

Revista

Publicación especializada en la gestión de servicios públicos

epm[®]

No. 12 | Julio - Diciembre 2018

Construcción de relaciones de confianza con los grupos de interés en proyectos y operaciones empresariales

Estudios de tratabilidad y deshidratación de lodos producidos en plantas de potabilización

**Caso de Estudio
Diagnóstico, reparación,
inspección y pruebas de la válvula
Howell Bungler de la presa
Miraflores de EPM**





energía | gas natural | aguas

Revista EPM No.12
Julio – Diciembre 2018
ISSN: 2145-1524

Grupo Directivo EPM

Jorge Londoño De la Cuesta

Gerente General

Carlos Arturo Díaz Romero

Vicepresidente Ejecutivo Gestión de Negocios (E)

John Maya Salazar

Vicepresidente Ejecutivo Proyectos e Ingeniería (E)

Gabriel Jaime Betancourt Mesa

Vicepresidente Ejecutivo Estrategia y Crecimiento

Jorge Andrés Tabares Ángel

Vicepresidente Ejecutivo Finanzas Corporativas

Gestión de Riesgos e Inversiones

Carlos Alberto Solano Bonnet

Vicepresidente Generación Energía

William Giraldo Jiménez

Vicepresidente Proyectos Generación Energía

Inés Helena Vélez Pérez

Vicepresidente Transmisión y Distribución Energía

Luis Guillermo Villada Corrales

Vicepresidente Gas (E)

Santiago Ochoa Posada

Vicepresidente Agua y Saneamiento

Maritza Alzate Buitrago

Vicepresidente Asuntos Legales y Secretaría General

Alejandro Jaramillo Arango

Vicepresidente de Crecimiento

Álvaro Castaño Otálvaro

Vicepresidente Estrategia Corporativa

Ricardo José Arango Restrepo

Vicepresidente Talento Humano y Tecnología

Alejandra Vanegas Valencia

Vicepresidente Suministros y Servicios Compartidos

Juan Felipe Valencia Gaviria Fernández

Vicepresidente Comercial

Ana María González Gómez

Vicepresidente Comunicación y Relaciones Corporativas

Óscar Alberto Cano Castrillón

Vicepresidente Auditoría Corporativa

Edición y coordinación de la Revista EPM

Dirección Desarrollo del Talento Humano

Gerencia Comunicación Corporativa

Gerencia Identidad Corporativa

Fundación EPM

Biblioteca EPM

Periodicidad: semestral

Solicitud de Canje a: Biblioteca EPM

Carrera 54 No.44-48 Plaza de Cisneros

Teléfono: 3807500

Bibliotecaepm@epm.com.co

Medellín – Colombia

Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

Carrera 58 No. 42 – 125 Apartado 940

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

Medellín – Colombia

www.epm.com.co



Para EPM, el conocimiento es uno de los pilares de su actividad empresarial. Así lo observamos en cada una de las ediciones de la Revista EPM, donde los autores, en su mayor parte servidores de la organización, comparten con la comunidad académica el resultado de las experiencias y los estudios en las distintas materias que componen su entorno laboral.

Para la empresa es muy importante la promoción de ese talento humano que se preocupa por profundizar en los temas y ponerlos a disposición de la gente, para ampliar el análisis y generar así propuestas que contribuyen a mejorar los procesos, productos y servicios.

Con esa mentalidad de apertura y rigor profesional, llegamos al número 12 de la Revista, en su más reciente época. Nuevamente, los artículos de esta edición logran dar cuenta de la enorme diversidad de temáticas que componen la dinámica de EPM y las oportunidades que se abren en cada hallazgo para seguir investigando, siempre con nuevas preguntas que llevan a respuestas cada vez más lúcidas e importantes para aportar al desarrollo del mundo en que vivimos.

Es así como podemos leer en estas páginas acerca de las energías renovables y su nuevo modelo de negocio; un trabajo que revisa cómo bajo el concepto del "prosumidor" estamos empezando a entrar en la era de las personas que producen su propia energía y tienen la posibilidad de vender la que no consumen

gracias a las ventajas que hoy ofrece la Internet y la liberalización del mercado.

En esta edición tienen un espacio considerable los trabajos acerca de la energía. De este modo, hacemos un recorrido por los más de diez años que lleva operando en EPM el Manejo Avanzado de la Red (MAR) para la distribución energía eléctrica, desarrollado completamente por personal de la empresa. Gracias a este sistema se ha logrado completar la gestión de las redes de distribución de energía y actualmente se está avanzando con el nuevo proyecto de Consolidación Centros de Control, con alcance a las empresas del Grupo EPM en Colombia.

Por su parte, se presentan dos casos de estudio importantes para las empresas del sector: un análisis de los niveles de corrosión en cimentaciones de torres de transmisión de energía eléctrica, realizado por el Centro de Excelencia Técnica de EPM, y el diagnóstico, reparación, inspección y pruebas de un tipo de válvula (Howell Bungler) que se emplea en la descarga de fondo del embalse Miraflores de EPM.

De ahí pasamos al mundo del agua y exploramos los "Estudios de tratabilidad y deshidratación de lodos producidos en plantas de potabilización". Mediante ensayos con polímeros en cinco de las doce plantas de potabilización de EPM, los autores del artículo lograron determinar que estos elementos, los polímeros, permiten adelantar esta tarea con mejores resultados.

No menos sorprendente es el trabajo sobre la "Espintrónica", la nueva electrónica que se abre paso con el desarrollo del espín electrónico. En este artículo podemos conocer los fundamentos teóricos de esta tecnología, su evolución y las opciones que ofrece en términos de negocio para una organización como el Grupo EPM.

De otro lado un grupo de profesionales aborda el tema de los requerimientos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) en las empresas del país, particularmente en lo que se refiere a los riesgos de fraude y corrupción. Este trabajo, basado en una serie de entrevistas con líderes de procesos en diferentes entidades, muestra los avances que en este sentido se registran en los sectores público y privado, principalmente en cuanto a gobierno corporativo.

Finalmente, en dos artículos del área ambiental y social, se tocan temas de gran repercusión en la vida de todos: en "La ecología humana y las obras de infraestructura" se aborda la problemática del crecimiento de las ciudades y su impacto en

el entorno y las personas, al tiempo que el texto titulado "Construcción de relaciones de confianza con los grupos de interés en proyectos y operaciones empresariales" es un trabajo que a partir de lo conceptual nos acerca al conocimiento del indiscutible vínculo que existe entre Responsabilidad Social Empresarial (RSE), sostenibilidad y relacionamiento con grupos de interés, palabras que quizás hoy se oyen con mucha frecuencia pero no por ello dejan de tener un profundo significado para la gestión empresarial de hoy en día.

Los autores de los artículos, a quienes agradecemos por su dedicación y generosidad al compartirlos para la Revista EPM, nos llevan así de la mano por la múltiple geografía de los temas que forman parte de la vida de EPM. Tanto ellos, como la empresa misma, solo esperan que al llegar a los lectores se conviertan en nuevos puntos de partida para ahondar en las respuestas a las preguntas que, como base del método científico, son ineludibles en toda actividad humana para avanzar y crear mejores alternativas para el conjunto de la sociedad.



Jorge Londoño De la Cuesta
Gerente General de EPM



Contenido

Aproximación a los requerimientos de la OCDE en empresas colombianas: una mirada a los riesgos de fraude y corrupción

PAG.11



Approach to the requirements of the OECD in Colombian companies: a look at the risks of fraud and corruption

PAG.31



Construcción de relaciones de confianza con los Grupos de Interés durante la construcción de proyectos y operaciones empresariales

Building trust relationships with the Stakeholders during the construction of projects and business operations

Energías renovables y su nuevo modelo de negocio

Renewable energies and their new business model

PAG.39



PAG.49



Espintrónica: la nueva electrónica

(Spintronics: the new electronics)

PAG.59



Niveles de corrosión en cimentaciones de torres de transmisión de energía eléctrica

Corrosion levels in towers' foundations of transmission lines

La ecología humana

y las obras de infraestructura

Human ecology and infrastructure works



PAG.77



PAG.89

Caso de estudio

Diagnóstico, reparación, inspección y pruebas de la válvula Howell Bungler de la presa Miraflores de EPM

Estudios de tratabilidad y deshidratación

de lodos producidos en plantas de potabilización

Treatability and dewatering studies of sludges produced in potabilization process



PAG.111



PAG.133

Manejo Avanzado de la Red MAR

Más de 10 años operando con el MAR la distribución de energía de EPM



Aproximación a los requerimientos de la OCDE en empresas colombianas: una mirada a los riesgos de fraude y corrupción

Approach to the requirements of the OECD in Colombian companies: a look at the risks of fraud and corruption

Vicky Stefany Chavarría Posada

Auditor de proyectos
TC LATIN AMERICA PARTNERS

vicky.chavarría1824@gmail.com

María Cristina Gil López

Profesional Especializada en Seguimiento Minorista - Riesgos Territorial Occidente Banco BBVA Colombia

mgillop@eafit.edu.co

Fredy Humberto Gómez Orjuela

Profesional Financiero y Gestión de Riesgos Grupo Empresarial EPM

fredy.gomez@epm.com.co

Resumen

Las organizaciones multilaterales y las economías emergentes vienen desarrollando mecanismos contra el fraude y la corrupción, en búsqueda de asegurar el desarrollo sostenible de sus economías desde los años 80 conjuntamente.

Nuestro tema de investigación se enfoca en identificar cómo se integran las directrices de la OCDE en temas de Gobierno Corporativo, cohecho en las transacciones internacionales y políticas de protección a los consumidores, dentro de la gestión de riesgos de fraude y corrupción en algunas entidades públicas y privadas de la ciudad de Medellín. Este objetivo se logró a través de metodología cualitativa, se utilizó el método de casos, de modo que se realizaron entrevistas a

profundidad con los líderes de procesos de gestión de riesgos de diferentes entidades. A partir de este estudio, se logró diagnosticar el estado de madurez frente a estos temas y plantear conclusiones acerca de las oportunidades de mejoramiento.

Los principales hallazgos apuntan a que las empresas están trabajando en los asuntos requeridos por la OCDE y reportan avances en su metodología para administrar los riesgos, principalmente en temas de Gobierno Corporativo, con el objetivo de combatir los riesgos de fraude y corrupción, componente que sirve como referente para administrar el riesgo de cohecho; con relación a las políticas del consumidor se identifica que se han venido implementado las nuevas exigencias legales del país.

Palabras clave:

Fraude, corrupción, OCDE, gestión de riesgos

Key words

Fraud, corruption, OECD, risk management

Introducción

En las últimas décadas las reflexiones y acciones en contra de la corrupción han cambiado, hoy día, las señales de intolerancia hacia este delito van en aumento y cada vez más gobernantes y administradores de empresas están siendo objeto de investigaciones legales por este tipo de sucesos. Para el Banco Mundial, la corrupción es la extralimitación del poder público en búsqueda de un beneficio particular (Jong, Anh, y Ees, 2015). Definición adoptada teniendo en cuenta, que aqueja a todos los sectores de la sociedad, genera un impacto perjudicial sobre los mercados, sobre la calidad de vida de los ciudadanos y posibilita que afloren otros delitos como el crimen organizado, la delincuencia y el terrorismo; lo cual disminuye la inversión y por consiguiente limita el crecimiento, así como el desarrollo económico (Argandoña, 2007; Cuervo-Cazurra, 2008; Kim, 2016; Mauro, 1997; Mendoza, Lim, y Ong, 2015; Nur-tegin y Sahin, 2013; Transparencia Internacional, 2016a; UNODC, 2016;) que es más de lo que se invierte en educación, o en inversiones sociales. De acuerdo con datos económicos del año 2014, se estimó que el costo de la corrupción mundial correspondía a más del 5% del producto interno bruto (PIB), lo que equivale a US \$2,6 billones de dólares (Kimeu, 2014).

El concepto de fraude se ha desarrollado principalmente desde el punto de vista del sector empresarial privado, incluso enfocado a los mercados de capitales; firmas de auditoría como KMPG Asesores S.L. (2007) lo definen como "cualquier acción cometida intencionadamente para obtener ganancias de forma ilícita e ilegal", mientras que corrupción, involucra la capacidad de abusar del

poder público. Por otro lado, la teoría del triángulo del fraude expuesta en 1973 por Donald Cressey plantea que la falta de integridad está relacionada directamente con el fraude (López y Sánchez, 2012). Así la diferencia entre fraude y corrupción es aclarada por Wainstein (2003) al plantear que, con la participación de una sola persona es suficiente para que se concrete un fraude, a diferencia de la corrupción, donde es necesaria la intervención de dos personas.

Con este estudio se pretende generar una reflexión acerca de cuestionamientos como: ¿Qué tan alineadas están las empresas públicas del sector de servicios, como las empresas privadas del sector financiero, en la ciudad de Medellín, con respecto a los estándares, guías y buenas prácticas que emite la OCDE, para la gestión del riesgo de fraude y corrupción en las directrices de Gobierno Corporativo, cohecho en las transacciones internacionales y políticas de protección?

El presente artículo ofrece cuatro capítulos fundamentales, que inician con el marco de referencia, estudios previos acerca del fraude y la corrupción en el ámbito de los negocios, el marco legal internacional, el contexto colombiano y la evaluación de los requerimientos hechos por la OCDE. El diseño metodológico utilizado en el estudio está incluido en el segundo apartado, el trabajo de campo realizado y sus respectivos resultados pueden ser observados en el capítulo tercero. Y finalmente se encuentran las discusiones y conclusiones provenientes de las entrevistas realizadas.

1. Marco de referencia y estudios previos

La primera medida de regulación sobre la ilegalidad del pago de sobornos a servidores públicos en el exterior, fue la FCPA (Foreign Corrupt Practices Act) con la ley de prácticas corruptas en el exterior emitida en 1977 y la imposición de controles sobre las empresas estadounidenses y sus subsidiarias. Por otro lado, y como consecuencia de los manejos inadecuados, el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional han incrementado sus exigencias para la entrega de recursos a los proyectos que pretenden apoyar. Tras dos décadas de fundación de la mencionada FCPA, en 1997, la convención de la OCDE contra el soborno de funcionarios públicos extranjeros en transacciones comerciales internacionales, requirió a los 35 países miembros de la OCDE penalizar el soborno transnacional (Cuervo-Cazurra, 2006).

En la década 2000 – 2010 se creó un marco legal internacional para combatir la corrupción, a través de la Convención de las Naciones Unidas Contra la Corrupción (CNUCC) que entró en vigor a partir del año 2005. En el año 2013, la CNUCC contaba con 168 miembros; la convención sobre lucha contra el soborno de funcionarios públicos extranjeros en transacciones comerciales internacionales de la OCDE incluye 40 estados miembros y entró en vigor en el año 1999.

El marco internacional anticorrupción contiene convenciones adicionales y políticas tales como:

- Convención Interamericana Contra la Corrupción a partir de 1977, cuyos miembros incluyen países de la Organización de Estados Americanos.
- Convención de la Unión Africana sobre Prevención y Lucha contra la Corrupción a partir de 2003, con 33 miembros africanos.
- Convenio Penal sobre la Corrupción a partir de 1998 y el Convenio Civil sobre Corrupción del Consejo Europeo a partir 1999.

- Política Anticorrupción de la Unión Europea, definida en el artículo 29 del tratado de la Unión Europea y aplicada a través de dos instrumentos principales: la Convención sobre Protección de los Intereses Financieros de las Comunidades Europeas a partir de 1995 y la Convención Contra la Corrupción con Implicación de Funcionarios Europeos o Funcionarios de los estados miembros de la Unión Europea a partir de 1997.

Los programas antifraude también han sido fortalecidos a través de numerosos modelos y leyes:

- Australia: Reforma corporativa y de auditoría, 2004
- Canadá: Código penal canadiense
- Unión Europea: Plan de Acción de Servicios Financieros "FSAP"
- Reino Unido: Empresas (auditorías, investigaciones y la comunidad empresarial, ley de 2004)
- Estados Unidos: ley patriótica de EE.UU., ley Sarbanes-Oxley de 2002, SAS 99, "NYSE" y "NASDAQ" normas de cotización, "Public Company Accounting Oversight Board (PCAOB)"
- España: Informe del Grupo Especial de Trabajo sobre Buen Gobierno de las Sociedades Cotizadas de 2006 "Código Conthe 2006", "ICAC" 2000 (KMPG Asesores S.L., 2007).

Estos desarrollos demuestran el interés del sector empresarial y gubernamental de corregir y evitar desviaciones en las operaciones de mercado, facilitando condiciones favorables y transparentes para los mercados, en búsqueda de un crecimiento sostenido de las economías y de todos los grupos de interés.

1.1. Fraude y corrupción en el ámbito de los negocios

Con los sucesos de corrupción y las exigencias legales en contra de este delito, se generan rompimientos en las relaciones cuando se detectan actuaciones incorrectas por una de las partes, que conlleva al bloqueo y la disminución de operaciones en la búsqueda de nuevos socios comerciales (Moene y Soreide, 2016).

A raíz de los resultados, en la encuesta de percepción de corrupción realizada, por la propensión a cometer sobornos en empresas altamente desarrolladas en mercados emergentes; se plantean unas recomendaciones para promover la integridad en las empresas, determinadas a fortalecer la aplicación, el monitoreo y la divulgación de información sobre las políticas y los procedimientos empresariales en contra de la corrupción y sobre los compromisos de transparencia (Transparencia Internacional, 2011).

La organización Transparencia Internacional es difícil medir la corrupción, pero existen una serie de estudios e índices que dan cuenta de cuales países sufren la corrupción y el soborno, además el índice publicado anualmente por este organismo tiene su sustento en numerosos estudios de empresarios y lo que perciben los expertos de la corrupción en determinados países. Por lo tanto, el IPC - Índice de Percepción de Corrupción, da una idea del grado de corrupción, mientras otros estudios muestran que existe una estrecha correlación entre la percepción de corrupción y la corrupción real (Transparencia Internacional, 2016b).

Diferentes estudios asocian directamente los grandes movimientos de la apertura económica y crecimiento constante del PIB de las economías emergentes con eventos de corrupción, casos de estos están plenamente identificados en países como Vietnam (Geo-Jaja y Mangum, 2000); Camboya (Malesky y Samphantharak, 2008), Taiwán, Singapur, Hong Kong, Corea del Sur, China y gran parte del continente africano (Gjalt de Jong, Phan Anh Tu, and Hans van Ees, 2003). Este fenómeno es explicado por la descentralización y el control estatal de los recursos que dinamizan las economías, tales

como controles del sistema bancario, creación de empresas, limitaciones a la inversión, permisos y licencias, entre otros. A esto se le agrega, que la gran mayoría de los funcionarios públicos no cuenta con un buen nivel salarial, ni profesional; lo que los impulsa a facilitar los actos de fraude y corrupción (Gueorguiev y Malesky, 2012; Argandoña, 2005; Jong, Anh, y Ees, 2010; Fisman y Svensson, 2007; Asiedu y Freeman, 2009).

De acuerdo con las cifras de Transparencia Internacional, existen países particularmente con índices poco alentadores y un ejemplo de ello es Nigeria que ocupa la posición No. 136 y una puntuación en el índice de percepción de corrupción a 2015 de 26 entre 100 (percepción de ausencia de corrupción) y 0 (percepción de muy corrupto). Teniendo en cuenta esta cifra, es específicamente interesante identificar como el comercio transfronterizo de Nigeria se mueve en un contexto de ilegalidad y los resultados muestran que estas prácticas son tan generalizadas que se vuelven normas paralelas a su economía con sus propias tradiciones y valores, el soborno de funcionarios es ampliamente aceptado, lo que impide hacer cumplir la ley en los mínimos niveles y con el agravante de que la mayoría de los comerciantes no ven el comercio ilegal como inmoral. Así, la línea que diferencia lo que es legal de lo ilegal se vuelve insignificante (Fadahunsi y Rosa, 2002). Encuestas realizadas a empresas en 15 países africanos, sugieren que la corrupción es un grave problema para las empresas africanas y que los costos en promedio oscilan en muchos países entre el 2,5 y 4,5 por ciento de las ventas (Clarke, 2011).



1.2. Contexto colombiano

Colombia interesada en promover e internacionalizar sus abundantes recursos naturales, a través del fortalecimiento de reformas regulatorias, políticas de desarrollo y sostenibilidad ambiental; avanza en la búsqueda de una expansión económica justificada en la divulgación de la Constitución Política de 1991. También plantea una actualización en las actividades económicas, la búsqueda de mejores niveles de seguridad y la legalización de diferentes sectores; con la intención de garantizar en el futuro un crecimiento económico para el país (OCDE, 2014). Por el interés de convertirse en miembro de la OCDE se prepara plasmando y cumpliendo una serie de ajustes al interior del país, como requisitos previos a su aceptación. Un ejemplo de esto es la lucha contra los delitos de fraude y corrupción a través del fortalecimiento del gobierno enmarcado en la transparencia y la legitimidad en las negociaciones, con el fin de atraer nuevos socios comerciales a través de inversión extranjera.

Claramente no se habla de una nueva tendencia en nuestro país, sino que por el contrario son cada vez más innegables los deterioros que estos delitos generan extendiéndose en contextos de terrorismo, violencia y criminalidad; donde los líderes tradicionales son corruptos. El surgimiento de grupos al margen de la ley, quienes se han convertido en líderes determinantes de la gestión de lo privado y lo público, en especial en algunos departamentos y municipios dada la precariedad de los procesos políticos, la falta de transparencia y de la incapacidad de los líderes gubernamentales que garanticen los derechos y el bienestar colectivo del país (Transparencia por Colombia, 2016).

Transparencia por Colombia a través de sus resultados de medición de transparencia empresarial – MTE 2016, permite el acceso a una herramienta de control social que tiene por objetivo, monitorear y evaluar mecanismos y políticas de transparencia empresarial, promoviendo el fortalecimiento del sector privado, mediante la adopción de buenas prácticas de integridad en el relacionamiento con los grupos de interés. Permitiendo identificar alertas sobre fallas y/o debilidades que pueden convertirse en posibles riesgos de corrupción al interior de las empresas, que mediante la implementación de planes de mejoramiento, se pueden convertir en fortalecimiento institucional, no solo de la empresa sino de su entorno de negocio (Transparencia por Colombia, 2016).

El direccionamiento del gobierno colombiano frente a estos delitos está dado bajo las siguientes iniciativas anticorrupción: eliminación de las contrataciones directas con las entidades sin ánimo de lucro, supervisión ciudadana en la construcción de vías con el apoyo de la ciudadanía y el plan de alimentación escolar con el apoyo de la Cooperación Británica y el BID, consistente en la realización de un experimento social con estos planes (sin aumento de penas, sin nuevas leyes y sin intervención de entidades) ya que es un sector donde están identificados eventos de corrupción, esto con el fin de elevar la eficacia de la lucha en contra de la corrupción (Presidencia de la República de Colombia, 2016).



2. Diseño de la Investigación

2.1. Tipo de estudio cualitativo

Interesados en conocer qué tan preparadas se encuentran las empresas objeto de estudio, respecto a los requerimientos que la OCDE solicitó a Colombia para su futura aceptación como miembro, se recopiló información que permitió describir y ampliar las características del fraude y la corrupción, contextualizando estos fenómenos en el sector empresarial colombiano.

El enfoque de este estudio fue descriptivo, porque se trabajó con las propias palabras de las personas entrevistadas y con las conductas que suscitan en sus empresas ante este tipo de eventos, materia de estudio. Para entender el funcionamiento organizacional en la gestión de riesgos de fraude y corrupción desde algunos requerimientos de la OCDE, se especificaron propiedades, características, fenómenos, perfiles de desempeño, comportamientos y contextos de las empresas sometidas a este análisis; se obtuvo información de manera independiente a través de las entrevistas sin pretender relacionarlas entre sí, se entendió a cada una de las empresas desde sus propios atributos como el sector al que pertenecen, tipo de administración, regulación aplicada, entre otros. Se examinó y se indagó el fenómeno de su entorno real (Martínez, 2011; Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

2.2. Estudio de casos múltiples

Se realizó estudio de caso a cuatro empresas: Grupo EPM, Metro de Medellín, Bancolombia y BBVA Colombia, teniendo en cuenta que son entidades referentes de la ciudad de Medellín (Cuadro 2), reconocidas por la implementación de buenas prácticas en la gestión de riesgos. Las empresas del sector público son mucho más propensas a la definición y realización de casos de fraude y corrupción a través del abuso del poder, la obtención de permisos, la falta de profesionalismo de los empleados, desorganización en los gobiernos,

adjudicación de contratos, el uso inadecuado de influencia, amistad e información privilegiada, entre otros. Por el lado de las empresas privadas, se tuvieron en cuenta hechos tales como facilitación de pagos, regalos para la obtención de favores y abuso de poder entre otros (Argandoña, 2005); se seleccionaron empresas del sector financiero, debido a su exposición a situaciones de fraude y corrupción dado que su naturaleza, las hace más permeables en la administración de dineros públicos y/o privados, Nur-tegin K. & Sahin T. (2013). Manifiestan por ejemplo, que las empresas menos expuestas al soborno se encuentran en los sectores de la industria textil y de prendas de vestir, alimentos, industrias al por mayor y al por menor. Lo cual hace interesante conocer qué tan propenso se encuentra el medio financiero a estas situaciones.

2.3. Instrumentos o técnicas de recolección de información

Las entrevistas se realizaron a los responsables de riesgos corporativos de cada una de las empresas seleccionadas. A partir de estos resultados, más la información producto de la investigación de las fuentes secundarias como artículos relacionados con el tema de estudio, libros y revistas, que han sido referenciados, se pretende validar tanto la pregunta de investigación como los objetivos de la misma. En un estudio de casos, una de las reglas más importantes para la recopilación de los datos, es dar un seguimiento riguroso e informar todos los pasos en el proceso de recolección de la información.

De acuerdo con las recomendaciones de Hernández et al., (2010), las preguntas utilizadas en las entrevistas fueron abiertas y semiestructuradas (Cuadro 3). Se basaron en una guía de preguntas y el entrevistador tuvo la libertad de introducir preguntas adicionales para precisar conceptos u obtener más información sobre los temas deseados; de tipo abiertas porque se fundamentaron en una guía general del contenido. El entrevistador contó

con la flexibilidad para manejarla, las cuales fueron realizadas en octubre de 2016 a los líderes de los procesos de gestión de riesgos, evaluando el estado de madurez y concluyendo sobre las oportunidades

de mejoramiento que se derivaron de este estudio, buscando cubrir todos los asuntos relevantes producto de la investigación. El tiempo promedio de cada entrevista fue de 60 minutos.

