifica el cumplimiento de criterios vigentes de diseño, fabricación y operación en cada uno de los equipos respecto de los criterios del diseño original, en condiciones operativas normales y excepcionales. Un aspecto fundamental en este análisis de ingeniería es la verificación estructural teniendo en cuenta los espesores medidos y su condición o afectación debido al tiempo de servicio y su estado de mantenimiento.

Luego de esto se determina el nivel de criticidad de todos los equipos teniendo en consideración la cantidad y significancia de los hallazgos obtenidos para cada equipo, su función principal (ej. compuerta de mantenimiento o de servicio), los factores de seguridad aplicables y el grado de intervención que requiere cada equipo para recuperar su condición operativa hasta un nivel seguro.

2.3.1 Juicio de expertos

Con el fin de revisar y complementar las conclusiones y recomendaciones obtenidas del diagnóstico de los equipos, se realizó la contratación de dos expertos en equipos hidromecánicos de más de 50 años de experiencia. Cabe resaltar que la amplia experiencia de estos expertos permite tener mejores valoraciones en cuanto a los riesgos asociados a cada equipo con base en las deficiencias y hallazgos encontrados en cada caso.

2.3.2 Discusiones técnicas

Para las decisiones técnicas se implementaron equipos de trabajo con personal técnico de las unidades de ingeniería, planeación, operación, mantenimiento, entre otras. Las discusiones entre estos equipos de trabajo se basaron en cuatro aspectos primordiales a fin de conceptuar sobre la condición operativa de cada activo. Para cada aspecto se determinó un peso de importancia y una valoración cuantitativa, según se describe a continuación:

- Confiabilidad operativa: considera deficiencias asociadas al diseño, funcionalidad y desempeño adecuado, eventos de falla (tiempo medio entre fallas, tiempo de reparación, consecuencia de las fallas), disponibilidad de repuestos o reposición de partes, posibilidad de reparación, condición aparente y previsiones para el mantenimiento. Peso ponderado: ~40%.

- Condición estructural: considera el estado del recubrimiento, estado estructural en términos de deficiencia debida a oxidación y corrosión, afectación de soldaduras, deformaciones, entre otras deficiencias como las asociadas a aspectos de diseño, fabricación, instalación y operación. Peso ponderado: ~30%.

- Obra civil y partes empotradas: considera la condición aparente de la obra civil en el entorno del equipo, incluyendo partes empotradas como blindajes, anclajes, apoyos, asientos, guías y dinteles. Peso ponderado: ~20%.

- Mantenimiento: considera indicaciones informadas por parte del personal de operación y mantenimiento y los hallazgos presentados en el informe de inspección en relación con afectaciones directamente relacionadas con la falta de mantenimiento y/o con prácticas técnicamente inadecuadas. Peso ponderado: ~10%.

Los anteriores aspectos se evalúan en una escala numérica del 1 al 5, con rangos que se definen de la siguiente manera: menor a 2,5 implica que el elemento se debe reponer completamente; de 2,5 a 3,5 se debe realizar una rehabilitación del equipo y si el resultado está por encima a 3,5 quiere decir que el equipo requiere de una intervención mínima por mantenimiento.

Figura 6. Criterios de decisión – Rehabilitación/Reposición/Mantenimiento.

Para el caso de las pruebas dinámicas en compuertas, las variables a medir corresponden a:

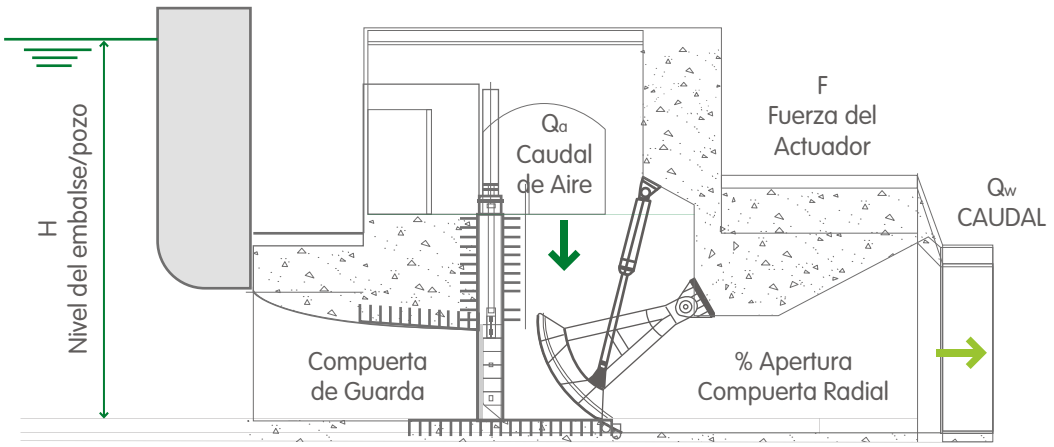


Figura 7. Variables utilizadas en las pruebas dinámicas para compuertas radiales.

- Nivel del embalse (H).
- Caudal de descarga (Qw).
- Caudal de aireación (Qa).
- Fuerza y porcentaje de apertura del actuador (F, %Ap) o potencia en los malacates para compuertas izadas con cables.
- Vibraciones (X,Y,Z) triaxiales en el cuerpo de las compuertas y en los muñones.

La medición de estas variables es típica para los diferentes tipos de compuertas y su relación es directa, ya sea para compuertas planas deslizantes, de emergencia, de mantenimiento o radiales.

Se realizan tres (3) aperturas para cada compuerta en las mismas condiciones para poder verificar y validar la información de tal manera que los datos tengan consistencia.

Para el caso de las pruebas dinámicas en válvulas, las variables a medir corresponden a:

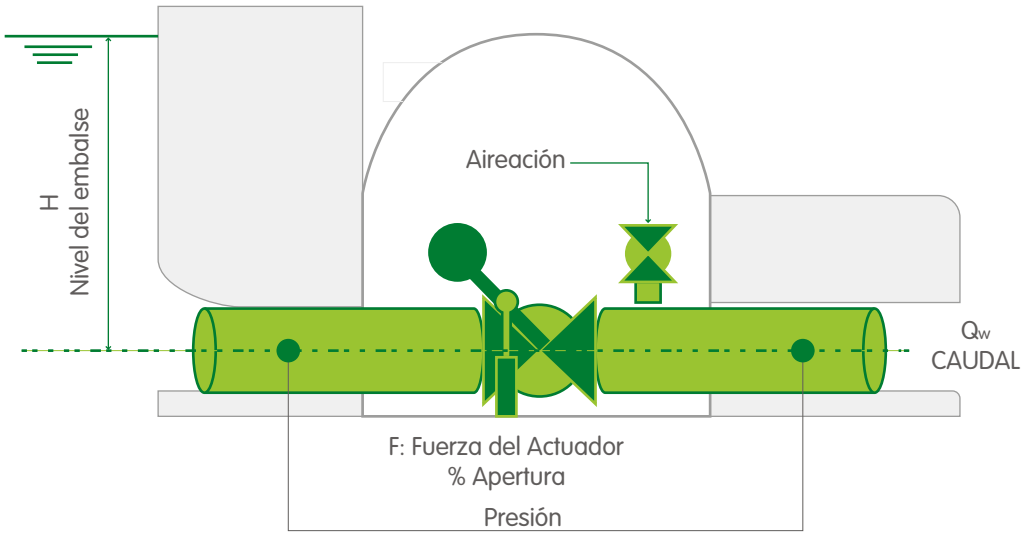


Figura 8. Variables utilizadas en las pruebas dinámicas para válvulas de conducción.

- Nivel del embalse (H).
- Caudal de descarga (Qw).
- Caudal y presión de aireación (Qa, Pa).
- Fuerza y % de apertura del actuador (F, %Ap).
- Vibraciones (X,Y,Z) triaxiales en los muñones y cuerpo de la válvula.

3. Resultados

3.1 Principales hallazgos mediante la inspección

Dentro de los hallazgos típicos de defectología encontrada en los equipos durante las inspecciones se tiene: corrosión general excesiva, deficiencia en la preparación del perfil de anclaje para la aplicación de los recubrimientos, deterioro en el recubrimiento superficial o ausencia total en algunos casos, sellos en mal estado o con defectos de fabricación, errores de diseño, soldaduras en mal estado o con defectos de aplicación y evidencia de falta de mantenimiento general para los equipos y obras civiles.

A continuación, se presenta un registro fotográfico con lo descrito anteriormente donde se evidencian los defectos característicos:

Recubrimiento en mal estado

Chapas corroídas

Sellos defectuosos

Deformación estructural

Conexiones de izaje inadecuadas

Oxidación en superficies rosantes

Fugas en perímetro sellante

Soportes y anclajes defectuosos

Elementos de izaje en mal estado

Cables y poleas corroidos

"Pitting" generalizado

Conectores defectuosos

Tuberías defectuosas

Soldaduras inadecuadas

Guías y asientos defectuosos

Figura 9. Defectología típica en equipos hidromecánicos.

3.2 Principales resultados mediante las pruebas en compuertas

Para los resultados de las pruebas dinámicas, se seleccionaron las compuertas con mayor grado de criticidad e importancia para cada proyecto.

A continuación, se presentan las mediciones de vibración obtenidas en cinco compuertas radiales de vertedero y descarga de fondo entre ambos proyectos:

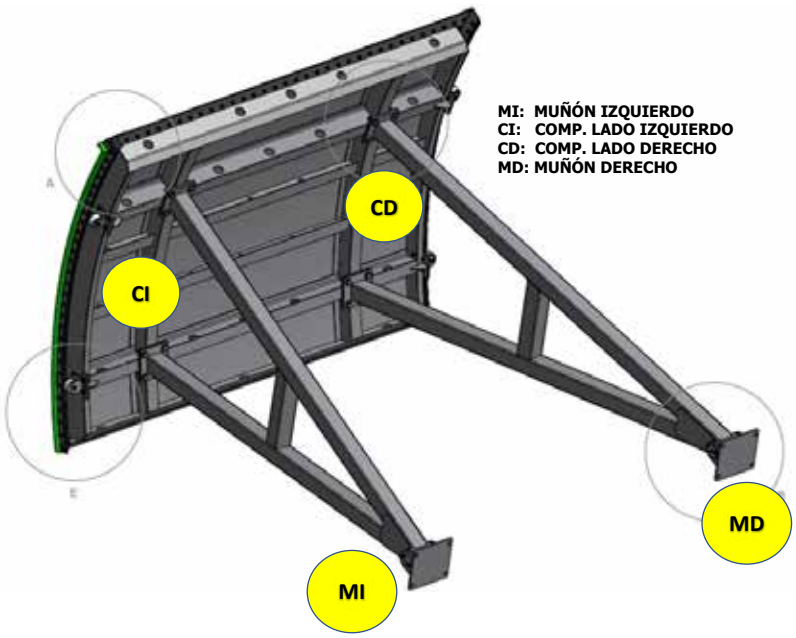


Figura 10. Ubicación de los sensores de vibración en compuertas radiales.

Vibración Máx. [mm/s]							
		MI	CI	CD	MD	%Ap.	cm
1	RADIAL VER _ 1	0,3	0,3	0,5	0,2	6%	20
2	RADIAL VER _ 2	0,2	0,9	0,6	0,2	12%	77
3	RADIAL DF _ 1	1,5	4,6	4,8	0,8	18%	30
4	RADIAL DF _ 2	1,3	1,5	1,5	0,6	8%	20
5	RADIAL DF _ 3	0,7	4,1	2,0	0,0	7%	20

Tabla 1. Vibraciones medidas en compuertas radiales.

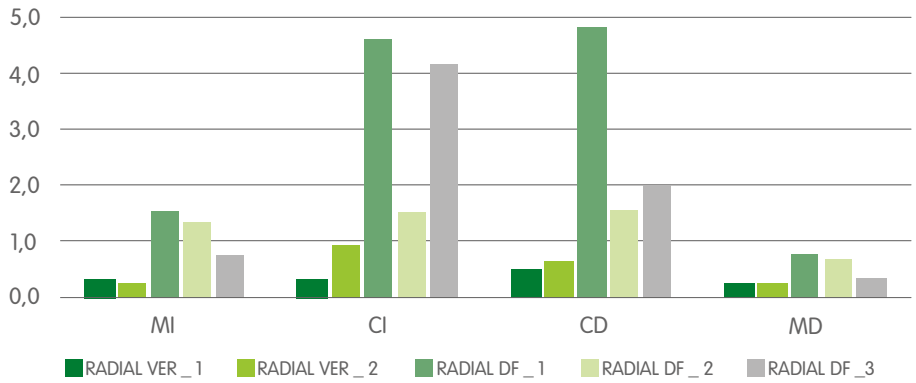


Figura 9. Vibraciones máximas en compuertas radiales de vertedero (VER) y descarga de fondo (DF).

Empuje hidráulico horizontal [E]						
		B	h	H	E	Un
1	RADIAL VER _ 1	8,5	5,0	5,0	106	t
2	RADIAL VER _ 2	9,0	6,5	6,5	190	t
3	RADIAL DF _ 1	1,5	2,1	8,0	22	t
4	RADIAL DF _ 2	3,2	3,0	6,0	43	t
5	RADIAL DF _ 3	9,0	3,0	9,5	216	t

B: ancho de la compuerta (metros).
h: altura de la compuerta (metros).
H: presión de servicio (metros columna de agua).
E: empuje hidráulico (toneladas).

Tabla 2. Dimensiones y empuje hidráulico.

Con el fin de obtener un nivel de referencia o de comparación entre compuertas, se realizó un cálculo relacional entre el empuje hidráulico y las mediciones de vibración obtenidas para una misma apertura en cada compuerta, según se presenta en la tabla 3:

Relación hidraulica/vibracional		
	RE	RV
Rel. C2/C1	2	2,0
Rel. C4/C3	2	0,3
Rel. C5/C3	10	0,9
Rel. C5/C4	5	2,8

Tabla 3. Relación hidráulica y vibracional entre compuertas radiales.

En relación con estos resultados se puede afirmar lo siguiente:

- Los datos obtenidos son consistentes y fueron verificados y validados mediante la realización de varias aperturas en condiciones similares de operación.
- Los datos permiten interpretar cualitativamente la estabilidad operativa de cada compuerta, así como identificar el desbalance hidrodinámico caso a caso (ej: comparar mediciones entre muñones).
- La información recopilada sirve para tener una línea base de mediciones en este tipo de compuertas, muy utilizadas en presas y centrales del Grupo EPM.
- Se resalta de la tabla 2, que la compuerta 3 (radial DF_1) vibra igual que la compuerta 5 (radial DF_3), pese a que su carga hidráulica es 10 veces menor. Esto evidencia una relación directa entre los niveles de vibración y la condición estructural aparente, ya que la compuerta 3 presentó la mayor afectación en su condición estructural y falta de mantenimiento durante la inspección realizada.

3.3 Principales resultados mediante las pruebas en válvulas

A continuación, se presentan las mediciones de vibración obtenidas en una de las válvulas mariposa examinadas:

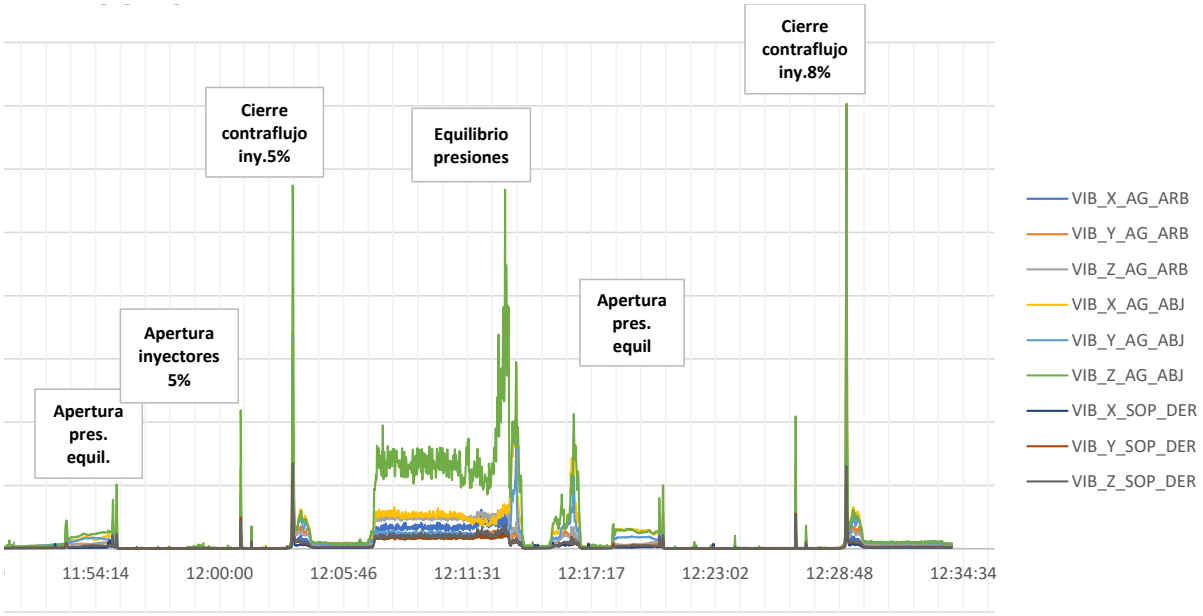


Figura 12. Vibraciones medidas en válvula mariposa de conducción.

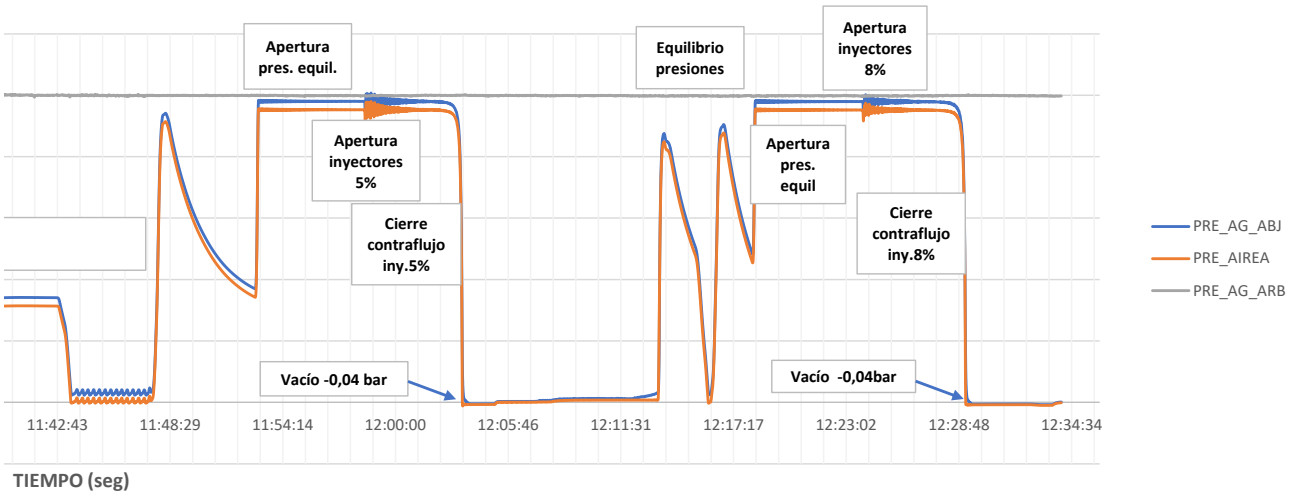


Figura 13. Presión medida en válvula mariposa de conducción.

En relación con estos resultados se puede afirmar lo siguiente:

- El procedimiento implementado para las pruebas dinámicas de las válvulas mariposas resultó satisfactorio. Este procedimiento consistió en realizar la apertura de las válvulas con presiones equilibradas, generar descargas controladas a través de las turbinas (3%, 5% y 8% de la apertura nominal) y realizar el cierre de la válvula, manteniendo la apertura de la turbina, lo cual genera un vacío en la tubería de presión y activa la válvula de aireación (admisión-expulsión) instalada en el manguito aguas abajo de la válvula mariposa.

- Los datos obtenidos son consistentes y fueron verificados y validados mediante la realización de varias aperturas y cierres en condiciones similares.

- Las magnitudes obtenidas en las vibraciones de los muñones de la válvula mariposa fueron proporcionales al porcentaje de apertura de la turbina. A modo de referencia las vibraciones para el 5% de apertura fueron de 12 mm/s y para el 8% fueron de 14 mm/s.

- Durante los cierres al 5% y 8% las subpresiones medidas en la tubería de conducción a través del mano-vacuómetro instalado en las válvulas de admisión-expulsión se obtuvieron valores de -40 cm de columna de agua, lo cual evidenció la correcta funcionalidad de la válvula de aireación.

Conclusiones

- Para cada proyecto se logró determinar la criticidad y prioridad de intervención de cada equipo con base en su condición estructural y operativa, mediante la metodología de inspección calificada, pruebas dinámicas y juicio de expertos.
- Estas pruebas permitieron concluir que la compuerta con menor carga hidráulica y mayor afectación en su condición estructural, reportó las mayores vibraciones lo cual permitió inferir un resultado razonable y consistente de acuerdo con su condición al momento de realizar las pruebas.
- En relación con las pruebas dinámicas de las válvulas mariposa se pudo concluir que, pese a que se obtuvieron medidas de presión negativa, los valores registrados no permiten concluir que las válvulas de aireación tienen la capacidad suficiente para cubrir el riesgo de colapso en la tubería de presión bajo el escenario de ruptura de la conducción.
- Para cada equipo se logró determinar la necesidad de reposición, rehabilitación o intervención mínima.
- El factor preponderante en los hallazgos detectados está relacionado principalmente con deficiencias en el mantenimiento debido a su baja frecuencia y malas prácticas de intervención.
- Muchos de los hallazgos están relacionados también con deficiencias en el diseño, fabricación y montaje.
- La información obtenida de este diagnóstico permitió construir una línea base de información que no está disponible en la literatura especializada y que permite tomar decisiones con base en datos técnicos más allá de las opiniones subjetivas.
- A través de esta labor se ha podido constatar que estos equipos tienen una incidencia muy alta en la seguridad operacional y continuidad en la generación de las centrales (grandes o pequeñas), pero al mismo tiempo son, típicamente, los equipos menos atendidos en cuanto al mantenimiento.

Notas al final

[1] Para ampliar información se relacionan las siguientes referencias:

- Erbisti, P. C. F. (2014). Design of hydraulic gates. Second edition. Taylor and Francis Group, London, UK.
- Lewin, J. (1995). Hydraulic gates and valves in free surface flow and submerged outlets. Thomas Telford Publications. London.

[2] Para ampliar información, se indican algunas referencias adicionales de la literatura especializada que contienen análisis y casos de fallas relacionadas con compuertas:

- Nakajima, M., y Yamamoto, K. (2008). Method for evaluating the structural reliability of radial gates. Hydro Review Worldwide. 16(5), 14-19.
- Palu, M.C., Salles, R.P. & Cunha, J.C. (2012). Processo de cavitação a jusante da comporta segmento no descarregador de fundo do ah cambambe. Engevix Engenharia S.A. Presentación en el Workshop sobre equipos hidromecánicos realizado como antesala al congreso Hydrovisión Brasil

2012 y dirigido por Paulo Erbisti. https://es.scribd.com/document/525025960/1-Rafael-Cambambe-Descarga-Fundo-Cavitatpo
- USACE: U.S. Army Corps of Engineers. (2005). Estimating Risk from Spillway Gate Systems on Dams Using Condition Assessment Data. Construction Engineering Research Laboratory. ERDC/CERL TR-05-40.
- USACE: U.S. Army Corps of Engineers. (2017). Failure of Radial (Tainter) Gates Under Normal Operational Conditions.

[3] Para ampliar información se relacionan algunas metodologías que sirven como referencia para mejorar o complementar el juicio de expertos en este tipo de diagnósticos:

- Bowles, D.S., Hill, P.I., Nathan, R.J. & Herweynen, R. (2002). On the Art of Event Tree Modeling for Portfolio Risk Analyses. ANCOLD Bulletin 121: 99-108, August.
- Lewin, J., Ballard, G., Bowles, D. (2003). Spillway gate reliability in the context of overall dam failure risk. Presented at the 2003 USSD Annual Lecture, Charleston, South Carolina.
- Vera R., J. D. 2013. "Metodología para el control de riesgos en compuertas radiales de descarga de fondo para grandes presas". Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11851.

Agradecimientos

A EPM por autorizar la elaboración de este artículo y a los diferentes equipos de trabajo, que contribuyeron de una u otra manera con este diagnóstico, tanto personal interno como contratistas y consultores.

Referencias

- ICOLD (1996). Vibrations of Hydraulic equipment for Dams: Review and Recommendations. *Bulletin*, (102), 175-180.
- United States. *Bureau of Reclamation. Mid-Pacific Regional Office.* (1996). Forensic Report Spillway Gate 3 Folsom Dam. Bureau of Reclamation, Mid-Pacific Regional Office. https://rebrand.ly/d4852e
- Wippel, G. (2012). *Occurrence at the Gate No.5 of Spillway No.1 of Salto Osório Power Plant Ocorrência com a Comporta nº 5 do Vertedouro nº 1 da UHE Salto Osório.* https://rebrand.ly/56k5h7m

Cómo citar este artículo:

Vera, J. y Paredes, C. (2022). Caso de estudio: Buenas prácticas en diagnóstico de equipos hidromecánicos - Grupo EPM. *Revista EPM,* (19), 16-31.

Modelo de correlación de metales entre el agua residual y el biosólido generado en la PTAR San Fernando de EPM de acuerdo con lo requerido en el Decreto 1287 de 2014

Metal conversion model between wastewater and biosolids generated at EPM's San Fernando WWTP in accordance with the requirements of Dec. 1287 of 2014

Miguel Ángel Santana Estrada
Dirección de Soluciones de Desarrollo Humano Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
masantanae@unal.edu.co

Oladier Hoyos Bastidas
Unidad Tratamiento Gestión Aguas Residuales, EPM
oladier.hoyos@epm.com.co

Juan Esteban Callejas Giraldo
Unidad Operación Integrada Agua y Saneamiento, EPM
juan.callejas.giraldo@epm.com.co

Resumen

Con el propósito de aumentar la capacidad de tratamiento de la PTAR San Fernando y dar cumplimiento a la Resolución 0631, en el año 2019 entró en operación un nuevo tren de tratamiento biológico (Bardenpho), un tercer digestor anaerobio y se mejoró el tren biológico existente. Por otra parte, el parágrafo 3° del Decreto 1287 de 2014 exige a los productores de biosólido, como es el caso de la PTAR San Fernando, construir un modelo de correlación para metales pesados (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mb, Ni, Pb, Se y Zn) que permita relacionar la concentración en el biosólido con la concentración en el agua residual que ingresa a la PTAR. Por lo tanto, este estudio se realizó con el propósito de actualizar el modelo de correlación existente de acuerdo con la operación actual. La metodología empleada consistió en el muestreo, conservación, composición, almacenamiento y análisis de las muestras por el método ICP. Se obtuvo un modelo para cinco de los metales evaluados (Zn, Pb, Ni, Cu y Cr) que permite clasificar de forma adecuada el biosólido producido y, en consecuencia, generar alertas acerca de la calidad del biosólido. Sin embargo, por el sistema de muestreo – análisis de la PTAR San Fernando, no es posible que las alertas sean de carácter temprano.

Palabras clave:
PTAR, Afluente primario, Biosólido, Metal pesado, Muestra compuesta, Modelo de correlación.

Keywords:
WWTP, Primary effluent, Biosolid, Heavy metal, Composite sample, Correlation model.