A. Gobierno Corporativo

1. Acorde a su experiencia como directivo de la entidad, por favor coméntenos, ¿de qué manera los requerimientos de la OCDE han impactado o impactarán la gestión y el marco que soporta el gobierno corporativo de la entidad?
2. Desde los requerimientos de la OCDE, ¿cómo se logran mantener comportamientos éticos y transparentes en la actuación de los miembros de junta, socios, accionistas, empleados y proveedores, mencione algunas de estas funciones y controles donde este tema se vuelve crítico?
3. A la luz de los requerimientos de la OCDE, ¿cuál es la participación de las partes interesadas en el Gobierno Corporativo, su papel y cómo se garantiza su participación en él?

B. Cohecho en las transacciones internacionales

4. De acuerdo con los requerimientos de la OCDE, ¿cuáles son las directrices de la entidad ante la posibilidad de fraude y corrupción en las transacciones internacionales?
5. Teniendo en cuenta los requerimientos de la OCDE, ¿cómo actúa y qué medidas de tratamiento adopta la entidad ante eventos de fraude y corrupción en las transacciones que realiza?
6. Con relación a los requerimientos de la OCDE, ¿qué herramientas e indicadores tienen implementados para gestionar los riesgos de fraude y corrupción, teniendo en cuenta el entorno de control de la entidad?

C. Política del Consumidor

7. De acuerdo con los requerimientos de la OCDE, ¿cómo se monitorean en la gestión de riesgos de la entidad los eventos de fraude y corrupción desde la atención a las peticiones, quejas y reclamos (PQR) de los clientes-usuarios?
8. Con relación a los requerimientos de la OCDE, ¿cuáles son las principales acciones que la entidad ha implementado en relación con los riesgos de fraude y corrupción en el cumplimiento de la Ley Habeas Data?
9. En relación con los requerimientos de la OCDE, ¿cuáles son las principales acciones que la entidad ha implementado en relación con los riesgos de fraude y corrupción en el cumplimiento del derecho al retracto?

Cierre: ¿Considera usted algún aspecto sobre corrupción y fraude que desee agregar?

■ Cuadro 1. Protocolo de entrevista utilizado



3. Resultados

3.1. Gobierno Corporativo

Se encontraron los siguientes elementos comunes:

- El concepto de Gobierno Corporativo es uno de los mecanismos con que cuentan las organizaciones para controlar su gestión.
- Las estructuras del Gobierno Corporativo están conformadas por la presencia de elementos formales, debidamente oficializadas (estatutos, convenios marco de relaciones con diferentes grupos de interés, código de Gobierno Corporativo, informes periódicos de rendición de cuentas, reglamento de juntas directivas, marco legal y regulatorio, reglamento interno de trabajo, política de cero tolerancia al fraude, política relacionada con aportes a partidos políticos, entre otros); también se identificaron elementos informales que representan el conjunto de prácticas inmersas dentro de la cultura organizacional que son pilares de transparencia y confianza con los grupos involucrados (cultura y valores, entre otros) y finalmente están los mecanismos de control (sistema integral para la prevención y control del lavado de activos y financiación del terrorismo, canal para recepción de PQRS, normas de autorregulación, prácticas éticas y transparentes, línea ética, seguimiento y actualización permanente), los cuales combinan elementos internos y externos, realizados no sólo por los órganos de supervisión y control, sino también por terceros interesados en el desempeño de las empresas (calificadoras de riesgos, inversionistas, auditorías externas, organismos de supervisión y control y la comunidad, entre otros). De acuerdo con las entrevistas realizadas, se identificó que, a través de la definición e implementación de estos elementos, las organizaciones pretenden dar

cumplimiento con las exigencias de generación de valor para los dueños, garantizar la eficiencia, generación de bienestar social; teniendo claro el papel del sector al que pertenecen como regulador y proveedor de políticas públicas y privadas que ayudan, orientan y estimulan el cumplimiento de los objetivos de la organización empresarial.

- Los sistemas de Gobierno Corporativo implementados se encuentran en línea con las recomendaciones y tendencias internacionales recomendadas por OCDE y las locales de acuerdo con las exigencias legales. Ver Cuadro 4. Resumen de hallazgos en la entrevistas - Gobierno Corporativo.

En el sector público se encontraron los siguientes elementos comunes:

- Los conflictos de intereses de los empleados y directivos están sometidos de manera especial al régimen de inhabilidades y compatibilidades de la ley 80 de 1993, modificada por la ley 1150 de 2007 y ley 1474 de 2011, que regulan esta materia; igualmente cuentan con la ley 734 de 2002, referente al régimen disciplinario de los servidores públicos.
- Las entidades han definido una política antifraude y anticorrupción, que incluye una declaración de transparencia obligatoria a todos los directivos, empleados y trabajadores, proveedores y/o contratistas.



En el sector privado se encontraron los siguientes elementos comunes:

- Los bancos tienen una influencia de las exigencias de la FCPA y ley patriota, por las operaciones que realizan en el mercado bursátil.
- Disponen de auditorías independientes y revisoría fiscal.
- Manejan unos límites mínimos y máximos de exposición a la pérdida.
- Este sector tiene la particularidad de contar con reglamentos de asamblea general de accionistas, reglamento de la junta directiva y reglamentos de los comités de apoyo a la junta. Las juntas directivas tienen facultades de representación, administración, gestión y vigilancia, con lo que pueden decidir la realización de cualquier acto de disposición o administración y en especial las funciones y obligaciones descritas en los estatutos sociales y en las normas legales.
- Poseen un Sistema de Administración del Riesgo Operacional, SARO, como metodología para la gestión de pérdidas operacionales y es complementaria al sistema de administración de riesgos corporativo que tienen estas organizaciones.

Es importante mencionar que se identificó un elemento particular y que no es común a todas las organizaciones objeto de estudio:

Las directrices de Gobierno Corporativo del Grupo EPM enmarcan los lineamientos de la responsabilidad social empresarial, justificando esto en la búsqueda

de un balance en los intereses y necesidades de sus diferentes interesados. Estableciendo reglas claras para su relacionamiento e interacción, un marco ético, claro y transparente a las actuaciones de la entidad que propendan por la sostenibilidad de la entidad en el tiempo.

3.2. Cohecho en transacciones internacionales

Se encontraron los siguientes elementos comunes:

- Están sometidos al cumplimiento de la legislación vigente del país, particularmente la ley 1474 de 2011 (nuevo estatuto anticorrupción), el decreto reglamentario 124 del 2016 (plan anticorrupción y de atención al ciudadano), decretos reglamentarios 1081 y 2641.
- Han definido e implementado la gestión de sus riesgos, con el propósito de definir las medidas de prevención que buscan minimizar el riesgo de cohecho.
- Generan soporte a la continuidad de la operación, actualizan sus mapas de riesgos asociados a fraude y corrupción y generan los planes de acción correspondientes con el fin de: a) establecer una metodología para la identificación de los riesgos, b) cerrar espacios propensos a la materialización de hechos de corrupción, c) estrategias de atención al ciudadano, d) acceso a la información y, e) definición de estrategias para proteger y prevenir hechos de corrupción.
- Cuentan con una definición de la política de sistema de administración del riesgo de lavado de activos y la financiación del terrorismo, SARLAFT, con la que buscan prevenir y regular la materialización del riesgo de cohecho en las transacciones que realizan tanto a nivel nacional como internacional.
- Poseen una metodología para la adquisición de bienes y servicios con la cual llevan a cabo los procesos de contratación de orden local, nacional e internacional, regulados de acuerdo con su política interna y externa.

- Promulgan la declaración de la política de cero tolerancias a prácticas de fraude, corrupción y soborno, como una estrategia de transparencia y legalidad en las actuaciones que realizan las organizaciones. Ver Cuadro 3. Resumen de hallazgos en la entrevistas - Cohecho en las Transacciones Comerciales.

En el sector público se encontraron los siguientes elementos comunes:

Las entidades están sometidas al cumplimiento regulatorio de:

- La Ley 734 de 2002 como elemento de control, con el objeto de contrarrestar los actos de fraude y corrupción entre otras conductas indebidas, bajo la que se regulan el régimen disciplinario de los servidores públicos. Asimismo, al régimen de inhabilidades e incompatibilidades de la ley 80 de 1993.
- La Política Pública de Transparencia Administrativa, Ley 1712 de 2014, que incluye la obligatoriedad de una declaración de transparencia obligatoria a todos los directivos, empleados y trabajadores, proveedores y/o contratistas del sector público.
- El modelo estándar de control interno, MECI, decreto 1599 de 2005, como una herramienta de gestión que fortalece el sistema de control interno de las entidades públicas, con lo que buscan garantizar la coordinación de las acciones, la fluidez de la información que producen, la comunicación y el anticipar y corregir de manera oportuna las debilidades que se presenten.

En el sector privado se encontraron los siguientes elementos comunes:

- Las entidades financieras están sometidas al cumplimiento de la ley norteamericana Sarbanes Oxley, SOX, como elemento de control complementario que aplica como requerimiento regulatorio en la legislación colombiana.

Es importante mencionar que se identificó un elemento particular y que no es común a todas las organizaciones objeto de estudio:

- El Grupo EPM se encuentra adherido al principio 10 del Pacto Mundial de la Organización de las Naciones Unidas, donde se establece que las empresas deberán trabajar en contra de la corrupción en todas sus representaciones incluidas la extorsión y el soborno. Y persigue la lucha contra la corrupción actuando dentro este marco, teniendo en cuenta las iniciativas y los medios de autorregulación aplicados en la entidad; en especial, aquellos que tienen por objeto mantener un ambiente de transparencia y confianza.
- En BBVA Colombia la gestión del riesgo de fraude se fundamenta en tres puntos básicos como son: a) la responsabilidad de la gestión del riesgo de fraude; b) el comité de gestión y prevención del fraude y, c) el plan local de gestión del fraude. Y para su gestión cuenta con once dependencias que desarrollan funciones específicas relacionadas con la evaluación, prevención, detección, mitigación y recuperación del riesgo de fraude y la asignación de responsabilidades a nivel país con responsabilidades directas o indirectas para la gestión de este riesgo.

3.3. Política del consumidor

Se encontraron los siguientes elementos comunes:

- Con el objetivo de dar cumplimiento al estatuto de protección a los consumidores han establecido directrices básicas para el tratamiento seguro de la información y aviso de privacidad.
- Partiendo de la ley 1581 de 2012, Habeas Data, las organizaciones pueden estar al tanto de la información del titular que repose en centrales de información crediticia como CIFIN, DATACRÉDITO o en especialistas como bancos de datos de información financiera, crediticia, comercial y provenientes de terceros países a que se refiere la ley 1266 de 2008 y sus normas reglamentarias o modificatorias, para la ejecución de las transacciones con clientes y/o usuarios.

- Las organizaciones entrevistadas, con el propósito de dar cumplimiento a la ley 1480 de 2011, estatuto del consumidor, han implementado mecanismos que pretenden resarcir a los consumidores víctimas de prácticas comerciales fraudulentas y engañosas.
- Los PQRS (Peticiónes, Quejas, Reclamos y Sugerencias) recibidas por las organizaciones están reguladas a través de la ley 1755 del 2015 que define los términos de respuesta y el estatuto anticorrupción. Ver Cuadro 6. Resumen de hallazgos en la entrevistas - Política del Consumidor.

En el sector privado se encontraron los siguientes elementos comunes:

- Tienen implementados mecanismos que permiten resarcir a los usuarios como: a) la línea especializada de seguridad la cual realiza dos tipos de investigaciones, la primera de carácter interno para empleados y otra que evalúa lo sucedido frente a esos riesgos que pueden tenerse en los productos o los servicios de la organización; b) la línea de atención al cliente que atiende peticiones y reclamos relacionados con el servicio y c) las políticas de abono, que definen los tiempos de respuesta al cliente en caso de fraude.

Es importante mencionar que se identificó un elemento particular y que no es común a todas las organizaciones objeto de estudio:

- Frente al resarcimiento al cliente, en el Grupo EPM se detectó la existencia de elementos con los que compensan este tipo de situaciones tanto al interior como al exterior, tales como: a) el contrato de suscripción para la venta de servicios a los usuarios; b) la compensación de acuerdo al marco tarifario que se debe realizar ante la no prestación del servicio y c) los análisis de riesgos y determinación de controles para los diferentes contratos, proyectos, ventas comerciales, opciones de negocios e inversiones adelantadas por las empresas del Grupo.

- En el Metro de Medellín se encontró que disponen de una carta de trato y atención al ciudadano, que considera los derechos, deberes y los canales para ejercerlos. Adicionalmente, cuentan con el contrato tarjeta cívica, que establece la relación contractual entre el usuario y la empresa en relación con ese medio de pago. Respecto al cumplimiento de las leyes de protección al consumidor (Ley 1480 de 2011, Estatuto del Consumidor), esta entidad reporta unas características especiales al servicio que presta y el cumplimiento de otras normas específicas que regulan la relación con los usuarios, tales como el Código de Comercio, que regula el contrato de transporte y la entidad lo tiene así dispuesto en el reglamento del usuario publicado en las carteleras operativas de cada estación o parada del Sistema.

- BBVA Colombia dispone de herramientas para el registro, control y seguimiento de las solicitudes, quejas y reclamos radicados por los clientes o entes de control denominadas métricas e informes, así como herramientas de escucha y diálogo denominadas “focus groups”, que corresponde a jornadas de trabajo con clientes para conocer su opinión sobre temas concretos, educación financiera, mesas de trabajo con proveedores y aliados estratégicos.

A continuación, se presentan los principales resultados de elementos identificados en relación con los requerimientos de la OCDE en las empresas objeto de análisis.



En Gobierno Corporativo, la lucha contra los riesgos de fraude y corrupción se convierte en un marco estratégico del sistema de administración de riesgos, tanto en el sector público como privado. De ahí la fortaleza de los resultados identificados en esta directriz de la OCDE. (Cuadro 2). Se identificaron algunos elementos

como iniciativas complementarias y/o que son aplicables específicamente por la pertenencia al sector público o privado, pero que no corresponden a un parámetro de incumplimiento por la entidad en la cual no se ha identificado; en este caso, se identificó con las letras NA, indicando que no aplica.

Elemento	EPM	METRO	Bancolombia	BBVA
Gobierno corporativo de la entidad u organización (código, acuerdo, convenio, otro) con partes interesadas	✓	✓	✓	✓
Procedimientos para determinar potenciales conflictos de intereses a nivel de los miembros de junta	✓	✓	✓	✓
Declaración de transparencia en las actuaciones y de cumplimiento de las exigencias de la normatividad	✓	✓	✓	✓
Declaración de los orígenes de los recursos de los miembros de junta, directivos, empleados y trabajadores de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Comité de ética de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Código de ética de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Política de cero tolerancias a prácticas como el fraude, la corrupción y el soborno en la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Buenas prácticas en cuanto al cumplimiento normativo, regulatorio y del desempeño en la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Existencia de juntas directivas en las empresas filiales del grupo que conforman la entidad u organización empresarial	✓	✓	✓	✓
Conformación, designación de sus miembros y directrices para el funcionamiento del gobierno corporativo de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Marco estratégico, regulatorio y normativo para el direccionamiento del gobierno corporativo de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Manual de conducta vinculante a todos los directivos, empleados y trabajadores de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Manual de conducta vinculante a todos los proveedores y contratistas de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Herramientas para la gestión interna de los riesgos de fraude y corrupción en la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Iniciativas voluntarias a nivel nacional e internacional de la gestión de los riesgos de fraude, corrupción y de transparencia de la entidad u organización. Ej.: mediciones.	✓	✓	✓	✓
Unidad / área / dependencia / programa de cumplimiento de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Página web de la entidad u organización (link transparencia en nuestra gestión)	✓	✓	✓	✓
Línea de contacto de la entidad u organización para interactuar con todos los que quieran reportar incidentes que consideren actos inapropiados por parte de (miembros de junta, directivos, empleados, trabajadores, proveedores y contratista) la entidad u organización empresarial en el contexto donde opere o tenga presencia (local, nacional como internacional)	✓	✓	✓	✓

Planes de acción al interior de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Conjunto de normas, leyes, decretos, circulares, procedimientos, entre otros que direccionan, regulan, controlan, monitorean y supervisan la gestión de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Sistema corporativo de administración de riesgos de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Mesas de trabajo con proveedores y aliados estratégicos.	✓	✓	✓	✓
Código de conducta de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Sistema de Administración del Riesgo de Lavado de Activos y Financiación del Terrorismo, SARLAFT	✓	✓	✓	✓
"Focus groups" y jornadas de trabajo con clientes para conocer su opinión sobre temas concretos en la entidad u organización	NA	✓	NA	✓
Política de gestión de riesgo operacional de la entidad u organización	NA	✓	✓	✓
Sistema de Administración de Riesgos Operacional, SARO.	NA	✓	✓	✓
Sistema de Información para la gestión de riesgos y controles en la entidad u organización	✓	✓	✓	✓

Cuadro 2. Resumen de hallazgos en la entrevistas - Gobierno Corporativo

Los principales hallazgos en relación con los requerimientos de la OCDE en Cohecho en las Transacciones Comerciales (Cuadro 3), se expresan a continuación. Se identificaron algunos elementos como iniciativas complementarias y/o que son

aplicables específicamente por la pertenencia al sector público o privado, pero que no corresponden a un parámetro de incumplimiento por la entidad en la cual no se ha identificado; en este caso, se identificó con las letras NA, indicando que no aplica.

Elemento	EPM	METRO	Bancolombia	BBVA
Políticas, directrices, prácticas de actuación con terceros por parte de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Mecanismos de denuncia penal de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Matriz de riesgos de fraude, corrupción y protección de datos de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Planes de gestión, control, de mejoramiento por parte de la entidad u organización y otros mecanismos internos	✓	✓	✓	✓
Reportes internos de fraude y corrupción por parte de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Procesos, guías y mecanismos entre otros de seguimiento, monitoreo y verificación internos y externos existentes en la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Gestión normativa y regulatoria a través de gremios por parte de la entidad u organización	✓	✓	✓	NA

Cuadro 3. Resumen de hallazgos en la entrevistas - Cohecho en las Transacciones Comerciales

Para finalizar, en los requerimientos de Política del Consumidor (Cuadro 4), se observaron los siguientes. Se identificaron algunos elementos como iniciativas complementarias y/o que son aplicables específicamente por la pertenencia al sector público

o privado, pero que no corresponden a un parámetro de incumplimiento por la entidad en la cual no se ha identificado; en este caso, se identificó con las letras NA, indicando que no aplica.

Elemento	EPM	METRO	Bancolombia	BBVA
Inventario de bases de datos en la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Canales de Habeas Data para cada base de datos identificados	✓	✓	✓	✓
Política de manejo y protección de datos de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓
Debida diligencia ante el reporte y atención de eventos donde se invoque el derecho al retracto de la entidad u organización	✓	NA	✓	✓
Manual del Sistema de Atención al Consumidor financiero, SAC.	NA	NA	✓	✓
Sistema de Atención al Consumidor Financiero, SAC.	NA	NA	✓	✓
Canales de recepción de Peticiones, Quejas y Reclamos (PQRS) de la entidad u organización	✓	✓	✓	✓

Cuadro 4. Resumen de hallazgos en la entrevistas - Política del Consumidor

4. Discusión y Conclusiones

4.1. Gobierno Corporativo

No obstante, las organizaciones analizadas cumplen de manera general con los requerimientos que establece la OCDE en materia de Gobierno Corporativo, se cuestiona que en Colombia se presenten eventos que llaman la atención de fraude y corrupción; con la existencia de leyes, normas y reglamentos que regulan y disuaden este tipo de eventos. Entendiendo que no es suficiente la generación de regulaciones para que estos comportamientos sigan sucediendo; el problema se debe abordar de manera diferente y la principal forma es desde el actuar de las personas con sus valores, sus creencias y sus aptitudes como se debe influenciar para cambiar esa proclividad de cometer actos de fraude y corrupción en las diferentes actividades empresariales y de la vida cotidiana.

El Estado actualmente es un regulador y proveedor de políticas que buscan entre otras, la orientación, el estímulo al cumplimiento y la propensión al logro de los objetivos tanto del país como de los sectores empresariales; aquí, es fundamental que las empresas se involucren apoyando significativamente al gobierno, en prácticas que van más allá de cumplir con la normatividad que los rige, generando más conciencia al interior de sus organizaciones y trabajando proactivamente

en influenciar las actuaciones de las personas que están a su cargo y en general todos los vinculados (contratistas y proveedores), de tal manera que se propicien cambios positivos frente la situación actual de fraude y corrupción en Colombia.

La actuación de diferentes entes y organismos del orden nacional e internacional, permiten a través de esfuerzos permanentes elevar los estándares del Gobierno Corporativo, especialmente en países emergentes, reflejado en el desarrollo normativo y legal que actualmente tiene Colombia para sus sectores productivos. Este concepto ha evolucionado de un contexto netamente financiero como fue en sus inicios, a uno que incluye aspectos relativos al diseño de la organización y que, según definiciones de la OCDE, tiene que ver con los medios internos por los cuales las entidades son gestionadas. Estos mecanismos han permitido que tanto los sectores público y privado posean herramientas de blindaje ante actuaciones inadecuadas de sus accionistas, dueños y administradores. Resulta interesante que, a lo alcanzado hasta la fecha, se le complementa un seguimiento y monitoreo permanente en las situaciones y hechos que pueden influir en esos marcos de Gobierno Corporativo de las organizaciones, de manera que este mecanismo se ajuste de forma oportuna y pertinente a las nuevas condiciones que el entorno interno demande.

Las empresas analizadas, en primera instancia no refieren mayor conocimiento e interés hacia los lineamientos que tiene la OCDE por percibirlo como un tema de materia política; pero al presentarles las directrices y temáticas exigidas por la OCDE, son conscientes de estar dando aplicabilidad a la mayoría de ellos. Teniendo en cuenta que algunas son exigencias legales y otras buenas prácticas empresariales en la gestión de los riesgos. De esta manera, el Gobierno Nacional debe argumentar con mayor énfasis el interés de hacer parte de la OCDE, mostrando al sector empresarial esta iniciativa como una posibilidad de mejora en la administración de los negocios y la protección a los grupos de interés.

Con los hallazgos obtenidos, no se encontraron muchas diferencias en las herramientas implementadas por las entidades objeto de análisis en asuntos de Gobierno Corporativo y respecto a los requerimientos de la OCDE; entendiendo esto como una intención de proteger a todos los grupos de interés. Los diferentes elementos encontrados en las empresas mantienen una alta correlación e interdependencia, cumpliendo así una función sistémica en la gestión de las mismas. Dando por sentado que frente al asunto de Gobierno Corporativo las organizaciones analizadas se encuentran avanzando en un nivel de implementación de los requerimientos que la OCDE formalizará tan pronto el país sea aceptado formalmente en este organismo y para dar cumplimiento pleno deberán atender las brechas identificadas en esta investigación.

4.2. Cohecho en las Transacciones Comerciales

Colombia se encuentra en el camino de preparación ajustando la normatividad y diseñando nuevas leyes que conlleven a dar el cumplimiento necesario para que sea aceptada como miembro de la OCDE, efecto que tendría implicaciones desde diferentes vertientes y una de ellas son las empresas colombianas, quienes se encuentran hasta ahora en el camino de preparación. Dado esto, le exigirán al país reducir la corrupción de manera que se generen todos los controles, bloqueos y políticas que deslegitimicen el uso inapropiado de las transacciones comerciales internacionales y el fortalecimiento de los esfuerzos

nacionales en materia de anticorrupción y que conlleven a mejorar el nivel de gobernabilidad a través de dichas modificaciones nacionales. Aquí el Gobierno colombiano es quien da las pautas que deben existir para el riesgo de cohecho y son las organizaciones quienes deben trabajar en el entendimiento sobre las acciones de tipo preventivo y correctivo que se deberán tener.

En una encuesta realizada a ejecutivos de empresas, se concluye que los sobornos son necesarios para obtener contrataciones; si bien es cierto, que se han materializado eventos con respecto a la utilización de esta práctica con empresas multinacionales y por parte de entidades públicas y privadas, la realidad es que esta situación no puede ser generalizada porque no todas las organizaciones hacen uso de estas prácticas y lo que más se evidencia en este tipo de situaciones son deficiencias, falta de controles, deterioro de valores, falta de compromiso y de transparencia de los involucrados, para que este tipo de prácticas no se realicen. Tomando en cuenta la teoría de Donald Cressey acerca del triángulo del fraude, la manera de intervenir el fraude y la corrupción es eliminando las debilidades de los diseños organizacionales que permiten generar la ocasión para que se concrete este tipo de evento, descentralizando las funciones en algunas áreas e implementando nuevos controles de seguimiento y verificación para finalmente atacar la capacidad de realizar estos eventos, con la racionalidad de las personas que cometen estos hechos y no tienen establecidas las fronteras entre el delito y la ética; por lo tanto, si no se intervienen las personas que originan este tipo de riesgo, no será posible cambiar la situación. Hamra (2000).

En las entrevistas hechas a las organizaciones objeto de estudio, se observó que tienen un significativo avance en la preparación que viene implementando el Estado colombiano con la legalidad y acciones necesarias, donde se evidencia la creación de áreas, políticas, regulaciones y seguimientos a planes y estrategias de anticorrupción; sin embargo, falta evidenciar con claridad en sus reportes, que existe conocimiento pleno sobre los objetivos de la OCDE y lo que se pretende al ser Colombia miembro de este club de países.

En analogía con las empresas públicas y privadas, se observó que existen lineamientos marcados que difieren por su estructura y ello conlleva a que el tratamiento en algunos aspectos sea diferente, como es el Gobierno Corporativo, como máximo rector de las actuaciones, por el mismo manejo que la junta y sus participantes le dan a algunos temas y es desde este punto de partida que deben darse los lineamientos y directrices para la gestión del riesgo de cohecho al interior de las organizaciones; lo mismo sucede con el cohecho que tiene un direccionamiento diferente respecto del sector privado. De igual manera, se distinguen posiciones tan marcadas en las entidades como la política de cero tolerancias al fraude y la total mitigación de la exposición al mismo.

4.3. Protección del Consumidor

La Legislación colombiana recientemente incluyó vigilancia a los sectores que no estaban teniendo seguimiento estricto en el cumplimiento de la promesa de lo ofrecido en bienes y servicios a los consumidores - usuarios finales. Esta nueva normatividad tiene como objetivo combatir los delitos asociados a prácticas comerciales fraudulentas y engañosas, sobre los cuales la OCDE se ha pronunciado.