Introducción

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando, ubicada en el municipio de Itagüí del departamento de Antioquia, procesa agua residual doméstica e industrial. El proceso de depuración engloba la remoción de sólidos gruesos, arenas, materia orgánica, sólidos suspendidos y tiene la capacidad de eliminar compuestos de nitrógeno y fósforo. Esto se lleva a cabo en la línea de aguas, la cual además de operar con un tratamiento preliminar y primario, posee un tratamiento de tipo biológico conocido como lodos activados. Por su parte, la línea de lodos estabiliza anaeróbicamente los sólidos removidos en la línea de aguas, generando biosólido y biogás.

Debido a su contenido en materia orgánica y mineral, la aplicación del biosólido en suelos agrícolas, bosques, pastizales y tierras deterioradas, mejora la textura del suelo, su capacidad de retención de humedad y aporta nutrientes y micronutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, níquel, zinc y cobre. Finalmente, este tipo de aprovechamiento se traduce en mejores condiciones para el crecimiento de la vegetación y la disminución en el uso de pesticidas, además de representar una opción económicamente más viable frente a otras tecnologías de manejo (United States Environmental Protection Agency, 2000).

La contaminación de los recursos hídricos por metales pesados es de origen principalmente antropogénico. Los mayores aportes se dan mediante operaciones textiles, uso de pesticidas y fertilizantes, refinación, galvanoplastia, minería y fabricación de aleaciones, plásticos y baterías (Rao et al., 2010). Del total de empresas que vierten directamente a la PTAR San Fernando, 56 corresponden a las industrias mencionadas anteriormente. Alrededor del 38% son industrias textiles o de manipulación de tintes, siendo esta la actividad industrial más representativa, seguida por el tratamiento y revestimiento de metales y la fabricación de plásticos.

Durante el año 2019, en la PTAR San Fernando entró en operación una ampliación mediante la cual se aumentó la capacidad de tratamiento (1800 L/s) cumpliendo al mismo tiempo con lo requerido en la Resolución 0631 y mejorando la calidad del lodo activado. Dicha ampliación consistió en la instalación de un nuevo tren de tratamiento biológico denominado Bardenpho, un tercer digestor anaerobio en la línea de lodos y el mejoramiento del tren de tratamiento biológico existente mediante la adición de un reactor anaerobio denominado Bio-P. Así mismo, mediante las modificaciones se pueden eliminar biológicamente nutrientes cuya presencia es indeseada en cuerpos de agua superficiales (compuestos nitrogenados y fosfatados).

Las técnicas de estabilización aerobia y anaerobia, empleadas en la PTAR San Fernando, no poseen capacidad para la remoción de metales pesados como arsénico, plomo y zinc, presentes en el agua residual y el biosólido (Barraoui et al., 2021). Adicionalmente, estos elementos son fácilmente adsorbidos por la materia suspendida presente en el agua residual (Agoro et al., 2020) lo cual implica un aumento de su concentración en la línea de lodos y, por lo tanto, en el biosólido generado. A través de los usos mencionados anteriormente y de acuerdo con su concentración en el biosólido, estos elementos pueden acumularse en los suelos, ingresar a la cadena alimenticia y contaminar cuerpos de agua superficial (Hue, 1988). Por esta razón y en conformidad con el Decreto 1287 de 2014, el cual establece los criterios para el uso de los biosólidos generados en una PTAR, es fundamental monitorear la calidad del

biosólido generado en San Fernando previo a su aprovechamiento o disposición y diseñar programas de aplicación en función de la época del año, el tipo de suelo y su estado. Para dar cumplimiento a lo requerido en el artículo 5° del Decreto 1287 de 2014, este trabajo tiene por objetivo actualizar el modelo de regresión existente entre la concentración de metales en el agua afluente y en el biosólido producido en la PTAR San Fernando, ajustándolo así, a las nuevas condiciones de operación y las dinámicas actuales de ingreso del agua residual.

1. Metodología

La metodología mediante la cual se obtuvo el modelo de correlación está compuesta por los protocolos de muestreo, conservación, composición y almacenamiento, tanto del afluente primario (AP) como del biosólido (BS). Los protocolos se plantearon a partir de la adaptación de la Norma Técnica Colombiana NTC – ISO 5667 a la operación de la PTAR San Fernando. Específicamente, las partes que corresponden a directrices para el diseño de programas de muestreo (1), técnicas generales de muestreo (2), directrices para la preservación y manejo de las muestras (3), guía para el muestreo de lodos de aguas residuales y plantas de tratamiento de aguas (13) y guía para la preservación y manejo de muestras lodos y sedimentos (15). De acuerdo con la recomendación del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (NTC-ISO, 1998) para muestras de biosólido con apariencia gelatinosa, su composición, entendida como la homogeneización de las muestras instantáneas en proporciones específicas, se llevó a cabo de forma similar a la preparación manual del mortero de cemento.

Los protocolos planteados son: función del balance de masa global de la PTAR, el cual a su vez depende de los tiempos de retención de ambas líneas de tratamiento. Por su parte, la línea de aguas tiene un tiempo de retención promedio de 0.7 días y la línea de lodos de 22.05 días. Además, los digestores anaerobios operan de forma continua y con agitación constante. Por lo tanto, los sólidos que ingresan a la PTAR en el agua residual pasarán a la línea de lodos en 0.7 días y el lodo espesado que se alimenta en cierto momento a los digestores anaerobios, saldrá de ellos durante los próximos 22 días. Por esta razón, visto de forma global, el proceso es continuo y posee un tiempo de retención de 22.65 días. Esto a su vez, implica que el efecto del afluente que ingresa el día 1 a la PTAR sobre el biosólido generado, se verá reflejado a partir del día 2 y hasta el día 23.

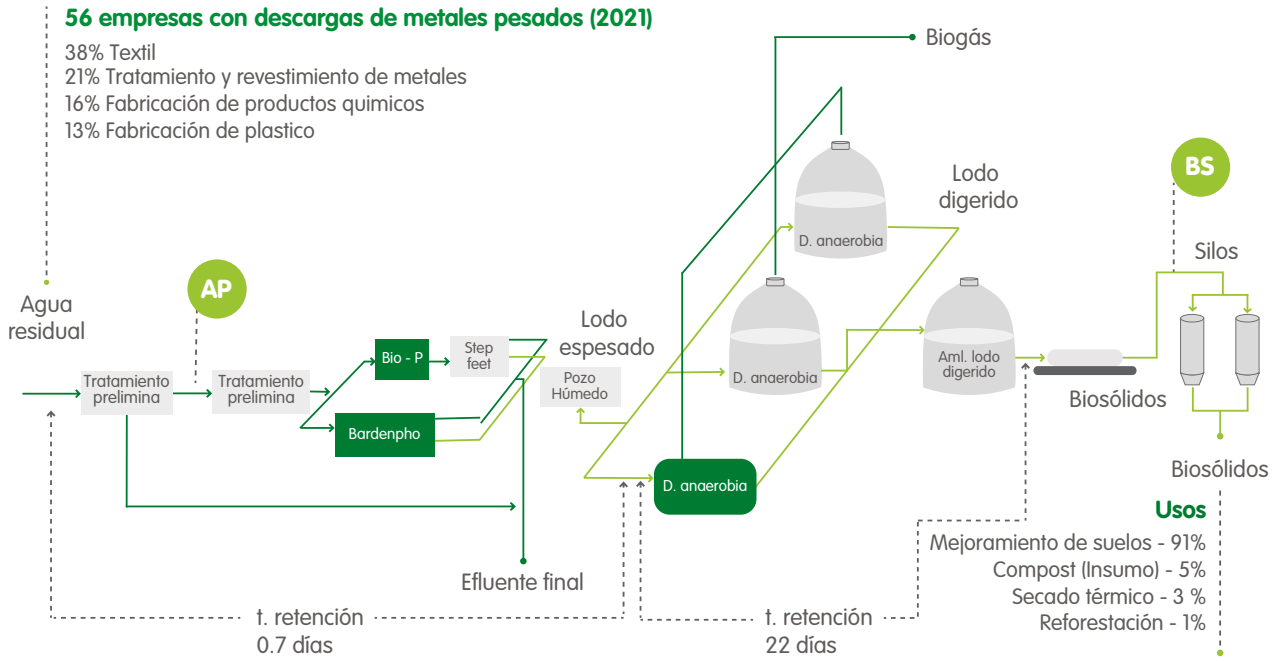


Figura 1. Diagrama del proceso de tratamiento.

1.1 Muestreo

1.1.1 Puntos

Los puntos de muestreo se encuentran definidos por la ubicación del auto-muestreador MAXX SP5 B en la terraza de desarenadores (AP) y la posición de los tornillos sinfín posteriores a las centrífugas deshidratadoras en el edificio de espesamiento y deshidratación de lodos (BS). El afluente primario se muestrea luego de la trampa de gravas y el tratamiento preliminar para evitar que durante la conservación y el almacenamiento se solubilicen metales presentes en rocas, fibras u otros sólidos gruesos que ingresan con el agua residual a la PTAR y que pueden afectar el análisis final.

1.1.2 Tiempos

Una muestra instantánea es la tomada de forma aleatoria en un momento y punto específico de un sistema y provee información de las propiedades únicamente en el momento y punto de recolección. Por su parte, una muestra compuesta se obtiene a partir de la mezcla u homogeneización de muestras instantáneas en proporciones específicas, las cuales son: función del flujo o del tiempo de muestreo. Esta última, se compone con el propósito de medir las propiedades promedio de un sistema respecto al tiempo y/o al espacio. Las muestras por analizar deben ser representativas de la concentración de los metales durante 22 días, debido a las particularidades del sistema y para que exista relación entre la muestra del afluente y la del biosólido, al finalizar la composición. Por lo tanto, el muestreo se realizó de la siguiente forma:

Tipo de muestra	Número de muestras diarias instantáneas	Intervalo de tiempo entre muestreo [min]	Método de muestreo	Días de muestreo	
				Inicio	Final
AP	72	20	Auto muestreador	1	43
BS	6	240	Manual	2	44

Tabla 1. Especificaciones del muestreo instantáneo para el afluente primario y el biosólido.

La NTC – ISO 5667 correspondiente a directrices para el diseño de programas de muestreo, indica que es útil que la duración de la recolección de muestras sea larga y, preferiblemente, igual al periodo que interesa para disminuir el trabajo de análisis debido al conocimiento de las variaciones en la calidad (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [NTC-ISO], 1995). Por lo tanto, esperando que el tiempo de muestreo y evaluación permita analizar el comportamiento de los metales en la entrada y salida de la PTAR en diferentes condiciones, se decidió muestrear durante el doble del tiempo de retención del tratamiento anaerobio, es decir, 44 días.

1.1.3 Recipientes

El análisis de metales (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mb, Ni, Pb, Se y Zn) requiere de muestras tomadas, conservadas y almacenadas en plástico lavado en ácido para eliminar trazas de metales pesados que afectarían los resultados del análisis (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [NTC-ISO], 2004). Por lo tanto, se seleccionaron recipientes de polipropileno y se lavaron con una solución de HNO3 al 2%.

1.2 Preservación y almacenamiento

1.2.1 Afluente primario

Para asegurar que los metales se mantengan en su estado inicial y no precipiten o se den fenómenos de adsorción, se preservaron las muestras de afluente disminuyendo el pH a un valor entre 1.00 y 2.00 mediante la adición de 4 mL de HNO3. El HNO3, se preparó mediante una dilución de HNO3 concentrado 1:1. De esta forma, se pueden conservar las muestras hasta por 6 meses a una temperatura entre 2°C y 4°C.

1.2.2 Biosólido

De acuerdo con lo indicado en la parte 15 de la NTC – ISO 5667, las muestras de biosólido se refrigeraron (2°C – 5°C) y almacenaron en su recipiente, sellado herméticamente durante un periodo máximo de 1 mes. Debido a que el análisis no es de tipo biológico, no se requiere congelar las muestras.

1.3 Composición

1.3.1 Composición diaria

El auto-muestreador MAXX SP5 B toma las muestras instantáneas durante el día y las mezcla en proporciones volumétricas iguales. Por lo tanto, la composición diaria de AP no es función de ningún parámetro como la hora o el caudal en el momento del muestreo. De esta forma se obtuvieron las muestras compuestas diarias durante los 44 días de muestreo. Por otra parte, la composición de la muestra diaria del biosólido, se realizó de forma manual y en proporciones másicas iguales entre las 6 muestras instantáneas diarias. Debido a la consistencia del biosólido, su homogeneización

es más compleja respecto a la de una muestra en estado líquido. Adicionalmente, el biosólido producido en la PTAR San Fernando posee una humedad que no le permite comportarse como gravilla o un mineral sólido. Por el contrario, su apariencia es gelatinosa y se sugiere componerlo empleando un método similar al de preparación del mortero de cemento NTC-ISO (1998) En la figura 2 se describe el paso a paso para obtener una muestra compuesta de biosólido a partir de muestras instantáneas. Para cada muestra compuesta se debe repetir el procedimiento alrededor de 80 veces antes de almacenar el biosólido.

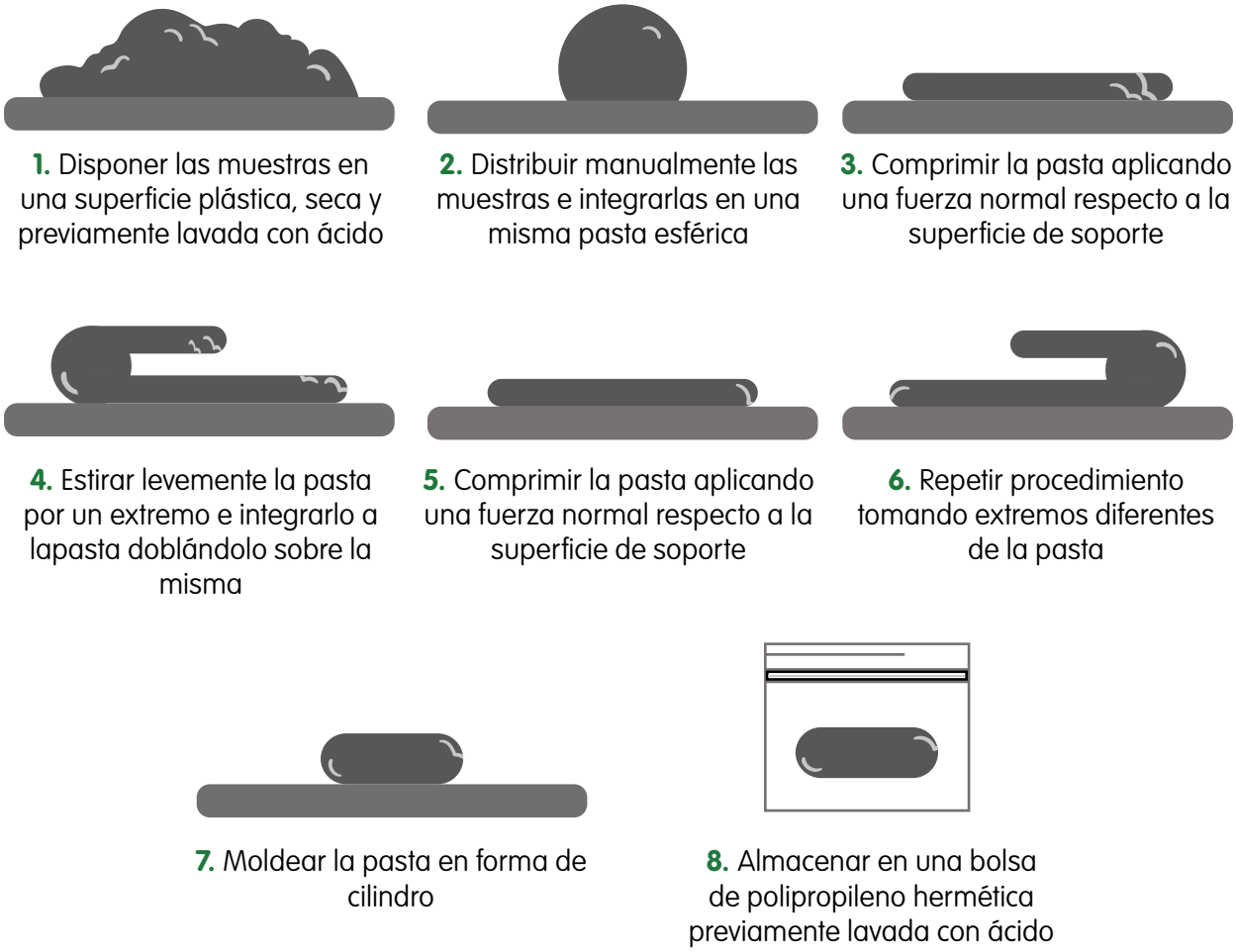


Figura 2. Procedimiento para la composición de muestras de biosólido.

1.3.2 Composición final

Las cantidades de muestra a tomar para componer las muestras finales de afluente y biosólido se definieron de forma proporcional a los flujos procesados. Lo anterior, permite obtener muestras más representativas tanto del afluente que ingresó a la PTAR durante los 22 días correspondientes, como el biosólido producido. Para el caso del afluente, se tomó como parámetro de ponderación el flujo volumétrico de ingreso a la PTAR. De forma similar, la ponderación para el biosólido se realizó en base a su flujo másico de producción en las centrífugas deshidratadoras.

Para componer el afluente primario, inicialmente se adicionan los volúmenes calculados mediante la ecuación 1 en un recipiente de polipropileno previamente lavado con ácido. Finalmente, se cierra herméticamente el recipiente y se agita por inversión.

$$V_i = \left[\frac{Q_{AR,i}}{\sum_i^n \square (Q_{AR,i})}\right] * V_c \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

i: día de muestreo

$Q_{AR,i}$: caudal de ingreso de afluente el día i – $\frac{m^3}{h}$

V_c: volumen a obtener de muestra compuesta final – mL

Las masas de muestra de biosólido para la composición final se obtuvieron mediante la ecuación 2 y el proceso de homogeneización es idéntico al descrito anteriormente para la muestra diaria.

$$m_i = \left[\frac{\dot{m}_j}{\sum_i^n \square (\dot{m}_j)}\right] * m_c \qquad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

i: número de muestra compuesta final

j: día de muestreo

$\dot{m}_j$: flujo másico promedio de biosólido producido el día j – $\frac{kg}{h}$

m_c: masa a obtener de muestra compuesta de 22 días – g

Como se evidencia en la tabla 1, la muestra compuesta final 1 de AP se obtuvo a partir de las muestras compuestas diarias de los días 1 al 22 y se relacionó con la compuesta de biosólido obtenida a partir de las muestras diarias de los días 2 al 23. Esto, debido a los tiempos de retención de la línea de aguas y lodos detallados anteriormente en la sección Muestreo. La composición y relación entre el resto de muestras de AP y BS se realizó de forma similar.

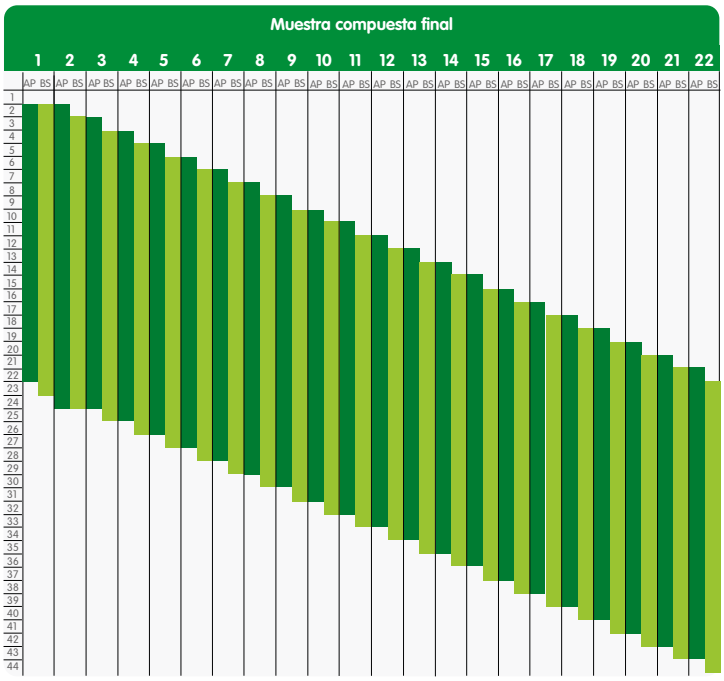


Figura 3. Relación entre las muestras compuestas finales y las muestras compuestas diarias.

1.4 Análisis de metales por espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente

1.4.1 Digestión de las muestras

Previo al análisis por ICP, las muestras se sometieron a digestión ácida (HNO3 con molaridad mayor a 2.0 M) con el propósito de descomponer la materia orgánica en fracciones simples y eliminar las interferencias que esta pueda causar en el análisis. Para el caso del biosólido, la matriz sólida se transforma en una solución acuosa, a la cual luego se le realiza el análisis por ICP. El equipo empleado es un horno de calentamiento por microondas en el cual, previa adición del ácido nítrico, se aumenta la presión y la temperatura por etapas.

1.4.2 Análisis por ICP

El análisis elemental de los 10 metales de interés (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mb, Ni, Pb, Se y Zn) en las muestras compuestas finales se evaluó mediante espectroscopía de emisión atómica – ICP. Este método se basa en la vaporización, disociación, ionización y excitación de los átomos presentes en las muestras a altas temperaturas, las cuales se alcanzan al utilizar la radiación emitida desde el centro del plasma generado mediante un flujo de argón sometido a un campo electromagnético. Luego de su excitación/ionización, los átomos retornan a su estado fundamental emitiendo radiación de una longitud de onda característica de cada elemento. Esta se filtra en un sistema óptico, se mide su intensidad y, finalmente, se relaciona con la concentración de cada elemento (Jiménez et al., 2020). La generación de argón ionizado y eléctricamente neutro (plasma) se da por las altas temperaturas (6800K) inducidas por un campo electromagnético de alta frecuencia (radio). Este proceso ocurre en la antorcha conformada por tres tubos concéntricos de cuarzo por donde fluye el argón. La ionización inicia a partir de una chispa generada en una bobina tesla, luego, los iones y electrones interactúan con una bobina de inducción alimentada por un generador de radiofrecuencia y el movimiento circular de los iones y electrones causa el calentamiento del plasma. Por su parte, la muestra se introduce por el nebulizador a alta velocidad, se divide en pequeñas gotas y se transporta al interior del plasma donde finalmente se da el proceso de vaporización, disociación, ionización y excitación.

De forma general, el procedimiento consiste en encender el software ¡TEVA, purgar el equipo durante una hora con nitrógeno y argón. Luego, verificar el estado y la posición de la antorcha, la conexión entre la manguera de salida y el adaptador del nebulizador, la conexión de las mangueras de los gases y el chiller al ICP, la conexión de la manguera de entrada de la muestra, la manguera del gas nebulizador y la de salida de la muestra, la conexión de las mangueras correspondientes de la bomba peristáltica, el nivel del agua destilada, desionizada y acidulada, la posición de las mangueras de los desechos ácidos y de metales pesados en los recipientes correspondientes. Encender el auto-muestreador, el ICP y la campaña de extracción. Configurar el software ¡TEVA desde el computador, ubicar las muestras y los estándares en el auto-muestreador, realizar la lectura de los resultados en el computador y apagar el equipo ICP.

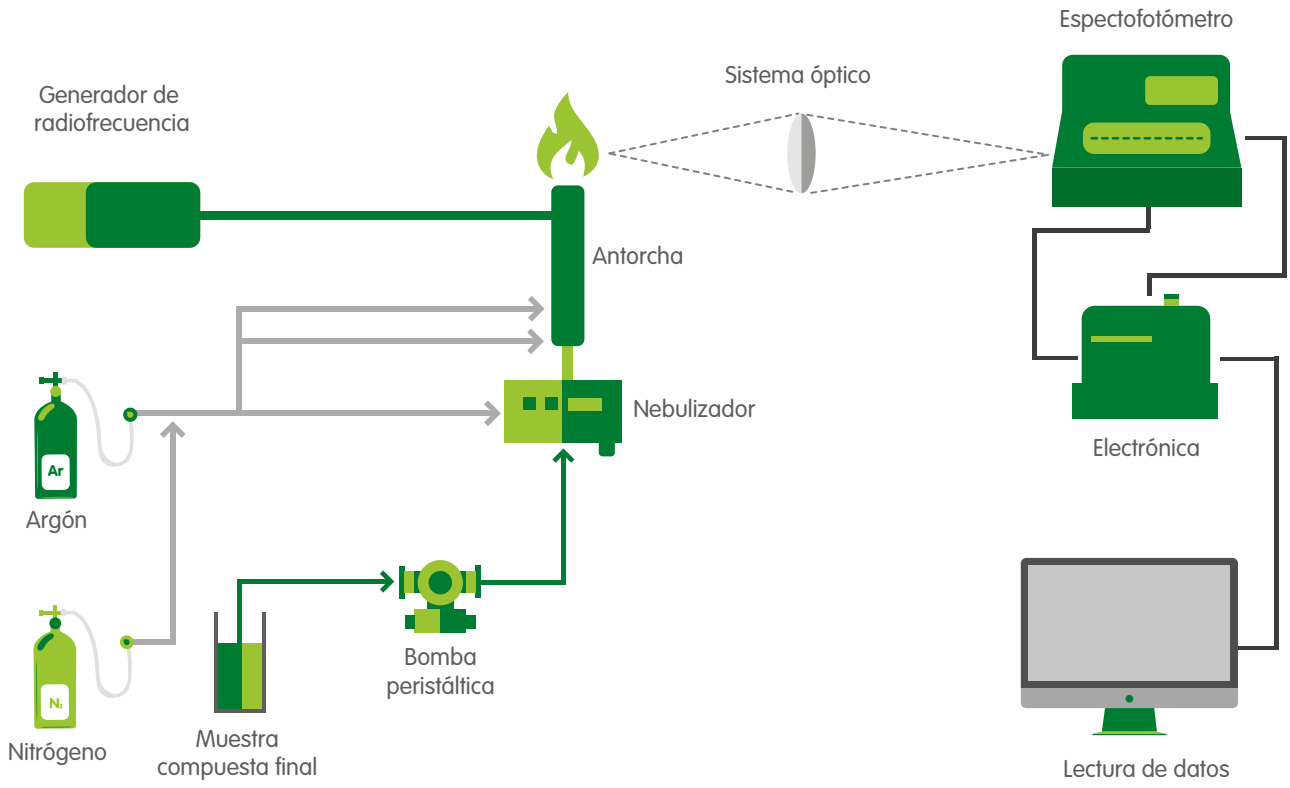


Figura 4. Montaje del método para la determinación del contenido de metales en las muestras compuestas finales.

2. Resultados y análisis

2.1 Obtención del modelo de correlación

Se obtuvieron cinco modelos de correlación los cuales corresponden a los metales zinc (Zn), plomo (Pb), níquel (Ni), cobre (Cu) y cromo (Cr). Para los otros elementos analizados (arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg), molibdeno (Mo) y selenio (Se)) no fue posible obtener un modelo debido a la presencia de dichos elementos, en el afluente o el biosólido, por debajo de los límites de detección del método de análisis ICP. Sin embargo, como se evidencia en la figura 5, los límites de detección por el método ICP de los metales para los cuales no se obtuvo modelo, son menores a los límites estipulados en el Decreto 1287 de 2014 para el biosólido clase A y, por tanto, para el de clase B. Esto indica que, de haber presencia de estos elementos en el biosólido, su concentración es menor a las concentraciones que limitan su aprovechamiento.