Se observó de manera parcial en las empresas objeto de análisis, un trabajo decidido de involucramiento de la cadena de suministros en relación a los riesgos de fraude y corrupción particularmente a nivel de las relaciones comerciales y contractuales que llevan a cabo; esto significa que la gestión de estos riesgos debe trascender del ámbito interno hacia lo que se conoce como empresa extendida involucrando a sus proveedores y contratistas en esta lucha de protección del consumidor, se concluye que se deben generar espacios de relacionamiento en doble vía con sus clientes, proveedores y contratistas para que se traten estas situaciones y se garanticen los requerimientos legales y de la OCDE en cuanto a la protección de estos grupos de interés.

En relación con la ley 1581 de 2012, Habeas Data, las entidades han implementado políticas de manejo y protección de datos, han realizado un inventario de

bases de datos en la entidad y tienen identificados los canales de Habeas Data para cada base de datos identificada. Las empresas en mención se caracterizan por ser entidades robustas en sistemas de información y en disponibilidad de recursos para administrar los datos de sus clientes, por esta razón no se observan debilidades significativas en relación con el cumplimiento de esta ley.

La debida diligencia ante el reporte y atención de eventos donde se invoque el derecho al retracto puede corresponder al punto más débil, en que las entidades manifiestan deben invertir mayores esfuerzos, por ejemplo, en el proceso de análisis e investigación, debido a la necesidad de descartar eventos de fraude y corrupción en primera instancia por parte de personal interno y posteriormente por parte de los clientes. Sin embargo, las cuatro entidades manifiestan la importancia de disponer de canales de recepción de Peticiones, Quejas, Reclamos y Sugerencias (PQRS) para atender los requerimientos de los consumidores – usuarios, corregir las desviaciones en la prestación de los servicios ofrecidos, identificar las debilidades de los sistemas de control que permitan la ocurrencia de eventos de fraude y corrupción y en última instancia dar el cumplimiento legal.

También se concluye que el sector al que pertenecen las empresas analizadas no genera ninguna obligación adicional a este capítulo de la OCDE, a pesar de ser públicas o privadas, las cuatro entidades están obligadas a dar cumplimiento a la regulación que protege a los consumidores - usuarios.

La consecución de recursos financieros para apalancar los proyectos de inversión hace que los gobiernos acojan exigencias que involucran a todos los sectores empresariales. Colombia presenta avances a nivel normativo alrededor de los riesgos de fraude y corrupción y a pesar de existir un marco de actuación, la realidad es que estos delitos siguen vigentes; convirtiéndose en problemas incluso mayores a la violencia y a los desastres naturales. Realmente, el Gobierno Nacional busca a través de acuerdos como el de la OCDE obtener un robustecimiento y equilibrio con la gestión integral



antifraude, en coordinación con la aplicación de sus políticas penales; pero si bien es cierto, debe demostrar una contundencia superior a como viene obrando por las vías judiciales. Difundiendo una sana cultura corporativa en contra de acciones como sobornos, desfalcos, fraudes y corrupción, etc.

Este estudio se limitó a analizar cuatro casos en sectores de servicios públicos y financieros, investigaciones posteriores podrían ampliar los sectores económicos de análisis e incluso validar otros requerimientos que se encuentren aprobados por la OCDE para Colombia. Los resultados encontrados fortalecen los estudios previos de los diferentes autores, importante mencionar que hechos referenciados por los autores en este análisis no podrán ser homologables a Colombia puesto que corresponde a culturas, idiosincrasias y situaciones diferentes a las vividas en el territorio nacional, así como las evidencias del sector empresarial. Por lo que resulta interesante que si la aceptación de Colombia en la OCDE se convierte en una realidad, futuras investigaciones académicas estudien: a) ¿qué tan fortalecido va a estar el sector empresarial colombiano con su modelo económico vigente?; b) ¿qué tan competitivo será el país en este grupo de aliados y los efectos generados en el proceso de resarcimiento del conflicto interno?; c) analizar, ¿qué tan preparados se encuentran otros sectores productivos del país (servicios, construcción, tecnología, entre otros) en aspectos

de Gobierno Corporativo, cohecho en transacciones internacionales y política del consumidor?; d) considerar otros comités de los veintitrés que actualmente tiene la OCDE para validar en el ámbito del fraude y la corrupción como vienen trabajando estas líneas de riesgo, con el fin de tener una mirada completa sobre los requerimientos plenos de la OCDE a Colombia.

Adicionalmente, no se presentaron limitaciones para la realización de este estudio, los insumos que se requirieron estuvieron disponibles.

Este artículo pretende mostrar lo que, en materia de Gobierno Corporativo, cohecho en transacciones comerciales y política del consumidor poseen cuatro grandes empresas de la ciudad de Medellín, donde se identificó que cuentan con elementos claves de implementación, gestión, control y seguimiento a estos tres comités de los veintitrés que Colombia debe aprobar ante la OCDE. Es importante resaltar, que de cara a que todo esto sea una realidad, en la práctica deben darse las condiciones para que, al ser aceptado como miembro, se mejore la calidad de vida de los ciudadanos colombianos a través de inversión social; lo que conllevará a una mejor distribución de la riqueza y de esta manera, la salud, la educación, la vivienda y el empleo estarían garantizando que este tipo de acuerdos tengan validez y cumplimiento en la vida cotidiana de todos los ciudadanos.

Referencias

- Argandoña, A. (2005). Corruption and Companies: The Use of Facilitating Payments. *Journal of Business Ethics*, 60, 251–264. doi: 10.1007/s10551-005-0133-4
- Argandoña, A. (2007). The United Nations Convention Against Corruption and its Impact on International Companies. *Journal of Business Ethics*, 74, 481–496. doi: 10.1007/s10551-007-9524-z
- Asiedu, E., y Freeman, J. (2009). The Effect of Corruption on Investment Growth: Evidence from Firms in Latin America, Sub-Saharan Africa, and Transition Countries. *Review of Development Economics*, 13(2), 200–214. doi: doi.org/10.1111/j.1467-9361.2009.00507.x
- Clarke, G. (2011). How Petty is Petty Corruption? Evidence from Firm Surveys in Africa. Munich Personal RePEc Archive, 15073. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/15073/>. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2010.11.002>
- Colombia. Superintendencia de industria y comercio (2016). Comité Políticas de Consumidor Colombia - OCDE. Tomado de enlace doi://goo.gl/L9RzQF
- Congreso de la República de Colombia (2016). Ley 1778 del 02 febrero/2016. Cohecho en Transacciones Comerciales (2016). Tomado de: es.presidencia.gov.co/
- Cuervo-Cazurra, A. (2006). Who cares about corruption?. *Journal of International Business Studies*, 37, 803–822. doi:10.1057/palgrave.jibs.8400223
- Cuervo-Cazurra, A. (2008). The effectiveness of laws against bribery abroad. *Journal of International Business Studies*, 39, 634–651. doi: doi.org/10.1057/palgrave.jibs.8400372
- Cullen, J., Johnson, J., Martin, K. y Parboteeah, K. (2007). Deciding to bribe: a cross-level analysis of firm and home country influences on bribery activity. *Academy of Management Journal*, 50 (6), 1401–1422. doi: <https://doi.org/10.5465/AMJ.2007.28179462>
- Eisenhardt, K. (1989). Building Theories from Case Study Research. *Academy of Management Review*, 14, 532–550. doi: <https://goo.gl/b9Pv4Q>
- Fadahunsi, Akin y Rosa, Peter (2002). Entrepreneurship and Illegality: Insights from the Nigerian cross-border Trade. *Journal of Business Venturing*, 17, Issue 5, 397–429. doi://goo.gl/rlealj
- Fisman, R. y Svensson, J. (2007). Are corruption and taxation really harmful to growth? Firm level evidence. *Journal of Development Economics*, 83, (1), 63–75 doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdeveco.2005.09.009>
- Gaviria, A. (2002). Assessing the effects of corruption and crime on firm performance: evidence from Latin America. *Emerging Markets Review*, 3, (3), 245–268. Fedesarrollo. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1566-0141\(02\)00024-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1566-0141(02)00024-9)
- Geo-Jaja, M., y Mangum, G. (2000). The Foreign Corrupt Practices Act's Consequences for U.S. Trade: The Nigerian Example. *Journal of Business Ethics*, 24, 245–255. doi: <https://goo.gl/WXFlfW>
- Gjalit de Jong, Phan Anh Tu, and Hans van Ees. (2012). Which Entrepreneurs Bribe and What Do They Get From It? Exploratory Evidence From Vietnam, *Entrepreneurship Theory and Practice*, 36, (2), 323–345 – doi: 10.1111/j.1540-6520.2010.00400.x

- Gray, C. y Kaufmann, D. (1998). Corruption and Development. *Finance & Development*, 4, 7–10. doi: <https://goo.gl/59PGc7>
- Gueorguiev, D. y Malesky, E. (2012). Foreign investment and bribery: A firm-level analysis of corruption in Vietnam. *Journal of Asian Economics*, 23, 111–129. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asieco.2011.11.006>
- Hamra, W. (2000). Bribery in International Business Transactions and the OECD Convention: Benefits and Limitations. *Ethical and Professional Standards*, 35 (4), 33–46. doi: <http://dx.doi.org/10.2469/dig.v31.n2.868>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C y Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la investigación*, 5 ed. México: McGraw-Hill. doi: <https://goo.gl/sTg3WD>
- Jong, G de, Anh, P. y Ees, H. (2010). Which Entrepreneurs Bribe and What Do They Get From It? Exploratory Evidence from Vietnam. *Entrepreneurship Theory and Practice Journal*. 36, (2), 323–345. doi: v 10.1111/j.1540-6520.2010.00400.x
- Transparencia Internacional (2016a). Índice de percepción de la corrupción 2015. Tomado de: <https://goo.gl/RX0UjQ>
- Transparencia Internacional (2016b). Índice de percepción de la corrupción 2015 en Dinamarca. Tomado de: <https://goo.gl/XVxNBf>
- Transparencia Internacional (2016c). Transparencia por Colombia 2015. Tomado de: <https://goo.gl/urSM8H>

Cómo citar este artículo:

Chavarría Posada, V., Gil López, M.C., & Gómez Orjuela, F. H. (2018). Aproximación a los requerimientos de la OCDE en empresas colombianas: una mirada a los riesgos de fraude y corrupción. En: *Revista EPM*, (12) p.



Construcción de relaciones de confianza con los grupos de interés en proyectos y operaciones empresariales

Building trust relationships with the Stakeholders in business projects and operations

Yohan Alexis

Álvarez

Profesional Social y Ambiental
Unidad de Desarrollo Ambiental y
Social Proyectos e Ingeniería EPM

yohan.alvarez@epm.com.co

Resumen

El artículo presenta algunas consideraciones conceptuales y prácticas para la construcción de confianza con los grupos de interés en el marco de las gestiones empresariales, especialmente en la construcción y operación de los proyectos de infraestructura. En primer lugar, se realiza un acercamiento conceptual al vínculo entre Responsabilidad Social Empresarial (RSE), sostenibilidad y relacionamiento con grupos de interés. En segundo lugar, se presentan una

serie de características para la implementación de buenas prácticas de relacionamiento con los actores del entorno y, en tercer lugar, se analiza el tema de las lógicas transaccionales y asistencialistas en los intercambios empresa – comunidad; destacando la importancia de fortalecer el relacionamiento para la construcción de confianza como una competencia transversal en la gestión empresarial.

Palabras clave:

Confianza, legitimidad, relacionamiento, grupos de interés, territorio, proyectos, Responsabilidad Social Empresarial (RSE), sostenibilidad.

Key words

Trust, legitimacy, relationships, stakeholders, territory, projects, Corporate Social Responsibility, sustainability.

Introducción

La permanencia en el tiempo de una empresa es directamente proporcional a su capacidad de generar valor para sus grupos de interés⁽¹⁾. En este sentido, el valor de la confianza es un factor clave a considerar que impacta sustancialmente las inversiones, el crecimiento, la rentabilidad y la reputación empresarial. La confianza no es algo que se construye automáticamente, es el resultado de un proceso permanente de legitimación⁽²⁾ de la empresa, en los territorios donde se insertan sus proyectos y la operación de sus negocios.

De acuerdo con lo expuesto, la legitimidad de una empresa no depende exclusivamente de la legalidad de sus actuaciones; es decir, cuando su comportamiento organizacional cumple con las disposiciones legales e institucionales propias de un Estado de Derecho. Tampoco se reduce a su

capacidad empresarial en términos de la eficiencia, eficacia y calidad de sus procesos, proyectos y operaciones para satisfacer necesidades mediante la provisión de bienes y servicios. Su legitimidad depende también del tipo de relaciones que construye con sus grupos de interés en el desarrollo de sus proyectos y en la operación de sus negocios.

Este artículo entonces se centra en el tema de relacionamiento para la construcción de confianza destacando en su primer apartado el vínculo existente entre el relacionamiento con los conceptos de RSE y sostenibilidad. En el segundo, se esbozan algunas consideraciones prácticas del relacionamiento para la construcción de confianza en los proyectos y operaciones empresariales y, en el tercero, se problematizan dos tipos de intercambio empresa - comunidad como lo son la transacción y el asistencialismo.

1. RSE, sostenibilidad y relacionamiento

El relacionamiento es un asunto que se encuentra en el "corazón" mismo del concepto de RSE. Como se muestra en la tabla 1, no existe una única definición en torno a la RSE; no obstante, existen conceptos conexos que son comunes a cada definición, a saber:

1.1. La sostenibilidad

Entendida como un enfoque de desarrollo que busca garantizar las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, armonizando el desarrollo económico, la inclusión social y la protección del medio ambiente⁽³⁾.

1.2. El relacionamiento con los grupos de interés

Para considerar sus requerimientos y expectativas en la gestión empresarial (AccountAbility et al., 2006, p. 11). En este sentido, la RSE se entiende como una parte integral y estratégica de la gestión de una empresa, la cual se enfoca en la construcción de territorios competitivos, equitativos y protectores del medio ambiente a través de sus negocios y actuaciones, en una relación de mutuo beneficio con los grupos de interés⁽⁴⁾.

AUTOR	DEFINICIÓN
Unión Europea	Integración voluntaria, por parte de las empresas, de las preocupaciones sociales y medioambientales en sus operaciones comerciales y sus relaciones con sus interlocutores (2001, p. 7).
World Business Council on Sustainable Development (WBCSD)	Compromiso de las empresas de contribuir al desarrollo económico sostenible, trabajando con los empleados, sus familias, la comunidad local y la sociedad en general para mejorar su calidad de vida (WBCSD citado por Trujillo Dávila, María Andrea; Trujillo Dávila, Manuela; Guzmán Vásquez, Alexander, 2006, p. 357).
Forum Empresa	Una nueva forma de hacer negocios, en la que la empresa gestiona sus operaciones de forma sostenible en lo económico, social y ambiental, reconociendo los intereses de distintos públicos con los que se relaciona, como los accionistas, los empleados, la comunidad, los proveedores, los clientes, considerando el medio ambiente y el desarrollo sostenible de las generaciones futuras (2009).
Business for Social Responsibility (BSR)	Administración de un negocio de forma que cumpla o sobrepase las expectativas éticas, legales, comerciales y públicas que tiene la sociedad frente a una empresa (BSR citado por Rivera Rodríguez, Hugo Alberto; Malaver Rojas, Marleny Natalia, 2011, p. 15).
Instituto Ethos de Empresas y Responsabilidad Social de Brasil	Es una forma de gestión definida por la relación ética y transparente de la empresa con todos los públicos con los cuales se relaciona, y por el establecimiento de metas empresariales compatibles con el desarrollo sustentable de la sociedad, preservado recursos ambientales y culturales para las futuras generaciones, respetando la diversidad y promoviendo la reducción de las desigualdades sociales (Instituto Ethos de Empresas y Responsabilidad Social, 2005, p. 3).

Tabla 1. Algunas definiciones de RSE

2. Relacionamiento para la construcción de confianza

El relacionamiento así entendido se constituye en un proceso dinámico de interacción e intercambio con los grupos de interés, que tiene como finalidad el reconocimiento de sus necesidades y expectativas en la estrategia y gestión de una empresa.

Dicho proceso tiene como fundamento ético los valores que identifican/diferencian a una organización y que, como bien se define en el direccionamiento estratégico del Grupo EPM, habilitan su actuación hacia el cumplimiento de la estrategia y se reflejan en las prácticas cotidianas de sus colaboradores dentro y fuera de la empresa⁽⁵⁾.

En tanto proceso de interacción e intercambio, las buenas prácticas de relacionamiento de una empresa en el desarrollo de sus proyectos o en la operación de sus negocios, debe considerar – entre otras – las siguientes condiciones:

2.1. Reconoce la situación particular del proyecto

No existen recetas o fórmulas de relacionamiento aplicables a todos los casos; cada proyecto presenta particularidades y circunstancias específicas de acuerdo al negocio y el entorno. En este sentido, en

el desarrollo de un proyecto es necesario adaptar las estrategias de acuerdo a los riesgos e impactos específicos que implica su inserción en un territorio determinado. Al respecto, la Corporación Financiera Internacional (IFC) (2007) señala que:

Las empresas deben estar preparadas ante el hecho de que se insertarán en un contexto preexistente pero dinámico, con historias y culturas establecidas y, a menudo, complejas relaciones políticas, sociales y económicas entre grupos que pueden verse inmersos en la situación debido al advenimiento de un proyecto y del proceso de desarrollo que lo acompaña. En otras palabras, las relaciones con los actores sociales pueden politizarse y complicarse, y provocar o exacerbar conflictos y producir resultados imprevistos (p. 7).

Por lo tanto, el conocimiento de las realidades sociales, políticas, económicas, culturales y ambientales del territorio; y de los actores relevantes que interactúan en él a partir de sus intereses, motivaciones y representaciones sociales (imaginarios, creencias, valores); es un asunto crucial para la identificación y gestión oportuna de los riesgos, y la construcción de relaciones asertivas con los grupos de interés.

2.2. Proactivo antes que reactivo

El relacionamiento debe ser esencialmente un proceso intencionado y proactivo que contribuya al cumplimiento del propósito y objetivos empresariales. En este sentido, iniciar de forma oportuna la interacción con los interesados contribuye a forjar un "capital" de confianza y cercanía que podría ser fundamental en el momento de afrontar situaciones adversas que amenacen la viabilidad del proyecto, pues "si llega a surgir un conflicto o una crisis y no se han establecido relaciones y canales de comunicación, el proyecto queda inmediatamente en desventaja al intentar controlar la situación" (IFC, 2007, p. 6).

Debido a la complejidad de los entornos siempre habrá espacio para reaccionar ante la materialización de riesgos sociopolíticos⁽⁶⁾ no controlados o impredecibles; no obstante, aun en este tipo de situaciones, las empresas deberían estar preparadas para asumir de forma sistemática y resiliente dichas eventualidades.

2.3. Se gestiona no se improvisa

El relacionamiento requiere planeación, organización y preparación, como otros procesos empresariales. Dicha gestión implica la definición de elementos estratégicos y tácticos e incluye acciones, responsables, recursos y tiempos susceptibles de control y seguimiento. La improvisación se constituye en un riesgo que puede afectar la viabilidad misma de un proyecto y la operación empresarial.

2.4. Es un proceso de construcción

El relacionamiento no se decreta ni se acuerda, se construye en interacciones sistemáticas con los grupos de interés en diversos escenarios (virtuales o presenciales, formales o informales). El acuerdo, la alianza, el convenio, el contrato, la socialización, las mesas de trabajo, los comités, las audiencias, entre otros, son medios o herramientas que facilitan la relación o en algunos casos, la habilitan, más no lo agotan o sustituyen. Por lo cual, es necesario poner la atención en el proceso y no sólo en el fin, y adaptar creativamente los medios o herramientas de acuerdo a las condiciones y necesidades del proyecto y el entorno.

2.5. Tiene visión de largo plazo

Como un asunto directamente conectado con la estrategia de toda empresa: "permanecer en el tiempo generando valor", la gestión del relacionamiento debe considerar los resultados e impactos de las actuaciones a largo plazo y propender por escenarios futuros deseables y posibles. Una visión de largo plazo favorecerá la adopción de decisiones inteligentes que, si bien en algunos casos, podrían significar mayor esfuerzo en el corto plazo, generarán beneficios importantes a futuro.

2.6. Es un proceso incluyente

Si bien la inclusión de uno u otro grupo de interés, la determina las particularidades del proyecto y el entorno, la efectividad del proceso implica reconocer a todos los interesados (especialmente los más vulnerables) como una manera de cumplir con el derecho ciudadano a la participación, contribuir al fortalecimiento de una cultura ciudadana democrática, gestionar oportunamente los riesgos y generar oportunidades para el proyecto (ej. Gestionando expectativas, conociendo las opiniones y percepciones de los otros, generando acuerdos, etc.).

En este contexto, el relacionamiento con los grupos de interés antes que un departamento, una función, un plan o una acción; es un asunto fundamental en la construcción de confianza empresarial, el cual requiere del desarrollo de una sensibilidad ética y competencias organizacionales e individuales transversales a los proyectos y operaciones, tales como:

- Análisis del entorno y los grupos de interés para el conocimiento de los territorios.
- Identificación y gestión oportuna del riesgo sociopolítico.
- Diseño de estrategias de relacionamiento de acuerdo a las condiciones de los proyectos y entornos.
- Metodologías de participación para la inclusión de los grupos de interés en los proyectos y operación de la empresa.
- Tratamientos de conflictos sociales y ambientales.
- Comunicación efectiva para el relacionamiento.

3. Más allá de la lógica transaccional y asistencial

El relacionamiento trasciende las lógicas transaccionales y las prácticas de carácter asistencial. Históricamente, los vínculos entre los partidos políticos y la ciudadanía dentro del sistema político colombiano han estado mediados por redes de intermediación clientelar⁽⁷⁾. Este fenómeno ha implicado la producción cultural de prácticas e imaginarios ciudadanos que, en contextos de ausencia o déficit de Estado, se reproducen en los intercambios entre las empresas y las comunidades.

Es así como, ante la presencia y actuación de una empresa en el territorio, las expectativas de las comunidades y la respuesta de la empresa se expresan en términos de intercambios asimétricos donde esta pretende obtener el apoyo de la comunidad a partir de inversiones sociales.

Así mismo, cuando no existe una visión clara y responsable de la integración al desarrollo de un territorio, las inversiones sociales voluntarias o discrecionales de la empresa, se limitan a acciones de carácter asistencial con visión de corto plazo, sin criterios claros de actuación y sin una agenda de

inserción en el territorio que le permita converger con otros actores del desarrollo⁽⁸⁾.

En este contexto, es necesario tener en cuenta que el relacionamiento va más allá de las lógicas transaccionales y asistenciales, pues:

- El relacionamiento es la plataforma a partir de la cual se sientan las bases sólidas para la inversión social responsable.
- La inversión social sin relacionamiento no se traducirá necesariamente en confianza y credibilidad, y – por el contrario – puede decantar conflictos de interés debido al aumento de las expectativas comunitarias.
- La inversión social sin una visión clara y unificada de integración al desarrollo de un territorio en el mediano y largo plazo, coherente con el direccionamiento estratégico de una empresa, puede generar prácticas asistencialistas de intervención.

Conclusiones

La legitimidad de una empresa en un territorio determinado no solo depende de la legalidad y capacidad (eficiencia/eficacia/calidad) de sus actuaciones, sino también del tipo de relacionamiento que construya con sus grupos de interés.

En este sentido, antes que una dependencia o función, el relacionamiento es un proceso estrechamente vinculado a los conceptos de RSE y sostenibilidad que, gestionado adecuada y estratégicamente, contribuirá a la construcción efectiva de confianza y reputación empresarial.

Esto último implica, por una parte, fortalecer y desarrollar competencias (conocimiento, habilidades y actitudes) de manera transversal

a los proyectos y operaciones, especialmente en aquellos procesos que revisten mayores riesgos sociales y políticos para la empresa (ej. El manejo de impactos ambientales y sociales en el desarrollo y operación de los proyectos).

Por otra parte, implica repensar prácticas empresariales que, desde lógicas transaccionales y asistencialistas, reproducen formas de intercambio que desfavorecen la construcción de ciudadanía democrática, reducen las oportunidades de un desarrollo territorial y agudizan los riesgos empresariales en los proyectos u operaciones (por ejemplo, incrementando las expectativas comunitarias y/o sustituyendo – antes que convergiendo - con otros actores del desarrollo territorial como el Estado).

Referencias

- AccountAbility, United Nations Environment Programme, Stakeholder Research Associates Canada Inc (2006). El compromiso con los stakeholders. Manual para la práctica de las relaciones con los grupos de interés. Recuperado de <http://www.foretica.org/wp-content/uploads/2016/01/204.pdf>
- Castro Carvajal, B. (2008). Los inicios de la asistencia social en Colombia. En: Revista CS, (1), 157 – 188. doi: <https://doi.org/10.18046/recs.il.405>
- Corporación Financiera Internacional (2007). Relaciones con la comunidad y otros actores sociales. Manual de prácticas recomendadas para las empresas que hacen negocios en mercados emergentes. Recuperado de https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/b7fe528048855c5a8ba4db6a6515bb18/IFC_StakeholderEngagement_Spanish.pdf?MOD=AJPERES.
- Falção, H. y Fontes, J. (1999). ¿En quién se pone el foco? Identificando “stakeholders” para la formulación de la misión organizacional. En: Revista del CLAD Reforma y Democracia, 15, 1-18.
- Forum Empresa. (2009). Qué es la RSE. Recuperado de http://www.empresa.org/sitio-2009/index.php?option=com_content&view=article&id=48&Itemid=56
- Instituto Ethos de Empresas y Responsabilidad Social (2005). Oficinas de gestión. Instituto Ethos de Empresas y Responsabilidad Social. Recuperado de http://www.ethos.org.br/ci_es_2005/oficina_gestao/oficina_gestao_es.pdf.
- Rivera Rodríguez, H. A., y Malaver Rojas, M. N. (2011). La organización: los stakeholders y la responsabilidad social. Documento de investigación 97, Facultad de Administración de la Universidad del Rosario, Bogotá: Editorial Universidad del Rosario. Centro de Estudios Empresariales para la Perdurabilidad (CEEP).
- Unión Europea (2001). Libro Verde, Fomentar un Marco Europeo para la Responsabilidad Social Empresarial. Recuperado de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52001DC0366&from=ES>.
- Trujillo Dávila, M. A., Trujillo Dávila, M., y Guzmán Vásquez, A. (2006). Responsabilidad social empresarial y global reporting initiative. En: Universidad & Empresa, 5 (11), 351-369.
- Zapata Osorno, E. (2016). Clientelismo político. Un concepto difuso pero útil para el análisis de la política local. En: Estudios Políticos, 49, p. 167–185. doi: <http://dx.doi.org/10.17533/udea.espo.n49a09>

Notas al final

(1) El término grupos de interés, en inglés “stakeholders”, se “refiere a aquellas personas o grupos de personas que se ven afectados o se podrían ver afectados por las operaciones de una organización o empresa. Esta definición no incluye a todos los que pueden tener una opinión sobre la empresa. Las organizaciones pueden tener muchos tipos de stakeholders cada cual con diferente nivel de involucración o compromiso y a menudo con intereses diferentes y en conflicto” (AccountAbility, United Nations Environment Programme, Stakeholder Research Associates Canada Inc., 2006, p. 10). Para profundizar en el concepto de “stakeholders” ver: Falção, Humberto y Fontes, Joaquim (1999).