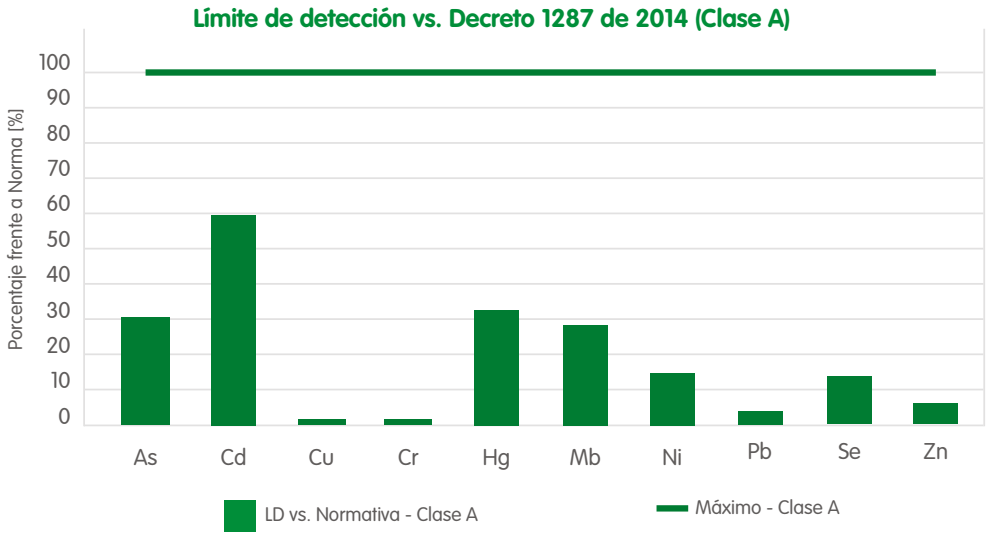


Figura 5. Relación entre el límite de detección del método ICP con la concentración estipulada en el Decreto 1287 de 2014 para biosólido clase A.

Como se observa en las figuras 6 y 7, la presencia de mercurio y selenio en el biosólido es nula. Esto ocurre para todas las muestras compuestas analizadas. El selenio por su parte está presente en el afluente primario con concentraciones por encima del límite de detección correspondiente que van desde 0.022 mg/L hasta 0.053 mg/L. Por lo tanto y de acuerdo con la Ley de la Conservación de la Materia, lo más probable es que el selenio que ingresa a la PTAR en el agua residual, sale del tratamiento en el efluente final. Por otro lado, la presencia de mercurio en el afluente primario y el biosólido es no detectable. Los históricos de las concentraciones de mercurio en el efluente final indican que hasta julio de 2021 este metal no se ha detectado o se encuentra por debajo del límite de detección del método de análisis. Por lo tanto, lo más probable es que la cantidad que ingresa a la PTAR San Fernando sea nula o poco significativa.

De acuerdo con las figuras 6 y 7, no hay presencia de ninguno de los metales analizados por encima de las concentraciones estipuladas en el Decreto 1287 de 2014 para biosólida clase A y B. El arsénico es el elemento que más se encuentra cerca al límite de clasificación A. Sin embargo, el dato graficado corresponde a un dato atípico ya que fue el único resultado por encima de los límites de detección del análisis, tanto para el afluente como para el biosólido.

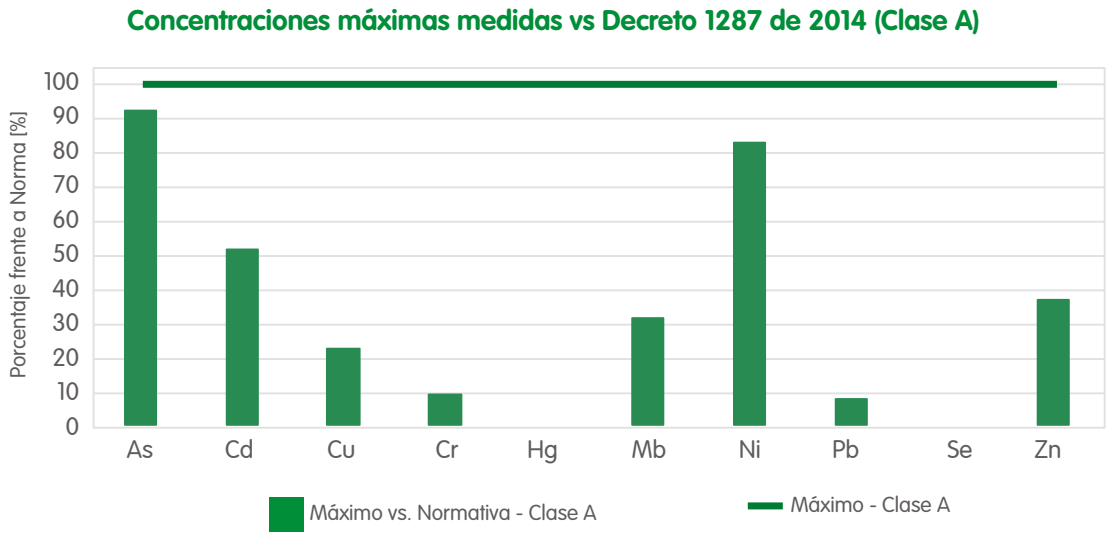


Figura 6. Comparación de la concentración máxima medida en el biosólido respecto a la normativa – Clase A.

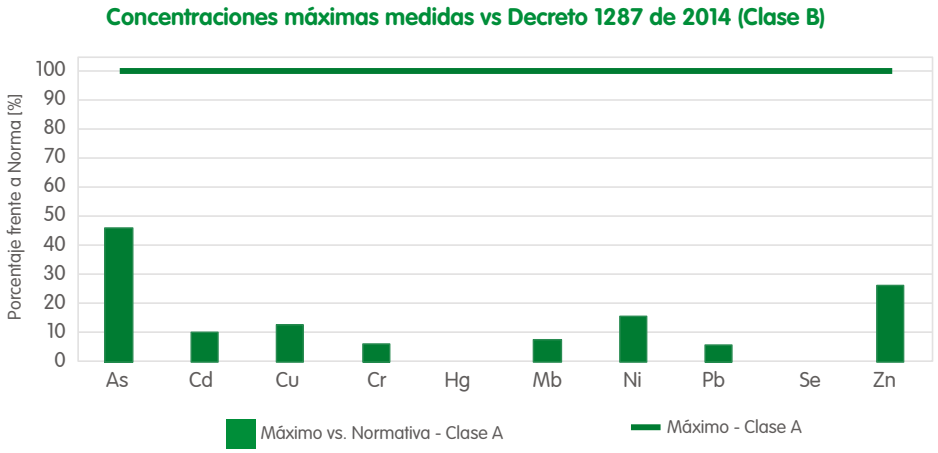


Figura 7. Comparación de la concentración máxima medida en el biosólido respecto a la normativa – Clase B.

2.2 Ajuste del modelo de correlación

De la figura 8 a la 12 se presenta el ajuste del modelo de correlación obtenido para el Zn, Pb, Ni, Cu y Cr. El mejor ajuste se obtuvo para el zinc con un error promedio en el cálculo de la concentración en el biosólido de 2.1%, un coeficiente de determinación de 0.76 y una precisión del 100% al clasificar el biosólido de acuerdo con el Decreto 1287 de 2014. Por lo tanto, el modelo es útil en la predicción de futuras concentraciones en el biosólido, a partir de la concentración de zinc en el afluente primario.

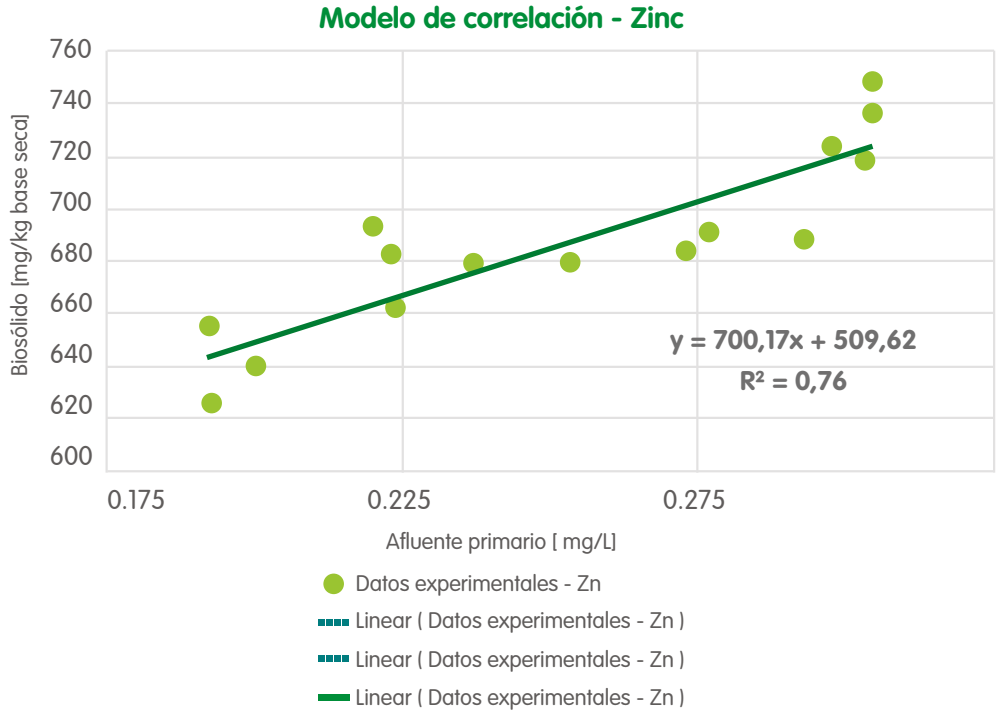


Figura 8. Modelo de correlación para la concentración de zinc entre el AP y el BS.

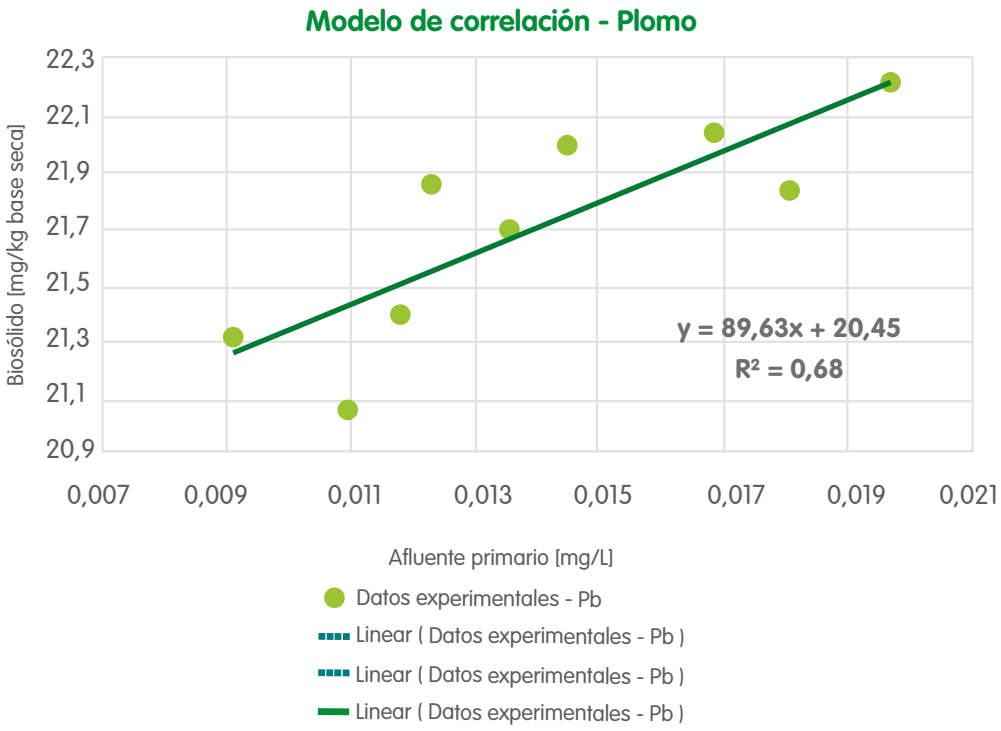


Figura 9. Modelo de correlación para la concentración de plomo entre el AP y el BS.

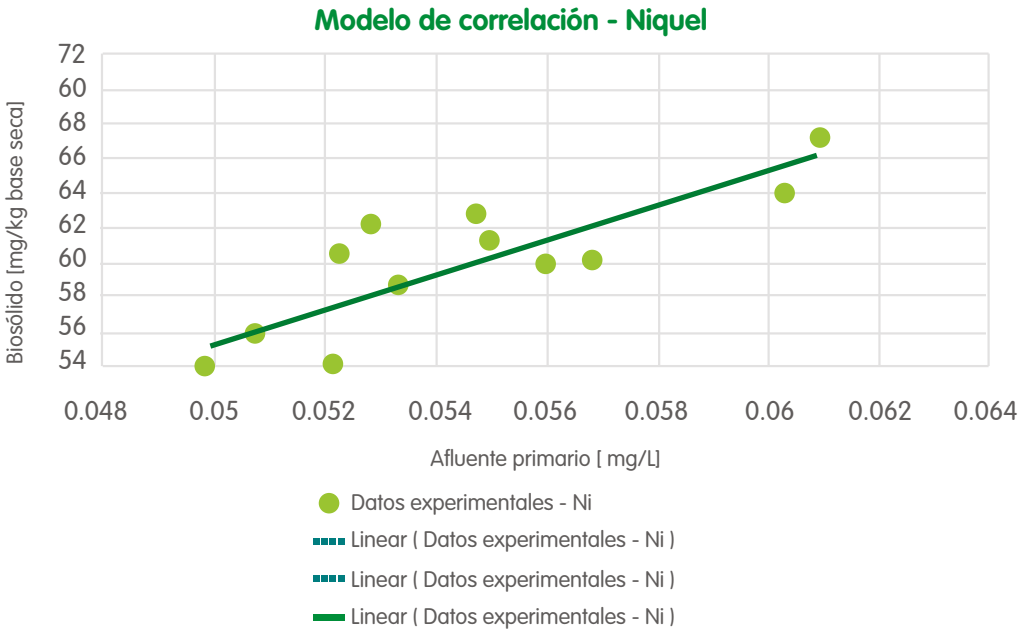


Figura 10. Modelo de correlación para la concentración de níquel entre el AP y el BS.

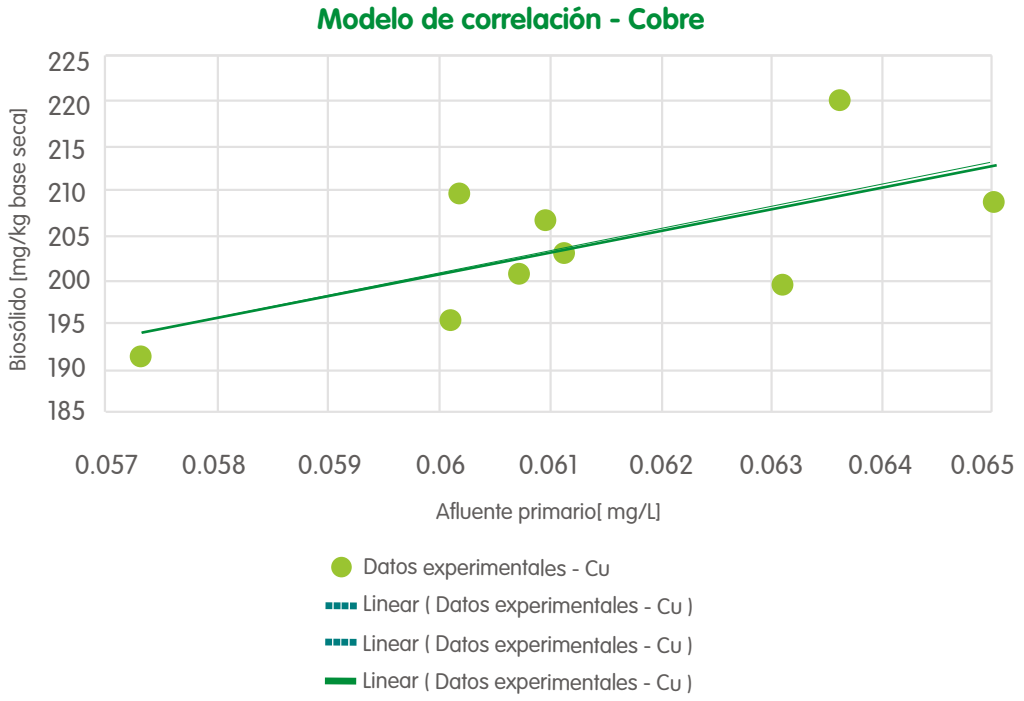


Figura 11. Modelo de correlación para la concentración de cobre entre el AP y el BS.

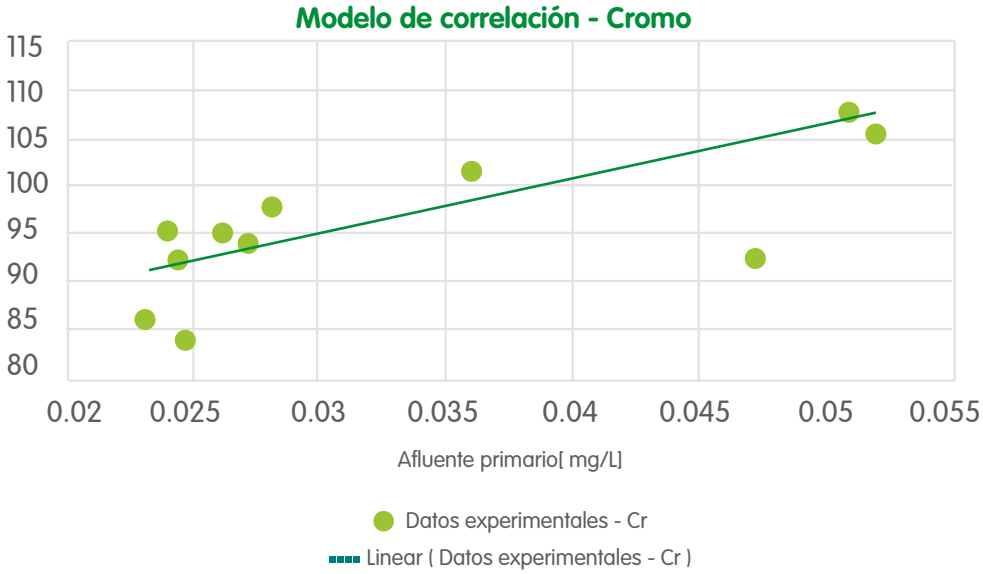


Figura 12. Modelo de correlación para la concentración de cromo entre el AP y el BS.

En la tabla 2 se observa que el coeficiente de determinación más bajo está relacionado con el modelo de correlación del cobre. Sin embargo, el error en la estimación de las concentraciones evaluadas es de 2.5% y en el 100% de los casos se logra predecir de forma adecuada el tipo de biosólido producido.

Elemento	R2	Error promedio en la estimación de la concentración de biosólido [%]	Precisión en la estación de la clase de biosólidos [%]
Zn	0.76	2.1	100
Pb	0.68	0.7	100
Ni	0.67	6.9	100
Cu	0.43	2.5	100
Cr	0.74	3.2	100

Tabla 2. Error y precisión del modelo de correlación de metales.

Respecto al tipo de aprovechamiento del biosólido, su clasificación cualitativa (clase A – clase B) es lo más relevante. Por ello, en la tabla 3 se muestra un modelo de predicción rápida construido a partir del modelo matemático. Sin embargo, para cálculos como la tasa anual de aplicación de biosólido es necesario evaluar el modelo y obtener un valor numérico para la concentración de cada metal.

Elemento	Error promedio en la estimación de la concentración de biosólido [%]	Precisión en la estación de la clase de biosólidos [%]
Zinc - Zn	Ptimario [mg/L]	A
	< 2.136	
	2.136 - 3.276	B
Plomo - Pb	< 2.685	A
	2.685 - 3.645	B
Níquel - Ni	< 0.074	A
	0.074 - 0.409	B
Cobre - Cu	< 0.396	A
	0.396 - 0.711	B
Cromo - Cr	< 1.588	A
	1.588 - 2.487	B

Tabla 3. Modelo para la estimación directa de la clase de biosólido a partir de las concentraciones en el afluente.

En la tabla 4 se reportan las concentraciones máximas medidas de los metales cuyo modelo de correlación no se pudo obtener. En el caso del arsénico y el selenio, no se detectó presencia en el biosólido, sin embargo, si se encontraron en el afluente primario. Por lo tanto, si la concentración de estos elementos en el afluente es menor a los máximos reportados, su concentración en el biosólido no excede el límite de detección, y, en consecuencia, los límites reportados en la norma para biosólido clase A. De acuerdo con los análisis de cadmio y mercurio, si su presencia en el afluente

es no detectable, la concentración en el biosólido no excederá ni el límite de detección del método ni los límites estipulados en el Decreto 1287 de 2014. Finalmente, el molibdeno no se detectó en el afluente y su concentración máxima en el biosólido fue de 5.77 mg/L. Ya que esta última es menor a los límites relacionados con el biosólido clase A, se puede afirmar que, si el molibdeno es indetectable en el afluente primario, su presencia en el biosólido no limitará su aprovechamiento.

En caso de excederse las concentraciones máximas medidas de arsénico o selenio, o encontrar presencia de cadmio, mercurio o molibdeno en los análisis mensuales al afluente primario, se debe generar una alerta para evaluar su contenido en el biosólido y no distribuirlo sin tener certeza sobre su calidad. La necesidad de actualizar el modelo de correlación se evaluará cuando en repetidas ocasiones se excedan los parámetros mencionados anteriormente.

Elemento	Max. AP $\left[\frac{mg}{L}\right]$	Max. BS $\left[\frac{mg}{kg\ b.s}\right]$
As	0.217	ND
Cd	ND	ND
Hg	ND	ND
Mo	ND	5.77
Se	0.053	ND

Tabla 4. Metales para los cuales no se obtuvo correlación.

2.3 Validación del modelo frente a los datos históricos de la PTAR

Como se evidencia en la tabla 5, al evaluar datos históricos entre 2019 y 2021, se encontró que el modelo predice con menor error las concentraciones de zinc. Para todos, excepto para el Ni, se predice la clase de biosólido de forma correcta en un 100% de los casos. Particularmente para el Ni, la debilidad del modelo se encuentra en la predicción del biosólido clase B. En general, los porcentajes de error son mayores respecto a la validación anterior; sin embargo, la precisión en la estimación de la clase de biosólido es apropiada. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que los datos históricos disponibles son resultado de análisis de muestras instantáneas y el modelo fue construido a partir de muestras compuestas en función de los tiempos de retención del tratamiento.

Elemento	Max. AP $\left[\frac{mg}{L}\right]$	Max. BS $\left[\frac{mg}{kg\ b.s}\right]$
As	0.217	ND
Cd	ND	ND
Hg	ND	ND
Mo	ND	5.77
Se	0.053	ND

Tabla 5. Error y precisión del modelo de correlación frente a los datos históricos (2019-2021).

La comparación del comportamiento histórico de los metales en el afluente de la PTAR San Fernando evidencia un aumento significativo en la concentración de arsénico y níquel. En consecuencia, se debe monitorear con mayor frecuencia la presencia de ambos metales, favoreciendo la generación de alertas y el seguimiento de las descargas que llegan a la PTAR.

Parámetro	Concentración máxima (2015-2018) [mg/L]	Concentración máxima – 2021 [mg/L]	Cambio [%]
As	0,022	0,217	887,1
Zn	0,331	0,311	-5,9
Pb	0,021	0,020	-6,2
Ni	0,043	0,066	53,1
Cu	0,126	0,066	-47,8
Cr	0,052	0,026	-49,7
Se	0,045	0,053	18,4

Tabla 6. Cambio en las concentraciones máximas respecto a 2015 - 2018.

Conclusiones

Se actualizó el modelo de correlación existente a las condiciones operativas actuales de la PTAR San Fernando, dando cumplimiento a lo requerido en el parágrafo 3° del artículo 5° del Decreto 1287 de 2014.

El modelo de correlación (Zn, Pb, Ni, Cu y Cr) actualizado logra predecir de forma adecuada la clase (A–B) de biosólido producido en la PTAR San Fernando, a partir de la concentración de los elementos evaluados en el afluente primario. A pesar de no obtener un modelo cuantitativo para As, Cd, Hg, Mo y Se, los resultados permiten establecer límites de concentración en el afluente y, en consecuencia, alertas relacionadas con la calidad del biosólido.

Debido a la naturaleza del proceso de tratamiento, la aplicación del modelo requiere concentraciones promedio del afluente primario, es decir, resultado del análisis de una muestra compuesta. Sin embargo, la validación del modelo con datos históricos (no compuestos) indica que el tipo de biosólido se estima adecuadamente y el modelo permite generar alertas acerca de los parámetros posiblemente críticos relacionados con la actividad industrial.

Si bien se pudo establecer el modelo de correlación, las alertas que se generan a partir de este no son de carácter inmediato debido a la frecuencia en el análisis de metales del afluente primario y el tiempo entre el muestreo y la recepción de los resultados. Por otra parte, los costos asociados con un sistema de medición de mayor frecuencia impiden que se generen alertas diarias. En consecuencia, no es posible aplicar el modelo como se plantea en el Decreto 1287 de 2014 y no se garantiza que la generación de la alerta se dé en los tiempos adecuados para evitar la distribución de biosólido que no cumpla con la normativa.

Referencias

- Agoro, M., Adeniji, A., Adefisoye, M. y Okoh, O. (2020). Heavy Metals in Wastewater and Sewage Sludge from Selected Municipal Treatment Plants in Eastern Cape Province, South Africa. *Chemosphere, Water, 12* (10), 27-46. https://doi.org/10.3390/w12102746

- Barraoui, D., Blais, J.-F. y Labrecq, M. (2021). Cleanup of sewage sludge spiked with Cd, Cu, and Zn: Sludge quality and distribution of metals in the "soil-plant-water" system. *Chemosphere, 267,* 1-11. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129223

- Decreto 1287 de 2014 [Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio]. Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. 10 de julio del 2014.

- Hue, N. (1988). Residual effects of sewage-sludge application on plant and soil-profile chemical composition. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 19*(14), 1633-1643. https://doi.org/10.1080/00103628809368040

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1995). *Gestión Ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Directrices para el diseño de programas de muestreo* (NTC-ISO 5667-1).

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1998). *Gestión ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Parte 13: Guía para el*

muestreo de lodos de aguas residuales y plantas de tratamiento de aguas (NTC-ISO 5667-13).

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2004). *Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Directrices para la preservación y manejo de las muestras* (NTC-ISO 5667-3).

- Jiménez, M., Grijalva, A. y Ponce, H. (2020). Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica (ICP-OES). *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento, 4*(4), 4-12. https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.4-12

- Rao, K., Mohapatra, M., Anand, S. y Venkateswarlu, P. (2010). Review on cadmium removal from aqueous solutions. I*nternational Journal of Engineering, Science and Technology, 2*(7), 81-103. http://doi.org/10.4314/ijest.v2i7.63747

- United States Environmental Protection Agency. (2000). *Biosolids Technology Fact Sheet: Land Application of Biosolids*. https://rb.gy/epgpqg

Cómo citar este artículo:

Santana, M., Hoyos, O. y Callejas, J. (2022). Modelo de correlación de metales entre el agua residual y el biosólido generado en la PTAR San Fernando de EPM de acuerdo con lo requerido en el Decreto 1287 de 2014. *Revista EPM,* (19), 32-51.