(2) La legitimidad de una empresa se entiende como el conjunto de percepciones, opiniones y expectativas de sus grupos de interés en términos de la aceptación, aprobación e identificación con la presencia y actuación de la misma.

(3) Se retoma el concepto básico de desarrollo sostenible elaborado por la Comisión de Desarrollo y Medio Ambiente de las Naciones Unidas, en el informe titulado “Nuestro futuro común” o también conocido como “Informe Brundtland”. Dicho informe se constituye en un hito histórico importante en la configuración de una agenda mundial enfocada en el desarrollo sostenible, que llevaría a la adopción de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible por parte de la Asamblea General de las Naciones Unidas.

(4) La gestión del relacionamiento con los grupos de interés se enfoca hacia la sostenibilidad, en el sentido de que las actuaciones que armonicen los tres aspectos básicos referidos (a saber, el económico, el social y el ambiental) deben partir del reconocimiento de sus necesidades y, a su vez, la respuesta de la empresa debe valorarse en términos de su contribución al desarrollo sostenible. Al respecto, Castro (2005) afirma que la RSE “supone el reconocimiento e integración de las preocupaciones

sociales, laborales, medioambientales y de respeto a los derechos humanos, en la gestión de la empresa, de forma que se generen políticas, estrategias, decisiones y procedimientos que satisfagan dichas preocupaciones y configuren sus relaciones, de forma transparente, con sus interlocutores”.

(5) Los valores institucionales de EPM que habilitan su propósito empresarial son: transparencia, calidez y responsabilidad (EPM. Valores institucionales. Descargado Mayo, 30, 2017 de <http://www.epm.com.co/site/Home/Institucional/ValoresInstitucionales.aspx>.)

(6) En términos generales se puede definir el riesgo sociopolítico como la probabilidad de ocurrencia de un hecho que produzca daño o afectación al proyecto, a la empresa y/o a las operaciones, y que tenga origen en las actuaciones y/o relaciones de los actores del entorno.

(7) El clientelismo político se define como un mecanismo de intermediación política que se reconoce en la forma como se entretajan los vínculos entre los partidos políticos y el electorado. En este sentido, el clientelismo es un fenómeno de intercambio de recursos materiales e inmateriales entre un patrón (personal político) y un cliente (el elector) para la consecución de apoyos y lealtades (Zapata Osorno, Eucaris, 2016).

(8) Las prácticas de asistencia social son acciones realizadas por entidades gubernamentales, organizaciones de la sociedad civil o empresas enfocadas en la atención de las necesidades básicas de individuos, grupos poblacionales o comunidades que carecen de satisfactores para dichas necesidades. Estas acciones de intervención social se enfocan primordialmente en resolver los efectos de la carencia específica y urgente, de forma más o menos temporal y sin costo o un bajo costo para los usuarios (ej. La modalidad de transferencia condicionada de recursos tipo subsidio). Entre las limitaciones propias de las prácticas asistenciales están su carácter paliativo orientada a los efectos antes que en las causas de los problemas y la generación de hábitos de dependencia que pueden agudizar la situación de pobreza y vulnerabilidad histórica. La RSE entendida como filantropía empresarial conlleva comúnmente a iniciativas voluntarias de marcado acento asistencial. Para profundizar en los inicios de la asistencia social en Colombia ver: Castro Carvajal, Beatriz, 2008.

Cómo citar este artículo:

Álvarez, Y. A. (2018). Construcción de relaciones de confianza con los grupos de interés en proyectos y operaciones empresariales. En: Revista EPM, (12) p.



epm®

estamos ahí.

Energías renovables y su nuevo modelo de negocio

Renewable energies and their new business model

Carlos Alejandro Larios Restrepo

Profesional Operaciones Negocios
Unidad Operación Integrada T&D Energía, EPM

carlos.larios@epm.com.co

Resumen

La manera de comercializar energías renovables ha iniciado su migración al método que ha sido utilizado en la prestación de servicios de transporte y alojamiento por empresas como Uber y Airbnb: La economía compartida. Estas dos empresas tuvieron en cuenta las falencias en los servicios de las empresas tradicionales, como baja calidad del servicio y las altas tarifas, unida a la necesidad de las personas por contar con esos servicios a precios razonables, para aprovechar la economía compartida a su favor y generar un negocio millonario que se encuentra alrededor del mundo.

El comercio de energía basado en fuentes renovables no fue la excepción, el método tradicional en el

que la energía se vende de forma unidireccional, del operador de red al consumidor, está siendo cambiado por modalidad prosumer, que se define como la venta de energía de personas que producen su propia energía, pero que no alcanzan a consumirla en su totalidad, y que luego la venden a quienes se ajusten a su precio y la prefieren con origen renovable.

Ya no se requiere proximidad en las instalaciones de producción y consumo para compartir energía, las ventajas de internet y la liberalización del mercado permiten realizar compraventas, inclusive con monedas poco corrientes.

Palabras clave:

Energías renovables, economía compartida, blockchain.

Key words

Renewable energies, sharing economy, blockchain.

Introducción

Este Artículo pretende llamar la atención del entorno que podríamos experimentar pronto y que obedece a un cambio en la forma de prestar servicios ahora mediante plataformas de economía compartida -el “nuevo” modelo de negocio-, es posible ofrecerlos considerando la tendencia actual de la población que quiere ser parte del cambio en el consumo, toda vez que prefiera ser amigable con el medio ambiente y que apetezca la producción de energía de origen renovable.

La economía compartida (también llamada economía colaborativa), se ha conocido en Colombia, principalmente, por la popularidad de las plataformas Uber y Airbnb; las cuales han venido desplazando las empresas de taxis y la industria hotelera a nivel mundial, por sus servicios, precios y plataformas innovadoras, en las que se suplen las necesidades de transporte y hospedaje, basadas en la capacidad de bienes particulares donde su propósito original fue netamente privado y/o familiar.

1. Economía compartida

Economía compartida (o economía colaborativa), es un modelo económico en el cual los individuos son capaces de prestar o rentar activos o bienes de propiedad de otros. El modelo de economía compartida es mayormente usado, cuando el precio de un bien específico es alto y no es usado completamente todo el tiempo. En resumidas cuentas, se aprovecha la “capacidad ociosa” de un bien para brindar un servicio.

Las comunidades han compartido el uso de bienes por miles de años, pero la ventaja del internet ha hecho más fácil para sus propietarios y para quienes los buscan poder hallarse unos a otros. Esta clase de intercambio se refiere al mercado al por menor de alquiler peer-to-peer o entre pares (Investopedia, 2017).

2. Uber y Airbnb: Casos de éxito de empresas de economía compartida

2.1. Uber Technologies Inc

Es una compañía de transporte en línea que ha estado desplazando las tradicionales empresas de taxis a nivel urbano, realizando viajes por intermedio de vehículos particulares en su gran mayoría, utilizando pagos con tarjeta de crédito o efectivo; permitiendo conocer la placa del vehículo, la tarifa aproximada del viaje, los nombres del conductor y pasajero, y evaluar el servicio y comportamiento de estos últimos.

Fundada en marzo de 2009, Uber se encuentra en 60 países y 300 ciudades alrededor del mundo (Freier, 2015); nació en San Francisco-California y en

2015 fue valorada en USD 50 billones (MacMillan & Demos, 2015), sus ingresos solo de 2016 se calculan en USD 26.12 billones (Business of Apps, 2016).

2.2. Airbnb

Es un mercado comunitario basado en la confianza en el que la gente publica, descubre y reserva alojamientos únicos en todo el mundo, ya sea desde su ordenador, tablet o móvil (Airbnb, 2017).

Al igual que con Uber, con Airbnb existe la capacidad de realizar evaluaciones, en este caso, tanto del huésped como del anfitrión; permite el pago con tarjeta de crédito, conocer la ubicación

georreferenciada del alojamiento, indica sus comodidades y políticas de uso, cuenta con fotografías del interior y con comentarios de otros huéspedes, entre otros aspectos.

Airbnb fue fundada en agosto de 2008 en San Francisco (California), tiene presencia en 34.000 ciudades de 191 países. Su presupuesto inicial fue de USD 50.000 (Peng, 2016), fue valorada en USD

30 billones en 2016 (O'Brien, 2016), y sus ingresos estimados para ese año son de USD 1.7 billones (San Francisco Business Times, 2016).

En Colombia, la cantidad de alojamientos afiliados a Airbnb, en Bogotá a 2015 ya era de 2333 (9% de la capacidad hotelera de la ciudad), 1677 (11%) en Medellín y 1626 (13%) en Cartagena (Mesa Carvajal, 2017).



Figura 1. Algunas empresas de transporte y alojamiento que operan mediante economía compartida

3. No solo ellos

A pesar de que Uber y Airbnb han sido el referente de este modelo de negocio, existen otras empresas que también se encuentran incluidas allí, pero pueden ser más conocidas a nivel regional o continental

(Lyft Inc., competencia de Uber en Estados Unidos (Lyft, 2017), BlaBlaCar la cual permite el transporte de personas por toda Europa (BlaBlaCar, 2017), además, SideCar (SideCar, 2017), Cabify (Cabify, 2017), por citar algunos).

4. Plataformas y/o empresas de economía compartida basadas en energías renovables en el mundo

Entrando en materia de las energías renovables y su "nuevo" modelo de comercialización, hace poco más de dos años, existen empresas y plataformas que permiten la compraventa de energías limpias en el mundo, aunque por ahora, solo en algunos países del primer mundo. Algunas de estas empresas son las siguientes:

4.1. Vandebrom

Esta empresa holandesa (traducida al español como "desde la fuente"), ha roto el esquema del mercado de energía de ese país desde el 2 de abril de 2014 permitiendo ventas de energía peer-to-peer, donde cualquiera que produzca energía renovable, puede vender directamente su producción o parte de ella a quien lo requiera (Vandebrom, 2014).

Dado que este sitio web permite realizar ventas de energía sin intermediarios, pero siendo el medio para lograrlo, es posible conseguir un mejor precio comparado con el que se obtiene con las tres grandes empresas productoras que tienen el 80% del mercado de ese país, donde se produce energía fósil en un 90%. Mediante Vandebbron; los consumidores pagan una cuota mensual para poder contratar directamente de los proveedores de energías limpias, una cantidad fija durante un período determinado (Energía Estratégica, 2016).

Las energías renovables listadas en Vandebbron son solar, eólica, hidráulica y biomasa; así los clientes (más de 38.000) pueden seleccionar su generador basado en estos tipos de energías, y otras variables

tales como precio y/o ubicación geográfica; y los productores pueden fijar sus propios precios (Energía Estratégica, 2016).

El servicio de energía peer-to-peer mediante Vandebbron se facilita gracias a que Holanda ofrece un mercado liberalizado de energía. En un mercado regulado, una entidad reguladora controla los procesos en la producción de energía y los usuarios solo pueden comprarla a través de la empresa de energía local. Por otro lado, en un mercado liberalizado, las empresas de energía pueden competir por los clientes, los precios de la energía son no regulados y los clientes no están forzados a comprar la energía a su empresa local (Johnson, 2014)..



Figura 2. Algunas empresas de energía que operan mediante economía compartida

4.2. Open Utility

Al igual que Vandebbron, la empresa británica Open Utility, bajo su plataforma Piclo, permite la realización de negocios de energía renovable peer-to-peer; aquí es posible conocer qué productor fue con el que se hizo el negocio y su ubicación física (Piclo, 2017).

Para acceder a la compra o venta de energía, se requiere un comercializador (retailer), quien permite el negocio entre el generador y el consumidor. Al constituirse una cuenta en la plataforma de Piclo, es posible recibir la factura de energía con el comercializador actual, pero bajo el contrato pactado en Piclo.

Hasta el momento el consumidor (que no puede ser residencial), no recibe ahorros de dinero si se compara la energía que es vendida normalmente por un comercializador tradicional, solo asegura que la energía que está comprando es renovable y su productor es de la región. La forma en que Piclo "asegura" lo anterior, lo realiza mediante el ingreso de datos -de consumidores y generadores⁽¹⁾, en medidores inteligentes de registro por cada treinta minutos donde la diferencia entre lo producido y demandado debe ser cero (Engerati, 2016), si la demanda es mayor que la oferta, el comercializador suministra el restante pero esta energía no necesariamente sería renovable.

Haciendo un paréntesis para incluir el ámbito local, EPM genera y comercializa energía renovable de forma certificada para sus grandes clientes, de manera que puedan certificar como “verde” la energía que utilizan en sus procesos (EPM, 2017).

4.3. Sonnenbatterie

Esta empresa alemana lanzó una plataforma comercial a principios de 2016, que permite comercializar energía solar y eólica por la red eléctrica. Cuando los productores tengan excedentes energéticos (producen más energía de la que pueden gastar), su software la incorpora a la reserva de energía disponible, en la que los miembros de la

comunidad pueden hacer uso. Así, los consumidores pagan a los productores 0,25 euros/kWh, menos de lo que se paga en Alemania por energía a las empresas distribuidoras y más de lo que reconoce el gobierno alemán a los productores por la energía distribuida inyectada (Energía Estratégica, 2016).

Existen otras empresas o entidades que aplican la economía compartida para la compraventa de energía, para el financiamiento de proyectos verdes como Mosaic, Lichtblick (Degode, 2015), o para la utilización de los ahorros en la factura de energía, dirigidos a pagar las facturas de quienes no pueden hacerlo en Estados Unidos (Gridmates, 2017).

5. No todo es color de rosa

No todo ha funcionado a la perfección a la hora de compartir energía. La startup localizada en Boston, Yeloha (Yeloha, 2016), llamada en Estados Unidos la Airbnb de la energía solar, diseñó una web para permitir que quienes quisieran consumir energía solar, pero no tuvieran un techo apropiado para la instalación de paneles solares, pudieran comprarla de quienes produjeran esa energía en exceso. La idea logró llamar la atención a más de mil personas que se suscribieron luego del lanzamiento de la empresa en Massachusetts. Para quienes vendían como para quienes compraban la energía, sus ahorros -que alcanzaban el 10%- se veían reflejados en la factura de Green Mountain Power, la empresa local de energía (Loveless, 2016).

Sin embargo, no era fácil conseguir la cantidad de paneles solares que generaran suficiente energía para alimentar la comunidad de Yeloha. Por tanto, Yeloha decidió convencer a diferentes personas y entidades de instalarles paneles solares en sus

techos sin costo, a cambio de compartir parte de su energía, a los miembros de esa comunidad.

Sumado a lo anterior, la parte más dura para Yeloha llegó en el financiamiento de los proyectos, las entidades financieras tomaron cada uno de forma separada, en lugar de tomar un único gran proyecto dividido en muchos suscriptores, que según su gerente general Amit Rosner, diversificarían el riesgo crediticio, como resultado, Yeloha debió autofinanciar sus primeros proyectos para convencer a esas entidades de su idea de negocio, pero sus recursos no fueron suficientes (Rosner, 2016). La época tampoco fue buena para Yeloha, los precios de las acciones de las empresas de energía solar caían, y SunEdison, la mayor compañía mundial de energías renovables quebró, generando vientos que soplaron en su contra, alejándola de posibles inversionistas, haciendo cerrar las puertas a nuevos suscriptores en mayo de 2016, más de un año después de haberlas abierto.

6. Transando distinto

Como complemento a lo anterior, es importante señalar que para realizar las compraventas de energía, existe un método de pago que no necesariamente realiza transacciones en moneda local, para ello utiliza criptomonedas y Blockchain, como en el caso de las plataformas de transacciones de Power Ledger (Power Ledger, 2017) y Brooklyn Microgrid (Brooklyn Microgrid, 2017).

6.1. Power Ledger

Una plataforma de transacciones o Trading Platform es una red que permite a los prosumidores⁽²⁾, vender los excedentes de energía a sus semejantes en un ambiente seguro y confiable. Estas dos características se logran mediante el uso de un sistema, que de ser centralizado, requeriría una gigantesca memoria para realizar miles de transacciones en pocos

minutos; pero al ser descentralizado, requiere la memoria de los computadores que integran la red del sistema y que se encargan de almacenar y validar cada transacción. Este sistema descentralizado es llamado Blockchain.

Blockchain usa contratos inteligentes o smart contracts, que son protocolos de programación y se auto-ejecutan una vez las condiciones de cada transacción se cumplen (cuando se realiza el pago de la energía por ejemplo); las transacciones son replicadas a los computadores (y almacenadas en estos), de quienes realizaron la transacción junto a los demás suscriptores de la plataforma, quienes sirven de testigos de cada transacción, creando un almacenamiento de datos que graba las transacciones casi en tiempo real; finalmente, para mantenerlas seguras se utiliza criptografía y firmas digitales (Munson, 2017).

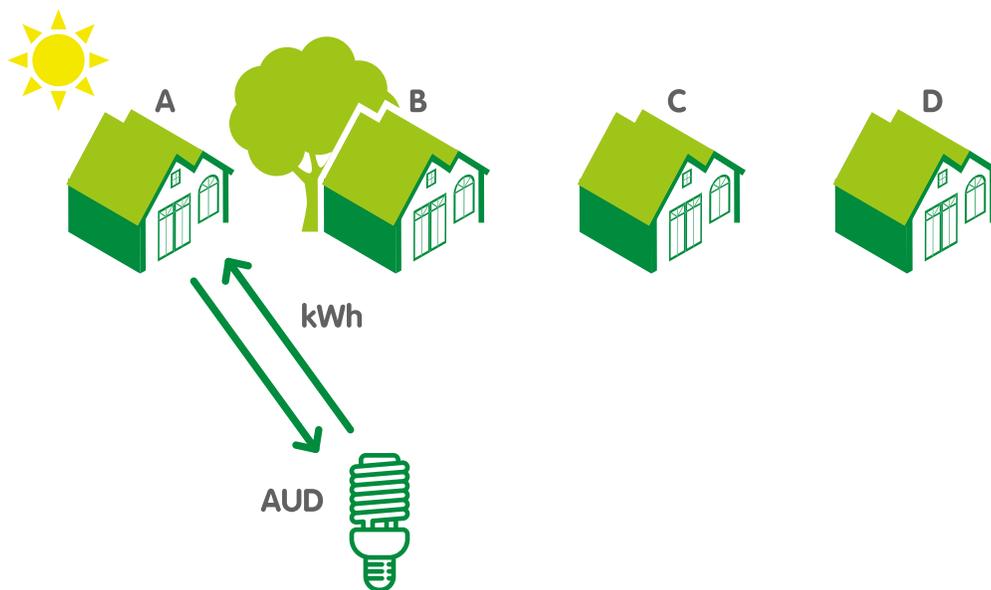


Figura 3. Método prepago de compra-venta de energía

Tratando de explicar de manera sencilla este complejo proceso que usa Blockchain, usaremos las figuras 3, 4 y 5 y la metodología de la plataforma de transacciones de Power Ledger. La figura 3, muestra una compra de energía prepago –renovable o no-

por un usuario A, a su comercializador, éste último es la entidad central que registra la transacción; los usuarios B, C y D desconocen la transacción realizada.

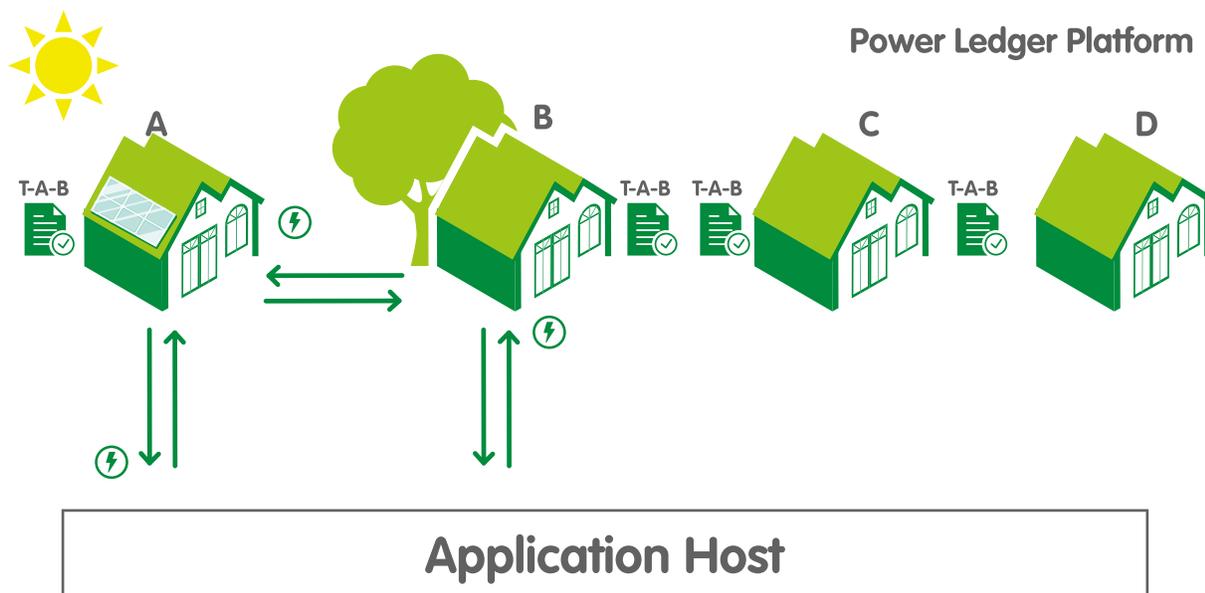


Figura 4. Transacción de energía mediante Blockchain

La figura 4 muestra un Application Host (puede ser un comercializador) y se encarga de diseñar una aplicación en la plataforma Power Ledger, que permite a los usuarios comprar y vender energía solo renovable. Dado que estas plataformas buscan la universalización de este mercado, no utilizan una moneda nacional, sino criptomonedas⁽³⁾ o monedas digitales que se intercambian en el Application Host por la moneda local de cada país, por ejemplo, 1 Sparkz equivale a 1 centavo de dólar australiano (AUD). Australia es el país de creación de Power Ledger.

En la figura 4, se muestra como A decide instalar paneles solares y vender los excedentes de energía, y se muestra a B quien no puede generar energía solar, porque el árbol que tiene en frente de su casa le produce sombra permanente. Por lo tanto B intercambia dólares australianos (AUD) por Sparkz y le transfiere a A, los suficientes para cumplir con el requisito del smart contract, permitiendo suplir su necesidad energética.

Ahora A intercambia los Sparkz de su venta por dólares australianos mediante el Application Host. Es necesario aclarar que tanto el Application Host como el operador de la red eléctrica y la plataforma Power Ledger reciben un porcentaje de la tarifa por la venta de la energía de A.

De esta forma, los beneficiados por este tipo de negocio son:

- El medio ambiente, ya que se transa solo energía renovable y un porcentaje de la tarifa, es reinvertida por Power Ledger en ese tipo de tecnología.
- Los operadores de red, quienes optimizan la red eléctrica existente.
- Los prosumidores, quienes venden sus excedentes.
- Los consumidores, quienes compran energía limpia.

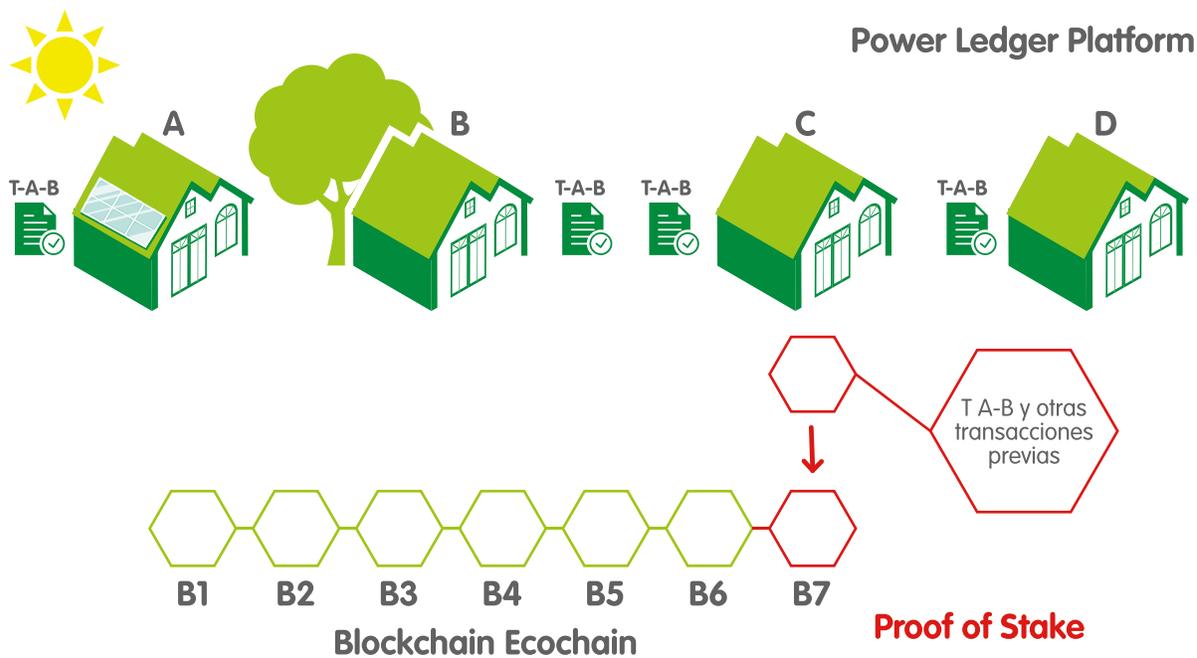


Figura 5. Validación mediante Proof of Stake

Para el logro de estos objetivos y cumplir con la validación de la información, Power Ledger diseñó una Blockchain llamada Ecochain. Todos los participantes de esa Blockchain reciben la transacción entre A y B (T A-B) y la adicionan a la lista de transacciones previas formando un bloque o block. La figura 5, muestra a uno de los participantes en este caso C, seleccionado al azar, el cual valida que la mayoría de los participantes tengan las mismas transacciones del block y lo une a la cadena (chain) junto con otros blocks que ya habían sido unidos. Esta técnica de validación se denomina Proof of Stake⁽⁴⁾.