Modelo para calcular sistemas de puesta a tierra utilizando varillas

Model for calculating grounding systems using rods

Nicolás Antonio Quintero Álzate
Dirección Subestaciones y Líneas, EPM
nicolas.quintero@epm.com.co

César Alfonso Paredes Gutiérrez
Gerencia Centros de Excelencia Técnica, EPM
cesar.paredes@epm.com.co

Resumen

Las varillas de Copperweld, son uno de los elementos más utilizados como sistema de puesta a tierra en la distribución de energía. Están instalados en las acometidas eléctricas de todas las residencias, así como en el sistema de puesta a tierra de los transformadores de distribución. No se dispone de muchos modelos matemáticos que permitan realizar los cálculos de sistemas de puesta a tierra utilizando varillas. Las herramientas disponibles son generalmente complejos programas para computador, que por sus altos costos y difícil consecución no están siempre al alcance de un diseñador.

El presente artículo propone un modelo simple para realizar estos cálculos, a través de una deducción de las ecuaciones involucradas. La mayoría de los libros de diseños de sistema de puesta a tierra presentan las ecuaciones, pero no ilustran su deducción.

Dado los bajos costos que representa la construcción de un sistema de puesta a tierra utilizando varillas, los cálculos de la ingeniería involucrada en algunas ocasiones son omitidos, por lo que el método propuesto puede ayudar a subsanar este vacío, dado lo simple que resulta determinar la resistencia de puesta a tierra requerida, una de las variables más relevantes cuando se utiliza esta tecnología.

Palabras clave:
Voltaje de paso, Voltaje de contacto, Sistema de puesta a tierra, Varilla de puesta a tierra.

Keywords:
Step voltage, Contact voltage, Grounding system, Grounding rod.

Introducción

Las varillas de Copperweld son uno de los elementos más utilizados en la distribución de energía como sistema de puesta a tierra. Se instalan en las acometidas de las casas, así como para aterrizar los transformadores y otros equipos que conforman la red de distribución. Dada su fácil consecución y bajo costo, no es frecuente abordar su instalación a través de un estudio previo que revise las variables involucradas, de manera que se garantice que el sistema de puesta a tierra, brinde los niveles de seguridad requeridos.

Una de las principales dificultades para abordar estos diseños, es la escasez de modelos disponibles para realizarlos, generalmente estos diseños se ejecutan utilizando costos y complejos programas informáticos. Por lo que este artículo propone una metodología simple, que está al alcance de cualquier diseñador. El modelo se realizó para una varilla típica Copperweld de 2,4 m de largo y media pulgada de diámetro, pero las ecuaciones le permiten al interesado realizar los cálculos para otro tipo de varillas.

Con el modelo propuesto el único dato que se requiere para calcular la resistencia de puesta atierra es el de la resistividad del terreno.

1. Antecedentes

Para el cálculo de sistemas de puesta a tierra pequeños (los que usan una o dos varillas) lo típico es realizarlo utilizando fórmulas de ingeniería, es claro que el cálculo más expedito es a través de las herramientas informáticas, pero en ausencia de estas, el uso de las fórmulas es el único método disponible. Las fórmulas que generalmente ofrecen los libros de ingeniería no profundizan en las limitaciones que presenta el sistema de puesta a tierra realizado con varillas. Los bajos costos que representa aterrizar un equipo con una varilla versus los engorrosos cálculos involucrados generalmente inducen a los diseñadores a omitirlos. Por lo tanto, el artículo suministra la información tabulada y un ejemplo de cómo utilizarla para calcular la resistencia de puesta a tierra utilizando varillas de Copperweld de 2,4 m, en dos o tres pasos y el único dato requerido es el de la resistividad del terreno.

2. Metodología

Como se explica en el artículo "Como los sistemas de puesta a tierra protegen la seguridad y vida de las personas que trabajan en los sistemas eléctricos de transmisión y distribución" de la Revista EPM(15), P. 98-117, las variables involucradas en el cálculo de un sistema de puesta a tierra son las siguientes.

- **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.

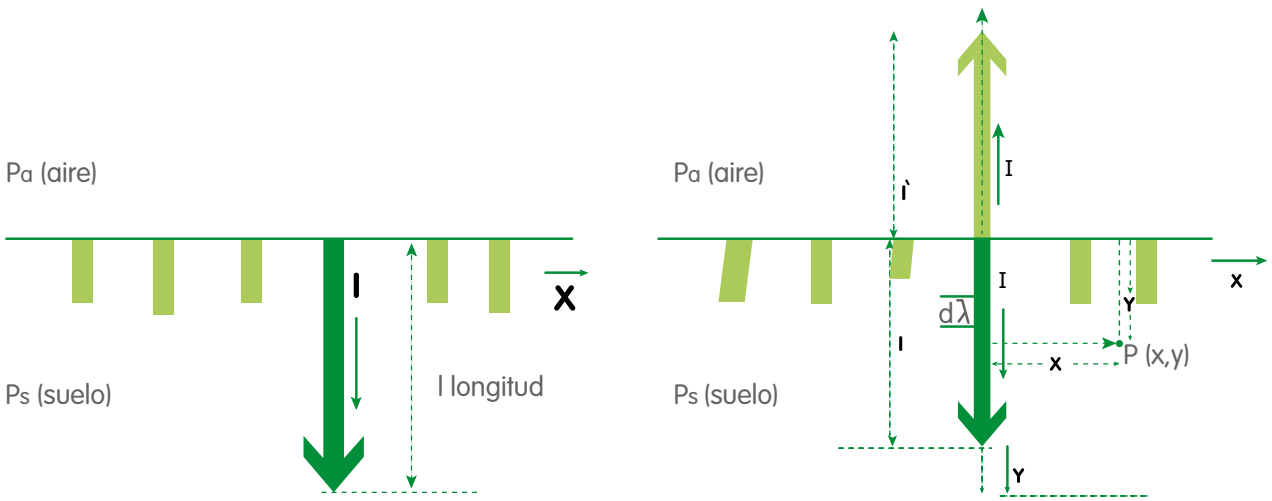
- **Voltaje de paso (Vp).** Es el voltaje al que se ve sometida una persona por el solo hecho de estar caminando sobre el terreno de una subestación eléctrica, cuando ocurre una falla o cualquier terreno cuando cae una descarga atmosférica.

- **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 presenta 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 esté usando en el momento del incidente.

3. Campos y voltajes de paso y toque generados por la inyección de corriente a tierra a través de una varilla de puesta a tierra

Las varillas utilizadas en sistemas de puesta a tierra son de acero con un revestimiento de cobre y en Colombia se comercializan con una longitud típica entre 2.4 y 3 m, pero también se consiguen roscadas de manera que se pueda incrementar su longitud al roscar varias en serie. En la figura 1 se ilustran las variables involucradas en el calculó del potencial generado por la inyección de una corriente a tierra a través de una varilla, en un sistema de coordenadas rectangulares *XY*.



Gráfica de una varilla enterrada

Varilla y varilla imagen en sistema de coordenadas xy

Figura 1. Varilla en sistema de coordenadas rectangulares.

Para el caso de hallar los campos asociados a una varilla, el sistema de coordenadas que permite encontrar más simplificaciones es el "sistema de coordenadas rectangulares", también se requiere recurrir al método de la teoría electromagnética de la "imagen reflejada" (Fleisch y Kraus, 1999). En este caso, la corriente será la suma de la corriente inyectada por la varilla y la corriente de su imagen, similarmente la longitud total será de 2L (longitud de la varilla más la longitud de su imagen). La figura 2 muestra como las componentes en el *y* de los vectores del campo eléctrico se anulan, para el cálculo del potencial el punto P(x,y) situado a una distancia x, y del origen (0,0).

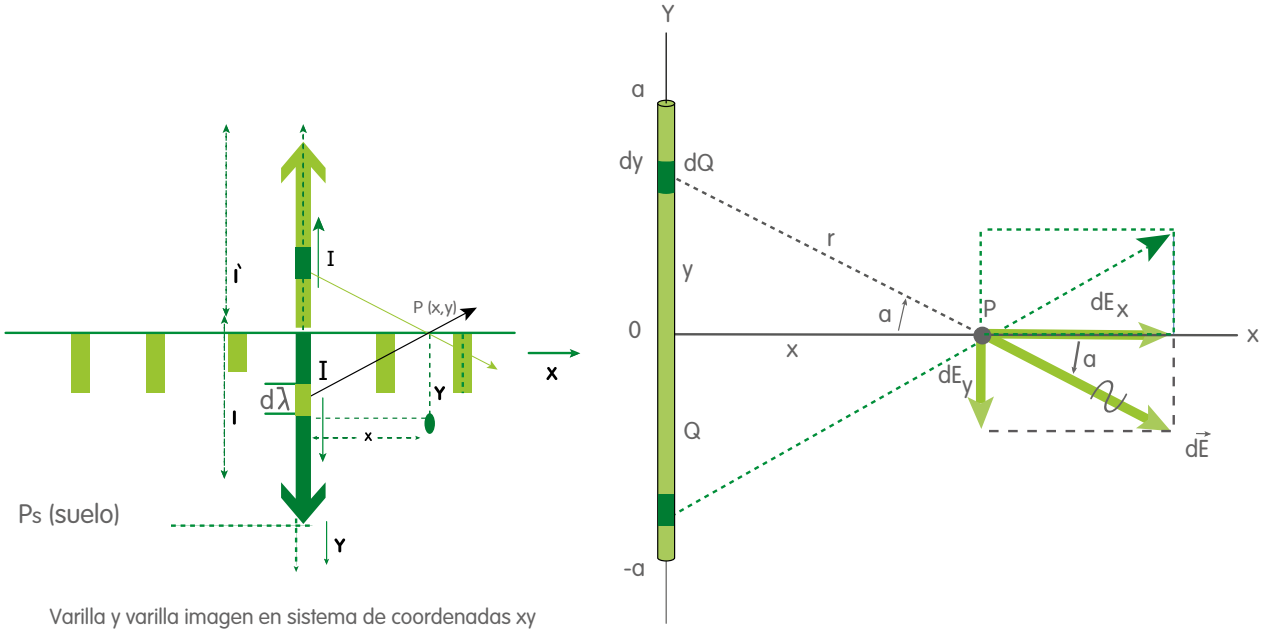


Figura 2. Los componentes del campo en la dirección "y", se anulan.

Para ilustrar mejor el análisis inicialmente se realiza la modelación de la varilla, situándola en el centro del eje de coordenadas xy. Es claro que la distancia de la varilla (sola) es L y la longitud a = L/2. Pero si se considera la longitud de la "varilla imagen" entonces a = L. Por simetría las componentes del campo en el eje y (Ey) se anulan y solo quedan las correspondientes a las componentes del campo a lo largo del eje x (Ex).

La diferencial de carga es $dQ = \lambda * dy$, $\lambda = Q/2L$

Ec. 1. $dQ = \frac{Q}{2L} dy$

Se tiene que $dQ = (Q/2L) * dy$, $dQ = (2*J) * d\lambda/2\,L$, si hay variación de λ, entonces la distancia (r) del $d\lambda$ al punto p es :

Ec. 2. $r = \sqrt{(x)^2_+ (y-\lambda)^2}$

La derivada del potencial en el punto p, dV(p)

Ec. 3. $d\varphi = \left(2\frac{J\,d\lambda}{2L}\right)\left(\frac{\rho}{4\pi}\frac{1}{\sqrt{x^2+[y-\lambda]^2}}\right)$

Realizando la integración de la ecuación, se encuentra el V(P), como una función de x , y. φ (x,y)

Ec. 4. $\varphi(x,y) = 2J\frac{\rho}{8\pi L}\int_{-L}^{+L}\frac{d\lambda}{\sqrt{x^2+(y-\lambda)^2}}$

Ec. 5. $\varphi(x,y) = 2J\frac{\rho}{8\pi L}\ln\frac{\sqrt{x^2+(y+L)^2}+y+L}{\sqrt{x^2+(y-L)^2}+y-L}$

Para simplificar más la formula, la varilla se considera como un tubo cuyo diámetro es d y si se calcula el potencial en la superficie del centro de la varilla es claro que estamos en el punto en donde:

x=d/2, y=0

Ec. 6. $\varphi(x,y=0) = 2J\frac{\rho}{8\pi L}\ln\frac{\sqrt{(x)^2+(0+L)^2}+0+L}{\sqrt{(x)^2+(0-L)^2}+0-L}$

Ahora para simplificar más la ecuación, remplazamos x = m*L en la Ec. 6.

Ec. 7. $\varphi(x,y=0) = 2J\frac{\rho}{8\pi L}\ln\frac{\sqrt{(mL)^2+(L)^2}+L}{\sqrt{(mL)^2+(-L)^2}-L}$

Ec. 8. $\varphi(x) = 2J\frac{\rho}{8\pi L}\ln\frac{\sqrt{m^2+1}+1}{\sqrt{m^2+1}-1}$

Donde m = x/L es un remplazo para poder simplificar la ecuación. El resultado de realizar la integral es el potencial (voltaje) sobre el terreno en

funcion de la distancia x a la varilla. La longitud "L" y el diámetro "d" de la varilla son datos conocidos.

Ec. 9. $\varphi(x = d/2) = 2j\frac{\rho}{8\pi L}\cdot \ln\frac{\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)+L^2}+L}{\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)+L^2}-L}$

Al remplazar a x =d/2 en la Ec. 8., se obtiene el potencial en el centro y sobre la superficie de la varilla.

El termino $*\frac{\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)+L^2}+L}{\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)+L^2}-L}$

Al aplicar la concideracion de que en una varilla el diámetro d es muy pequeño comparado con su longitud L se puede despreciar en el numerador el término (d/2) y la fracción se convierte en

$2L/\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)+L^2}-L$

Adicionalmente se utiliza el siguiente remplazo.

$\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2+L^2}=\frac{d^2}{8L}+L$. Se tendrá que $2L/(\frac{d^2}{8L}+L)=\frac{16L^2}{d^2}=$ (4L/d)^2

Ec. 10. $\varphi(0) = 2j\frac{\rho}{8\pi L}\cdot 2.\ln\frac{4L}{d}$

$\varphi(0) = 2j\frac{\rho}{4\pi L}\cdot \ln\frac{4L}{d}$ $R_=\frac{\varphi}{2j}$ $R(0) = \frac{\rho}{4\pi L}\cdot \ln\frac{4L}{d}$

Donde: φ(0): potencial en la varilla, R: Resistencia de propagación, y R(0): Resistencia de puesta a tierra de la varilla.

Para calcular el potencial φ(x) se recurrió al principio de considerar un electrodo imagen igual a la varilla enterrada para poder realizar la integral entre los limites (-L) y (L), los anteriores valores de φ(0) y R(0) corresponden al potencial y resistencia de puesta a tierra de la varilla.

Si se retira el semiespacio superior (en el que está la varilla imaginaria), queda el semiespacio inferior, el del piso, que es en el cual está enterrada la varilla real y la resistencia resultante, es el doble de la encontrada en las ecuaciones anteriores. La resistencia total producida por la varilla y su imagen se puede visualizar como dos resistencias en paralelo, por lo tanto, para calcular el efecto de una sola varilla se debe multiplicar por 2 la resistencia R encontrada.

Ec. 11. $R(0) = \frac{\rho}{2\pi L}\cdot \ln\frac{4L}{d}$ En donde, ρ: Resistividad del terreno, L: Longitud de la varilla y d: Diámetro de la varilla.

Como aplicación las ecuaciones anteriores, encontremos la resistencia producida por una varilla, para lo cual se utiliza la ecuación Ec. 11. Si se usa una varilla de 2 m de longitud con un diámetro d = 0,05 m y si se considera que la varilla se instaló en un terreno con una resistividad uniforme ρ= 100 Ω*m.

R(0)= (100/(6.28*2))* Ln((4*2)/0.05) = 40.4Ω.

Para calcular V(0) (potencial en la superficie de la varilla) se puede realizar por dos métodos: por teoría de circuitos para lo cual se requiere conocer la corriente I con lo que V(0) = R(0) * I, si la corriente es 10 A , V(0) = 40.4 Ω* 10 A = 404 V. Este resultado también se encuentra al remplazar los valores en la Ec. 10.

Ec. 10. $\varphi(0) = 2j\frac{\rho}{8\pi L}\cdot 2.\ln\frac{4L}{d}$

V(0)= (2*10*100/(8*3.1416*2))*2*(ln((4*2)/0.05)) = 403.86V.

También se puede encontrar V(0), remplazando el valor de x por d/2 en la Ec. 11. de ρ(x) en donde m= x/L.

Ec. 11. $\varphi(x) = 2J\frac{\rho}{8\pi L}\ln\frac{\sqrt{m^2+1}+1}{\sqrt{m^2+1}-1}$

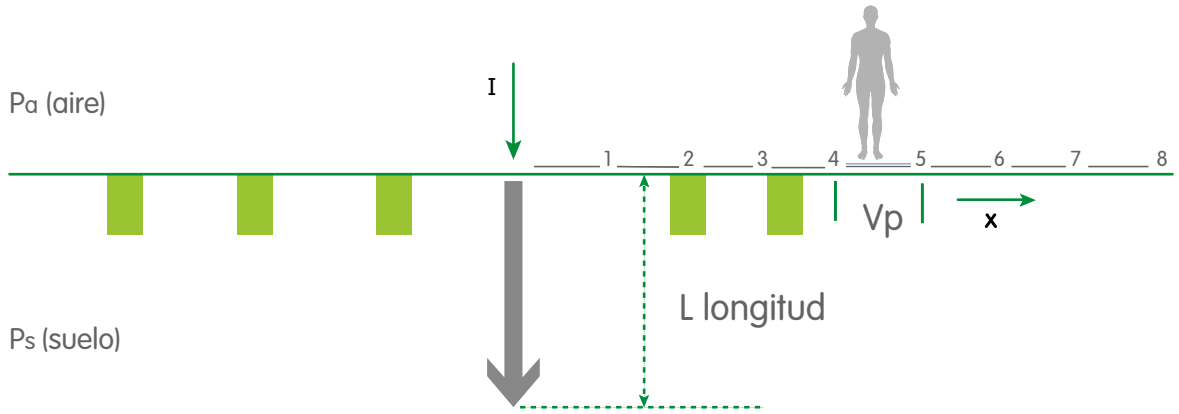
Los datos son: L = 2m, x=(0.05/2) m, J =10 A, ρ= 100 Ω*m, d= 0.05m, m(variable)= x/L= 0.0125

φ(0.025) = 2*(10)*(100)*(1/(8*2*3.1416))* Ln (25601.99).

φ(0.025) = 39.78864*10.15 = 403.854 V

Voltaje de paso. Vp generado por una varilla dependiendo a la distancia que se encuentre la persona.

El voltaje de paso es la diferencia de voltaje entre dos equipotenciales sobre el suelo, separados por una distancia x, (m =x/L), donde x es la distancia de separación a la varilla y L es la longitud de la varilla y a = s (distancia del paso)/L, se puede ver en figura 3.



Voltaje de paso generado por una inyección de corriente I a través de varilla enterrada, cuando la persona esta a una distancia X.

Figura 3. Gráfica que ilustra el cálculo de los voltajes de paso.

Para calcular Vp (voltaje de paso) se puede hallar $\Delta V = \varphi(4) - \varphi(5)$, remplazando el valor de x en la Ec. 8.

Ec. 8. $\varphi(x) = 2J\frac{\rho}{8\pi L}\ln\frac{\sqrt{m^2+1}+1}{\sqrt{m^2+1}-1}$

Si se mantienen los mismos datos de varilla, corriente y resistividad de terreno:

Recordando que m=x/L. Si x = 5, m = 5/2 = 2.5

$\varphi(5) = 39.7886 * \ln(3.6925824 / 1.69258240)$,

$\varphi(5) = 39.7886*0{,}7800 = 31.03$ V.

Para x= 4, m=2.

φ(4) = 39.7886* ln(3.23607/ 1.23607), φ (4) = 39.7886*0,96242= 38.29 V.

Vp(voltaje de paso) ΔV = φ(4) - φ(5) = 38.29 V – 31.03 V = 7.26 V

También se puede aplicar directamente la ecuación, donde a = s/L, siendo s la longitud del paso de la persona, que de acuerdo con la gráfica se consideró de 1m.

Ec. 12. $v_p = j\frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{\sqrt{m^2+1}+1}{\sqrt{m^2+1}-1} - \ln\frac{\sqrt{(m+a)^2+1}+1}{\sqrt{(m+a)^2+1}-1}\right)$

Remplazando los datos directamente en la fórmula, se tiene que x=4, m(variable) = 2, a = ½ el termino m+a = 2.5.

Vp = 39.7886*(ln 2.61029 – ln 2.1816) = 39.7886*(0.9594 – 0.78) = 7.13 V

Se construye a continuación el embudo de tensión generado por la inyección de corriente a través de una varilla a tierra.

Los datos son los siguientes: Longitud de varilla: L=10 m, Corriente J (I) = 10 A, Resistividad del terreno

ρ= 100 Ω*m, Diámetro de varilla d = 0.05 m.

Para poder incluir en una tabla todos los datos se recurre a la siguiente agrupación.

Definiendo K1 $= \ln \frac{\sqrt{m^2+1}+1}{\sqrt{m^2+1}-1}$ y K2 $= \ln \frac{\sqrt{(m+a)^2+1}+1}{\sqrt{(m+a)^2+1}-1}$

El primer cálculo a realizar es el valor de R(0). Resistencia de puesta a tierra de la varilla.

$$R(0) = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \ln \frac{4L}{d} = 100\ \Omega*m*(1/(6.28*10m))* (\ln (4*10m/0.05m)) = 10.638\Omega.$$

Se calcula a continuación el valor de V(0) = R(0)* I = 10.63Ω* 10 A = 106.38 V voltaje en la superficie de la varilla.

Ec. 13. $v_{P(x)} = j \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{\sqrt{m^2+1}+1}{\sqrt{m^2+1}-1} - \ln \frac{\sqrt{(m+a)^2+1}+1}{\sqrt{(m+a)^2+1}-1} \right)$

Para el cálculo de los voltajes de paso Vp(x) dependen de la distancia x a que se esté de la varilla, para lo cual se usa la ecuación de Vp(x). con m= x/L = x/10, a = s/L con s = 1 m distancia de un paso, a = 1/10 = 0.1.

Vp(x)= 7.9577*(K1-K2). Es evidente que K1 y K2 dependen de x.

Los resultados para algunos valores de x, obtenidos de la Ec. 13, se presentan en la tabla 1.

x (Distancia en metros)	m	m+a	k1	V(x) V	k2	K1-K2	Vp (x) V
0.025	0.0025	0.1025	13.3	106.31	5.9473	7.4217	59.059
1	0.1	0.2	5.959	47.42	4.62	1.375	10.94
2	0.2	0.3	4.615	36.72	3.838	0.777	6.18
3	0.3	0.4	3.838	30.54	3.295	0.543	4.32
4	0.4	0.5	3.295	26.22	2.888	0.407	3.24
5	0.5	0.6	2.888	22.98	2.569	0.319	2.54
6	0.6	0.7	2.569	20.44	2.307	0.262	2.08
7	0.7	0.8	2.31	18.37	2.094	0.216	1.72
8	0.8	0.9	2.094	16.66	1.9156	0.1784	1.42
9	0.9	1	1.9156	15.24	1.763	0.1562	1.21
10	1	1.1	1.763	14.03	1.6312	0.1318	1.05
11	1.1	1.2	1.6312	12.98	1.5169	0.1143	0.91

Tabla 1. Tabla en donde se consignan los datos para el cálculo del voltaje de paso a lo largo del eje X.

En la figura 4. se grafican los valores de Vp(x) mostrados en la tabla 1, en la columna *Vp(x)*.

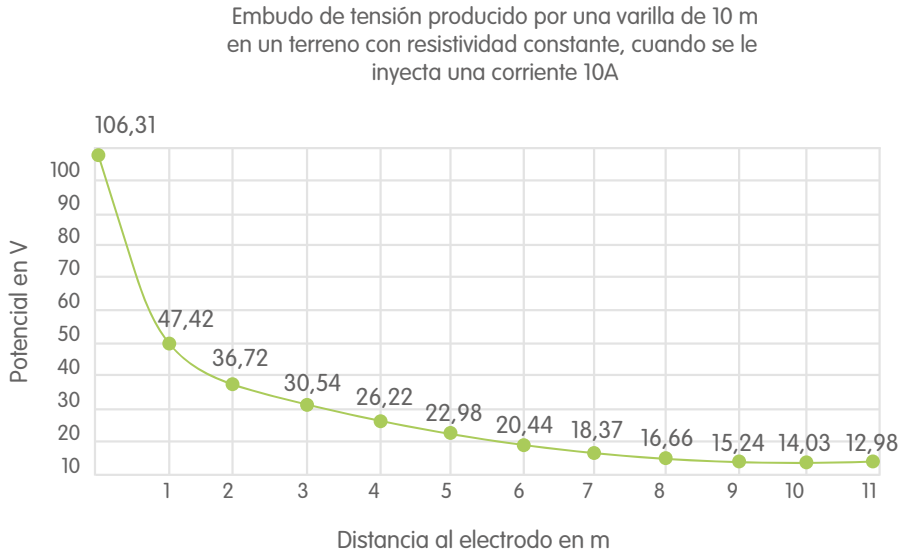


Figura 4. Embudo de tensión generado por la inyección de corriente a través de una varilla.

Si se compara el voltaje de paso que se tiene a una distancia de 4 metros para el caso de la varilla de 2 metros de largo, Vp = 7.26 V y para la varilla de 10 metros de largo el voltaje de paso VP = 3.24 V, se evidencia que hay una reducción de más del 50% del voltaje. En un caso real cuando la corriente inyectada es del orden de kiloamperios la reducción es del orden de kilovoltios y es una demostración clara de cómo operan los sistemas de puesta a tierra, en la protección de la seguridad de las personas.

4. Campos y voltajes de paso y toque generados por la inyección de corriente a tierra, a través de un cable enterrado

Para terminar el estudio de los electrodos elementales se revisará por último los voltajes y campos generados por un cable enterrado parcialmente. Un cable enterrado parcialmente se puede modelar como se modelo la varilla siempre y cuando se dé el cambio de ejes. En la figura 5. se muestra un cable enterrado y su imagen en coordenadas cartesianas.

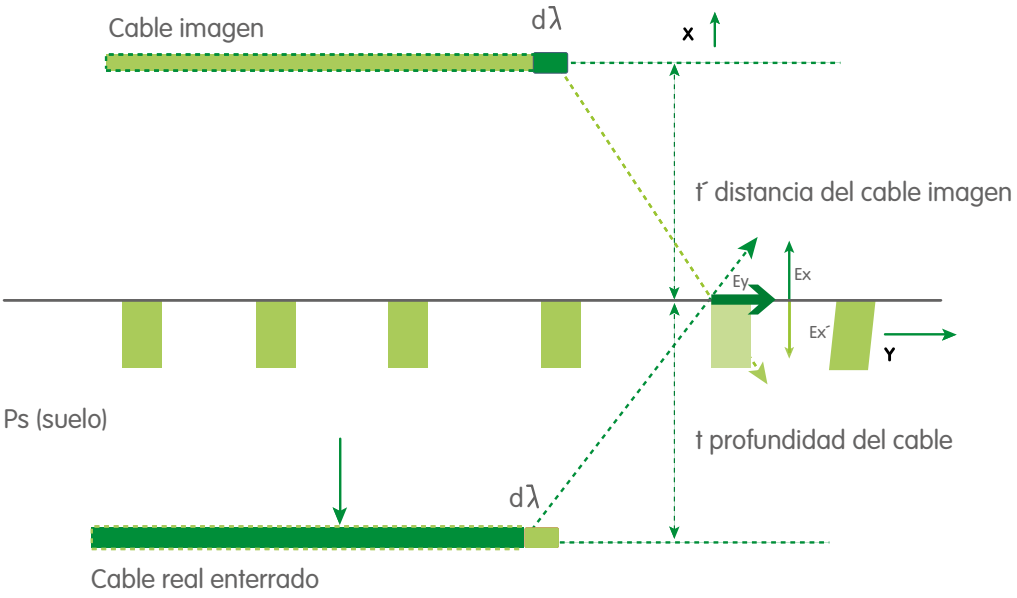


Figura 5. Líneas de campo eléctrico generados por un cable, se hacen equivalente al de una varilla si se recurre al cambio de ejes.

Al igual que en la varilla las componentes del campo eléctrico para el caso del cable semienterrado, en la dirección y (Ex) se anulan y solo quedan las correspondientes al eje x los Ey.

Por lo tanto $d\varphi = \left(2\frac{J}{l}d\lambda\right)\left(\frac{\rho}{4\pi}\frac{1}{\sqrt{x^2+[y-\lambda]^2}}\right)$ (Vega, 1980)

Con respecto a la varilla para este caso solo cambiaran los límites de integración porque para en este primer análisis, no se está considerando el cable imagen.

$$\text{Ec. 14. } \varphi(x,y) = 2J\frac{\rho}{4\pi L}\int_{\lambda=-L/2}^{\lambda=+L/2}\frac{d\lambda}{\sqrt{x^2+(y-\lambda)^2}}$$

$$\text{Ec. 15. } \varphi(x,y) = 2J\frac{\rho}{4\pi L}\ln\frac{\sqrt{x^2+\left(y+\frac{l}{2}\right)2}+y+l/2}{\sqrt{x^2+\left(y-\frac{l}{2}\right)2}+y-l/2}$$

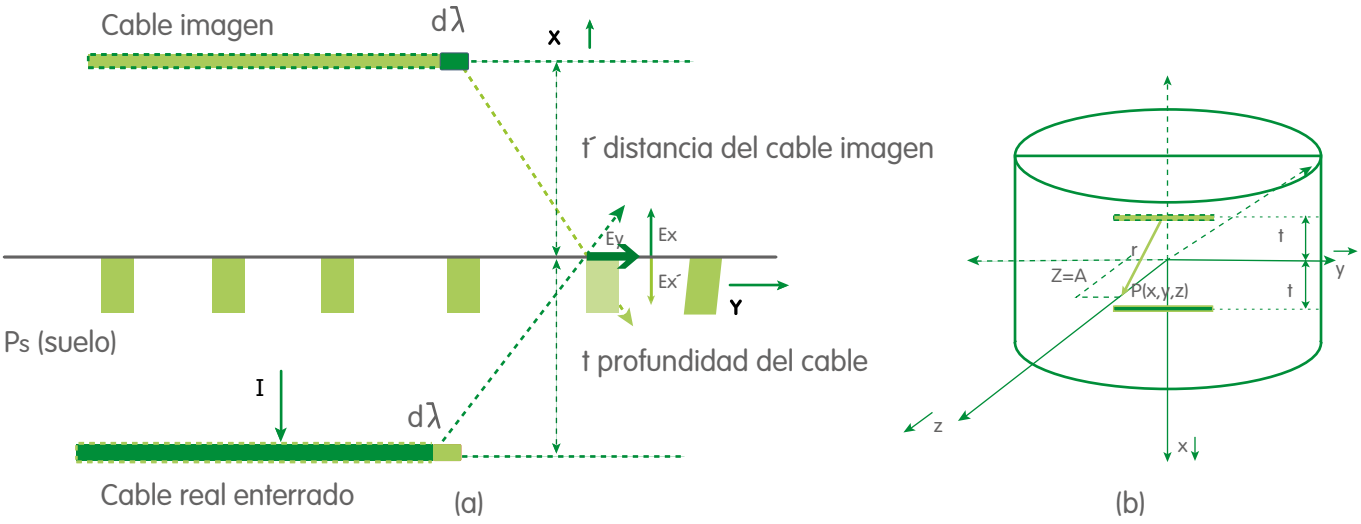
Si se calcula el campo sobre la superficie del cable se tiene que Vp(x,y) = Vp(x=d/2, y=0)

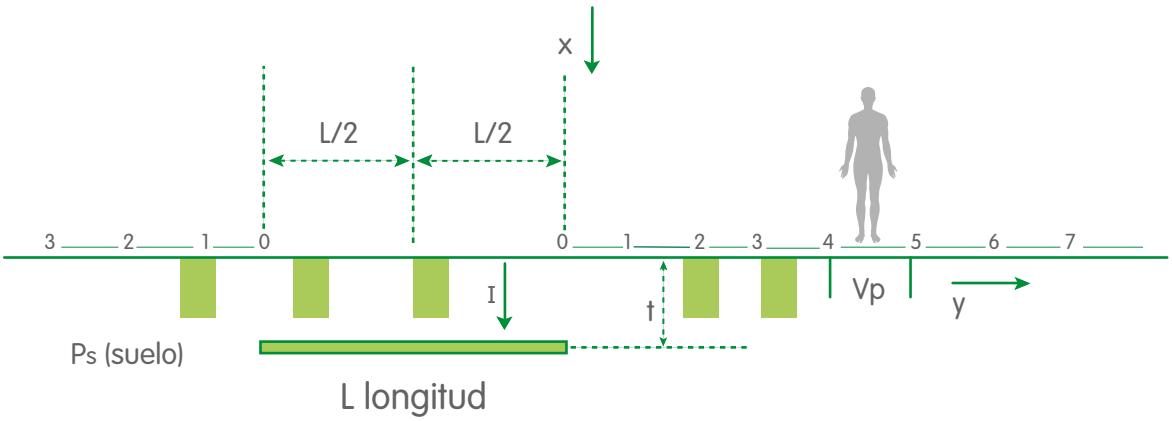
$$R = \varphi(x=\frac{d}{2}, y=0)/2J = \frac{\rho}{2\pi L}\cdot\ln\frac{2L}{d}$$

En el caso objeto de análisis se debe retirar la corriente de la mitad del conductor que no está enterrado para lo cual se debe multiplicar por 2 la resistencia encontrada.

$$R(0) = \varphi(d/2,0)/J = \frac{\rho}{\pi L}\cdot\ln\frac{2L}{d}$$

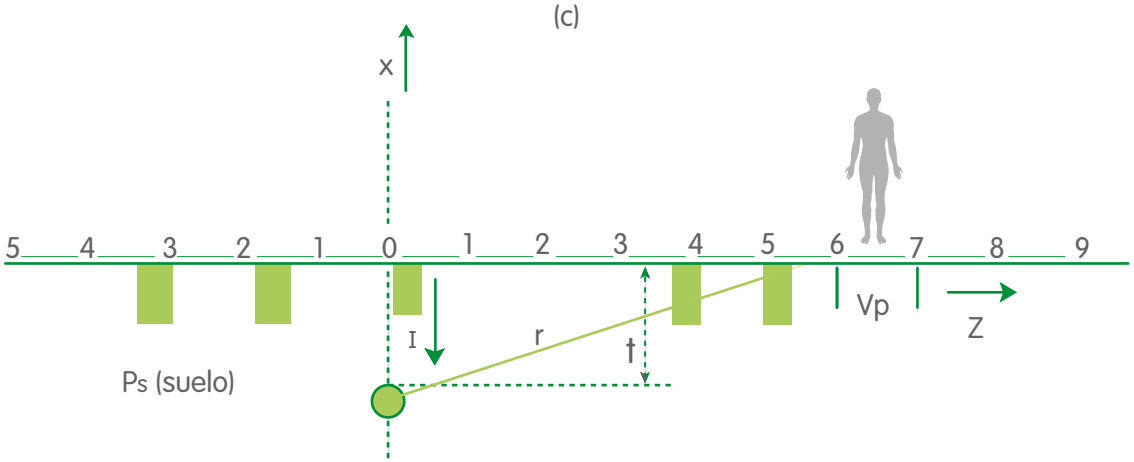
Analizando a continuación el hecho real de un conductor completamente enterrado a una profundidad t. Para realizar este análisis debemos recurrir al método de la imagen reflejada. La figura 6. muestra la gráfica de un cable enterrado a una profundidad *t* y realizando una rotación de coordenadas se puede modelar como una varilla. Con lo anterior todas las ecuaciones deducidas para la varilla aplican para el cable enterrado.
Para el caso de la figura 6 (a). Si se calculan voltajes solo en el piso en donde y=0 y remplazamos x = 2t y 2J por J y adicionalmente se suma el potencial del





Voltaje de paso generado por una inyección de corriente I a través de cable enterrado, cuando la persona esta una distancia s de la punta plano (x,y)

(c)



Voltaje de paso generado por una inyección de corriente I a través de cable enterrado, cuando la persona esta una distancia s del cable en una dirección perpendicular al eje (x,y) eje Z.

(d)

Figura 6. Gráficas que ayudan a explicar los voltajes generados al enterrar un cable de una longitud L a una profundidad t.

cable semienterrado se encuentra φ(0)

$$\text{Ec. 16. } \varphi(x=2t,y=0)=J\frac{\rho}{4\pi L}\ln\frac{\sqrt{(2t)^2+\left(0+\frac{l}{2}\right)2}+0+l/2}{\sqrt{(2t)^2+\left(0+\frac{l}{2}\right)2}+0-l/2}+J\frac{\rho}{2\pi L}\cdot\ln\frac{2L}{d}=J\frac{\rho}{2\pi L}\ln\frac{\sqrt{(2t)^2+\left(\frac{l}{2}\right)2}+l/2}{\sqrt{(2t)^2+\left(\frac{l}{2}\right)2}-l/2}$$
$$+J\frac{\rho}{2\pi L}\cdot\ln\frac{2L}{d}$$

$$\text{Ec. 17. } \varphi(0)=J\frac{\rho}{4\pi L}\ln\frac{\sqrt{(2t)^2+\left(\frac{l}{2}\right)2}+l/2}{\sqrt{(2t)^2+\left(\frac{l}{2}\right)2}-l/2}+J\frac{\rho}{2\pi L}\cdot\ln\frac{2L}{d}$$

Si m = 2t/(L/2), donde t distancia de enterramiento y L longitud del cable.

$$\text{Ec. 18. } \varphi(0)=J\frac{\rho}{4\pi L}\left(\ln\frac{\sqrt{m^2+1}+1}{\sqrt{m^2+1}-1}+2\ln\frac{2L}{d}\right)$$

$$\text{Ec. 19. } R(0)=\frac{\varphi(0)}{J}=\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{2L}{d}+\left(\frac{1}{2}\right)\ln Kt\right)$$

$$\text{siendo } Kt=\frac{\sqrt{m^2+1}+1}{\sqrt{m^2+1}-1}$$

Para el cálculo del potencial en otros puntos se deben considerar los dos ejes Y y Z independientemente para el caso del eje Z, (figura 12d).

La longitud de r al punto p es igual $r=\sqrt{z^2+(t)^2}$

$$\text{Ec. 20. } \varphi(r(z))=J\frac{\rho}{2\pi L}\ln\frac{\sqrt{r^2+(\frac{L}{2})^2}+(\frac{L}{2})}{\sqrt{r^2+(\frac{L}{2})^2}-(\frac{L}{2})}$$

Para el caso de eje Y, se evalúa el potencial alejado de las puntas (no sobre el cable) (figura 12c) se tiene entonces que.

$$\text{Ec. 21. } \varphi(x=t,y)=J\frac{\rho}{2\pi L}\ln\frac{\sqrt{t^2+(y+L)^2}+y+L}{\sqrt{t^2+y^2}+y}$$

Como aplicación de las anteriores ecuaciones se calcula el potencial alrededor del eje Y y Z de un cable de L= 20 metros de longitud que está enterrado a una profundidad t = 1 metro, el terreno se considera con una resistividad constante ρ = 100 Ω*m, el cable tiene un diámetro de b = 0.1 m.

Lo primero que se calcula es la resistencia R(0) que es lo que se considera como la resistencia de puesta a tierra del sistema.

$$R(0)=\frac{\varphi(0)}{J}=\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{2L}{d}+\left(\frac{1}{2}\right)\ln Kt\right),$$

$$\text{siendo } Kt=\frac{\sqrt{m^2+1}+1}{\sqrt{m^2+1}-1},\ m=2*t/(L/2)$$

$m=2*1/10=0.2,\ Kt=101.1,\ d=0.1/2=0.05$
$R(0)=(100/125.664)*(\ln(800)+0.5*\ln(101.1))$
$=0.7958*(6.6846+2.308)=7.16\Omega.$

Los libros de diseños de mallas de puesta a tierra calculan la resistencia de puesta a tierra de un cable con la siguiente ecuación (pero generalmente no explican su deducción).

$$\text{Ec. 22. } R_{hm}=\frac{0{,}183\rho a}{L}\cdot L_{og}\left[\frac{(b_{hm}+L)^2-e_{hm}^2}{e_{hm}^2-((b_{hm}-L)^2)}\right]$$ Donde: p: profundidad a la que está enterrado , L: longitud del conductor y r: radio del conductor (Seidman y Mahrous, 1985).

Al remplazar los datos en la ecuación se tiene que R= (0.796)*(9.68 - 2 + 0.1 - 0.0025 + 0.00000313) = 6.2 Ω. Que es un valor muy similar al encontrado en la ecuación deducida.

Como resumen se compilan en la tabla 2 los voltajes de paso a lo largo del eje z, se puede ver la figura 6, generados por una inyección de corriente J = 50 A, a través de un cable enterrado de una longitud L=20 m, a una profundidad t = 2 m, con un diámetro d=0,1m en un terreno con una ρ = 100 Ω*m, estos valores se encontraron de acuerdo a las ecuaciones Ec. 19 y Ec.20.

Valor de z en [m]	Valor de r [m]	Kt=(raiz(r^2 + (L/2)^2)+(l/2))/ (raiz(r^2 + (L/2)^2)-(l/2))	ln Kt	ρ/(2*π*L)	Resistencia de propagación sobre el suelo, φ(z)/J [Ω]	% Caida de Voltaje a lo largo del eje z	Voltaje de paso Vp, si I (J) = 50 A, Vp(z) [V]
0,1	1,005	10,050	5,987	0,796	4,77		
1	1,414	10,100	5,308	0,796	4,23	0,72	35,89
2	2,236	10,247	4,407	0,796	3,51	0,53	26,64
3	3,162	10,488	3,737	0,796	2,97	0,40	19,85
4	4,123	10,817	3,238	0,796	2,58	0,31	15,36
5	5,099	11,225	2,852	0,796	2,27	0,25	12,26
6	6,083	11,705	2,544	0,796	2,03	0,20	10,02
7	7,071	12,247	2,292	0,796	1,82	0,17	8,33
8	8,062	12,845	2,083	0,796	1,66	0,14	7,03
9	9,055	13,491	1,906	0,796	1,52	0,12	6,00
10	10,050	14,177	1,756	0,796	1,40	0,10	5,18
11	11,045	14,900	1,626	0,796	1,29		

Tabla 2. Tabla en donde se consignan los datos para el cálculo del voltaje de paso a lo largo del eje Z.

5. Diseños de sistemas de puesta a tierra

Se revisará a continuación diseños prácticos de sistemas de puesta a tierra utilizando varillas. Para la cual se requiere realizar algunas simplificaciones y utilizar factores de corrección por la interferencia que se genera al enterrar varias varillas.

Todas las ecuaciones para una sola varilla ya fueron revisadas, cuando se utilizan más de una varilla se presentan zonas de interferencia que requiere que se introduzcan factores de corrección. Para ilustrar mejor el concepto la figura 7. Muestra las líneas de interferencia generadas al enterrar varillas adicionales.

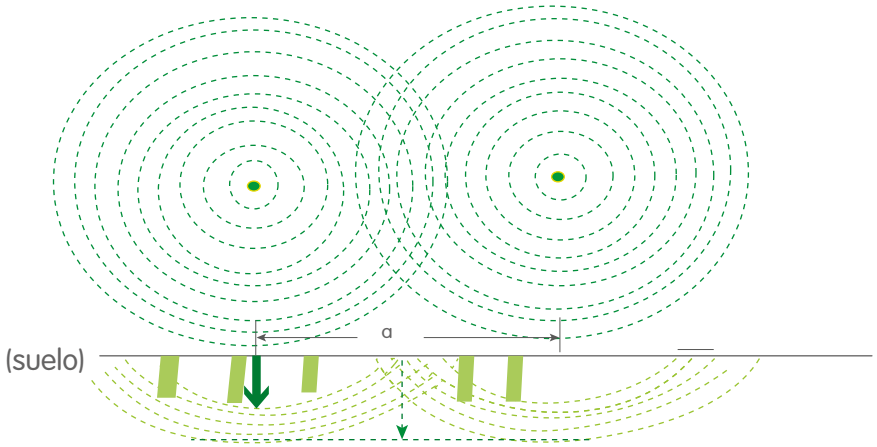


Figura 7. Grafica que muestra la interferencia generada por dos varillas.

Cuando se utiliza más de una varilla para realizar la puesta a tierra, se requiere calcular la resistencia equivalente, que corrija el efecto por interferencia.

$$R_h = R_{hh} + \sum_{m=1}^{n} R_{h_m}$$

En donde:

Rh: Resistencia que presenta la varilla h en el conjunto, considerando la interferencia generada por las otras varillas.

n: Número de varillas paralelas.

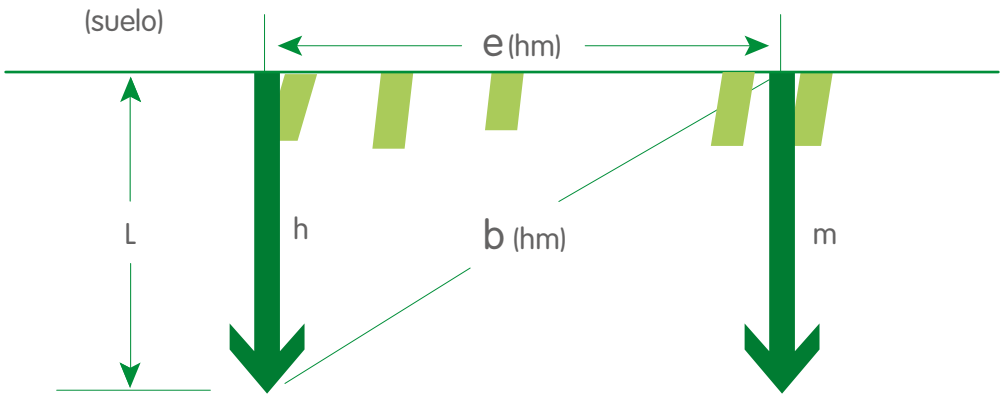
R_{hh}: Resistencia individual de cada varilla, no considerando el efecto de las otras varillas.

R_{h_m}: Incremento en la resistencia de la varilla h, generado por la interferencia de las otras varillas.

$$\text{Ec. 22. } R_{hm} = \frac{0{,}183\rho a}{L} \cdot L_{og}\left[\frac{(b_{hm}+L)^2 - e_{hm}^2}{e_{hm}^2 - ((b_{hm}-L)^2)}\right]$$

(Kinderman y Campanolo, 1991)

La figura 8. Muestra las distancias involucradas en el cálculo del factor de interferencia generado por las varillas *h* y *m*.



Variables para realizar el calculo del coeficiente de interferencia entre las varillas h y m

Figura 8. Gráfica que muestra la variable para el cálculo de la interferencia.

e(hm): espaciamiento entre la varilla (h) y la varilla (m), en metros.

L: Longitud de la varilla, en metros.

$$\text{Ec. 23.}\quad b(hm) = \sqrt{L^2 + e^2_{(hm)}}$$

Es claro que hay que realizar una matriz que incluya todas las interacciones, esto es:

$$R_1 = R_{11} + R_{12} + R_{13} + \ldots + \ldots R_{1n}$$

$$R_2 = R_{21} + R_{22} + R_{23} + \ldots + \ldots R_{2n}$$

$$Rn = Rn_1 + Rn_2 + Rn_3 + \ldots + \ldots Rnn$$

Una vez se determine el valor de las n resistencias hay que hallar el valor de la resistencia equivalente Req. Dado que se tiene n resistencias en paralelo el problema se reduce a resolver el circuito correspondiente. La figura 9, muestra el remplazo de n resistencias por una sola resistencia denominada *Req*.

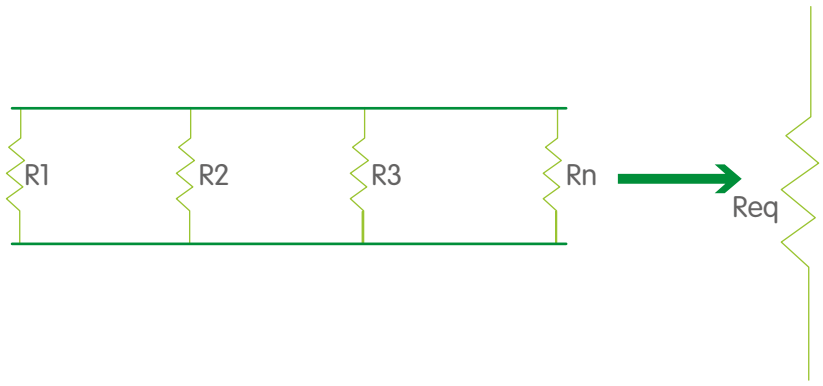


Figura 9. Resistencia equivalente de un paralelismo de resistencias.

Por teoría de circuitos

$$\frac{1}{Req.} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

$$\text{Ec. 24. } R_{eq} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}}$$

Coeficiente de reducción Kp: Es definido como la relación entre la resistencia equivalente que representa el paralelismo de las varillas de puesta a tierra y la resistencia de puesta a tierra que presenta una sola varilla.

$$\text{Ec. 25. } K_p = \frac{R_{eq}}{R_{(Varilla)}}$$

Como ejemplo de aplicación se calcula la resistencia de puesta a tierra que presenta una torre que se aterrizó utilizando cuatro varillas de 2,4 m con un diámetro, de media pulgada (1/2"). Las varillas se instalaron con una separación de 3 metros, (ver figura 10). Para simplificar se supone que el terreno tiene una resistividad ρ= 100 Ωm.,

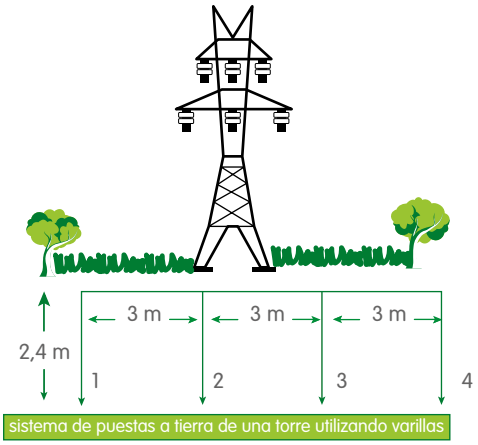


Figura 10. Sistema de puesta a tierra utilizando varillas.

Para calcular la resistencia de puesta a tierra que presenta el sistema de cuatro varillas, se debe construir la matriz de resistencias propias y las resistencias de interferencia.

$$R_1 = R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{14}$$

$$R_2 = R_{21} + R_{22} + R_{23} + R_{24}$$

$$R_3 = R_{31} + R_{32} + R_{33} + R_{34}$$

$$R_4 = R_{41} + R_{42} + R_{43} + R_{44}$$

Dado que las varillas son de las misma longitud y diámetro: $R_{11} = R_{22} = R_{33} = R_{44}$, utilizando la ecuación para calcular la resistencia de puesta a tierra de la varilla se utiliza la ecuación Ec. 11.

$$R(0) = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \ln\frac{4L}{d}, R(1,1) = \frac{\rho}{2\pi * 2.4} \cdot \ln\frac{4*2,4}{\left(\frac{1}{2}\right)*2,54*10^{-2}} =$$

$$0,44*\rho$$

Por simetría, las siguientes resistencias de interferencia son iguales:
$R_{12} = R_{21} = R_{23} = R_{32} = R_{34} = R_{43}$
y son iguales a

$$\text{Ec. 26. } R_{hm} = \frac{0,183\rho a}{L} \cdot Log\left[\frac{(b_{hm}+L)^2 - e_{hm}^2}{e_{hm}^2 - ((b_{hm}-L)^2)}\right]$$

$$R_{(1,2)} = \frac{0,183\rho a}{2,4} \cdot Log\left[\frac{(b_{1,2}+L)^2 - e_{1,2}^2}{e_{1,2}^2 - ((b_{1,2}-L)^2)}\right]$$

$$b_{1,2} = \sqrt{L^2 + e_{(hm)}^2} = \sqrt{2,4^2 + 3_{,}^2} = 3,84 \text{ m}$$

$$e_{1,2} = 3$$

$$R_{(1,2)} = \frac{0,183\rho a}{2,4} \cdot Log\left[\frac{(3,84+2,4)^2 - 3_{,}^2}{3_{,}^2 - ((3,84-2,4)^2)}\right] = 0,048*\rho a$$

$$R_{13} = R_{31} = R_{42} = R_{24} = R_{(1,3)} = \frac{0,183\rho a}{2,4} \cdot$$

$$Log\left[\frac{(b_{1,3}+L)^2 - e_{1,3}^2}{e_{1,3}^2 - ((b_{1,3}-L)^2)}\right], e_{1,3} = 6 \text{ m}, b_{1,3} = 6,46 \text{ m}$$

$$R_{(1,3)} = \frac{0,183\rho a}{2,4} \cdot Log\left[\frac{(6,46+2,4)^2 - 6_{,}^2}{6_{,}^2 - ((6,46-2,4)^2)}\right] = 0,0257*\rho a$$

$R_{14} = R_{41}$, $e_{1,4} = 9$ m, $b_{1,4} = 9{,}31$ m

$$R_{(1,2)} = \frac{0{,}183\rho a}{2{,}4} \cdot Log\left[\frac{(9{,}31+2{,}4)^2 - 9^2}{9^2 - ((9{,}31 - 2{,}4)^2)}\right] = 0{,}0173*\rho a$$

Cálculo de R_1, R_2, R_3, R_4:

$R_1 = 0{,}44*\rho a + 0{,}048*\rho a + 0{,}0257*\rho a + 0{,}0173*\rho a = 0{,}531*\rho a$

$R_2 = 0{,}048*\rho a + 0{,}44*\rho a + 0{,}048*\rho a + 0{,}0257*\rho a = 0{,}5617*\rho a$

$R_3 = 0{,}0257*\rho a + 0{,}048*\rho a + 0{,}44*\rho a + 0{,}048*\rho a = 0{,}5617*\rho a$

$R_4 = 0{,}0173*\rho a + 0{,}0257*\rho a + 0{,}048*\rho a + 0{,}44*\rho a = 0{,}531*\rho a$

$$R_{eq} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{0{,}531*\rho a} + \frac{1}{0{,}5617*\rho a} + \frac{1}{0{,}5617*\rho a} + \frac{1}{0{,}531*\rho a}} = 0{,}136*\rho a$$

Teniendo en cuenta que la resistividad aparente (ρa) = 100 Ωm, $R_{eq} = 13{,}6\ \Omega$

Se calcula a continuación el coeficiente de reducción Kp.

$$\text{Ec. 26. } K_p = \frac{R_{eq}}{R_{(Varilla)}}$$

$K_p = \frac{0{,}136*\rho a}{0{,}44*\rho a} = 0{,}309 = 0{,}31$, significa que cuatro varillas en paralelo reducen la resistencia de puesta a tierra al 31% de la resistencia que presenta una sola varilla.