6.2. Brooklyn Microgrid (BMG)

En el lado americano, Brooklyn uno de los cinco condados que conforman la ciudad de New York, es el territorio donde opera Brooklyn Microgrid (BMG), y donde existe un mercado peer-to-peer que comercializa la energía renovable generada allí, con la intención de evitar dependencia absoluta de la empresa local de energía, creando una gran microred (microgrid), gracias a la generación solar fotovoltaica de los prosumidores. Esta energía

generada es inyectada a la red de distribución para ser consumida por otros habitantes de Brooklyn, mediante transacciones directas y seguras, utilizando el mercado virtual llamado TransActive Grid (LO3 Energy, 2017), basado en la plataforma Ethereum (Blockchain Luxembourg S.A., 2017) y su criptomoneda se denomina Ether.

6.3. Blockchain en el mercado de energía colombiano

Juan David Durán, profesional de la Dirección Planeación Empresarial de XM, el administrador del mercado de energía mayorista en el país, informa que esta empresa está realizando diferentes estudios que incluyen escenarios en donde una plataforma basada en tecnología Blockchain puede aportar en la diferente interacción entre diferentes actores del sector. Estos escenarios consideran transacciones a largo plazo, y a muy corto plazo donde pueda llegar a ser posible el suministro de energía en pocos minutos luego de que la validación correspondiente pueda ser realizada.

No obstante, el objetivo de la validación no se concentra solamente en la transacción financiera en sí entre el generador y su cliente, sino que valida

la capacidad técnica de la red eléctrica permitiendo un flujo seguro de potencia limitando la posibilidad de sobrecargas o de generación de fenómenos anómalos asociados a la calidad de la frecuencia y voltaje. Las pérdidas técnicas en la red eléctrica ocasionadas por el paso de corrientes son otro aspecto a validar toda vez que estas corrientes hacen parte del sistema y son necesarias para su funcionamiento.

Conclusiones

- Los beneficios energéticos que muestra la economía compartida y Blockchain, no se limitan únicamente a transacciones entre viviendas, también se observan potencialmente en el sector de vehículos eléctricos donde sus conductores podrán cargar sus baterías haciendo uso de puertos de carga que terceros pondrán a disposición frente a sus propiedades.

Referencias

- Airbnb. (2017). www.airbnb.com. Recuperado el enero de 2017, de <https://www.airbnb.com.co/about/about-us>
- BlaBlaCar. (2017). BlaBlaCar. Recuperado el 26 de junio de 2017, de <https://www.blablacar.fr>
- Blockchain Luxembourg S.A. (2017). BLOCKCHAIN. Recuperado el 26 de junio de 2017, de <https://www.blockchain.com/>
- Brooklyn Microgrid. (2017). Brooklyn Microgrid. Recuperado el 26 de junio de 2017, de <http://brooklynmicrogrid.com/>
- Business of Apps. (2016). Uber Statistics Report. Soko Media. Obtenido de <https://www.dropbox.com/s/3raugew637zzmk7/Uber%20Statistics%20Report.pdf?dl=0>
- Cabify. (2017). Cabify. Recuperado el 26 de junio de 2017, de <https://cabify.com/>
- Degode, A. (2015). New business models through a "Sharing Economy" in the Energy Sector. E-Energy - Challenges and Opportunities for Information Systems in the Smart Grid (págs. 12-14). Freiburg: UNIFREIBURG. Obtenido de <https://es.slideshare.net/AdrianDegode/new-business-models-through-a-sharing-economy-in-the-energy-sector-seminar-paper-adrian-degode>

De esta manera, se presentan diferentes desafíos para el sector eléctrico colombiano donde se incluyen: la creación de una blockchain con participación de todos los actores del sistema que cuente con la capacidad de realizar validaciones técnicas y financieras en tiempo real; la regulación de las aplicaciones de la blockchain por parte de la CREG; además de la actualización permanente de las redes eléctricas de los operadores de red en sus sistemas de información.

- A pesar de que la economía compartida se ha realizado desde hace mucho tiempo, el uso de plataformas virtuales la ha popularizado en sectores de transporte, alojamiento, y ahora en energía.
- Para continuar su propagación a nivel energético se requiere la consolidación de incentivos, ajustes regulatorios y técnicos, y por supuesto la satisfacción de los usuarios al producir y consumir energías limpias.

- Energía Estratégica. (05 de enero de 2016). www.energiaestrategica.com. Obtenido de <http://www.energiaestrategica.com/alemania-lanza-un-servicio-de-compra-venta-de-energia-renovable-para-particulares/>
- Engerati. (31 de agosto de 2016). www.engerati.com. Obtenido de <https://www.engerati.com/article/peer-peer-energy-trading-pioneers-britain>
- EPM. (6 de junio de 2017). Mi Bitácora. Obtenido de La generación de energía verde: <https://mibitacora.epm.com.co/sites/mibitacoraepm/correou/Paginas/Energ%EDaVerde6Jun.aspx>
- Freier, A. (14 de septiembre de 2015). Business of Apps. Obtenido de <http://www.businessofapps.com/uber-usage-statistics-and-revenue/>
- Gridmates. (2017). Gridmates. Obtenido de <http://www.gridmates.com/>
- Investopedia. (2017). www.investopedia.com. Obtenido de <http://www.investopedia.com/terms/s/sharing-economy.p?ad=dirN&qo=investopediaSiteSearch&qsrc=0&o=40186>

- Johnson, C. (20 de Octubre de 2014). Shaerable. Obtenido de Is Peer-to-Peer Energy the Next Big Sharing Thing?: <http://www.shareable.net/blog/is-peer-to-peer-energy-the-next-big-sharing-thing>
- LO3 Energy. (2017). LO3 Energy. Recuperado el 26 de junio de 2017, de Transactive Grid: <http://lo3energy.com/transactive-grid/>
- Loveless, B. (17 de mayo de 2016). USA Today. Obtenido de Lessons from a solar startup's failure: <https://www.usatoday.com/story/money/columnist/2016/05/17/lessons-solar-startups-failure/84496000/>
- Lyft. (2017). Lyft. Recuperado el 26 de junio de 2017, de <https://www.lyft.com/>
- MacMillan, D., & Demos, T. (09 de mayo de 2015). The Wall Street Journal. Obtenido de http://www.wsj.com/article_email/uber-plans-large-new-funding-round-1431137142-1MyQjAxMTA1NzA0ODkwODgwWj
- Mesa Carvajal, J. C. (24 de enero de 2017). www.semana.com. (Publicaciones Semana S.A.) Obtenido de <http://www.semana.com/opinion/articulo/juan-carlos-mesa-airbnb-puede-ser-un-problema-grande-para-colombia-en-un-futuro/479800>
- Munson, D. (4 de mayo de 2017). EDF Environmental Defense Fund. Obtenido de How blockchain could upend power markets: <http://blogs.edf.org/energyexchange/2017/05/04/how-blockchain-could-upend-power-markets/>
- O'Brien, S. A. (08 de agosto de 2016). CNN Tech. (CNN) Obtenido de <http://money.cnn.com/2016/08/08/technology/airbnb-30-billion-valuation/>
- Peng, T. (2016). CNN Money. (CNN) Obtenido de The Ultimate Small-Business Resource Guide: http://money.cnn.com/galleries/2010/smallbusiness/1003/gallery.startup_cash_now/
- Piclo. (2017). piclo.uk. (Open Utility) Obtenido de <https://piclo.uk/faqs>
- Power Ledger. (2017). Power Ledger. Obtenido de <https://powerledger.io/>
- PwC. (2016). Blockchain – an opportunity for energy producers and consumers? PwC global power and utilities, 3-6.
- Rosner, A. (12 de mayo de 2016). LinkedIn. Obtenido de Lights Out for Yeloha - Why We Shut Down the Solar Sharing Network: <https://www.linkedin.com/pulse/lights-out-yeloha-why-we-shut-down-solar-sharing-network-rosner>
- San Francisco Business Times. (01 de septiembre de 2016). <http://www.bizjournals.com/>. Obtenido de <http://www.bizjournals.com/sanfrancisco/news/2016/09/01/airbnbs-revenue-soars-compared-to-hotels.html>
- SideCar. (2017). Side Car. Recuperado el 26 de junio de 2017, de <https://www.side.cr/>
- Vandebbron. (12 de marzo de 2014). vandebbron.pr.co. Obtenido de <http://vandebbron.pr.co/72191-an-online-marketplace-for-energy-a-world-first-in-the-netherlands>
- Yeloha. (2016). Yeloha! Obtenido de <http://www.yeloha.com/>

Notas al final

- (1) Más de 1000 generadores independientes se encuentran registrados.
- (2) Los prosumidores son productores de energía que a la vez son consumidores de la misma: productor + consumidor.
- (3) Criptomonedas se usan para transar bienes y servicios y se crean mediante técnicas matemáticas de encriptación y operan independientemente de entidades bancarias.

- (4) Proof of Stake puede complementarse con la técnica Proof of Work usada por Bitcoin donde todos los miembros de blockchain compiten por validar y adjuntar el block para recibir beneficios –más bitcoins-, este ejercicio requiere gran capacidad informática o poder computacional (consumo excesivo de energía). Por sostenibilidad Proof of Work no se utiliza en la plataforma de Power Ledger.

Cómo citar este artículo:

Larios, C. A. (2018). Energías renovables y su nuevo modelo de negocio. En: Revista EPM, (12) p.

Espintrónica: la nueva electrónica

Spintronics:
the new electronics

**David Andrés
Galeano González**

Profesional Gestión Regulatoria
Transacciones y Mercados.
Gerencia Comercial T&D Energía, EPM

david.galeano@epm.com.co

Resumen

Son indiscutibles los avances tecnológicos que ha traído consigo el desarrollo de la electrónica, sin embargo, desde hace algunos años ha venido creciendo el interés en el desarrollo del uso del espín del electrón en lo que se ha denominado la espintrónica. En este artículo se hace una revisión

de los fundamentos teóricos, desarrollos técnicos y oportunidades de implementación y negocio que emanan de los avances en la espintrónica y de cómo éstos tienen un acople directo en los negocios del Grupo EPM.

Palabras clave:

Espintrónica, espín, resistencias, capacitores, inductores

Key words

Spintronics, spin, resistors, capacitors, inductors

Introducción

Si bien el electrón fue descubierto por J.J Thomson en 1897, fue hasta 1922 que Gerlach y Stern (Gerlach & Stern, 1922) propusieron que éste tenía un momento magnético, sin embargo, fue Wolfgang Pauli quien hizo la primera descripción de los estados de espín a partir de la introducción de las Matrices de Pauli.

El presente artículo no pretende ser un tratado de física, ni de involucrar al lector en las complejidades de la mecánica cuántica. Al contrario, se busca que el lector se familiarice con un término científico que cada día cobra más relevancia en la industria y que está creciendo a pasos agigantados en sus aplicaciones en todas las ramas relacionadas con el sector eléctrico: la espintrónica.

Como se verá a lo largo del artículo, la espintrónica no es solamente utilizada por compañías que hacen desarrollos tecnológicos de punta. En la actualidad, empresas de proveedores de equipos eléctricos, de iluminación, de sensores, entre otras, hacen uso de estos conceptos y por tal motivo es importante la familiarización con los conceptos que atañen a esta ciencia.

Es por eso que en la primera parte del artículo se hace un acercamiento a la espintrónica, donde se involucran algunos conceptos básicos y si bien se

presentan algunas ecuaciones, estas son de carácter clásico y no representan mayor complejidad. A lo largo del artículo nos abstendremos, hasta donde sea posible, entrar en conceptos de la mecánica cuántica buscando un entendimiento claro e intuitivo del asunto.

En la tercera sección del artículo se muestran algunos elementos básicos de la espintrónica (resistores, capacitores e inductores de espín) con el ánimo de motivar la comprensión del uso de las corrientes de espines, las cuales también son explicadas en esta sección.

En el cuarto capítulo se hace un breve barrido por algunas empresas de tecnología que han marcado la pauta en la implementación de la espintrónica en sus dispositivos y en cómo éstos sirven como base de referencia para futuras búsquedas.

En la quinta sección se hace una revisión del estado actual y de desarrollo reciente en dispositivos espintrónicos, mostrando al lector experto o aficionado que la espintrónica es una ciencia que debe mirarse con mucha atención pues será la ventana del futuro para los próximos desarrollos tecnológicos.

1. Sobre la espintrónica

Antes de hablar del término “espintrónica” es importante entender una de las propiedades cuánticas de la materia, el concepto de espín.

El espín describe de forma intrínseca el momento angular de las partículas elementales que componen la materia. Para el caso que nos acomete en este artículo solo se tomará en cuenta el espín de los electrones, el cual a manera informativa tiene un valor de $\frac{1}{2}$. Sin embargo, de acuerdo a los experimentos de Stern-Gerlach se observa que la

orientación espacial de ese momento angular es cuantizada (Gerlach & Stern, 1922) y, por lo tanto, en el caso de electrones se tienen dos posibles momentos angulares dados por $\pm\hbar/2$ donde \hbar es la constante de Planck. En otras palabras, el electrón puede tener una orientación de su momento angular hacia arriba o hacia abajo, que en adelante llamaremos “up” o “↑” y “down” o “↓”, respectivamente. En la Figura 1 se muestra de manera esquemática el concepto del espín en el electrón.

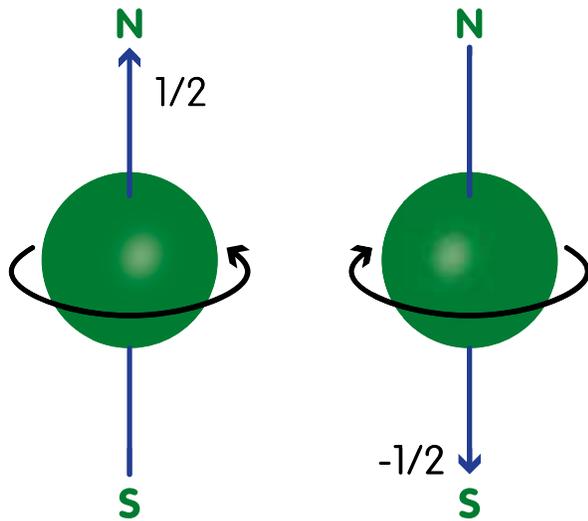


Figura 1. Esquema de representación del espín up y down del electrón

La corriente eléctrica (se asume corriente directa para efectos prácticos) en general porta cargas con espines sin alinear, es decir, en una sección del material conductor las cargas tienen momentos magnéticos en posiciones aleatorias.

Así, se introduce a continuación el concepto de corriente de espines, pero antes, es mandatorio conocer el concepto de polarización de espines para una cantidad X , descrito por $P_x = X_s / X$ donde $X_s = X_\uparrow - X_\downarrow$ y $X = X_\uparrow + X_\downarrow$ (Zutic, Fabian, & Sarma, 2004) y que define la cantidad que representa el nivel de polarización que tiene una corriente, por ejemplo, si una corriente está plenamente polarizada, es decir, que todos los espines están alineados \uparrow o \downarrow el valor de $P_x = 1$.

La manipulación de la corriente polarizada de espines es lo que conoce como espintrónica y similar a la electrónica, tiene propiedades que son estudiadas por la mecánica cuántica pero que cada día toman mayor relevancia en el mundo de la tecnología de punta.

2. Elementos básicos de la espintrónica

Tal como ocurre en la electrónica, en la espintrónica existe el equivalente circuital a los componentes como resistencias de espín, condensadores de espín y los inductores de espines, sin embargo, si bien en la electrónica estos conceptos análogos cimientan su comprensión en la teoría electromagnética, en el caso de la espintrónica los conceptos se

complementan a partir de la mecánica cuántica, en lo que se conoce como electrodinámica cuántica.

A continuación, se hace una breve descripción de los conceptos fundamentales sobre los cuales se basan los circuitos espintrónicos.

2.1. Resistencia de espines

En espintrónica, el concepto de resistencia tiene relación directa con el concepto de "magnetorresistencia" la cual está directamente relacionada con lo que se conoce en la literatura

como GMR (Giant Magnetoresistance) que consiste en una estructura de dos materiales ferromagnéticos separados por un material no ferromagnético, como se muestra en la Figura 2.

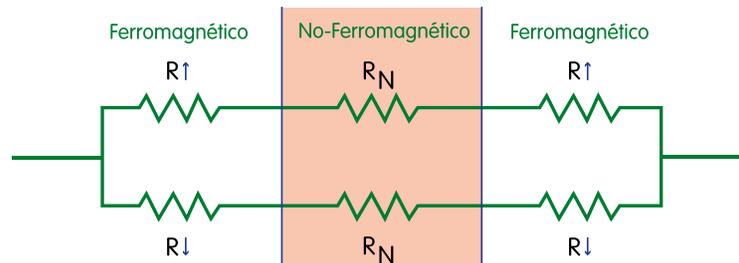


Figura 2. Esquema de una GMR con su modelo circuital equivalente

El modelo que describe el comportamiento espintrónico de la configuración GMR de la Figura 2, depende de si los canales tienen un comportamiento paralelo o antiparalelo.

Si el comportamiento de espines es paralelo entre las dos placas ferromagnéticas, la resistencia de cada canal de espines está dada por $R_{\uparrow(\downarrow)}^P = n(R_{\uparrow(\downarrow)}^F + 2R_N)$ y por lo tanto, la resistencia total del arreglo estaría dada por $R^P = n \frac{R_{\uparrow}^P R_{\downarrow}^P}{R_{\uparrow}^P + R_{\downarrow}^P}$

Por el contrario, si los canales de ambos materiales ferromagnéticos son antiparalelos la resistencia del arreglo estaría dada por $R^{AP} = \frac{n}{4}(R_{\uparrow}^F + R_{\downarrow}^F + 4R_N)$ donde los superíndices P y AP hacen referencia a paralelo y antiparalelo, respectivamente. Por su parte, el término n hace referencia al número de bicapas del arreglo (Xu, Awschalom, & Nitta, 2016). Como consecuencia de lo anterior la resistencia será menor si las placas son antiparalelas que si son paralelas, por lo tanto, uno de los usos asignados a esta clase de configuración es en el censado del campo magnético y como se verá más adelante, es de amplio uso en sensores modernos.

Dentro del campo de las resistencias de espines también se encuentra la configuración TMR (Tunneling Magnetoresistance) la cual consiste en una configuración de materiales ferromagnéticos que son separados por un material aislante como se muestra en la Figura 3, y su funcionamiento se corresponde con el efecto túnel explicado por la mecánica cuántica.



Figura 3. Esquema básico de la configuración TMR

La conductancia (unidad inversa a la resistencia), se define en una configuración TMR como $\frac{G_P - G_{AP}}{G_P}$ donde $G_{P(AP)}$ hace referencia a la conductancia para la alineación paralela (antiparalela) de los momentos de espín.

2.2. Capacitancia de espines

Tal como existen los capacitores de carga, también existen los capacitores de espines, como podría esperarse. Así, se define el concepto de capacitancia de espines como la habilidad de un material para almacenar espines en vez de carga (Zhu, Zhang, Liu, & He, 2017).

En el concepto de la acumulación de espines el potencial químico⁽¹⁾ μ de los materiales juega un papel fundamental (Zayets, 2012). Es importante hacer notar que este concepto cobra validez en configuraciones de materiales ferromagnéticos (F) con materiales no ferromagnéticos (N) como se muestra en la Figura 4. Nótese que a medida que las cargas se acercan a la juntura de ambos materiales, la densidad de carga se hace mayor.

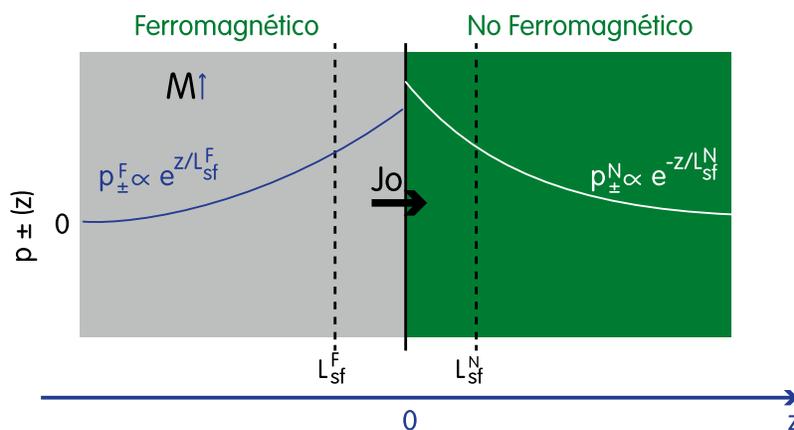


Figura 4. Esquema de la configuración y la densidad de carga $\rho_{\pm}(z)$ en un capacitor de espines con magnetización $M\uparrow$, corriente J_0 y longitud de difusión de espines l_{sf}

2.3. Inductancia de espines

Un concepto más complejo desde la matemática empleada, pero no menos importante en el desarrollo de la espintrónica es el de la capacitancia de espines.

Desde la teoría electromagnética se conoce que la inducción está relacionada con el vector de flujo eléctrico calculado por el producto cruz del campo eléctrico y la trayectoria de una partícula.

Extrapolando este concepto, es sabido que una corriente de espines tiene autoinductancia debido

a que ella misma produce campo eléctrico (Hirsch, 1999). Así que, si el cambio en la corriente de espines dI_{μ}/dt se debe al cambio en el campo eléctrico $d\vec{E}/dt$ entonces se puede mostrar que aparece una fuerza espín motriz que se puede escribir como $\xi_{\mu} = -\hat{\mu} \cdot d\Phi_E/c^2 dt$ donde $\Phi_E = \oint d\vec{l} \times \vec{E} = c^2 \underline{L}_{\mu} \cdot \hat{\mu} I_{\mu}$ es el flujo causado por la corriente de espines, c es la constante de la velocidad de la luz y \underline{L}_{μ} es tensor de autoinductancia.

Así, la inductancia de espines estará determinada entre otros factores, por la forma de las espiras y la magnitud de la corriente de espines que por ella circule.

3. Empresas involucradas en el desarrollo de la espintrónica

La mayoría de las empresas dedicadas al desarrollo tecnológico han volcado la mirada hacia la espintrónica desde hace varios años. Sin embargo, a continuación, se pretende mostrar algunos casos particulares.

Gracias al aprovechamiento de propiedades importantes de la espintrónica (transferencia de espín, torque de espín, acople espín-orbita, entre otros) el desarrollo de dispositivos espintrónicos ha tenido un crecimiento acelerado en los últimos

años debido a las bajas pérdidas de energía que involucran esta clase de dispositivos y su baja energía de funcionamiento, además de su versatilidad.

A partir del uso de la espintrónica, IBM ha hecho importantes desarrollos en el almacenamiento de información desde hace más de una década (Parkin, Wolf, Harris, Zhang, & Smith, 2017). En la imagen 1. se muestra el primer sensor espín-válvula en un disco duro desarrollado por IBM en 1997



Imagen 1. Primer uso de un sensor espín-válvula en la cabeza de lectura de un disco duro desarrollado por IBM en 1997
Fuente de la foto: IBM (Parkin, Wolf, Harris, Zhang, & Smith, 2017)

En este punto es importante notar que los discos duros modernos utilizan como concepto fundamental los efectos GMR y TMR, previamente explicados en este artículo.

Grandes empresas como "Everspin" ya disponen de decenas de dispositivos para uso comercial relacionados con el uso de las propiedades de los espines. Por ejemplo, ofrecen soluciones de Smart Metering en asocio con la multinacional Schneider Electric. Ambas compañías han desarrollado lo que se conoce como el "Modicon M580 Automation Controller" el cual es ideal para industrias que

requieran almacenamiento de grandes volúmenes de información en ambientes de extrema temperatura, lo cual permite una medición de alta calidad y confiabilidad en el envío de la información.

Otras empresas como NEV desarrollan distintas clases de sensores para diferentes aplicaciones y aislantes inteligentes que se comercializan alrededor de todo el mundo. Por ejemplo, el IsoLoop es una alternativa que se ofrece comercialmente para optoacoplar interfaces aisladas de potencia.

OS es otra empresa dedicada a la comercialización y desarrollo de dispositivos espintrónicos enfocado a dar soluciones en el campo de la electrónica, optoelectrónica, mecanismos de accionamiento entre otros. Por ejemplo, dentro de su portafolio ofrecen conductores de alto punto de fusión, óxidos conductores transparentes, placas fotovoltaicas, dispositivos espintrónicos de estado sólido, entre otra gama de desarrollos.

Por su parte, empresas como AMS ofrecen sensores de contaminantes, dispositivos para el manejo inteligente de la iluminación, sensores de posición, dispositivos para el manejo de la potencia eléctrica, entre otra gran gama de dispositivos espintrónicos.

Así como existen estas empresas mencionadas, hay otras tantas como ABB las cuales trabajan mancomunadamente con universidades (concretamente con la Universidad de Cambridge) en el campo de la espintrónica (ABB, 2017). La multinacional IBM también es una de las empresas que se ha volcado al desarrollo de la espintrónica (IBM, 2017).

Así las cosas, la espintrónica ha dejado de ser exclusiva de albores de los físicos teóricos para convertirse en una realidad comercial para los ingenieros y que se vislumbra como una estrategia técnica para resolver cientos de problemas a los que día a día se enfrenta la industria.

4. Estado actual en la implementación de la espintrónica

Desde hace algunos años se viene hablando sobre el reemplazo de los circuitos de silicio por la espintrónica (Hirohata, 2015), tomando cada vez más realidad esta afirmación pues la búsqueda de elementos circuitales con menores pérdidas, mayores velocidades, más robustos ante cambios del entorno, más económicos y más versátiles se torna como una sentida necesidad.

Ante este panorama, los primeros dispositivos que se encuentran en el mercado que utilizan los principios de la espintrónica son las unidades de almacenamiento de información. Así, investigadores Coreanos han desarrollado a partir de los fundamentos de la espintrónica, un material que puede almacenar propiedades eléctricas y magnéticas independientemente de la curvatura que éste sufra en su superficie, lo cual permite crear una clase especial de circuitos lógicos magnéticos y que no presenten volatilidad en su magnetismo, lo cual aumenta enormemente la eficiencia y reduce el consumo de energía, según prueban los autores (Hwang, y otros, 2015).

Sin el ánimo de adentrarnos en los inicios sofisticados de la mecánica cuántica, los aislantes topológicos⁽²⁾ y sus importantes propiedades en la espintrónica,

sobre las cuales no entraremos a profundizar, son candidatos de primera línea para el desarrollo de la computación cuántica. Particularmente, la combinación de esta clase de materiales con algunas tierras raras presenta estabilidad magnética a temperatura superior al cero absoluto, lo cual supone un avance importante en el desarrollo del hardware de los computadores cuánticos (Ferhat, y otros, 2016).

Por otra parte, la ingeniería eléctrica (y electrónica) sin duda son los grandes beneficiarios de los adelantos que en espintrónica se vienen haciendo. El desarrollo de interruptores a partir del uso de las propiedades de los espines es un hecho (Wadley, y otros, 2016). En particular, estos dispositivos se controlan por medio de campos magnéticos que controlan la dirección del momento magnético de cada uno de los átomos. En la mecánica cuántica se permite la generación de corrientes inducidas por los campos internos con una alternancia periódica en una red antiferromagnética, y con base en esto se produce la conmutación de la corriente eléctrica a temperatura ambiente en configuraciones estables y con un torque lo suficientemente elevado para cerrar o abrir circuitos con una pérdida de energía despreciable.

En el campo de la iluminación, los OLED (organic light emitting diodes) son un claro ejemplo de aplicación de la espintrónica. Su funcionamiento básico radica en la excitación de los electrones en estado singlete o triplete⁽³⁾ aprovechando la propiedad de espín fraccional que poseen los electrones y su decaimiento haciendo

uso de la interacción espín-órbita (Geng , Daugherty , Do , Luong, & Nguyen, 2016). En la imagen 2. se ve un ambiente iluminado con OLED donde a parte del bajo consumo energético, presenta una alta emisión del espectro electromagnético resaltando las características naturales de los objetos iluminados.



Así las cosas, es amplia la gama de aplicaciones de la espintrónica y resulta muy interesante el uso de todas las propiedades del electrón no solo en la industria de desarrollos tecnológicos de punta sino en la industria media y en la vida cotidiana.

Imagen 2. Paneles OLED instalado en ambientes cuya
Fuente de la foto: IBM (Parkin, Wolf, Harris, Zhang, & Smith, 2017)

Conclusiones

- Se ha mostrado a lo largo del artículo que la espintrónica ha dejado de ser objeto de estudio de los físicos teóricos y se ha convertido en una excelente alternativa tecnológica para la ingeniería.
- Conceptos como resistores de espines, capacitores de espines e inductores de espines van a comenzar a aparecer de forma frecuente en la literatura técnica y con el desarrollo de los aislantes topológicos se abrirán nuevas alternativas con el desarrollo de por ejemplo transistores de espines y fuentes de corrientes de espines.
- Es una realidad la fabricación de sensores, iluminación, discos duros, interruptores, cableado, entre otros dispositivos que usan los conceptos de la espintrónica. Se abre entonces la oportunidad de aprender, interiorizar y aplicar en la industria eléctrica (y quizás de aguas y residuos sólidos) los conceptos relacionados con la espintrónica, pues las propiedades que el trabajo con el momento magnético del espín ofrece otorgará ventajas competitivas tecnológicas a quienes las puedan aprovechar.

Referencias

- ABB. (28 de 05 de 2017). ABB establishes R&D partnership with Cambridge University. Obtenido de <http://www.abb.com/cawp/seitp202/ed3b0bc6ed7c-ef38c1256e580051fa3a.aspx>
- Ferhat, K., Lauter, V., Nogueira, F. S., Assaf, B. A., Jamer, M. E., Wei, P., . . . Moodera, J. S. (2016). A high-temperature ferromagnetic topological insulating phase by proximity coupling. *Nature*, 533(7604), 513-516.
- Geng, R., Daugherty, T. T., Do, K., Luong, H. M., & Nguyen, T. D. (2016). A review on organic spintronic materials and devices: I. Magnetic field effect on organic light emitting diodes. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 1(2), 128 - 140.
- Gerlach, W., & Stern, O. (1922). Der experimentelle Nachweis der Richtungsquantelung im Magnetfeld. *Zeitschrift für Physik*, 349-352.
- Hirohata, A. (08 de Sep de 2015). Will 'spintronics' replace silicon circuits? *World Economic Forum*.
- Hirsch, J. E. (1999). Spin Hall Effect. *Phys. Rev. Lett*, 83(9), 1834-1837.
- Hwang, J. S., Cho, J. Y., Park, S. Y., Yoo, Y. J., Yoo, P. S., Lee, B. W., & Lee, Y. P. (2015). Multiferroic properties of stretchable BiFeO₃ nano-composite film. *Appl. Phys. Lett.*, 106.
- IBM. (28 de 05 de 2017). Magnetoelectronics and Spintronics. Obtenido de SpinAps (IBM-Stanford Spintronic Science and Applications Center) : http://researcher.watson.ibm.com/researcher/view_group.php?id=3740
- Parkin, S., Wolf, S. A., Harris, J. S., Zhang, S., & Smith, D. J. (25 de 05 de 2017). The Application of Spintronics. Obtenido de <http://www-03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/spintronics/>
- Wadley, P., Howells, B., Železný, J., Andrews, C., Hills, V., Campion, R. P., . . . Jungwirth, T. (2016). Electrical switching of an antiferromagnet. *Science*, 351(6273), 587-590.
- Xu, Y., Awschalom, D. D., & Nitta, J. (Edits.). (2016). *Handbook of Spintronics* (1 ed.). Springer Netherlands.
- Zayets, V. (2012). Spin and charge transport in material with spin-dependent conductivity. *Phys. Rev. B*, 86(17), 174415.
- Zhu, Y. H., Zhang, X. X., Liu, J., & He, P. S. (2017). Spin-accumulation capacitance and its application to magnetoimpedance. *Phys. Rev. B*, 86, 14.
- Zutic, I., Fabian, J., & Sarma, S. (2004). Spintronics: Fundamentals and applications *Igor. Reviews of Modern Physics*, 76, 323-386.

Notas al final

(1) Definido como la tasa de cambio de la energía libre de un sistema termodinámico respecto al cambio en el número de átomos o moléculas de la especie que son integradas al sistema.

(2) Que son una clase de material que tiene un comportamiento como aislante en su interior y estados de conducción en su superficie debido a ciertos fenómenos cuánticos que ocurren en los espacios de los momentos y en el acople espín-órbita además de

la simetría de inversión temporal que ocurre en esta clase de materiales.

(3) El estado singlete hace referencia a que la suma total de los momentos angulares de un conjunto de partículas sea cero, en el caso de los electrones, entre dos electrones con espines opuestos. En el caso de estado triplete cobra sentido cuando un sistema tiene tres posibles valores de espín.

Cómo citar este artículo:

Galeano, D. A. (2018). Espintrónica: la nueva electrónica. En: *Revista EPM*, (12) p.



Niveles de corrosión en cimentaciones de torres de transmisión de energía eléctrica

Corrosion levels in towers foundations of transmission lines

**Diego Mauricio
Tauta Rúa**

Jefe
Unidad estudios y asimilación tecnológica,
EPM

diego.tauta@epm.com.co

Resumen

En redes de transmisión de energía eléctrica los costos asociados a las cimentaciones representan un aspecto relevante dentro de su costo inicial, razón por la cual los ejecutores de proyectos están siempre en búsqueda de optimizar este aspecto. La selección del tipo de cimentación a utilizar depende en gran medida de las características del suelo, dentro de las cuales se resalta el potencial de corrosión, siendo ésta una de las restricciones para utilizar parrillas metálicas, incluso cuando su costo y tiempo de implementación es mucho menor que otros tipos de

cimentaciones. En el presente artículo se presentan los resultados de un estudio realizado por El Centro de Excelencia Técnica (CET) Estudios de EPM, donde se realizaron pruebas fisicoquímicas sobre parrillas metálicas recuperadas de una línea de transmisión desmantelada, con el fin de optimizar los criterios de selección del tipo de cimentación considerando el potencial de corrosión del suelo, y se analizaron medidas de protección en los casos donde este potencial se considera alto.

Palabras clave:

Líneas de transmisión, cimentaciones, parrilla metálica, corrosión, estudios de suelo, análisis fisicoquímicos, análisis electroquímicos

Key words

Transmission lines, foundations, metallic grillage, corrosion, soil studies, physicochemical analysis, electrochemical analysis

Introducción

Como parte fundamental de la infraestructura de redes de transmisión de energía eléctrica se encuentran los apoyos, los cuales típicamente son torres de acero galvanizado autoportantes. Estas torres se apoyan en 4 extremidades conocidas como patas y éstas a su vez, transmiten las cargas al suelo por medio de las cimentaciones. Las cimentaciones son típicamente zapatas en concreto o parrillas metálicas galvanizadas; requiriéndose utilizar cimentaciones como pilas, pilotes, anclajes, y otras sólo en casos especiales. Las parrillas metálicas se utilizan en sitios donde el suelo ofrece una buena capacidad portante, no se presenta nivel freático, el potencial de expansión del suelo es bajo, y el suelo no presenta riesgo de corrosión. Por el contrario, la cimentación tipo zapata se utiliza en casi todo

tipo de suelo, salvo en aquellas situaciones donde se encuentran suelos con una capacidad portante demasiado baja, o se encuentra roca sana aflorada. Entre los dos tipos de cimentaciones la diferencia aproximada en costos puede llegar a ser 1 a 4, siendo más costosa la cimentación en concreto. Además, en tiempos de construcción, la diferencia puede ser de 1 a 5, igualmente favoreciendo a la cimentación tipo parrilla.

Los suelos corrosivos atacan la barrera de protección del cinc y posteriormente al acero de las parrillas enterradas, afectando la integridad de éstas, por tanto, para suelos "corrosivos" no se considera adecuado utilizar parrillas metálicas, así la capacidad portante sea apta.

1. Necesidad o problema a solucionar

Dentro de los costos asociados a la construcción de una línea de transmisión las cimentaciones para los apoyos tienen un porcentaje significativo. Consecuencia de lo anterior, dentro de las empresas que desarrollan este tipo de proyectos hay una continua búsqueda por optimizar los costos asociados a estas obras, desde su selección, diseño y hasta su construcción.

Teniendo en cuenta la diferencia sustancial en el costo y tiempo de construcción entre cimentaciones tipo zapata de concreto y parrilla metálica, se

encontró conveniente realizar un estudio con el fin de evaluar el efecto real sobre parrillas metálicas que han estado enterradas en suelos con diferentes composiciones, y así redefinir y/o validar los criterios y sus respectivos rangos, utilizados en las etapas de diseño para seleccionar el tipo de cimentación de las torres desde el punto de vista de la potencialidad de corrosión. Igualmente, se buscó plantear soluciones alternativas para combatir, en sitios específicos con niveles de corrosión altos, el ataque sobre las parrillas y así poder utilizar el acero en mayor cantidad de sitios de torre.

2. Desarrollo del estudio

El estudio fue realizado por la unidad CET Estudios de EPM, con el apoyo de la Corporación para la

Investigación de la Corrosión -CIC-, entidad adscrita a la Universidad Industrial de Santander UIS, en Piedecuesta, Santander.

3. Antecedentes de soluciones implementadas

El suelo es un medio heterogéneo en donde las velocidades de corrosión de los metales son variables dados los diferentes contenidos de humedad, sales y materia orgánica en descomposición presentes. Según lo anterior, toda infraestructura que se encuentre en contacto con el suelo es afectada por diferentes procesos de deterioro fisicoquímico y microbiológico que se suceden en esta matriz (Corporación para la investigación de la corrosión CIC., 2016). Teniendo en cuenta lo anterior, la caracterización fisicoquímica del suelo tiene por objeto establecer comparaciones y conocer las propiedades del mismo con capacidad de generar y/o acelerar el deterioro de la estructura de interés,

haciéndose necesario conocer todos los parámetros que puedan influenciar la caracterización del mismo, en aras de establecer cualitativamente, cuál de éstos tiene mayor potencial corrosivo o ejerce mayor influencia en el carácter corrosivo del medio evaluado (CIC, 2016).

Interconexión Eléctrica ISA en su informe de normalización de estructuras (Interconexión Eléctrica S.A. ISA. 1989), estableció ciertos criterios para la selección de los tipos de cimentación a emplear, con base en características geológicas y fisicoquímicas del suelo, centrándose sólo en los parámetros de pH y resistividad eléctrica del suelo. Éstos, se presentan en la Tabla 1.

CRITERIO DE SELECCIÓN	PARRILLAS METÁLICAS	CIMENTACIONES EN CONCRETO
Corrosividad según el pH	$\text{pH} \geq 5,0$	No hay límite
Corrosividad según la Resistividad	$\rho \geq 5000 \Omega - \text{cm}$	No hay límite

Tabla 1. Criterios de diseño de cimentaciones con base en características fisicoquímicas del suelo

4. Estado del arte y revisión bibliográfica

Se realizó una investigación sobre el estado del arte en relación con investigaciones realizadas con objeto similar al del presente estudio. De esta primera etapa se resaltan los siguientes aspectos (CIC, 2016):

- No es correcto establecer la agresividad corrosiva de un suelo únicamente a partir del pH y la resistividad eléctrica, puesto que se estarían excluyendo variables que podrían tener incluso mayor incidencia en la velocidad de corrosión que aquellas anteriormente mencionadas.
- La caracterización fisicoquímica del suelo permite determinar la agresividad del suelo únicamente de manera cualitativa.
- Las técnicas electroquímicas corresponden a una excelente herramienta para cuantificar la tendencia del material a la corrosión en términos de su velocidad, o tiempo de vida útil de la estructura expuesta a un electrolito corrosivo.

- Es necesario implementar medidas de mitigación del fenómeno de corrosión en las parrillas metálicas con el objeto de incrementar su vida útil, como lo son la aplicación de recubrimientos protectores o la implementación de sistemas de protección catódica. Para ello, se debe realizar una correcta selección del mecanismo de control a implementar, mediante un análisis desde el punto de vista técnico y económico.

La primera conclusión resulta ser una de las más significativas, toda vez que desvirtúa la concepción que se tenía en los diseños hasta la fecha, donde

sólo se tenía en cuenta el pH y la resistividad eléctrica del suelo para determinar la agresividad del suelo. Como ejemplo, se presenta el análisis realizado por la American Galvanizers Association, para el cual se comparó el efecto de la concentración de cloruros, porcentaje de humedad y pH en los recubrimientos galvanizados. Allí se presentan cuatro (4) gráficas cuya ordenada representa el tiempo de servicio en años y la abscisa, el espesor del recubrimiento de zinc en mils, para diferentes concentraciones de cloruros, porcentajes de humedad y pH (extraído de CIC, 2016).

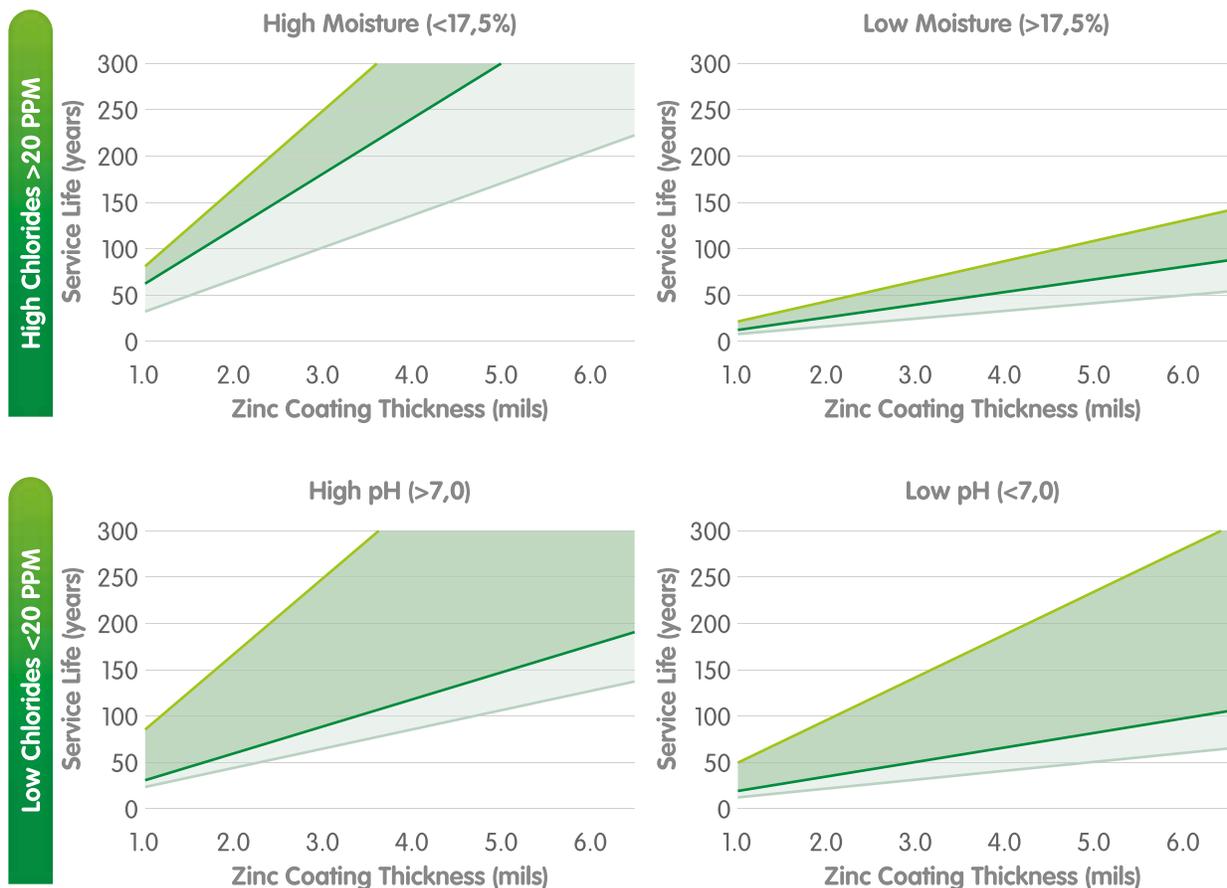


Figura 1. Efecto de Concentración de Cloruros, Contenido de Humedad y pH en la Vida Útil de Recubrimientos Galvanizados (CIC, 2016)

5. Muestras recuperadas

Las parrillas objeto del estudio fueron recuperadas de la línea de transmisión desmantelada El Salto – Yarumal II a 110 kV, localizada en los municipios de

Yarumal, Angostura y Gómez Plata, Antioquia. La cantidad de parrillas recuperadas fue catorce (14), una (1) por torre.

6. Caracterización fisicoquímica de las muestras del suelo

La metodología empleada para establecer la agresividad de las muestras de suelos se fundamentó en determinar el potencial corrosivo del terreno, en función de la composición de la muestra y las características fisicoquímicas determinadas

mediante ensayos cualitativos y cuantitativos, buscando establecer el rango de corrosividad para cada uno de los parámetros evaluados, según lo establecido en la literatura (CIC, 2016).

7. Estimación de la agresividad del suelo

7.1. Metodología fisicoquímica

La literatura reporta diferentes técnicas utilizadas para establecer las condiciones corrosivas del suelo sobre las estructuras de acero enterradas, como el método 10-P, que se reportó por CIPRA (Cast Iron Pipe Research Association, predecesor de DIPRA-Ductile Iron Pipe Research Association) (DIPRA 2007), y fue adoptado por ANSI/AWWA, en el método ANSI/AWWA C105/A21.5-99 (AWWA 2000). Este método utiliza cinco (5) parámetros del suelo para establecer su corrosividad: resistividad, pH, potencial Redox, sulfuros y contenido de humedad, dando una clasificación del suelo en términos de si éste

es corrosivo o no corrosivo. Recientemente, se han implementado métodos de análisis que incluyen el aporte de iones cloruro y sulfato en la corrosividad del suelo. Un ejemplo es el método reportado por West German Gas Industry (WGGI) (DVGW 1971). Este modelo define una escala de corrosividad del suelo en términos de No Corrosivo, Ligeramente Corrosivo, Corrosivo y Severamente Corrosivo, a partir de ciertos parámetros (CIC, 2016). Para el presente estudio se realiza la estimación de la corrosividad del suelo, implementando el método de predicción reportado por West German Gas Industry/Steinrath.

PROPIEDAD	VALORES	ÍNDICE
Composición del suelo	Calcáreo, principalmente piedras calizas, arena	2
	Marga, marga arenosa (contenido de marga 75% o menos), arcilla arenosa (contenido de légameo 75%)	0
	Arcilla, marga arcillosa, humus	-2
	Turba, marga gruesa	-4
Nivel de Agua Subterránea	Ninguna	0
	Existe	-1
	Variante	-2
Resistividad (Ω-cm)	>10000	0
	5000-10000	-1
	2300-5000	-2
	1000-2300	-3
	<1000	-4
Contenido de humedad (%)	<20	0
	>20	-1
pH	>6	0
	<6	-2
Sulfuros	Ninguno	0
	Trazas	-2
	Existe	-4
Carbonatos (%)	>5	2
	1 a 5	1
	<1	0
Cloruros (mg/kg)	<100	0
	>100	-1
Sulfatos (mg/Kg)	<200	0
	200-500	-1
	500-1000	-2
	>1000	-3
Corrosividad del suelo		
No corrosivo		>0
Ligeramente corrosivo		0 a -4
Corrosivo		-5 a -10
Severamente corrosivo		<-10

Figura 2. Metodología de Análisis de Corrosividad de Suelos. Referencia (CIC, 2016)

7.2. Metodología electroquímica

La determinación de la velocidad de corrosión del acero al carbono en contacto con cada una de las muestras de suelos se estableció en función de la velocidad de corrosión del sistema acero/electrolito mediante las pruebas electroquímicas de Resistencia a la Polarización Lineal (LPR) y pendientes

Tafel. Los límites señalados para la velocidad de corrosión se establecen tomando como referencia la norma NACE SP0775-13 (NACE 2012), como se muestra en la Tabla 2. Esta clasificación corresponde a rangos de velocidad de corrosión obtenida mediante exposición de cupones gravimétricos en instalaciones de transporte de hidrocarburos.

VELOCIDAD DE CORROSIÓN – RC (MPY)	CLASIFICACIÓN
< 1,0	Corrosión Baja
1,0 – 4,9	Corrosión Moderada
5,0 – 10,0	Corrosión Alta
>10,0	Corrosión Severa

Tabla 2. Categorización de la Velocidad de Corrosión

8. Caracterización mecánica de parrillas metálicas

Para la caracterización mecánica se realizaron ensayos de composición química y ensayo de tensión, tomando probetas tanto de la zona corroída como en la zona aparentemente libre de corrosión, de acuerdo con la disponibilidad de material. Con los resultados se determinó la pérdida de capacidad mecánica del material que evidenció problemas de corrosión.

- Composición química: Se realizó mediante la técnica de Espectrometría de Emisión Óptica (EEO), acorde con lo establecido en la norma ASTM E415-14.
- Ensayo de tensión: Permite cuantificar el límite de fluencia, la resistencia a la tensión, el esfuerzo de ruptura y el porcentaje de elongación de la estructura del material. El ensayo se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ASTM E-8/E8M.

9. Resultados caracterización fisicoquímica

9.1. Ensayos cualitativos

Frente a la prueba cualitativa de carbonatos, todas las muestras de suelo recolectadas resultaron negativas, señalando la ausencia de compuestos incrustantes formados por la interacción de las especies metálicas con gases disueltos en el

electrolito de contacto. Así mismo, se obtuvieron resultados negativos frente a la reacción con ácido clorhídrico, evidenciando la ausencia de compuestos azufrados de origen biogénico (producto del metabolismo de los microorganismos presentes en el medio) (CIC, 2016).

9.2. Ensayos cuantitativos

MUESTRA	PH	CONDUCTIVIDAD (μ S/CM)	CLORUROS (MG/KG)	SULFATOS (MG/KG)	HUMEDAD (% PESO)	POTENCIAL REDOX (MV)	RESISTIVIDAD (Ω -CM)
SY-013	4,600	9,566	13,1	10,7	23,9	597	86997,95
SY-014	4,732	6,730	17,2	9,92	26,3	591	98597,68
SY-015	4,272	6,842	20,8	10,7	14,7	585	165876,09
SY-019	4,228	6,787	14,2	10,7	15,3	599	153489,24
SY-022	4,859	8,645	24,1	12,8	18,6	590	132246,09
SY-026	4,892	7,028	18,9	9,99	22,3	608	116631,63
SY-027	7,014	22,95	24,6	10,1	20,9	598	58643,06
SY-030	6,797	8,569	25,6	10,6	18,2	618	129254,10
SY-037	5,480	12,92	27,4	11,0	30,9	640	43662,81
SY-038	5,184	6,687	26,5	10,8	25,1	629	15830,82
SY-043	5,695	7,229	30,3	11,7	18,0	620	41347,41
SY-053	4,789	10,15	21,8	10,6	25,9	643	17721,80
SY-058	4,857	29,37	19,9	11,0	26,6	648	219911,49

Tabla 3. Resultados de la Caracterización Físicoquímica de las Muestras de Suelo

- El pH inferior a seis unidades (<6,0), cataloga los suelos como corrosivos, excepto para los puntos SY-027 y SY-030 que se comportan como electrolitos de baja corrosividad.
- Los bajos valores de conductividad eléctrica están relacionados con la concentración de iones disueltos (cloruros y sulfatos), cuyos valores se encuentran por debajo de 100 mg/kg y 200 mg/kg respectivamente. Se catalogan los electrolitos evaluados en un rango de baja corrosividad frente a la presencia de sales inorgánicas. Este resultado está de acuerdo con los datos de resistividad encontrados (mayores a 10000 Ω .cm).
- Se encontraron contenidos de humedad mayores al veinte por ciento (>20%) en las muestras de suelo SY-013, SY-014, SY-026, SY-027, SY-037, SY-038, SY-053 y SY-058, clasificando estos suelos como corrosivos, con relación a este parámetro.
- Los resultados de potencial Redox (>400,0 mV) obtenidos para todas las muestras, exhiben suelos cuyas condiciones podrían favorecer el desarrollo de organismos aerobios, como es el caso de las bacterias productoras de ácido (BPA), debido a la disponibilidad de agentes oxidantes.