Para evitar la cantidad de cálculos tan tediosos que se requiere realizar para calcular la resistencia de puesta a tierra cuando se usa más de una varilla, se tabulan los valores de Kp dependiendo la separación y el número de varillas que se utilice. Dado que en Colombia la varilla típica utilizada es la de 2,4 m, ½" de diámetro se realiza la tabla 3 para este elemento.

Con el procedimiento visto se puede calcular la resistencia de puesta a tierra para una torre o un poste en el que por ejemplo se instala un transformador, con la única salvedad que se requiere realizar la medida de resistividad del terreno y luego caracterizarlo para encontrar la resistencia aparente (ρa). El cálculo se puede realizar porque, para aterrizar una estructura (torre o poste) lo que generalmente se requiere es un valor de puesta a tierra definido, más que el diseño completo de una malla de puesta a tierra.

L = 2,4 m	d= ½"	R0(varilla) = 0,44 ρa						
Separación	**2,5 m**		**3 m**		**4 m**		**5 m**	
Número de varillas	R(eq) Ω	Kp	R(eq) Ω	Kp	R(eq) Ω	Kp	R(eq) Ω	Kp
2	0,248ρa	0,564	0,244ρa	0,555	0,239ρa	0,543	0,235ρa	0,535
3	0,178ρa	0,406	0,174ρa	0,395	0,168ρa	0,381	0,164ρa	0,372
4	0,141ρa	0,321	0,136ρa	0,310	0,130ρa	0,297	0,164ρa	0,288
5	0,118ρa	0,268	0,113ρa	0,258	0,107ρa	0,245	0,104ρa	0,236
6	0,102ρa	0,231	0,097ρa	0,221	0,092ρa	0,209	0,088ρa	0,201
7	0,090ρa	0,204	0,085ρa	0,195	0,080ρa	0,182	0,077ρa	0,175
8	0,080ρa	0,183	0,076ρa	0,174	0,071ρa	0,162	0,068ρa	0,155
9	0,073ρa	0,166	0,069ρa	0,157	0,064ρa	0,147	0,061ρa	0,140
10	0,067ρa	0,152	0,063ρa	0,144	0,059ρa	0,134	0,056ρa	0,127
11	0,062ρa	0,140	0,058ρa	0,133	0,054ρa	0,123	0,051ρa	0,117
12	0,057ρa	0,131	0,054ρa	0,023	0,050ρa	0,114	0,048ρa	0,108
13	0,054ρa	0,122	0,051ρa	0,115	0,047ρa	0,106	0,044ρa	0,101
14	0,051ρa	0,115	0,048ρa	0,108	0,044ρa	0,100	0,041ρa	0,094
15	0,048ρa	0,109	0,045ρa	0, 102	0,041ρa	0,094	0,039ρa	0,089

Tabla 3. Tabla para calcular el factor de Reducción Kp cuando se utilizan múltiples varillas de puesta a tierra.

Para mostrar cómo se puede utilizar la tabla 3 se realizará un ejercicio de aplicación.

Suponiendo que se tiene un sistema de puesta a tierra construido con ocho varillas de una longitud L = 2,4 M y un diámetro de ½" pulgada, e instaladas con una separación de 3 m y en un terreno que tiene una resistividad aparente ρa de 100 Ωm.

Con la ayuda de la tabla 3, se puede calcular la resistencia de puesta a tierra que tiene el sistema. Los datos que suministra la tabla, para ocho varillas con una separación de 3 m, son: R(eq) =0,076 ρa, K = 0,174.

Para encontrar la resistencia de puesta a tierra. R(eq) =0,076 ρa = R(eq) =0,076*100 Ωm = 7,6 Ω.

Si se quisiera saber el número de varillas que se requiere utilizar para tener una resistencia de puesta a tierra de 20 Ω es decir R(eq) <= 20 Ω

R(eq) = Kp * R0(varilla) <= 20 Ω, Kp = 20/R0 = 20/0,076 ρa =20/ 0,44*100Ωm = 0,454.

Dado que Kp = 0,454, revisando en la tabla se encuentra que para tres varillas se tiene un Kp = 0,395, que corresponde a una R(eq) = 0,174 ρa = 17,4 Ω

6. Cálculo de la resistividad aparente del suelo *p*a o *p*(a)

El suelo no tiene una resistividad constante, el suelo está conformado por varias capas cada una de las cuales tiene su propia resistividad de acuerdo como lo muestra la figura 11. Por lo tanto, se debe encontrar para efectos de simplificar los cálculos una resistividad equivalente que aquí se denominará Resistividad aparente ρa .

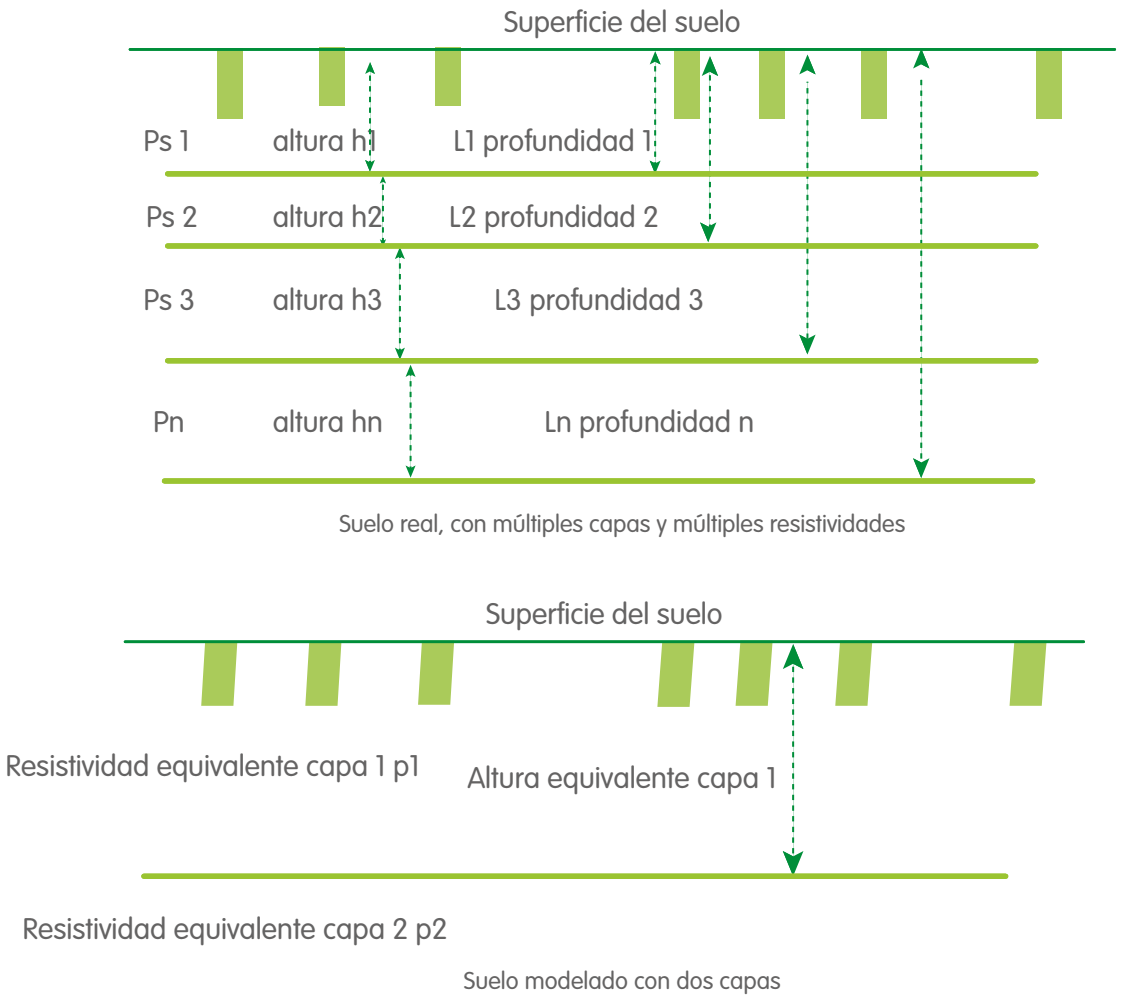


Figura 11. Modelación del suelo en dos capas.

La Resistencia equivalente ρ(eq):

ρ(eq) = (h1 + h2 + h3 + hn) / ((h1/ ρ1) + (h2/ ρ2) + (h3/ ρ3) …. (hn/ ρn))

La figura 12 muestra un suelo conformado por cuatro capas con alturas: h1 = 1m, h2=6m, h3=1m y una altura 4 de una longitud indefinida.

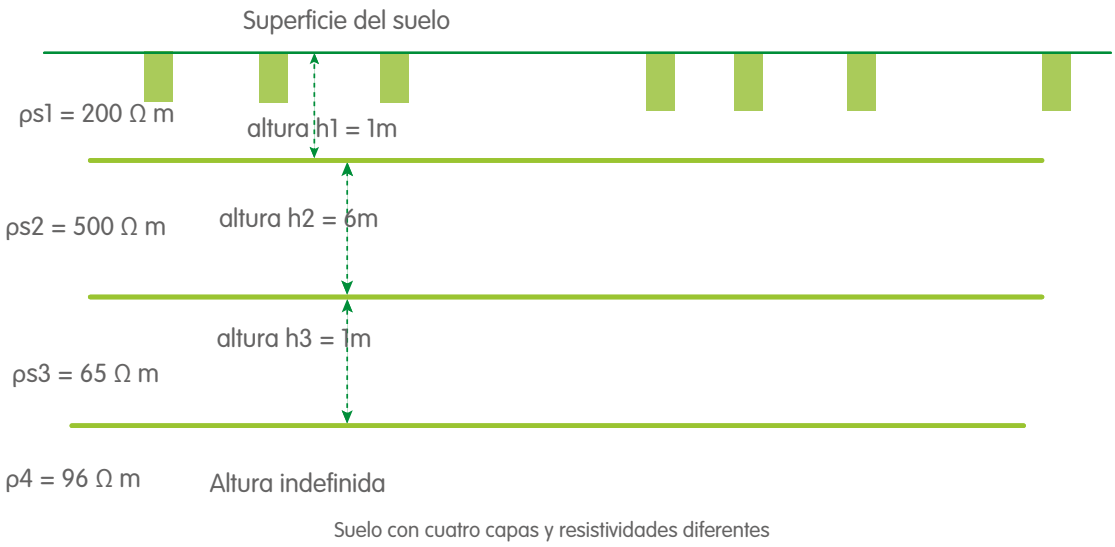


Figura 12. Resistividades de las diferentes capas.

Se encuentra la resistividad equivalente ρ(eq) = (1 + 6 +1) / ((1/200) + (6/500) + (1/65)) = 247 Ω*m, la altura h es la suma de las alturas de las capas h(eq) = 8m. y el suelo queda modelado con dos capas capa 1 de resistividad ρ(1) = 247 Ω*m y una altura o espesor equivalente h(eq) de 8 m y una segunda capa de un espesor indefinido y una resistividad ρ(2) = 96 Ω*m.

Coeficiente de penetración (α). Indica el grado de penetración de las corrientes que retornan por el sistema de puesta a tierra. Son las equivalentes al campo eléctrico E.

$\alpha = \frac{r(eq)}{h(eq)}$ donde r(eq): Radio equivalente del sistema de puesta a tierra.

El Radio equivalente r(eq) para una malla es A (area de la malla) / D (mayor dimensión del sistema de puesta a tierra). Para el caso de una malla rectangular, es la diagonal de la malla.

Coeficiente de divergencia (β) para un suelo modelado en dos capas

$$\beta = \frac{\rho(segunda\ capa)}{\rho(eq)\ primera\ capa}$$

ρ_((a)) Es la resistividad aparente encontrada con las curvas de Endreny. En donde α es la abscisa y β es la ordenada de las curvas que entregan el numero N.

$\rho_{(a)=N}\ \rho(eq).$

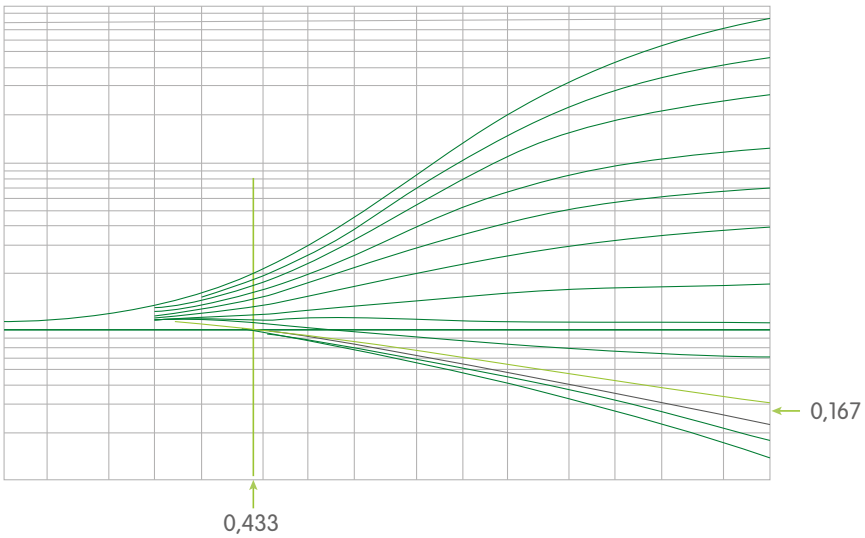


Figura 13. Curvas para calcular resistividad aparente, curvas de Endreny

Conclusiones

- Las varillas son el elemento más usado como sistema de puesta a tierra, sin embargo, no hay muchas modelos que permitan calcular las variables asociadas a su uso, por lo que el objetivo de este documento es entregar un modelo simple para realizar estos cálculos.
- La Tabla 3 permite calcular la resistencia de puesta a tierra, cuando se utiliza más de una varilla (de 2,4 m de largo) como sistema de puesta a tierra.
- Aunque la deducción del modelo puede resultar complejo las ecuaciones resultantes son de muy fácil utilización.
- Las únicas medidas que se requieren realizar para llevar a cabo los cálculos son los correspondientes a las medidas de resistividad de terreno. Omitir la medida de la resistividad del terreno, invalida cualquier resultado obtenido.

Referencias

- Fleisch, D. y Kraus, J. (1999). *Electromagnetismo con Aplicaciones*. McGraw-Hill.
- Kinderman, G. y Campanolo, J. (1991). *Aterramiento Eléctrico*. SAGRA.
- Seidman, A. y Mahrous, H. (1985). *Manual de cálculos de ingeniería eléctrica*. McGraw-Hill
- Vega, M. (1980). *Ingeniería de puesta a tierra.* Limusa.

Cómo citar este artículo:

Quintero, N. (2022). Modelo para calcular sistemas de puesta a tierra utilizando varillas. *Revista EPM,* (19), 52-72.

Gentrificación y derecho a la ciudad

Gentrification and right to the city

David Flórez Bohórquez
Profesional de Vigilancia Estratégica, Fundación EPM
david.florez@fundacionepm.org.co

Julián David Patiño Ramírez,
Analista del SIATA, EAFIT
jpatino6@eafit.edu.co

Resumen

El presente artículo tiene como propósito conceptualizar el término de gentrificación, abordando algunos procesos urbanos que generan un desplazamiento o expulsión de comunidades desfavorecidas económicamente de territorios valorizados. Igualmente, trata de definir lo que es el derecho a la ciudad y su ejercicio, viendo la planeación territorial como un acto de participación donde interactúan la razón y la emoción, como atenuante al fenómeno de gentrificación.

Palabras clave:
Gentrificación, Derecho a la ciudad, Neoliberal, Comunidad.

Keywords:
Gentrification, Right to the city, Neoliberal, Community.

Introducción

En la actualidad, las ciudades reflexionan sobre los impactos de los procesos de transformación urbana, implementados con estrategias neoliberales que lograron sustraer de los territorios lo emocional e intangible, suprimiendo los valores y lazos entre el habitante y su territorio. Las obras de mejoramiento urbano ejecutadas desplazaron comunidades en nombre del bien común y se generó una reconquista de otras comunidades con mayores ingresos económicos. A estos fenómenos de desplazamiento se le conoce con el nombre de gentrificación.

En el espacio físico geográficamente delimitado, al que llamamos ciudad, se llevan a cabo dinámicas, cargadas de emociones, memoria, cultura y relaciones, que están reglamentadas por algún tipo de autoridad —legal o ilegal— y es el ciudadano quien cumple y hace cumplir dichas reglas. La ciudad y el ciudadano tienen una relación inquebrantable e inalienable, que se hace visible cuando el ciudadano ejerce su derecho a la ciudad. Este derecho le da la facultad al ciudadano de cambiar su ciudad individual y colectivamente según sus sueños, deseos y cosmovisiones.

Luego de definir el termino gentrificación, sus efectos y el derecho a la ciudad sugerimos que ejercer debidamente este derecho serviría como atenuante de fenómenos de gentrificación, y se lograría poner sobre la mesa tanto la emoción, como la razón a la hora de planificar los territorios.

El articulo no busca demonizar el desarrollo, por el contrario, busca generar una reflexión de las formas y de los intereses del desarrollo urbano, además de una posible solución a estos fenómenos de gentrificación que cada vez afectan a más ciudades como Medellín, Santiago de Chile y Barcelona.

1. Gentrificación

En la actualidad, una de las reflexiones de las ciudades abarca las consecuencias de los procesos de transformación urbana, que fueron implementados con estrategias que obedecían a prácticas neoliberales de urbanismo, donde se priorizó el valor de cambio (relación transacción-rentabilidad) sobre el valor de uso (valor utilitario del territorio) (Encinas et al., 2019). Estas estrategias de índole público o privado se llevaron a cabo por las administraciones municipales para *reestructurar* la urbanización y así revitalizar ciertas zonas de interés de la ciudad, que fueron generando un fenómeno de desplazamiento local de comunidades, gracias al desarrollo, a este fenómeno se le conoce como gentrificación.

La urbanización neoliberal logró sustraer de los territorios la carga emocional de sus habitantes y suprimir el valor de la memoria y de la relación habitante-territorio, omitiendo así el cómo se identifica la población con el espacio. La eliminación de estos sentidos colectivos es el caldo de cultivo para que las propuestas y políticas de urbanización prioricen la mercantilización, producción y comercialización de la renta y de la misma manera desestimen e ignoren el valor de los territorios y sus símbolos, para dar apertura a la recolonización de estos territorios por parte de la clases medias y altas, y lograr a su vez que de manera predeterminada o no se ejecute un desplazamiento de forma directa o indirecta de las clases sociales menos favorecidas.

A este fenómeno de desplazamiento se le conoce con el término de gentrificación, que se puede definir como el proceso por el cual se reocupa un territorio por parte de las clases socioeconómicas más pudientes en detrimento de otra, expulsando los habitantes con condiciones económicas más bajas (Casgrain y Janoschka, 2013), obligándolos a habitar territorios alejados de la ciudad y en condiciones de servicios públicos y accesibilidad casi precarios. Esta expulsión o desplazamiento puede materializarse debido a situaciones como: la reinversión de capital en un espacio, que genera un alza en el valor del suelo, y los habitantes con condiciones económicas bajas no pueden pagar; la llegada de agentes con mayor capacidad de pago, que cambia las actividades económicas del territorio; y el desplazamiento directo por las irregularidades en la tenencia de la tierra por parte de los grupos socioeconómicos más desfavorecidos (Casgrain y Janoschka, 2013).

Las ciudades con estas prácticas de planeación neoliberal apelan a la renovación urbana como eje central para promover, intervenir y modificar las actividades propias de un territorio, bajo la premisa del interés general o del bien común, y dotan de legitimidad estas acciones, justificadas en términos de dinamización de la economía, con la búsqueda de inversores privados para la zona, priorizando la rentabilidad ante la estabilidad de los habitantes y el patrimonio urbanístico y arquitectónico de los territorios.

La gentrificación, proceso que se desarrolla desde mediados del siglo XX, puede darse de diferentes maneras y no necesariamente se restringe al hecho de que grandes poderes, con capitales enormes, compren zonas específicas que, a la postre, modifiquen su valor de cambio, sino que también se pueden dar procesos de gentrificación cultural, donde a las personas o a colectivos se les ve obligados a cambiar las costumbres que a través de generaciones han conservado, por el gusto de quienes con un mayor poder adquisitivo pueden disfrutar del encarecimiento cultural.

Existen algunos casos en los que las ciudades por tratar de mejorar zonas específicas que permitan una mejor calidad de vida para sus habitantes, provocan la materialización de procesos gentrificadores. Por estas razones, este término juega un papel muy importante en el desarrollo de las ciudades, ya que es un fenómeno que no se tuvo en cuenta a la hora de planificar el territorio y hoy se notan las consecuencias en ciudades como Medellín, Santiago de Chile, Barcelona y Paris, donde sus habitantes se han visto afectados por intereses superiores dominados por el turismo, el desarrollo y la renta.

El incremento del turismo en determinadas ciudades, que por sus atractivos son pasos obligados para quienes viajan a conocer y a vivir nuevas experiencias, genera que inversionistas vean un potencial para la apertura de nuevos hoteles, bares, restaurantes y comercios en general (Checa-Artasu, 2011), pues los turistas necesitan una infraestructura especifica de alojamiento que a su vez cumpla con la demanda. La construcción de dicha infraestructura, en zonas generalmente patrimoniales, comienza a ocupar lo que anteriormente eran zonas residenciales, encareciendo la calidad de vida de los habitantes, debido al turismo, ya que, por lo general los precios para los turistas son superiores, lo que crea una problemática que, a fin de cuentas, generará procesos de gentrificación, pues quienes no puedan pagar los incrementos tendrán que mudarse de sus lugares de residencia.

1.1 Localización de algunos procesos de gentrificación

Desde que se conoció el término de gentrificación, y se comenzaron a estudiar diferentes procesos gentrificadores en el mundo, han ocurrido muchos casos en las grandes urbes que nos muestran como este fenómeno afecta a las comunidades y a las personas que los habitan, ya que no tienen el nivel económico para hacer pie a la situación y quedarse en el lugar donde, a través de los años, han desarrollado su vida cotidiana. Por ejemplo, la ciudad de Paris, en Francia, al año pierde 12.000 habitantes porque los valores de la propiedad se han duplicado en los últimos 10 años. Un aspecto que se destaca, en ese caso, es la apariencia, se transforma la imagen de la ciudad y eso hace que ciertos sectores se vuelvan codiciados (Concepto, s.f.).

Entretanto, para analizar este tipo de fenómenos no hay que ir al otro lado del Atlántico en el viejo continente, en ciudades de Colombia y específicamente en Medellín también ocurren estos procesos que conllevan un deterioro de las comunidades afectadas, en la comuna 14, El Poblado, esta problemática se observó anteriormente cuando los propietarios de muchas de las fincas del sector tuvieron que migrar debido al alto costo de la tierra y a que nuevos intereses iban en pro del desarrollo de este sector; a su vez, se observan por ejemplo, sectores como el Hoyo, cercano a la transversal inferior, y La María, cercano a lo que se conoce como La Cola del Zorro, donde el nivel económico de los habitantes es muy diferente a la generalidad de la comuna y eventualmente es posible que para nuevas construcciones se compren la mayoría de estos terrenos a precios que externalizan variables intangibles y de infraestructura, que no reflejan la realidad económica de sus propietarios y el valor emocional que tienen las viviendas.

Otro de los casos relevantes, que ha tomado fuerza en nuestra ciudad, es la construcción de Parques del Rio Norte, que busca generar nuevos espacios de apropiación para la ciudad y principalmente para los habitantes del sector, pero este proceso conllevaría la materialización de procesos gentrificadores, ya que el valor del suelo en la zona podría aumentar, y las personas, de acuerdo con los ingresos medio-bajos, podrían verse afectadas por una valorización sin precedentes en el lugar, lo que se traduciría en la obligación inequívoca de tener que trasladarse hacia otras zonas mucho más asequibles de acuerdo con sus ingresos.

2. Derecho a la ciudad

La ciudad es un espacio físico geográficamente delimitado, cargado de valor propio y heredado, que habitan, producen y utilizan todos los individuos allí presentes, que generan un entramado de relaciones entre los mismos habitantes y sus entornos. Así mismo, se puede decir que es un espacio de relaciones sociales, trabajos conjuntos y comunitarios que dan como resultado la construcción de infraestructuras físicas e intelectuales que son reflejo de sus habitantes y sus culturas. Al ser la ciudad un espacio donde a menudo interactúan individuos vivos, que se relacionan y están en constante cambio, también podemos considerarla como un sistema vivo que genera permanentemente movimientos, metamorfosis y mutaciones en sus dinámicas sociales y físicas. De esta manera, quien hace parte activa o inactiva de este espacio denominado ciudad se le conoce como ciudadano.

Históricamente, el término ciudadano se ha referido a una persona que pertenece a un determinado territorio, este confiere al individuo un estatus particular en el sistema sociopolítico y lo vincula a un conjunto de roles —derechos y deberes—. Es de anotar que el término ciudadano solo se refería a personas con derechos avalados por las repúblicas, ciudades-estado o imperios, generalmente esta denominación la tenían los hombres de élites sociales y económicas favorecidas, excluyendo a las mujeres y a los esclavos que por su condición biológica y genética no eran sujetos de derechos (Lizcano, 2012).

El ciudadano (este término refiriéndose a hombre y mujer) hoy en día, a partir de las luchas incansables de los antepasados, posee ciertas comodidades y derechos que han resultado de una batalla interminable en búsqueda de la equidad entre los menos favorecidos y los pequeños grupos privilegiados que poseían el monopolio de los estados y por consiguiente el monopolio de los derechos, a lo que pocas veces respondían con deberes que subsanaran su posición de élite. Las personas, hoy en día, en todas sus formas, etnias, religiones, ideologías políticas, entre otros, son sujetos de derechos.

Todas la relaciones y dinámicas que se llevan a cabo en la ciudad están enmarcadas en una serie de reglamentos o comportamientos de tipo legal, cultural o designados por algún tipo de autoridad y es el ciudadano quien cumple y hace cumplir dichas reglas. De esta manera, la ciudad y sus dinámicas son reflejo de las acciones de sus ciudadanos y son estos mismos los que están invitados a construir, modificar y repensar su territorio, según se identifiquen con él y a convertir estas acciones en derechos. La ciudad y el ciudadano tienen una relación sólida, la cual se fortalece cuando el ciudadano ejerce su derecho a la ciudad. Este derecho le da la facultad al ciudadano de habitar y cambiar su territorio según sus sueños, deseos y cosmovisiones.

Partiendo de la premisa de que actualmente el 58% de los seres humanos ocupamos las ciudades, y se espera que para el año 2050 ese porcentaje aumente al 70% (Banco Mundial, 2020), es imperativo coordinar y garantizar que todos tengan una vida digna y se garanticen los derechos equitativamente acordes con las necesidades de cada una de las personas y los colectivos; esto es lo que representa el derecho a la ciudad. Teniendo en cuenta que en muchos países las brechas sociales y económicas son enormes (Wolf et al., 2019), no se le pueden garantizar derechos básicos solo a quienes puedan pagarlos, sino también a quienes no pueden. Es necesario que las personas tengan libre movilidad en espacios públicos aptos para el goce de todos los grupos etarios y acceso total a los servicios públicos básicos como el agua, la electricidad y el gas, los cuales a su vez son una condición mínima para la erradicación de la pobreza (Organización Internacional de Trabajo, s.f).

El derecho a la ciudad no se restringe única y exclusivamente a los espacios y servicios públicos,

las ciudades deben ser para las personas y en su totalidad deben tratar de promover la participación, incluyendo a todas las etnias, religiones, orientaciones políticas, orientaciones sexuales, entre otros, y a su vez, deben mostrar sinergia con la naturaleza, teniendo en cuenta la coyuntura actual de cambio climático, según estudios para el 2050 podría dejar muchos afectados por los fenómenos globales asociados a esta problemática, sumando cada día más personas vulnerables que no poseen ni la capacidad ni las herramientas necesarias para enfrentar este escenario global (Organización de las Naciones Unidas, 2021). Las ciudades deben aportar a la mitigación y reducción de impactos ambientales negativos.

Como lo menciona la ONU, es importante también resaltar el vínculo entre los espacios rurales y los espacios urbanos, ya que este vínculo inclusivo beneficia a las personas más empobrecidas y asegura la soberanía alimentaria, tema relevante porque permite a las comunidades definir sus propias estrategias sostenibles de producción de alimentos. Para el 2020, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura reporta que 811 millones de personas en el mundo se levantaban cada día sin saber qué comer, a partir de la pandemia de COVID-19 se incrementó este rubro en aproximadamente 161 millones de personas con respecto al 2019 (2020). A pesar de los repuntes que habían tenido estas estadísticas antes de la pandemia, esta crisis social, de salud pública y económica ha presentado un reto superior para las ciudades ya que allí es donde los más desfavorecidos, sea por conflictos armados o por las condiciones precarias del campo, llegan a resguardarse o a buscar un mejor futuro, asentándose en zonas indebidas y con condiciones de vida precarias.

Para finalizar, el derecho a la ciudad no se debe ver simplemente como los derechos fundamentales que posee cada uno individualmente, el derecho a la ciudad es un todo que permite que las personas vivamos en armonía con nuestros entornos, infraestructuras y con las políticas públicas adecuadas que facilitan el correcto desarrollo de los individuos de una ciudad. De esta manera, podemos ver la planificación territorial como un acto de participación, donde nos imaginamos el territorio y ponemos en la misma mesa la razón y la emoción, sin ningún tipo de exclusión, asegurando que todas la personas o grupos que quieran participar puedan hacerlo y tengan igualdad de condiciones frente a otros actores, dando valor comunitario a una opinión o propuesta individual o colectiva.

La razón tiene un papel importante en estos actos de planificación participativa, porque nos permite explorar, discutir y entender riesgos y amenazas desde un punto de vista técnico y académico. Estos puntos de vista, generalmente, son propuestos por la academia y los entes territoriales. Pero la razón por si sola es frágil, porque no contempla externalidades intangibles que impregnan de valor y sentimientos los espacios estudiados, es por esto que la emoción debe tener también un papel protagónico a la hora de planificar el territorio, ya

que incluye miradas inmateriales como la identidad individual y colectiva y la memoria, dándonos la posibilidad de conocer lo que nos imaginamos, lo que amamos, lo que soñamos y cómo nos identificamos con el espacio y su entorno.

3. ¿Cuál es la relación entre derecho a la ciudad y gentrificación?

Una de las soluciones para frenar la gentrificación es reivindicar el derecho a la ciudad, pues la rentabilización financiera, como principio único en la planeación urbana, se convierte en factor de degradación que impide otras formas de desarrollo que integren y prioricen la calidad de vida. Por lo tanto, ejercer el derecho a la ciudad ayudaría a ejecutar proyectos de desarrollo urbano más coherentes con las realidades comunitarias sin poner en riesgo la calidad de vida de estas, permitiendo un habitar activo en términos de participación ciudadana, donde se pueda *poner en la misma mesa la razón y la emoción* a la hora de planificar el territorio, Es imprescindible el buen uso de la razón para valorar técnica, económica y ambientalmente las propuestas de planificación, y de la emoción para tener en cuenta factores de apropiación, identidad y memoria de los territorios, construyendo propuestas de desarrollo en dirección comunidad–entidades municipales. De esta manera se conserva tanto la estabilidad de los habitantes como el patrimonio urbano y arquitectónico, atenuando así la gentrificación.

Conclusiones

Cabe resaltar que no todos los procesos de construcción y desarrollo son válidos a costa de la vida de las personas, todos tenemos derechos que nos avalan como individuos pertenecientes a ciertos colectivos llamados estados o ciudades y nuestros derechos deben ser respetados siempre sin importar el nivel de ingresos o educación.

Estos procesos de gentrificación se generan por el afán de la sociedad de construir nueva infraestructura, pero antes de todo se debería pensar a quién y de qué forma se está afectado con las intervenciones urbanas y si realmente vale la pena acabar con colectivos completos, por el ego de las ciudades o de individuos que quieren pasar a la historia como constructores de sociedades que muchas veces están omitiendo las realidades que se manifiestan en el día a día, negando a ciertas comunidades el derecho a la ciudad.

El articulo no busca demonizar el desarrollo y sus agentes, por el contrario, busca dar a conocer este problema que cada vez se materializa con mayor intensidad en las ciudades, y generar una reflexión de las formas y de los intereses del desarrollo urbano, que aporte a la búsqueda de una posible solución a estos fenómenos que cada vez afectan a más ciudades como Medellín, Santiago de Chile y Barcelona.

Recomendaciones

En la actualidad han surgido algunas preguntas entorno a cómo se puede combatir este flagelo silencioso que afecta a muchas comunidades en el mundo. Para atenuar la aparición del fenómeno de gentrificación recomendamos que las comunidades sean incluidas en los procesos de planificación de

valorización y construcción de nuevas obras de infraestructura públicas o privadas. Desde nuestro punto de vista, cada proceso debe examinarse con lupa desde las administraciones municipales, para evitar que con una intervención las comunidades se vean más afectadas que beneficiadas por el proceso.

Un aporte inicial desde las alcaldías es la reglamentación de la intervención de profesionales sociales, que los faculte para la realización de estudios de impacto de las obras de transformación urbana sobre las comunidades asentadas en un territorio determinado, así el progreso de desarrollo de las ciudades logrará ser cada vez más sostenible socialmente, atenuando procesos de gentrificación que afectan directamente a los ciudadanos y sus derechos básicos a habitar y gozar de los espacios de las urbes.

Referencias

- Banco Mundial. (20 de Abril de 2020). *Desarrollo urbano.* https://rb.gy/nvmiht
- Casgrain, A., y Janoschka, M. (2013). Gentrificación y resistencia en las ciudades latinoamericanas. El ejemplo Santiago de Chile. *Andamios, 10*(22), (22), 19-41.
- Checa-Artasu, M. (2011). Gentrificación y cultura: algunas reflexiones. *Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales.* https://rb.gy/piyxqk
- Concepto. (s.f.). Gentrificación. Obtenido de https://rb.gy/ioion9
- Encinas, F., Truffello, R., Aguirre, C., y Hidalgo, R. (2019). *Especulación, renta de suelo y ciudad neoliberal. O por qué con el libre mercado no basta.* ARQ (Santiago). http://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962019000200120
- Lizcano, F. (2012). Conceptos de ciudadano, ciudadanía y civismo. *Polis revista latinoamericana*, (32). https://rb.gy/jawjqt
- Organización de las Naciones Unidas. (14 de septiembre de 2021). *El cambio climático puede provocar 216 millones de desplazados en el año 2050*. https://rb.gy/sqg5qf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020). *Los efectos de la COVID-19 en la seguridad alimentaria y la nutrición: elaboración de respuestas eficaces en materia de políticas para abordar la pandemia del hambre y la malnutrición.* https://rb.gy/kiigwg
- Organización Internacional de Trabajo. (s.f.). *Servicios públicos: agua, gas, electricidad*. https://rb.gy/4wfjuo
- Wolf, G., Hincapié, H., y Gelacio, D. (2019). La ciudad como espacio urbano neoliberal – planteamientos sobre la planificación del territorio en la ciudad de Medellín. *El Ágora USB, 19*(2), 512-536. https://doi.org/10.21500/16578031.4390

Cómo citar este artículo:

Flórez, D. y Patiño, J. (2022). Gentrificación y Derecho a la Ciudad. *Revista EPM,* (19), 73-82.

La comunicación y la vigilancia estratégica como parte fundamental de la gestión del conocimiento, dentro de las organizaciones empresariales

Communication and strategic surveillance as a fundament part of knowledge management, within business organizations

Estefanía Londoño Delgado
Equipo de Vigilancia Estratégica, Biblioteca EPM
estefania.londono@fundacionepm.org.co

Sandra Milena Naranjo Diosa
Equipo de Vigilancia Estratégica, Biblioteca EPM
sandra.naranjo.diosa@fundacionepm.org.co

Resumen

En todos los sistemas empresariales, las personas y su capacidad de pensamiento constituyen el recurso indispensable para que estos continúen vivos y progresen en un mercado cambiante e incierto. La Gestión del Conocimiento se ocupa específicamente de gestionar el capital intelectual desarrollado por dicho recurso humano para una mayor adaptabilidad y flexibilidad de la organización.

Así mismo, para lograr la implementación y desarrollo de un proceso de Gestión del Conocimiento (GC) es importante considerar que hay factores que se comprenden como necesidades, problemas o desafíos básicos que se pueden resolver con el apoyo de procesos clave de la empresa, pues al establecer estos vínculos se puede enriquecer y facilitar el alcance de las metas. En este caso, se presentarán los procesos de Vigilancia y Comunicación estratégicas, que pueden aportar a la GC, tanto a nivel individual, así como en alianza, de modo que la organización se transforme para consumir, generar, divulgar y asimilar conocimientos propios y externos de manera efectiva, lo cual mejorará su competitividad, desarrollo e innovación.

Palabras clave:
Gestión del conocimiento, Comunicación estratégica, Vigilancia estratégica, Capital intelectual, Competitividad.

Keywords:
Knowledge management, Strategic communication, Strategic surveillance, Intellectual capital, Competitiveness.

Introducción

Las empresas, compañías u organizaciones son sistemas vivos gracias a su base fundamental que es el recurso humano y su capacidad de pensar, es importante reconocer que el gran porcentaje de los recursos de la mayoría de estas organizaciones independientemente de factores como tamaño, robustez, experiencia o el sector industrial al que pertenezcan, se compone por las personas que diariamente aportan su tiempo, conocimientos, habilidades y destrezas en diferentes roles, para que todo el engranaje de los demás recursos marche de manera óptima y de este modo los sistemas empresariales continúen vivos y progresen.

Tanto así que, pese a las nuevas tecnologías de información y sus cualidades de brindar mayores y mejores opciones para el tratamiento de datos, además de los grandes avances en investigaciones y soluciones del área de la inteligencia artificial, hasta el día de hoy no se ha logrado que una computadora llegue a desarrollar pensamiento como los seres humanos, o tomar decisiones con base a experiencias o emocionalidad.

De este modo, se puede decir que, aunque se implementen las tecnologías más sofisticadas o los procesos de automatización más refinados, las personas y todo su bagaje en cuanto a capacidad de análisis, acumulación de experiencias y calidez humana, lo cual pueden combinar, relacionar y aplicar a la hora de ejecutar una acción o tomar una decisión, son insustituibles y en ocasiones la base fundamental para que dichas tecnologías puedan realizar las funciones que se necesitan de ellas.

Sin embargo, en un mercado cambiante e incierto, este recurso humano está expuesto a diferentes condiciones, problemáticas y características que pueden ser sociales, económicas, culturales, comportamentales y sobretodo, exposición a grandes volúmenes de información. La gestión de todos estos elementos supone un gran reto al interior de las empresas ya que es desde allí donde se crean entornos saludables para el desarrollo de profesionales y expertos en las diferentes actividades productivas, además del cuidado y respeto por el ser. Es aquí cuando la administración del talento humano cobra valor como un proceso orientado a la amplificación, mejora y conservación del esfuerzo, las experiencias, la salud, los conocimientos, las habilidades, etc., de los colaboradores, en beneficio del individuo, la organización misma e incluso de la sociedad en general (Medina, 2015).

Así pues, dentro de la administración del talento humano se busca gestionar todas aquellas características y condiciones que influyen o afectan a las personas involucradas en la organización, el conocimiento es uno de esos aspectos que cobra vital importancia en el contexto actual, llegando a considerarse como un activo que se puede gestionar, medir y valorar como los demás bienes o recursos de la empresa, de ahí que se establezca la gestión del conocimiento como un área a implementar y desarrollar para alcanzar niveles altos de competitividad y desarrollo de la innovación.

1. Sobre la gestión del conocimiento

La Gestión del conocimiento se ocupa específicamente del capital intelectual y de desarrollar la cualidad de adaptabilidad y flexibilidad de la organización para abordar el cambio con respecto a las condiciones del entorno en el que se encuentra. Esto permite su supervivencia.

El conocimiento se entiende como un acumulado de ideas, premisas y percepciones soportadas en un contexto dado. Son datos sobre hechos y experiencias y la Gestión del conocimiento busca potenciarlos, generarlos y adquirirlos para garantizar el valor agregado y la calidad en la oferta de una empresa, lo que termina resultando en rentabilidad financiera (Botero, 2007).

Según la teoría planteada por los autores Ikujiro Nonaka, y Hirotaka Takeuchi, se reconocen 3 grandes grupos o tipos de conocimiento:

1.1 Conocimiento tácito

Representa el 80% del conocimiento de una organización y en este se consideran: la intuición, valores, creencias e instintos. Es altamente emotivo.

Su transferencia en las empresas se logra a través de las redes informales de comunicación y se adquiere desde la práctica combinada con el proceso de relación directa con quien tiene o es poseedor del conocimiento; lo que representa a la vez una limitante para su recolección y transmisión total, ya que gran parte de este conocimiento está alojado en el subconsciente del poseedor (Botero, 2007).

1.2 Conocimiento estructural

Representa el 20% del conocimiento de una organización y en este se consideran: datos y teorías. Su captura se hace de manera directa y física a partir de información concreta y comprobada científicamente, disponible en diversas fuentes para convertirse en la teoría que soporta a la organización. Dos cualidades importantes de este tipo de conocimiento es que es formalizable y por ello es de fácil transmisión entre las áreas de la compañía. Adicionalmente este conocimiento puede subdividirse en 2 tipos según Botero (2007):

Explícito: expresado por medio de símbolos o datos que generalmente están almacenados, codificados y localizados de forma estratégica en determinado punto físico, como, por ejemplo: los manuales de funciones, de imagen, de realización de documentos escritos, de ruedas de prensa, o la documentación de un procedimiento.

Implícito: contenido en un "producto, servicio, programa, proceso, herramienta; y que, por algunas razones,a veces de seguridad, no se hace evidente" (Botero, 2007).

Ahora, para consolidar el concepto de GC, de acuerdo con el Grupo de trabajo informal Knowledge Management (KM), del equipo de Evaluación de las Naciones Unidas (UNEG), se entiende como definición que:

> La gestión del conocimiento es un proceso de aprendizaje colaborativo mediante el cual se intercambian, analizan y ponen en práctica conocimientos y experiencias. Dicho proceso tiene como objetivo incentivar la acción y lograr un impacto a través de una comprensión más profunda de los problemas relevantes, el fortalecimiento de los resultados institucionales y de los programas y la influencia en la formulación de políticas y los debates mundiales. (World Food Programme, 2013)

Para documentar todo el proceso y la finalidad planteada desde la GC, existen modelos como el que plantea Ikujurio Nonaka que, según García (2016) "retoma el conocimiento como una

dimensión central del ser humano y lo lleva al plano organizacional en su modelo destaca la importancia de la racionalidad, reconociendo y valorando aspectos sociales subjetivos".

El modelo destaca la transcendencia de la experiencia práctica y considera que el conocimiento es un asunto relacional, es decir, que se construye socialmente, además, se describen las vías por las cuales el conocimiento es generado, transferido y re-creado. El modelo propone que las compañías fuertes en conocimiento propicien la interrelación del saber tácito y explícito, pues, para que el conocimiento tácito pueda ser aprovechado, es necesario extraerlo del contexto de origen para luego formalizarlo. Este ciclo de conversión, se resume en cuatro procesos descritos por Galeano et al. (2008), de la siguiente manera:

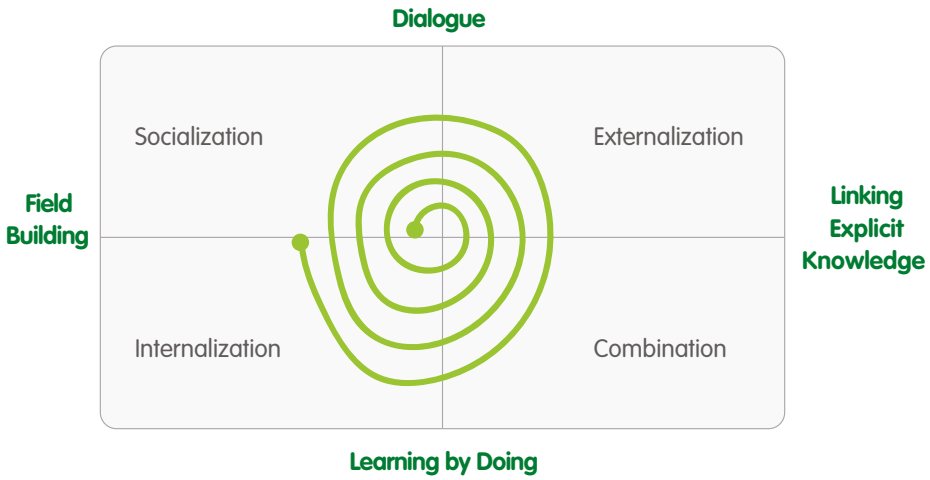


Figura 1. Procesos de conversión del conocimiento tácito a explícito. Recuperado de: (Nonaka y Takeuchi, 1995).

Socialización del conocimiento (de tácito a tácito): se refiere a compartirlo como conocimiento tácito complementado con experiencias, hacia los colaboradores a través del ejercicio práctico y proximidad física.

Externalización del conocimiento (de tácito a explicito): se refiere al proceso de transformación de los conocimientos de los colaboradores, en uno codificado y explícito.

Combinación del conocimiento (de explícito a explícito): se refiere a la implementación de procesos sociales para sumar y combinar *bloques* de conocimiento explícito.

Intemalización del conocimiento (de explícito a tácito): se refiere a la aplicación del conocimiento explícito en el interior de los diferentes contextos de acción, como procesos e iniciativas estratégicas.

Se reconoce entonces, que en la organización se deben involucrar varias etapas claves para aportar y potencializar las acciones de captura de conocimientos implícitos y explícitos y divulgación de los mismos, entendiendo esta última como una clave en la apropiación y aprendizaje, ya que "la información por sí misma no es conocimiento" (Blázquez, 2013). La información es el punto de partida, pero esta debe ser procesada y analizada para destacar una utilidad en ella, es así como se convierte en conocimiento que posteriormente puede ser de dominio en las empresas. El valor de los datos está en la extracción de hallazgos relevantes mediante el análisis, que posteriormente se convierten en un insumo para la toma de decisiones, la solución de problemas/retos, el desarrollo de proyectos, la gestión de la innovación y la gestión del cambio en las organizaciones.

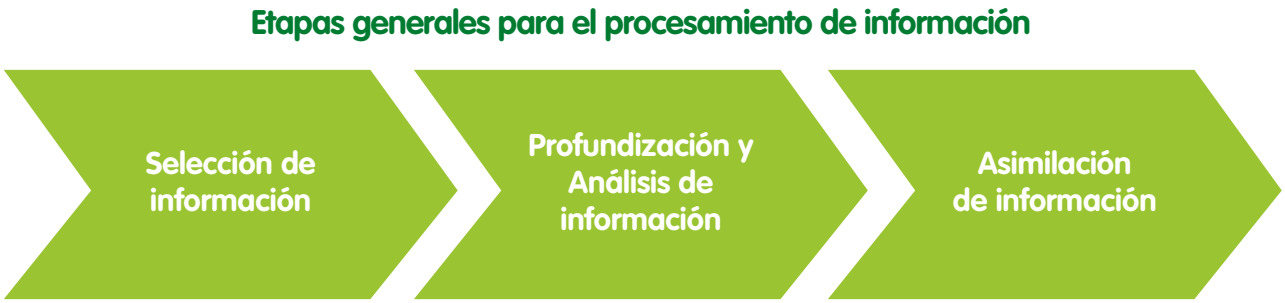


Figura 2. Etapas generales para el procesamiento de información.

Así mismo, para lograr la implementación y desarrollo de un proceso es importante considerar que hay factores que se comprenden como necesidades, problemas y desafíos básicos, que se pueden resolver con el apoyo de procesos clave de la empresa, pues al estar vinculados pueden enriquecer y facilitar el alcance de las metas. Estas cinco necesidades con las posibilidades de apoyo por medio de alianzas entre áreas son:

Necesidades	Apoyo / Aliado Estratégico
Necesidad de una estrategia corporativa global y de Gestión del conocimiento con objetivos priorizados y alineados con la estrategia de la organización.	Planeación Corporativa
Necesidad de definir un líder de Gestión del conocimiento central para gestionar la facilitación y coordinación del intercambio de conocimientos en todos los niveles de la compañía.	Administración
Necesidad de analizar, procesar, priorizar y sintetizar la información debido a la sobrecarga de datos que resulta.	Vigilancia Estratégica
Necesidad de un acceso adecuado a la información y de contenido adaptado a diferentes necesidades.	Comunicación Estratégica
Necesidad de reducir las barreras culturales, organizativas y técnicas en el intercambio de conocimientos.	Gestión Humana y Comunicación Interna

Tabla 1. Necesidades y aliados para los procesos de Gestión del conocimiento al interior de una organización.

Por otra parte, como es de suponerse, para todo proceso al interior de una empresa las figuras administrativas y las estrategias de planificación marcan un norte general para cada una de las acciones que se realicen, de igual forma funciona con el área encargada de gestionar el conocimiento.

A continuación, se presentarán los procesos de vigilancia y comunicación estratégicas, que pueden aportar a la GC, tanto a nivel individual, así como en alianza, de modo que la organización se transforme para consumir, generar, divulgar y asimilar conocimientos propios y externos de manera efectiva, lo cual mejorará su competitividad, desarrollo e innovación.

2. Qué es vigilancia estratégica (VE) y como puede vincularse a la gestión del conocimiento

La vigilancia estratégica es

> El esfuerzo sistemático y organizado por la empresa de observación, captación, análisis, difusión precisa y recuperación de información sobre los hechos del entorno económico, tecnológico, social o comercial, relevantes para la misma que puede implicar una oportunidad u amenaza para ésta. Requiere una actitud de atención o alerta individual. De la suma organizada de estos factores resulta la función de vigilancia en la empresa. En definitiva, la vigilancia filtra, interpreta y valoriza la información para permitir a sus usuarios decidir y actuar más eficazmente. (Palop y Vicente, 1999)

Por tanto, la VE en una organización es el proceso que se dedica a estudiar y analizar información del entorno de modo que genera conocimientos importantes para reducir la incertidumbre a la hora de tomar decisiones estratégicas basadas en las oportunidades o amenazas que se logren evidenciar. La circulación y transformación de información es permanente y de esto depende la eficacia del proceso que, además, posibilita la supervivencia y el crecimiento de una organización, el aprovechamiento de las oportunidades, la reacción oportuna ante las amenazas, el brindar respuestas pertinentes al entorno global, la oferta de servicios y productos altamente competitivos y el desarrollo de competencias en el ámbito de la innovación.

Para lograr estos resultados en el Grupo Epm, el equipo de vigilancia estratégica bajo los estándares de la Norma UNE 166006 *Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia estratégica* contempla varias etapas para el ejercicio de la VE, de modo que se ajuste a las necesidades tanto del contexto como de la organización (ver figura 3). Dichas etapas serán la base para establecer la relación y el aporte de la VE a la gestión del conocimiento.

Figura 3. Ciclo de vigilancia estratégica, equipo VE Biblioteca Epm.

De este modo, la VE como se menciona en la Norma UNE 166002 es una herramienta fundamental en el marco de sistemas más amplios dentro de las organizaciones como el sistema de gestión de la I+D+i (Inteligencia, Desarrollo e Innovación) en el que

> Por una parte, mejora el acceso y gestión de los conocimientos científicos y técnicos, así como sobre legislación normativa, economía, mercado, sociedad, etc. Por otra parte, permite comprender a tiempo el significado e implicaciones de los cambios y novedades en el entorno. Ambos hechos la convierten en indispensable para la toma de decisiones, tanto en el ámbito estratégico (por ejemplo, para ajustar el rumbo y marcar posibles caminos de evolución de interés para la organización), como en ámbito operativo (por ejemplo, para el desarrollo de un nuevo producto, servicio o proceso). (UNE, 2018)

2.1 Proceso de VE integrado con la GE

Además, este proceso al estar en constante relación con la información y su transformación en conocimiento, tiene lógicamente cierta relación y aporta significativamente al sistema de gestión de conocimiento; aunque su "concepto es más general ya que abarca la captura, identificación, generación, preservación, y uso de información, pero también del know-how explícito o implícito de la organización, las competencias del personal, los activos intangibles, etc." (UNE, 2018), la VE se convierte en un proceso importante para la gestión del conocimiento en tanto que gran parte de su impacto se encuentra en su "idoneidad para compartir ideas y facilitar la consecución de objetivos de los equipos multidisciplinares, así como en su capacidad para integrar ideas diversas". (Palop y Vicente, 1999).

Se puede decir entonces, que en las organizaciones el proceso de VE es uno de los encargados de ese *ciclo de conversión* mencionado anteriormente, el cual fue planteado por Nonaka y Takeuchi, pues al realizar una comparación, algunas de las etapas más representativas, realizadas durante el ejercicio de VE, pueden corresponder con los procesos de combinación, externalización, socialización e internalización planteados en el Modelo para la GC de estos autores.

	Conocimiento tácito	Conocimiento explícito
Conocimiento tácito	(Socialización) Conocimiento simpatizante. **Exposición de los hallazgos.**	(Externalización) Conocimiento conceptual. **Análisis de información.**
Conocimiento explícito	(Internalización) Conocimiento operacional. **Estrategias a partir del informe.**	(Combinación) Conocimiento sistémico. **Identificación de información y combinación de la misma.**

Tabla 2. Contenidos de conocimiento creados por los cuatro modos y etapas VE.

Para aclarar lo anterior, a continuación, se describen de manera breve, las etapas de la VE en el orden que se realizan en el equipo de Vigilancia estratégica de la Biblioteca EPM, lo cual no altera los resultados ya que, siendo un ciclo fluye armoniosamente en cualquier orientación. Esto, permite compaginar cada etapa con el respectivo proceso de la GC en el que se ubica:

- Identificación de información y combinación de la misma: en esta etapa se rastrea la información pertinente para un tema identificado, se combinan diferentes conocimientos explícitos hallados para ir construyendo un documento, el cual, a medida que el proceso va avanzando se transformará, obtendrá mejor estructura y un contenido más coherente. En esta etapa el documento puede parecer una unión de fragmentos sin un hilo conductor.

- Análisis de información: en esta tarea se puede ver reflejada la externalización del conocimiento, por una parte, no es nuevo que Internet presenta altos grados de infoxicación por lo que se debe hacer un proceso de análisis para seleccionar las fuentes y la información más pertinente. Por otra parte, se requiere un proceso de transformación de los conocimientos de implícitos (el análisis personal) a explícitos (texto, resúmenes, tablas, diagramas), para lo cual interviene el proceso de comunicaciones que facilita dicha transformación.