10. Resultados caracterización electroquímica

PUNTO DE MUESTREO	RP PROMEDIO (Ω)	BA (MV/DEC)	BC (MV/DEC)	B (MV/DEC)
Suelo 1, Parrilla SY-013	11488,00	285,7	227,6	55,01
Suelo 2, Parrilla SY-014	3660,67	487,3	151,7	50,24
Suelo 3, Parrilla SY-015	5376,43	217,1	197,7	44,92
Suelo 4, Parrilla SY-019	21353,33	256,1	219,7	51,35
Suelo 5, Parrilla SY-022	20867,33	287,3	258,9	59,12
Suelo 6, Parrilla SY-026	2817,57	311,5	123,4	38,38
Suelo 7, Parrilla SY-027	6492,53	465,5	195,3	59,74
Suelo 8, Parrilla SY-030	4069,10	461,7	178,3	55,85
Suelo 9, Parrilla SY-037	10032,43	296,9	212,4	53,77
Suelo 10, Parrilla SY-038	11709,00	258,9	252,7	55,53
Suelo 11, Parrilla SY-043	47579,67	254,9	242,7	53,98
Suelo 12, Parrilla SY-053	8080,47	271,6	262,7	57,98
Suelo 13, Parrilla SY-058	44852,00	319,4	310,8	68,40

Tabla 4. Valores de la Resistencia de Polarización y Constantes de Tafel para el Acero al Carbono en Contacto con las Muestras de Suelo

PUNTO DE MUESTREO	B (MV/DEC)	ICORR ($\mu\text{A}/\text{CM}^2$)	VELOCIDAD DE CORROSIÓN (MPY)	CATEGORÍA NACE SP 0775-13
Suelo 1, Parrilla SY-013	55,01	4,79	2,26	Corrosión Moderada
Suelo 2, Parrilla SY-014	50,24	13,74	6,49	Corrosión alta
Suelo 3, Parrilla SY-015	44,92	8,36	3,95	Corrosión Moderada
Suelo 4, Parrilla SY-019	51,35	2,40	1,14	Corrosión Moderada
Suelo 5, Parrilla SY-022	59,12	2,83	1,34	Corrosión Moderada
Suelo 6, Parrilla SY-026	38,38	13,62	6,44	Corrosión alta
Suelo 7, Parrilla SY-027	59,74	9,21	4,35	Corrosión Moderada
Suelo 8, Parrilla SY-030	55,85	13,73	6,49	Corrosión alta
Suelo 9, Parrilla SY-037	53,77	5,36	2,53	Corrosión Moderada
Suelo 10, Parrilla SY-038	55,53	4,75	2,24	Corrosión Moderada
Suelo 11, Parrilla SY-043	53,98	1,13	0,54	Corrosión baja
Suelo 12, Parrilla SY-053	57,98	7,18	3,39	Corrosión Moderada
Suelo 13, Parrilla SY-058	68,40	1,53	0,72	Corrosión baja

Tabla 5. Velocidades de corrosión obtenidas para el acero sin galvanizado (evidencia de corrosión) en contacto con las muestras de suelo

Dado que las velocidades de corrosión obtenidas para las muestras de acero de las parrillas SY-014, SY-026 y SY-030 en contacto con el suelo presentaron velocidades de corrosión superiores a 5,0 mpy, catalogada como corrosión alta según criterio Tabla 2, se efectuó determinación de la velocidad de corrosión de muestras adicionales de las parrillas SY-014, SY-026, SY-027, SY-030 y SY-043, las cuales aún

contaban con recubrimiento de cinc (galvanizado), con el fin de identificar el nivel de resistencia o nivel de protección correspondiente al recubrimiento de cinc. En este caso, para la obtención de la velocidad de corrosión del acero galvanizado (recubrimiento de cinc) se empleó una densidad promedio de 7,13 g/cm³. Los resultados de la velocidad de corrosión para cada suelo se muestran en la Tabla 6.

PUNTO DE MUESTREO	RP (Ω)	B (MV/DEC)	ICORR (μ A/CM ²)	VELOCIDAD DE CORROSIÓN (MPY)
Suelo 2, Parrilla SY-014	37146,33	39,34	1,06	0,65
Suelo 6, Parrilla SY-026	33091,67	47,00	1,42	0,87
Suelo 7, Parrilla SY-027	80038,67	45,14	0,56	0,34
Suelo 8, Parrilla SY-030	51697,67	45,74	0,89	0,54
Suelo 11, Parrilla SY-043	604489,00	33,85	0,06	0,03

Tabla 6. Velocidades de corrosión obtenidas para el acero galvanizado (si evidencia de corrosión) en contacto con las muestras de suelo

La velocidad de corrosión registrada para las muestras de acero galvanizado en contacto con los diferentes suelos es menor a un 1,0 mpy que podría considerarse bajo, sin embargo, para un acero galvanizado con un recubrimiento de zinc de 3,9 milésimas de pulgada (99 micras), en contacto

con muestras de suelo asociada a las parrillas SY-014, SY-027 y SY-030 indica una vida útil en el rango de 4,5 años a 7,2 años, evidenciado que los suelos asociados a las parrillas: SY-014, SY-026 y SY-030 presentan un nivel de corrosividad alta.

11. Evaluación nivel de corrosividad de las muestras

En la Tabla 7 se presentan los resultados del nivel de corrosividad obtenida para los suelos desde la caracterización fisicoquímica y electroquímica, así como la clasificación obtenida teniendo en cuenta los criterios de evaluación dados en (ISA, 1989). De

igual manera, en las Figura 3, Figura 4 y Figura 5 se presenta la correlación existente entre los parámetros pH, humedad y resistividad el suelo con la velocidad de corrosión del medio.

PUNTO DE MUESTREO	PH	CONDUCTIVIDAD (μS/CM)	CLORUROS (MG/KG)	SULFATOS (MG/KG)	HUMEDAD (% PESO)	POTENCIAL REDOX (MV)	RESISTIVIDAD (Ω-CM)	CATEGORIZACIÓN ISA (P<500Ω-CM)	CATEGORIZACIÓN ISA (PH<5)	CATEGORIZACIÓN FQ	VCORR (MPY)	CATEGORIZACIÓN EQCA
SY-013	4,600	9,566	13,1	10,7	23,9	597	86997,95	Corrosión Baja	Corrosivo	Ligeramente Corrosivo	2,26	Corrosión Moderada
SY-014	4,732	6,730	17,2	9,92	26,3	591	98597,68	Corrosión Baja	Corrosivo	Ligeramente Corrosivo	6,49	Corrosión Alta
SY-015	4,272	6,842	20,8	10,7	14,7	585	165876,09	Corrosión Baja	Corrosivo	Ligeramente Corrosivo	3,95	Corrosión Moderada
SY-019	4,228	6,787	14,2	10,7	15,3	599	153489,24	Corrosión Baja	Corrosivo	Ligeramente Corrosivo	1,14	Corrosión Moderada
SY-022	4,859	8,645	24,1	12,8	18,6	590	132246,09	Corrosión Baja	Corrosivo	Ligeramente Corrosivo	1,34	Corrosión Moderada
SY-026	4,892	7,028	18,9	9,99	22,3	608	116631,63	Corrosión Baja	Corrosivo	Ligeramente Corrosivo	6,44	Corrosión Alta
SY-027	7,014	22,95	24,6	10,1	20,9	598	58643,06	Corrosión Baja	Corrosión Baja	Ligeramente Corrosivo	4,35	Corrosión Moderada
SY-030	6,797	8,569	25,6	10,6	18,2	618	129254,10	Corrosión Baja	Corrosión Baja	Ligeramente Corrosivo	6,49	Corrosión Alta
SY-037	5,480	12,920	27,4	11,0	30,9	640	43662,81	Corrosión Baja	Corrosión Baja	Ligeramente Corrosivo	2,53	Corrosión Moderada
SY-038	5,184	6,687	26,5	10,8	25,1	629	15830,82	Corrosión Baja	Corrosión Baja	Ligeramente Corrosivo	2,24	Corrosión Moderada
SY-043	5,695	7,229	30,3	11,7	18,0	620	41347,41	Corrosión Baja	Corrosión Baja	Ligeramente Corrosivo	0,54	Corrosión Baja
SY-053	4,789	10,150	21,8	10,6	25,9	643	17721,80	Corrosión Baja	Corrosivo	Ligeramente Corrosivo	3,39	Corrosión Moderada
SY-058	4,857	29,370	19,9	11,0	26,6	648	219911,49	Corrosión Baja	Corrosivo	Ligeramente Corrosivo	0,72	Corrosión Baja

Tabla 7. Resumen de la Corrosividad Obtenida para los Suelos Evaluados a partir de la Caracterización Físicoquímica y Electroquímica (CIC, 2016)

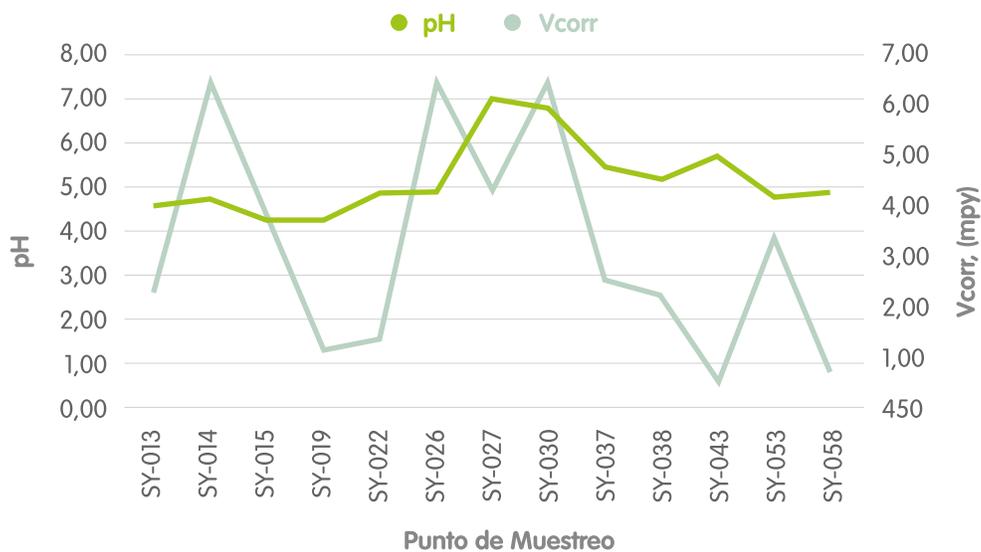


Figura 3. Correlación entre el pH y Velocidad de Corrosión (CIC, 2016)

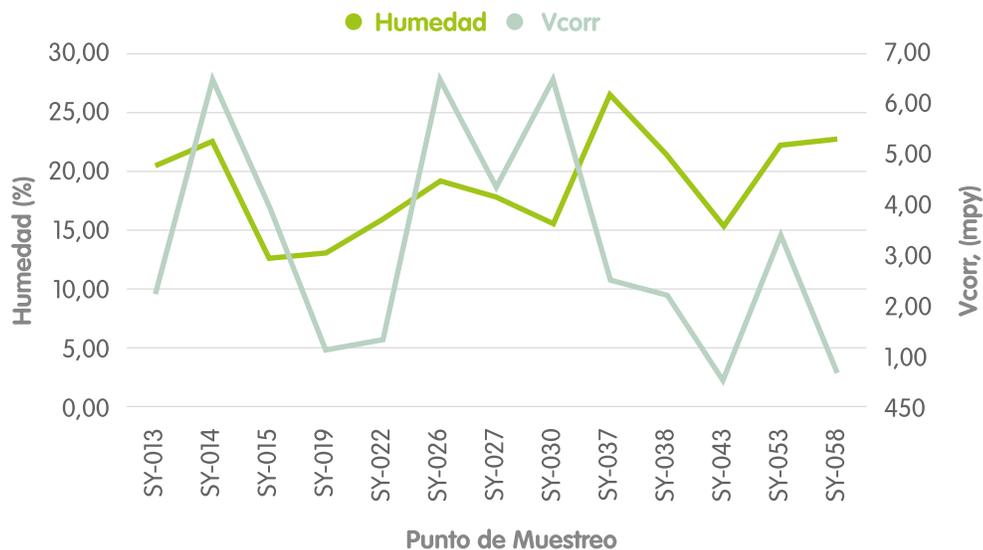


Figura 4. Correlación entre la Humedad y Velocidad de Corrosión (CIC, 2016)

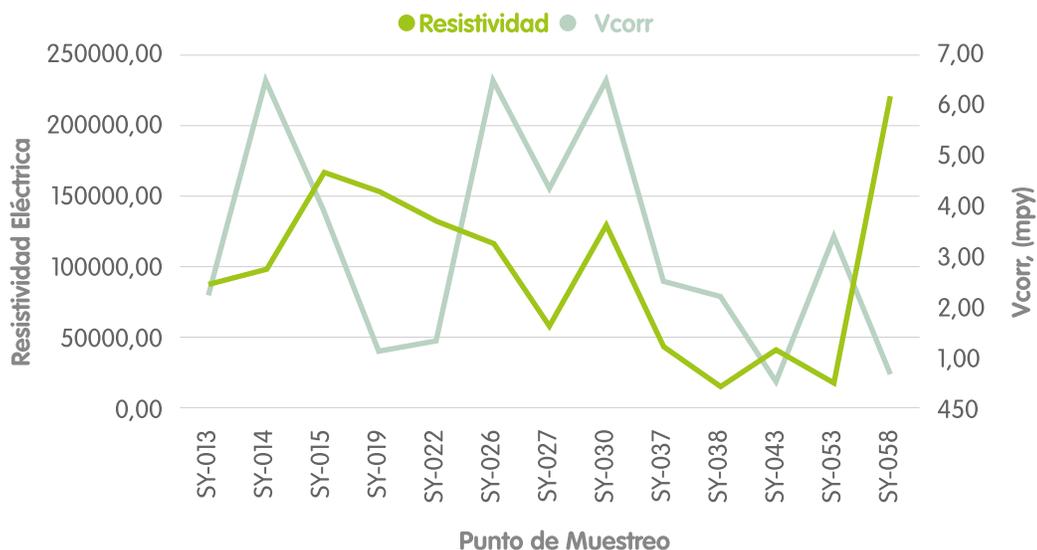


Figura 5. Correlación entre la Resistividad Eléctrica y Velocidad de Corrosión (CIC, 2016)

Se evidencia que no existe una correlación entre las variables fisicoquímicas evaluadas por separado y la velocidad de corrosión exhibida por la estructura metálica en contacto con un electrolito corrosivo. Adicionalmente, se identifica que existen factores externos que pueden modificar el efecto de cada

parámetro en el carácter corrosivo del medio. Éste es el caso de parámetros tales como la humedad y la resistividad eléctrica, cuya influencia sobre el valor de la corrosividad varía en función de la época del año, es decir, se ve afectado por el cambio de temporadas de lluvia y sequía (CIC, 2016).

12. Resultados ensayos de tensión

Los resultados de la comparación entre las propiedades mecánicas de las muestras corroídas y las muestras sin corrosión aparente se observan en la Tabla 8, y en las Figura 6, Figura 7 y Figura

8. Debido a que la mayoría de los segmentos se encontraban corroídos casi en su totalidad, sólo fue posible realizar esta comparación para siete (7) de las parrillas recuperadas.

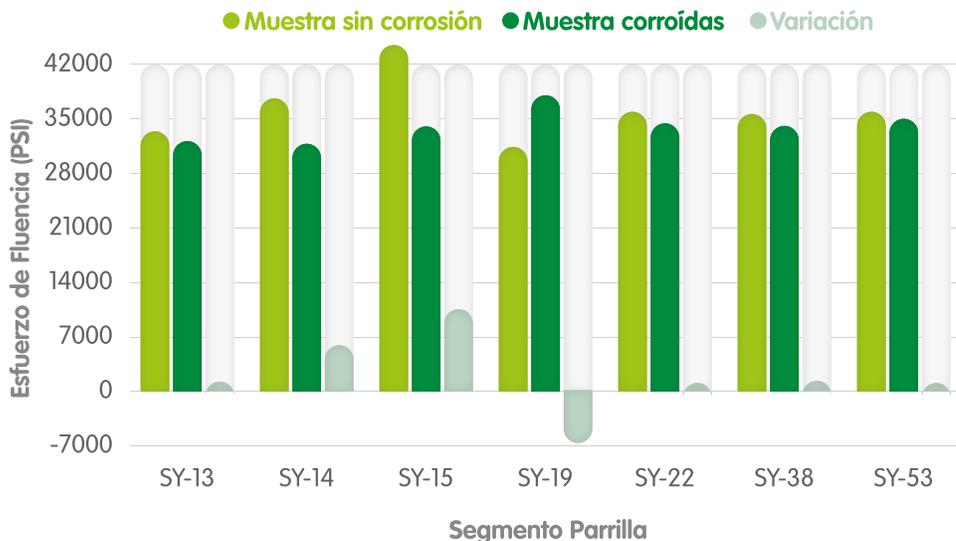


Figura 6. Comparación entre valores de esfuerzo de fluencia en muestras corroídas y muestras sin corrosión aparente (CIC, 2016)

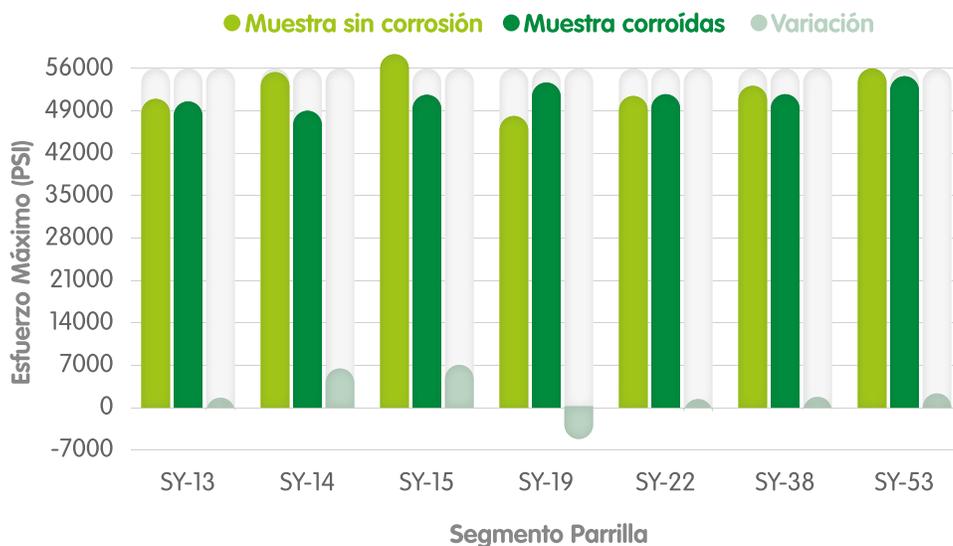


Figura 7. Comparación entre valores de esfuerzo último en muestras corroídas y muestras sin corrosión aparente (CIC, 2016)

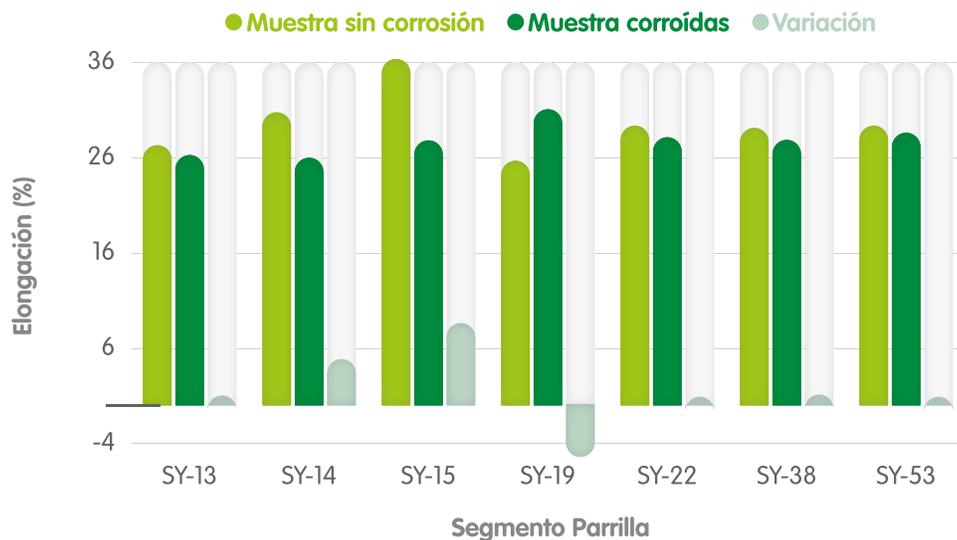


Figura 8. Comparación entre valores de porcentaje de elongación en muestras corroídas y muestras sin corrosión aparente (CIC, 2016)

SEGMENTO	ID MUESTRA	ESFUERZO DE FLUENCIA (PSI)	VARIACIÓN ESFUERZO FLUENCIA (PSI)	VARIACIÓN %	ESFUERZO MÁXIMO (PSI)	VARIACIÓN ESFUERZO MÁXIMO (PSI)	VARIACIÓN %	% DE ELONGACIÓN	VARIACIÓN % ELONGACIÓN	VARIACIÓN %
SY-013	Sin corrosión aparente	33506,617	1316,940	4%	50941,603	378,063	1%	30,98	6,267	20%
	Corroída	32189,677			50563,54			24,713		
SY-014	Sin corrosión aparente	37625,207	5903,520	16%	55182,993	6175,223	11%	31,840	4,433	14%
	Corroída	31721,687			49007,77			27,407		
SY-015	Sin corrosión aparente	44578,800	10512,823	24%	58198,327	6630,160	11%	35,570	1,343	4%
	Corroída	34065,977			51568,167			34,227		
SY-019	Sin corrosión aparente	31494,463	-6642,243	21%	48099,833	-5601,837	12%	39,453	6,24	16%
	Corroída	38136,707			53701,67			33,213		
SY-022	Sin corrosión aparente	35553,357	1039,210	3%	51345,65	-299,390	1%	30,140	-3,867	-13%
	Corroída	34514,147			51645,04			34,007		
SY-038	Sin corrosión aparente	35563,251	1309,088	4%	53044,167	1109,050	2%	36,760	10,787	29%
	Corroída	34254,163			51935,117			25,973		
SY-053	Sin corrosión aparente	35951,470	902,620	3%	56606,293	1957,527	3%	32,227	5,807	18%
	Corroída	35048,850			54648,767			26,420		
SY-026	Corroída	36773,353	No Aplica		55812,937	No Aplica		27,553	No Aplica	
SY-028	Corroída	33751,730	No Aplica		50555,323	No Aplica		27,023	No Aplica	
SY-030	Corroída	31645,783	No Aplica		46359,863	No Aplica		26,967	No Aplica	
SY-037	Corroída	39281,057	No Aplica		57082,507	No Aplica		22,860	No Aplica	
SY-043	Corroída	34606,487	No Aplica		52493,027	No Aplica		27,727	No Aplica	
SY-058	Corroída	33356,747	No Aplica		52619,21	No Aplica		27,873	No Aplica	

Tabla 8. Resultados ensayos de tensión (CIC, 2016)

Se concluye que, en general, existe una ligera disminución de las propiedades mecánicas de las probetas obtenidas a partir de la muestra corroída, con respecto de aquellas obtenidas a partir de muestras sin corrosión aparente, excepto para las

muestras obtenidas de los segmentos SY-14, SY-15 y SY-19. De acuerdo con lo anterior, se puede afirmar que la corrosión generalizada evidenciada en las probetas no ha afectado de manera significativa las propiedades mecánicas del material.

13. Medición de pérdida del espesor

Con el objetivo de contrastar la pérdida de espesor de galvanizado y de pared metálica con los valores de velocidad de corrosión obtenidos a partir de las mediciones electroquímicas, se llevó a cabo la medición de espesores y de profundidad de picado. El análisis se llevó a cabo en segmentos asociados a las parrillas SY-13, SY-14, SY-22, SY-38 y SY-53. Se fabricaron probetas de la sección corroída y, adicionalmente, se obtuvo una probeta de una sección aparentemente no corroída de la parrilla SY-38 como punto de referencia.

Como se observa en la Tabla 9, los valores de velocidad de corrosión obtenidos a partir de la pérdida de espesor versus el tiempo de exposición,

que corresponde a 46 años (valor estimado), son menores que los valores obtenidos a partir de las técnicas electroquímicas, exceptuando la parrilla SY-22, en la que se obtuvo la mayor velocidad de corrosión. No obstante, todos los valores obtenidos corresponden a la clasificación de corrosión moderada y baja (CIC, 2016). Cabe aclarar que el método empleado para determinar la velocidad de corrosión a partir del tiempo de exposición de las parrillas no corresponde a ninguna metodología estandarizada, y se realizó bajo algunos supuestos (tiempo de enterramiento de las parrillas), sin embargo, fue la única metodología disponible para contrastar los resultados del análisis electroquímico con las muestras recuperadas en campo.