- Exposición de los hallazgos: en esta instancia se hace necesaria la labor del proceso de comunicaciones para producir una presentación que exponga todo el conocimiento (con rasgos tácitos) recogido en el documento, de manera explícita, gráfica, sencilla y concreta. Esto, de modo que todos los hallazgos se puedan comunicar claramente cuando sea requerido.

- Estrategias a partir del informe: se relaciona con la internalización ya que depende del grado de asimilación de los resultados del informe elaborado, de modo que se establezcan las acciones a seguir, puede ser el contacto con un proveedor, establecer un grupo de estudio, la elección de una solución, entre otras.

Por otro lado, se plantea el modelo que proponen Benavides y Quintana (2003) ya que tiene en cuenta los diferentes sistemas que apoyan la GC y detalla las diferentes etapas que la componen, desde la identificación hasta la medición del conocimiento.

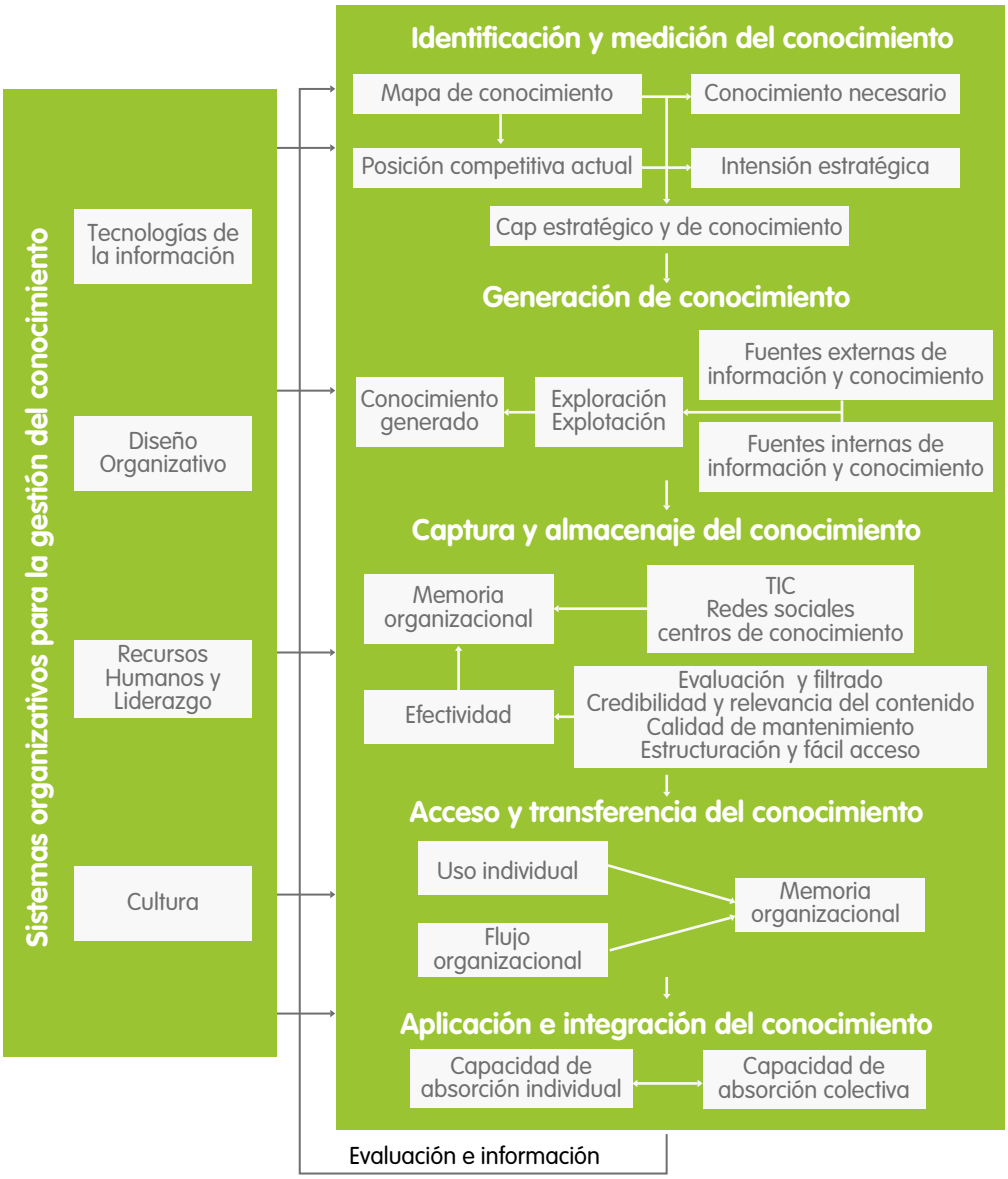


Figura 4. Proceso de Gestión del Conocimiento en la Empresa.
Recuperado de: (Benavides y Quintana, 2003).

Ahora, al llevar la mirada a la VE con respecto a este modelo, se observa que funciona como herramienta importante dentro de todos los niveles de la GC en la organización, como un proceso que permite entre otras cosas la identificación y caracterización del entorno y el mercado, los elementos competitivos y las proyecciones esperadas, lo que lleva a generar un conocimiento valioso de dichos aspectos, el cual de igual manera ha debido pasar por todas las etapas presentadas en la figura 4.

Así pues, el proceso de VE se puede proyectar como un ciclo que gira alrededor del conocimiento para el desarrollo y la innovación, con varias etapas durante las cuales se realizan diversas tareas (ver figura 5), este ciclo presenta correspondencias con los procesos de GC de los modelos anteriores y además permite transformar un entorno atravesado por la GC, para servir como apoyo a las decisiones estratégicas y de este modo desarrollar una cultura innovadora en la organización.

Por otra parte, como se evidencia en el modelo, en la VE es fundamental la participación del proceso de comunicación como el garante del componente explícito, el cual se refleja en elementos escritos y gráficos que contienen tanto la información textual hallada como los análisis elaborados con relación al tema específico tratado y son la base para que la socialización se realice de manera exitosa, de tal modo que la apropiación y aplicación deriven en acciones pertinentes y provechosas para la organización.

Figura 5. Proceso VE y la gestión del conocimiento.

2.2 Factores que influyen en el éxito de la Vigilancia Estratégica

En el modelo KPMG Consulting la gestión de conocimiento se plantea como un "sistema complejo en el cual se producen influencias en todos los sentidos" (Galeano et al., 2008), la vigilancia estratégica también depende de múltiples factores que influyen para convertirla en una herramienta efectiva, entre ellos se pueden mencionar:

- El compromiso de la organización, de sus líderes y funcionarios con la necesidad de conocer el medio en el que se desenvuelven, de identificar las amenazas u oportunidades existentes y potenciales, y de pronosticar escenarios futuros posibles.

- Comportamientos, componentes y herramientas disponibles para realizar dichas actividades a todos los niveles de la organización, de modo que

se puedan aplicar los mismos mecanismos que para GC, los cuales permitirán que los ejercicios de VE sean realmente aprovechados y efectivos.

- Desarrollo de la infraestructura, que facilite, promueva e integre la VE y la GC, para favorecer el desarrollo y la innovación en todos los niveles de la organización, lo cual se verá reflejado en su evolución permanente, mejora en la calidad de sus resultados, productos o servicios, el desarrollo de las personas que participan en el avance de la misma organización y la consciencia de integración en sistemas más amplios y relacionados con su entorno.

Entonces, para lograr que el proceso de VE sea exitoso es necesario desarrollar, por medio de la ejecución consciente de las etapas anteriormente mencionadas, mecanismos de GC como captación, creación, almacenamiento, transmisión e interpretación del conocimiento, lo cual permitirá el aprovechamiento y utilización efectivos, tanto a nivel de las personas como de los equipos y de toda la organización en general del conocimiento generado.

Figura 6. Integración de la VE con mecanismos de la GC.

Para todas estas acciones enmarcadas en la GC y la gestión de la información desde la VE, la comunicación representa un factor articulador que apoya la consecución de los objetivos, ya que cohesiona y dinamiza, los pilares de la cultura organizacional, la identidad, la innovación y el mejoramiento continuo, por medio del contacto, el acercamiento, la divulgación y trasferencia, el aprendizaje y la apropiación de los colaboradores.

3. El papel de la comunicación en el proceso de gestión del conocimiento

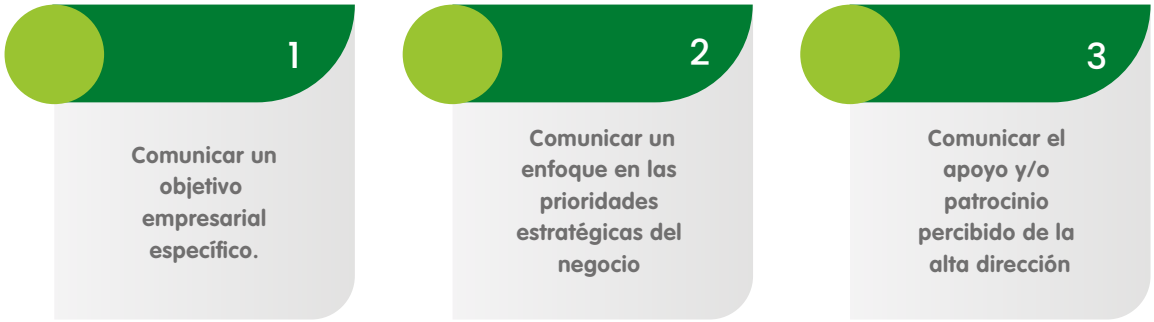
La comunicación externa e interna como instrumento de gestión, es actualmente una de las grandes preocupaciones de toda organización desde dentro y hacia fuera, ya que nos encontramos en un mundo cambiante que tenemos que comprender y al que nos tenemos que ajustar elaborando una política de escucha del mercado y de los usuarios. Esto dará una ventaja competitiva y permitirá readaptar los mensajes a las exigencias del exterior. (Gallardo, 2001)

De manera general la comunicación busca captar la atención y confianza de todos los públicos involucrados a través de contenidos que sean contundentes, lo que la convierte en un pilar para el buen funcionamiento de una organización. El académico Francisco Javier Garrido (2004) en su libro Comunicación Estratégica (como se citó en Arcila, 2012), explica que esta se entiende "como un marco ordenador que integra los recursos de comunicación corporativa en un diseño de largo

plazo de acuerdo con unos objetivos puntuales y claros que dan una rentabilidad a la empresa". Según el autor se entiende que por medio de una estrategia de comunicación se construyen cambios en los modos de gestión de la organización.

También, se define la comunicación estratégica como una "directriz teórica, en la cual se desarrollan capacidades de información, ideas y actitudes, así como las competencias prácticas que poseen los colaboradores de la organización" (Thomas et al., 2001), así se resalta como un proceso intrínseco en cualquier acción de gestión en una compañía y principalmente en un proceso de GC, que es mucho más que una cuestión de gestión de la información, su naturaleza es social y debe abordarse teniendo en cuenta los factores humanos y sociales .

Dinamizar un proceso de GC no solo requiere de un enfoque tecnológico puro, sino también de un aspecto socio-organizacional y cultural, por lo que se requieren enfoques en la comunicación y el aprendizaje. "Entre los desafíos para implementar la gestión del conocimiento se destaca como el mayor impedimento, la falta de comprensión" O'Sullivan (2007), pero con estrategias definidas en el marco de un plan de comunicaciones internas con diferentes fases e implementación, es posible garantizar que la información correcta se entregue a los colaboradores a lo largo del proceso y principalmente que alcancen los siguientes tres objetivos básicos:



El plan de comunicaciones internas permite que la organización pueda identificar qué mensajes deben comunicarse y en qué momentos es oportuno hacerlo, para lograr la máxima aceptación del colaborador y superar la reacción negativa natural frente a las situaciones de cambio. "El grado en que estos mensajes se personalicen para el público objetivo puede tener un impacto significativo en el éxito general de la implementación" (O'Sullivan, 2007).

3.1 Proceso Comunicaciones integrado a la GC

Dentro de un plan de comunicaciones internas con un enfoque en la GC se aplica general e idealmente un "Modelo Simétrico Bidireccional el cual ve a la comunicación como un flujo de información y conocimiento de doble vía" (Patiño, 2016). Este se caracteriza por el desarrollo de mensajes con alto impacto sobre el público para generar interacción bidireccional, apoyándose de la persuasión y la motivación hacia el trabajo colaborativo, las relaciones y la negociación. Para lograrlo se establecen cuatro acciones generales según O'Sullivan (2007), que se pueden aplicar a la GC así:

1. Brindar a los colaboradores el conocimiento necesario en cada una de las áreas de negocios de la empresa, detallando los beneficios del nuevo sistema GC para abordar objetivos comerciales.

2. Gestionar las expectativas de los colaboradores con respecto a la implementación del sistema de GC; aclarando detalles como posibles impactos y periodos de implementación.

3. Identificar y resolver dudas que puedan tener los colaboradores con respecto a la implementación en cuestión.

4. Proporcionar visibilidad adecuada del apoyo ejecutivo al sistema.

Bajo una mirada técnica del proceso según el enfoque del sistema, estas acciones facilitan la codificación del conocimiento y la transmisión de este a través de un canal o medio, a un receptor: los colaboradores de la organización. "Cuanto más tácito sea el carácter del conocimiento a comunicar, más difícil será codificar este conocimiento y definir un código común que el receptor del mensaje pueda comprender" (O'Sullivan, 2007). Considerando también otros aspectos como los ruidos o barreras que entorpecen el mensaje o su entrega.

Los públicos diversos de la organización al igual que los mensajes según su tipo, suelen estar relacionados en mayor medida con determinados canales de comunicación; y el mensaje al pasar por esta fase de entrega puede percibirse como un conocimiento que puede tener una dimensión tanto explícita como tácita. "El mensaje puede enviarse y recibirse como un contenido objetivo, pero también puede contener llamamientos, autorrevelaciones y aspectos relacionales" (O'Sullivan, 2007).

De este modo, podrían considerarse como batería de herramientas primarias para la comunicación en un sistema de GC, las siguientes estrategias planteadas por Blázquez (2013) y O'Sullivan (2007):

Presentaciones ejecutivas: comunicación cara a cara o virtual por medio de presentaciones digitales.

Demostraciones: encuentros que proporcionan una vista previa de las capacidades con el apoyo de materiales impresos, colaterales de marketing.

Comunicados digitales o físicos: constituyen memorandos, folletos de marketing, boletines, sitios de intranet, etc.; que sirvan como punto focal para la recopilación y difusión de información.

Tecnologías de apoyo conversacional: proporcionan información a las audiencias al mismo tiempo que brindan la posibilidad de retroalimentación y la discusión sobre ese mensaje. Algunas son: foros de discusión, weblogs y sistemas wiki.

Encuestas: dirigidas a todas las áreas de la organización para conocer y actualizar en todo momento las necesidades de los colaboradores.

Encuentros o programas: enfocados en fomentar la convivencia entre todos los colaboradores de la organización.

Comunicación directa: esta puede ser vía correo electrónico o buzón de sugerencias, lo realmente importante es que se den garantías de respuesta.

Capacitaciones: programas generales y especializados para la mejora de habilidades de los colaboradores de las distintas áreas.

Formación: fomentando el autoconocimiento como organización y el sentido de pertenencia con contenidos relacionados a la misión y objetivos, historia y estrategias.

Acciones de comunicación descendentes: revista o periódico, manuales de ingreso, guía práctica de personal, carta a los miembros de la organización o carteleras.

Acciones de comunicación ascendentes: desarrollo de entrevistas o programas.

Acciones de comunicación horizontal: reuniones que permitan la integración de las áreas de la organización, comités o grupos de trabajo.

3.2 Barreras en los procesos de comunicación

Se reconocen también barreras que terminan entorpeciendo los procesos de comunicación y finalmente los objetivos que se tienen desde el sistema de GC. Estas son:

Figura 7. Barreras para una comunicación fluida.

Existe otro tipo de barrera que se desarrolla desde las creencias o paradigmas de los colaboradores, en ocasiones fomentadas por los miedos. Según el informe: Tendencias Globales de Capital Humano (Deloitte, 2020), se concluye que "en un mundo donde el conocimiento equivale a poder, muchos colaboradores sienten que aferrarse a su conocimiento especializado les permite conservar su valor para la organización". Enfrentar este tipo de barreras con comunicación para crear cultura, es vital para permitir la GC como se entiende y se pretende, buscando fomentar el espíritu del compartir e intercambiar, que ayude a entender a las personas que es importante reconocer, valorar y divulgar sus propios conocimientos para ganar otros nuevos y al igual ganar relevancia en la organización.

3.3 Cualidades para una comunicación fluida

Aparte de los aspectos técnicos, existen otras cualidades que, si bien podrían ser deseables en todo mensaje, resultan indispensables para una comunicación fluida en un sistema de GC.

Figura 8. Cualidades de los procesos de comunicación fluidos.

Así mismo, las barreras mencionadas se pueden contrarrestar, como se mencionó anteriormente con un proceso de comunicación que además se caracterice por contar con cualidades que le permitan mayor fluidez, la cuales según Blázquez (2013) son:

Sinceridad: que no está siendo recortada, entregándola con plenitud y cuya recepción está controlada.

Permanencia: que es una información actual.

Comprensibilidad: que transforma el conocimiento implícito en explícito y se adapta a cada nivel o tipo de público.

Generalidad: que es de dominio para todo el personal, pues es susceptible de comunicarse.

Oportunidad: que comparte y difunde el conocimiento recolectado a toda.la organización considerando un momento y lugar preciso con la discreción requerida dado el caso así lo exija.

Para complementar estas cualidades se recomienda adicionar características en los mensajes para que estos tengan un mejor impacto ante al receptor: los colaboradores de la organización. Estas son: difuminar las barreras jerárquicas y permitir la retroalimentación entre distintos niveles de la jerarquía organizacional, personalizar los mensajes con nombre propio, mantener la brevedad y síntesis, eliminar palabras que indiquen un nivel de inferioridad o superioridad jerárquica, denotar una autoridad completamente descentralizada, expeler privilegios visibles para los directivos, propiciar que las personas de auto dirijan, estableciendo y controlando cada cual sus propios objetivos y mostrarse frecuentemente de forma fresca y reinventada (Blázquez, 2013).

3.4 Proceso de comunicaciones en el equipo VE Biblioteca EPM

En el caso particular del equipo de Vigilancia Estrategia de la Biblioteca EPM, el proceso de comunicación es llevado a cabo a partir de la premisa: analizar y sintetizar el conocimiento para hacerlo comprensible y manejable por los colaboradores, en el día a día de la organización. Es importante resaltar que más allá de trabajar los aspectos visuales y discursivos, se busca hacer un tratamiento de los hallazgos del ejercicio de vigilancia para transformar datos e información representados principalmente en textos con un perfil técnico, a redacciones reducidas, conceptos, infografías u organizadores gráficos que presentan de manera muy resumida la esencia de las soluciones identificadas, según las necesidades indicadas por los funcionarios. La finalidad es transformar un contenido más denso y técnico, a uno más liviano, condensado con un lenguaje de común entendimiento para diferentes roles dentro de la organización, y sobre todo más llamativo y entendible visualmente. Este conjunto de características permite:

- Facilitar al solicitante la posibilidad de conocer y abarcar de manera rápida y simple, el conjunto de información recolectada en el proceso de vigilancia.
- Divulgar la información dentro de la empresa al entregar piezas visuales que pueden ser usadas y compartidas en espacios como reuniones, encuentros o talleres.
- Apoyar al solicitante en el manejo de esta información hallada, con herramientas que faciliten una mayor recordación y uso en proyectos de trabajo.

Resultado de este proceso se crea un conjunto de canales y recursos de comunicación:

3.4.1. Presentaciones de Informes en vigilancia estratégica

Presentaciones compuestas de infografías principalmente, que respaldan los estudios e información encontrada durante los ejercicios de vigilancia realizados por solicitud expresa de funcionarios del Grupo EPM en un tema o necesidad específica.

3.4.2 Informes IRO

Informes semestrales soportados en fuentes secundarias. Estos son construidos en su totalidad por el Equipo de Vigilancia Estratégica, desde su fase de planificación, consulta, análisis y redacción para brindar contenidos relevantes, novedosos, útiles, estratégicos y de tendencia, al Grupo EPM y a la comunidad en general. Como producto se genera un informe con textos y gráficos construidos de acuerdo con las intenciones de la temática trabajada. Para este informe se trabaja un plan de comunicación el cual se vincula y desarrolla por medio de los canales de comunicación interna y externa del Grupo EPM y de la Biblioteca EPM.

3.4.3 Boletín Horizontes

Es un espacio construido a partir de la recolección de noticias relevantes y actualizadas a nivel mundial que den muestra del panorama de mercado que se está desarrollando en cada uno de los escenarios de interés para el Grupo EPM y sus filiales. Este boletín es divulgado vía email. Este correo se convierte en un portal para el ingreso al sitio que aloja todas las noticias.

3.4.4 Alertas informativas

Avisos con información relevante sobre el sector de servicios públicos, competidores, mercados, etc. Su utilidad radica en que se convierte en un factor de constante monitoreo, ya que revelan datos importantes sobre las tendencias del sector en general. Estas son enviadas vía email a una base de datos de públicos caracterizada por temas de interés.

3.4.5 Capacitaciones y talleres

Encuentros respaldados con recursos gráficos (como presentaciones o actividades practicas) a solicitud, en los que se brindan metodologías y técnicas para el ejercicio de la vigilancia estratégica y búsqueda especializada de información.

3.4.6 Ponencias

Participación en eventos y congresos de interés para todo el Grupo EPM y sus zonas de influencia, en donde se exponen temas estratégicos necesarios para orientar el quehacer, el rumbo, las oportunidades y la prospectiva de futuro identificados en los diferentes ejercicios de vigilancia.

3.4.7 Presencia virtual

Participación en espacios virtuales corporativos como en la intranet con la plataforma SharePoint en la cual se encuentra con una subpágina informativa, una sección para la divulgación del informe IRO en el sitio web de publicaciones digitales e impresas del Grupo EPM y en el sitio web externo de la Biblioteca EPM, en la cual se cuenta con una página de aterrizaje netamente informativa dedicada a los servicios VE.

QR espacio virtual equipo VE biblioteca EPM.

Escanea el siguiente código QR con tu celular para conocer más del equipo de vigilancia estratégica en el sitio web de la biblioteca EPM.

Conclusiones

Es importante que las organizaciones sean conscientes de las relaciones que se establecen entre diferentes procesos, en este caso VE y Comunicaciones, su vínculo y aportes a sistemas tan importantes como el de GC, de tal forma que puedan sacarles provecho a esas afinidades, para

que los procesos sean efectivos y aporten a metas alineadas y estratégicas.

Lograr identificar en la práctica los puntos de encuentro y aporte de diferentes procesos a la GC posibilita que las organizaciones complementen su percepción y desarrollo de este sistema y enriquezcan las acciones que se llevan a cabo para mejorarlo y aprovecharlo.

Ver la VE y las comunicaciones desde el punto de vista de su relación con la GC les da a estos procesos una orientación estratégica mucho más amplia, orientada no solo a conocer y comunicar aspectos del medio en el que se desenvuelven las organizaciones, las amenazas u oportunidades existentes y potenciales y escenarios futuros posibles, sino también, a identificar, transformar, producir y divulgar conocimientos especializados y estratégicos para dichas organizaciones y para el entorno de influencia.

Referencias

- Arcila, M. (2012). *Comunicación estratégica, y estrategias de comunicación para el desarrollo de las organizaciones* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Pereira]. Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Pereira. https://rb.gy/3gdua4
- Benavides, C., y Quintana, C. (2003). *Gestión del conocimiento y calidad total.* Ediciones Díaz de Santos.
- Blázquez, A. (2013). La información y comunicación, claves para la gestión del conocimiento empresarial. *Dimensión Empresarial, 11*(1), 23-32. https://rb.gy/rwafzk
- Botero, N. (2007). Gestión del conocimiento para la administración del recurso humano "estado del arte". *Anagramas, 6*(11), 61 - 74. https://rb.gy/ve6myg
- Deloitte. (2020). *Gestión del Conocimiento. Creando el contexto para un mundo conectado.* https://rb.gy/9exqew
- Galeano, S., Sánchez, M., y Villarreal, M. (2008). Modelo de gestión del conocimiento apoyado en la vigilancia tecnológica y la inteligencia competitiva para la cadena productiva de la uva Isabella en la bioregión del Valle del Cauca. *Cuadernos de administración,* (40), 73-93. https://rb.gy/b5xjhv
- Gallardo, L. (2001). *Memoria II Seminario sobre indicadores económicos y de gestión.* Consejería de Cultura.
- García, A. (2016). Creación, conversión, facilitación y espacios del conocimiento: las aportaciones de Ikujiro Nonaka a la teoría organizacional. Entreciencias: *Diálogos en la Sociedad del Conocimiento, 4*(9), 73-88. https://rb.gy/knjo5g
- Medina, A. (2015). Administración de Recursos Humanos. Escuela de Organización Industrial. https://rb.gy/ratv7a
- Nonaka, I., y Takeuchi, H. (1995). *The knowledge - creating company.* Oxford Univesity Press.
- O'Sullivan, K. (2007). Creating and executing an internal communications plan for knowledge management systems deployments. J*ournal of Knowledge Management, 11*(2), 102-108. doi:10.1108/13673270710738951
- Palop, F., y Vicente, J. (1999). *Vigilancia tecnológica e inteligecia competitiva. Su potencial para la empresa española.* Instituto de la Mediana y Pequeña Industria de la Generalitat Valenciana,

IMPIVA y Fundación Cotec para la Innovación Tecnológica. https://rb.gy/mvouok

- Patiño, A. (2016). *Comunicación y gestión del conocimiento: proyecto audiovisual de negociación para la compañía Grans Consulting* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional Pontificia Universidad Javeriana. https://rb.gy/u9obf4

- Thomas, J., Kellogg, W., y Erickson, T. (2001). The knowledge management puzzle: human and social factors in knowledge management. I*BM systems journal, 40*(4). https://rb.gy/qezkel

- UNE. (2018). *Norma UNE 166006 Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia e inteligencia.* UNE Asociación Española de Normalización.

- World Food Programme (2013). *Knowledge Management and Learning Strategy 2013-2014.* https://rb.gy/y9ocoh

Cómo citar este artículo:

Londoño, E. y Naranjo, S. (2022). La comunicación y la vigilancia estratégica como parte fundamental de la gestión del conocimiento, dentro de las organizaciones empresariales. *Revista EPM,* (19), 83-101.

Convocatoria para publicar en la Revista EPM

El Comité Editorial de la Revista EPM invita a la postulación de artículos, para las próximas ediciones, en temas relacionados con las líneas temáticas del Grupo EPM y otros contenidos enmarcados en la filosofía de la Revista, orientada a la divulgación y apropiación social del conocimiento. La estructura de los artículos debe tener en cuenta los lineamientos que se presentan en la Guía para Autores Revista EPM 2022.pdf.

Fechas para el envío de los artículos

Edición No. 21 (Ene.-Jun. 2023):
fecha límite de recepción 17 de febrero de 2023

Edición No. 22 (Jul.-Dic. 2023):
fecha límite de recepción 30 de junio de 2023

Recepción de artículos y contacto

Revista EPM
dep01980568@epm.com.co
gestiondeinformacion@fundacionepm.org.co

epm®

estamos ahí.

www.epm.com.co