MUESTRA	ESPESOR GALVANIZADO (MILS)	ESPESOR CHAPA METÁLICA ANTES DE DECAPADO (MILS)	PROFUNDIDAD DE PICADO - POSTERIOR A DECAPADO (MILS)	ESPESOR REMANENTE (MILS)	ESPESOR REMANENTE (%)	VELOCIDAD CORROSIÓN A PARTIR DE VIDA ÚTIL (MPY)	VELOCIDAD CORROSIÓN EQCA (MPY)	CATEGORIZACIÓN NACE SP 0775-13
Parrilla SY-013	Probeta completamente corroída. No se evidencia recubrimiento	No medido por falta de homogeneidad debido al producto de la corrosión	11,73 - 20,87	241,02 - 230,31	95 - 98%	0,45	2,26	Corrosión Moderada
Parrilla SY-014	Probeta completamente corroída. No se evidencia recubrimiento	No medido por falta de homogeneidad debido a los productos de corrosión	4,84 - 14,96	247,91 - 237,79	98 - 94%	0,33	6,49	Corrosión Alta
Parrilla SY-022	Probeta completamente corroída. No se evidencia recubrimiento	No medido por falta de homogeneidad debido a los productos de corrosión	7,64 - 118,11	245,12 - 134,65	97 - 53%	2,57	1,34	Corrosión Moderada
Parrilla SY-038 - Corroída	Probeta completamente corroída. No se evidencia recubrimiento	No medido por falta de homogeneidad debido a los productos de corrosión	4,84 - 90,55	247,91 - 162,20	98 - 64%	1,97	2,24	Corrosión Moderada
Parrilla SY-038 - Aparentemente sin corrosión	3,9 - 6,1	252,76	3,35 - 6,77	249,41 - 245,98	99 - 97%	0,15	No Aplica	No Aplica
Parrilla SY-053	Probeta completamente corroída. No se evidencia recubrimiento	No medido por falta de homogeneidad debido a los productos de corrosión	1,69 - 6,18	249,49 - 246,57	99 - 98%	0,13	3,39	Corrosión Moderada

Tabla 9. Comparación entre pérdida de espesor y velocidad de corrosión

14. Análisis medidas de mitigación

Método de Mitigación	VIABILIDAD IMPLEMENTAR	OBSERVACIONES
Material de Relleno	No Aplica	Los estudios realizados muestran apropiado su uso en aplicaciones para aumentar la capacidad portante del suelo. Sin embargo, no se ha establecido su efectividad a largo plazo para disminuir la corrosividad del medio. Se ha evidenciado que con el tiempo tienden a agrietarse, favoreciendo el ingreso de sales y humedad que pueden favorecer la ocurrencia de procesos corrosivos.
Uso de aceros autoprotectores	No Aplica	Tienen buen desempeño para aplicaciones en las que se requieran materiales resistentes a la corrosión atmosférica. No obstante, en condiciones de enterramiento su capacidad de resistencia a la corrosión se ve disminuida. Lo anterior, en virtud de que la pátina o capa protectora que se genera en la superficie metálica, se ve afectada al estar expuesta en condiciones de enterramiento.
Uso exclusivo de aceros galvanizados	No Aplica	Las superficies metálicas galvanizadas en condición de enterramiento estarán expuestas a corrosión en presencia de sales, que generarán un proceso de corrosión por picado. En razón a la electronegatividad del cinc, éste actuará como protección catódica galvánica de la estructura de acero al carbono, implicando desgaste de masa en pequeñas zonas localizadas (picadura). Serán estos puntos localizados los que ocasionarán pérdida de integridad mecánica. El revestimiento con cinc presenta la desventaja que el suelo no genera el mismo potencial en cada punto de la parrilla y, por ende, la rata de consumo de este elemento será de tipo diferencial. Adicionalmente, los puntos de acople sufren proceso de corrosión por aireación diferencial que generará mayor consumo de cinc, creando así zonas expuestas directamente al suelo, lo cual conllevará a la reducción del torque de apriete, afectando la funcionalidad estructural de la parrilla.
Instalación de Sistemas de Protección Catódica	No Aplica	Es una buena opción de mitigación de la corrosión para estructuras enterradas, sin embargo, la existencia de puestas a tierra disminuye su efectividad, puesto que se traduce en pérdidas de corriente a través de éstas o en incrementos en la demanda de corriente del sistema. Los costos de implementación podrían resultar elevados, en función de la cantidad de masa anódica requerida para cada torre, las excavaciones necesarias para la instalación de ánodos, cables, etc. Debido a la distancia de separación entre torres, es probable que se requiera un sistema de protección catódica particular para cada torre de transmisión, aumentando los costos de implementación de esta medida.
Aplicación de Sistema de Recubrimiento	Aplica	Corresponde a una excelente alternativa de bajo costo, para el control de la corrosión para estructuras enterradas.

Tabla 10. Métodos de Mitigación Considerados en el Estudio (CIC, 2016)

15. Empleo de sistemas de recubrimiento

Como mecanismo de control de la corrosión puede emplearse un sistema de revestimiento de la parrilla metálica. El mecanismo de protección de este tipo de revestimiento es mediante efecto barrera de vapor, así, no se consume sino que actúa como un aislamiento entre el suelo y el acero, el cual se va degradando en la medida en que exista corrosión química entre el medio y el recubrimiento (situación que se mitiga usando resinas) y por la permeabilidad al vapor de agua y oxígeno, que se constituye en un proceso lento que se optimiza en la medida en que el grado de limpieza de la superficie sea mayor (CIC, 2016).

Conclusiones y recomendaciones

- No existe una relación que permita concluir que las características fisicoquímicas del suelo, analizadas individualmente, dan lugar a un valor de velocidad de corrosión cierta; teniendo en cuenta que el suelo representa un medio heterogéneo en el que la corrosividad de éste corresponde a la sumatoria de la influencia de todos los parámetros presentes y no de un parámetro en particular. Adicionalmente, existen factores externos que pueden modificar el efecto de cada parámetro en el carácter corrosivo del medio, como la humedad y la resistividad eléctrica, cuya influencia varía en función de la época del año, es decir, se ve afectado por el cambio de temporadas de lluvia y sequía.
- No es correcto establecer la agresividad de un suelo únicamente a partir del pH y la resistividad eléctrica, puesto que se estarían excluyendo variables presentes que influyen en esta clasificación y podrían tener incluso mayor incidencia en la velocidad de corrosión que las primeras. Lo anterior, teniendo en cuenta los resultados presentados en la Tabla 7, en la que para el suelo en contacto con la torre SY-30, de acuerdo con el pH y la resistividad presenta una corrosividad baja, pero los valores de velocidad de corrosión obtenidos indican que corresponde a un medio de corrosividad alta.
- Existe una ligera disminución de las propiedades mecánicas de las probetas obtenidas a partir de la muestra corroída, con respecto a aquéllas obtenidas a partir de muestras sin corrosión aparente. Es decir, la corrosión generalizada evidenciada en las probetas no ha afectado de manera significativa las propiedades mecánicas del material.
- En general, los valores de velocidad de corrosión obtenidos a partir de la pérdida de espesor de pared metálica versus el tiempo de exposición son menores que aquéllos obtenidos a partir de las técnicas electroquímicas, exceptuando el caso de la parrilla SY-22, en la que se obtuvo la mayor velocidad de corrosión.
- La alternativa viable desde el punto de vista técnico y económico para el control de la corrosión en las parrillas metálicas corresponde a la implementación de un sistema de recubrimiento, con capacidad de actuar como barrera entre la superficie metálica y el medio corrosivo, aumentando de esta forma el tiempo de vida útil de estas estructuras.

Selección del Sistema de Recubrimiento

Para proteger estructuras metálicas que operan bajo condiciones enterradas o en inmersión se utilizan en gran medida sistemas de recubrimientos epóxicos líquidos. Estos sistemas curan por reacción química y están formados por una resina epóxica y un agente de curado que le confiere sus propiedades (CIC, 2016). Éstos presentan un muy buen desempeño para protección contra corrosión.

- Las mediciones electroquímicas constituyen un método práctico para conocer rápidamente los valores de velocidad de corrosión del suelo, por lo tanto, se recomienda llevar a cabo la caracterización del suelo mediante el cálculo

de la velocidad de corrosión por estas técnicas in situ. Lo anterior no descarta que ante valores de velocidad de corrosión considerablemente altos (≥ 5 mpy), se decida llevar a cabo ensayos de laboratorio para conocer la composición fisicoquímica y microbiológica del suelo.

Referencias

- American National Standard for Polyethylene, American Water Works Association (2000), Encasement for Ductile-Iron Pipe Systems. Appendix A of ANSI/AWWA C105/A21.5.
- ASTM E415-14. Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry.
- ASTM E8 / E8M-13, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.
- Corporación para la investigación de la corrosión CIC. (2016). CIC-404-16-IT-E3-0 Estudio de fundaciones para líneas de transmisión de energía -entregable 03- -informe de resultados-. Rev. 1.
- Corporación para la investigación de la corrosión CIC. (2016). GS-GC-F-34 Estudio de fundaciones para líneas de transmisión de energía - Entregable N°1 -revisión bibliográfica-. Rev. 1.
- Ductile Iron Pipe research Association –DIPRA (2007). Polyethylene Encasement. Effective, Economical Protection for Ductile Iron Pipe in Corrosive Environments
- German Gas and Water Works Engineer’s Association Standard -DVGW- (1971), Merkblatt für die Beurteilung der Korrosionsgefährdung von Eisen und Stahl im Erdboden, DVGW GW9.
- Interconexión Eléctrica S.A. ISA. (1989). Metodología de diseño de líneas de transmisión y guía de aplicación de las estructuras normalizadas. Informe Final.
- National Association of Corrosion Engineers NACE, (2012). Standard Practice
- Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations.

Cómo citar este artículo:

Tauta, D. M. (2018). Niveles de corrosión en cimentaciones de torres de transmisión de energía eléctrica. En: Revista EPM, (12) p.

La ecología humana y las obras de infraestructura

Human ecology and infrastructure works

**Julieta Carolina
Tamayo Jaramillo**

Profesional Ambiental y Social
Unidad Desarrollo Ambiental y Social.
Proyectos e Ingeniería, EPM.

JulietaCarolina@udea.edu.co

Resumen

El incremento poblacional, acelera el crecimiento de las ciudades, incrementando las obras de infraestructura, las cuales generan impactos al entorno y a las personas, por ello se proponen implementar estudios de ecología humana, para identificar los impactos que se generan con las

interacciones y generar propuestas de solución o prevención, en pro de conservar los recursos en el tiempo para las generaciones venideras (sostenibilidad) y garantizar una relación estrecha entre las personas, el entorno y el desarrollo de las ciudades.

Palabras clave:

Ecología humana, infraestructura, crecimiento demográfico, servicios.

Key words

Human ecology, infrastructure, population growth, services.

Introducción

Los procesos de urbanización, en las últimas décadas, se deben en gran medida al aumento de la población, según Las Naciones Unidas la población a nivel mundial ha alcanzado una cifra de 7.519.065.501 personas, y América Latina tiene en

2017 una población de 647.961.898, se estima que para el 2030 se incremente la población a 8.501, en el 2050 a 9.725 y en el 2100 tendrá un incremento de 11.213, el siguiente gráfico nos muestra la tendencia de crecimiento a nivel mundial por continentes:

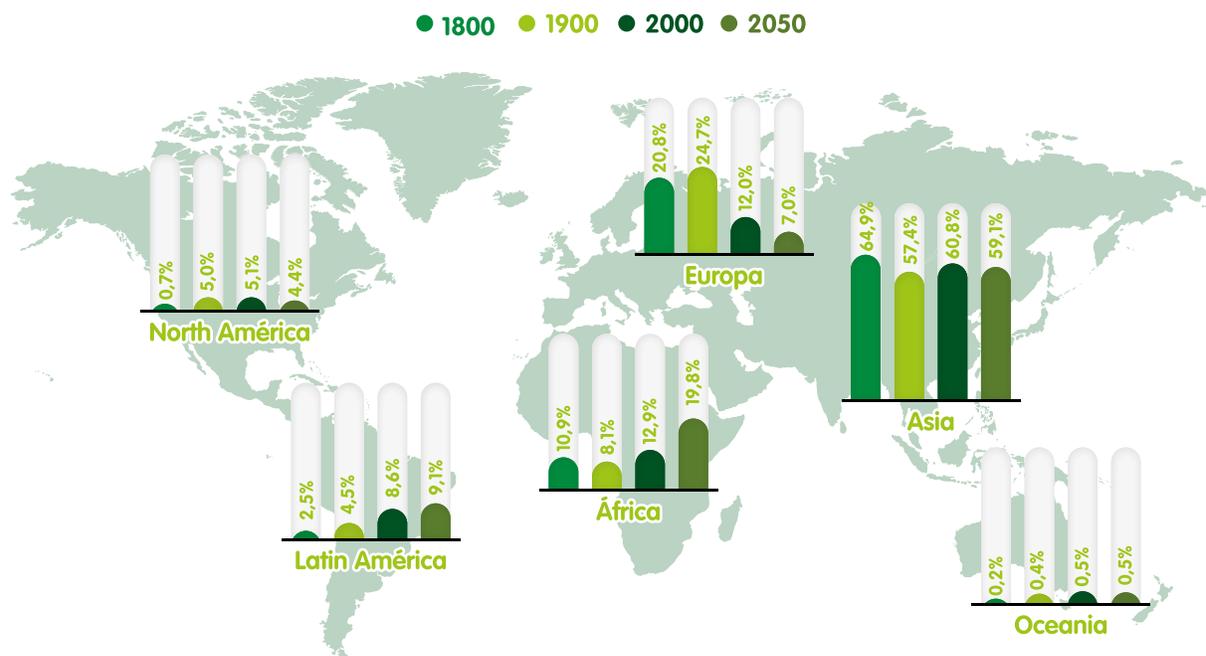


Gráfico 1. Distribución porcentual de habitantes por región
Recuperado de: <http://www.eumed.net/cursecon/2/evolucion.htm>

Se puede observar que Asia tendrá un incremento de población de 59.1% al 2050, África el 19%, América Latina el 9.1% y Europa solo el 7%, esto indica que, si bien en América Latina se han tenido procesos acelerados de aumento de población, Asia lo supera en más del 50% como tendencia en el tiempo. Aun así, cuando se analiza la tasa de crecimiento a nivel mundial se identifica que hubo un aumento entre 1960 y 1970, pero la tendencia es a disminuir la tasa de crecimiento ya que para el periodo 1990-

95 ha disminuido hasta el 1,54% anual y se estima que para el 2040 sea de 0.6% anual. Esto se debe en parte, a que en 1960 culturalmente se tenían en promedio de 6 a 10 hijos por familia y esta tendencia ha ido cambiando, a un hijo por familia máximo 2 y se estima que a futuro las parejas decidan no tener hijos, por esto la notoria disminución en la tasa de crecimiento. El gráfico siguiente describe esta evolución.

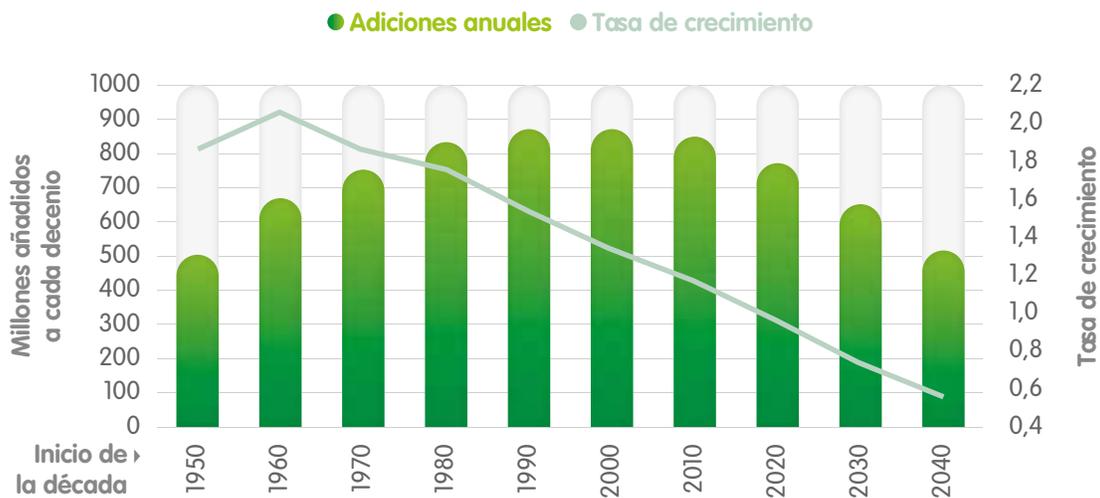


Gráfico 2. Tasa de crecimiento
 Recuperado de: <http://www.eumed.net/cursecon/2/evolucion.htm>

Si bien la tendencia en América Latina es a disminuir la tasa de crecimiento, es previsible, que de acuerdo con los estudios del BID, la población se incrementará en el área urbana, no por nacimiento, sino por el desplazamiento a las ciudades. Se calcula que casi el 80% de la población latinoamericana vive, trabaja, consume, construye, juega, interactúa, inventa y se moviliza en las urbes y se calcula que para el 2030 según la ONU tendremos unos 100 millones de nuevos residentes urbanos en la región.

El incremento de población en las ciudades, especialmente por el desplazamiento de personas que viene de las zonas rurales, en busca de mejores alternativas; ha generado un crecimiento acelerado en cuanto a la ocupación del territorio, el incremento en la demanda de servicios públicos, la infraestructura para la construcción de más centros de salud y/o hospitales, centros de educación a nivel básico, secundario y de estudios superiores; - incrementando la necesidad de construcción de mayores áreas destinadas a la recreación, mayor infraestructura del servicio público de transporte y centros de atención ciudadana a desplazados por la violencia para atención de los problemas por la convivencia entre personas desarraigadas.

Se presenta como reto para las ciudades entender estas dinámicas poblacionales y buscar alternativas que permitan conversar armoniosamente entre el entorno y las comunidades. Ya que este desarrollo urbanístico ha ocasionado que se altere el entorno y se transforme en ciudades pavimento a costa del entorno natural el cual brinda ambientes más sanos y tranquilos.



Imagen 1. Ecología humana

Según la ONU, el crecimiento de la población en el planeta tiene serias consecuencias en casi todos los aspectos de la vida: en lo relacionado con la salud y el envejecimiento, migraciones masivas y la urbanización, la demanda de vivienda y la insuficiencia de alimentos, el acceso a agua potable y entre muchas otras.

El reto es entonces, ¿cómo las ciudades pueden generar desarrollo en cuanto a la infraestructura sin deteriorar los recursos? Además, ¿Cómo se puede explicar esta tesis dentro de la teoría de la ecología humana?

1. ¿A qué se debe el crecimiento de las ciudades en las últimas décadas?

Las ciudades latinoamericanas, en especial el caso colombiano, han tenido en los últimos 60 años un proceso de Urbanización acelerado, que lleva consigo una serie de factores, que deben ser evaluados por los gobiernos para tomar medidas de control y repensar los territorios. Por mencionar algunos, la ocupación del territorio tiene un incremento notorio, se modifica y - se hace necesario hacer cambios de usos del suelo a través de los Planes de Ordenamiento Territorial, por otro lado, la apropiación de nuevas tecnologías y la implementación de medios de transporte masivo, van tomando más relevancia en el sector urbano surgiendo nuevas economías de escala acompañadas de mayor demanda de servicios, entre otros.

De acuerdo a estudios realizados por el BID, el porcentaje de población urbana en América Latina, pasó del 41% en 1950 al 80% en 2010 y se espera que para el 2050 se incremente de tal forma que la proporción de población en el campo rural sea cada vez menor. Como se observa en el siguiente gráfico de la Urbanización de las grandes regiones de América Latina y El Caribe, siendo muy notorio que la tendencia de crecimiento de las ciudades de América Latina al 2050, sea mucho mayor que el Caribe y Centro América.

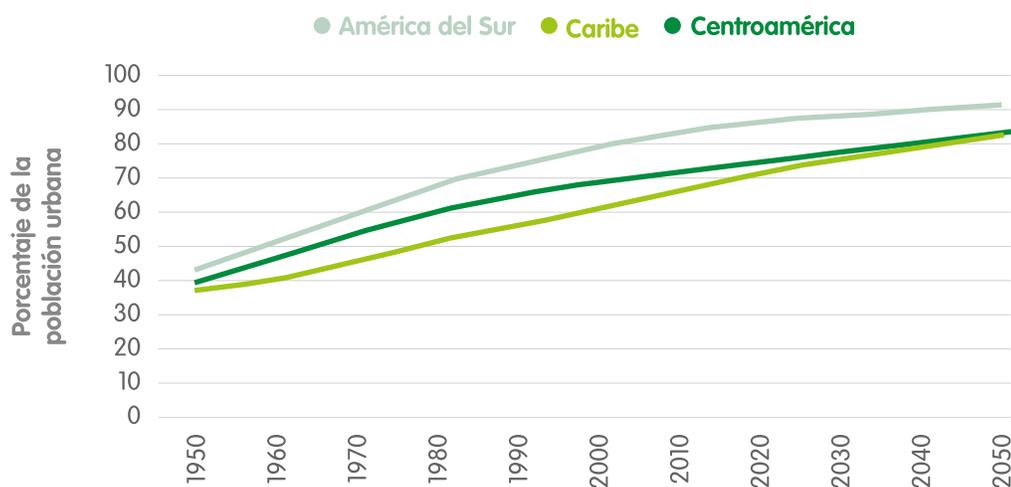


Gráfico 3. Crecimiento poblacional en América y El Caribe
Naciones Unidas (2008)

Estos hechos han ido generando consecuencias a nivel urbano y rural; en cuanto al sector rural es notorio, la disminución en la producción de cultivos, se tiende a importar los productos de la canasta familiar, en el caso colombiano, según el DANE en enero de 2017 se registra una importación de productos Agropecuarios, alimentos y bebidas del 13.5%. cifra bastante alta si consideramos que Colombia es un país agrícola, como lo expresa Rafael Mejía, presidente de la Sociedad de Agricultores de Colombia SAC, "si hubiera una verdadera política agraria, por lo menos el 50% de esas importaciones se podrían sustituir". Es decir, el país tiene el potencial de producir grandes cantidades de alimentos al año, pero solo se logra incentivando a los agricultores a quedarse en sus tierras y trabajando en ellas, sin que vean lo urbano como su mejor alternativa para mejorar sus condiciones de vida.

Si bien se ha planteado que el desplazamiento de lo rural a lo urbano se debe en gran medida a la necesidad de mejorar las condiciones de vida de la población, hay otro elemento que en especial en Colombia, ha ocasionado el desplazamiento de grandes masas de población, es el tema de la violencia que, por más de 50 años, hemos visto los suelos rurales y en los últimos 15 años se evidencia fuertemente en el área rural.

Según el registro publicado por la Unidad de Víctimas en el 2014, se identificó una cifra de 6.043.473 de desplazados por la violencia desde 1984⁽¹⁾. En su inmensa mayoría, se trata de víctimas de desplazamiento forzoso, las cuales suman casi

5,4 millones (con esto, la cifra oficial se acerca, por fin, a la que han manejado ONG especializadas como Codhes).

Se suma al desplazamiento, otros crímenes de guerra como son: más de 130.000 amenazados, cerca de 75.000 que perdieron algún bien, más de 90.000 desaparecidos y sus familiares, más de 21.000 secuestrados, casi 55.000 víctimas de algún tipo de acto de terrorismo, cerca de 95.000 homicidios y más de 540.000 personas afectadas por el asesinato de un ser querido, 10.500 víctimas de minas antipersonas, 6.500 casos de tortura, casi 7.000 de reclutamiento forzado de niños y 4.000 casos de violencia sexual componen la radiografía del padecimiento que ha compilado la Unidad de Víctimas.

En las ciudades latinoamericanas lo urbano se visualiza como una opción para generar bienestar, en el caso Colombia, como lo hemos presentado ha sido una búsqueda de mejores condiciones de vida y a la vez es una alternativa de escapar de la violencia que se ha vivido durante años en sus inicios en el suelo rural. Pero estos desplazamientos a las ciudades, tienen consecuencias graves sobre el territorio, la mayoría de esta población se ubica en las laderas de las urbes, promoviendo el deterioro del medio ambiente, no se conservan los usos del suelo, se generan riesgos de deslizamiento, viven en condiciones de baja calidad de vida por la falta de cobertura en servicios públicos, educación y empleo, se aumentan los índices de Urbanización, entre otros.



Imagen 2. Urbanización en las laderas

El BID en sus estudios, expresa- que a pesar de que se esté generando riqueza en las ciudades, dos de cada tres personas que viven en las urbes latinoamericanas lo hacen en condiciones de pobreza. Esta paradoja de urbanización y pobreza se explica, en parte, por la falta de políticas en lo rural, por la expulsión de esta población, por las carencias antes expuestas agregando la alta concentración de la propiedad de la tierra en pocas personas, la baja productividad rural y la migración por otros factores inherentes a la infraestructura de servicios públicos, medios de comunicación que, desplazada a la ciudad se encuentran ante la escasa regulación urbana y el desarrollo de asentamientos informales y la centralización de recursos para atención de todo este proceso de migración rural, además de la violencia como sucedió en el caso - colombiano.

No solo preocupa en el desarrollo urbano el incremento de población y por ende la desordenada ocupación del territorio, sino que esto lleva consigo el impacto sobre el ambiente y a la alta vulnerabilidad de las urbes latinoamericanas al cambio climático, a los desastres naturales y a las limitaciones financieras, que obligan a reflexionar sobre el concepto de sostenibilidad en el desarrollo urbano y que afecta también el desarrollo rural. En vista de que, los desequilibrios ambientales, económicos y sociales de las ciudades pueden generar barreras para un desarrollo sostenible y equilibrado.

Ha sido tan acelerada la urbanización, que ya se evidencian déficits de infraestructura urbana, según las Naciones Unidas-Hábitat (2008), 117 millones de personas viven en asentamientos irregulares en las urbes de América Latina, proporción equivalente al 27% de su población urbana. Esta situación genera grandes contrastes en la calidad de vida dentro de las ciudades, existen áreas desarrolladas que conviven con zonas de extrema pobreza, carentes de servicios básicos e infraestructura, deficientes en servicios sociales, y en condiciones habitacionales y ambientales precarias. Como lo menciona Ruprah (2009) "los mayores problemas en el déficit cualitativo de vivienda de ALC están en el acceso a servicios sanitarios, las construcciones con piso de tierra y las cuestiones relacionadas con la tenencia".

¿Cuál es el reto entonces de los gobiernos, con el incremento de la urbanización, cambios en el uso del suelo, aumento de la pobreza, demanda de servicios especialmente de agua y saneamiento y deterioro del medio ambiente? s una pregunta que demanda a los estados una mayor acción en el financiamiento de actividades y servicios, con el propósito de mitigar los impactos sociales y económicos y deterioro del medio ambiente, logrando la sostenibilidad, teniendo en cuenta que se debe continuar con el desarrollo de las ciudades sin comprometer las generaciones presentes y futuras.

Los gobiernos locales y regionales en países como Colombia, deben estimular las políticas rurales, mejorar las condiciones de seguridad en los campos, para incentivar que la población continúe con los trabajos agrícolas, recobrar la fuerza en la producción de alimentos, con el fin de lograr una estabilidad entre el campo y la ciudad, además de permitir reactivar la economía y disminuir las importaciones de productos que produce el país. Esto le apunta a muchos sectores como es lo económico, espacial, habitacional, movilidad, servicios, calidad de vida, entre otros y de esta forma poder definir los usos del suelo y reorganizar el territorio urbano, con miras a la sostenibilidad.



Imagen 3. Protección del medio ambiente

2. ¿Cómo entender el tema de sostenibilidad en las ciudades?

Se podría comenzar con el concepto de sostenibilidad, el cual tuvo su auge hasta finales del siglo XX, con la idea de preservar la naturaleza y el medio ambiente, los cuales eran asociados con la naturaleza rural y silvestre, - debiendo ser protegidas del desarrollo urbano y de los cambios culturales.

Tiempo después, con la dinámica urbana, lo ambiental fue siendo ajeno a las ciudades y los esfuerzos que se hacían estaban dirigidos a integrar la variable ambiental con el diseño urbano general y con el manejo de los problemas que ocasionaban la introducción de sistemas masivos de acueducto y alcantarillado, la creación de parques y zonas de recreación o la planificación tradicional del uso del suelo⁽²⁾. De acuerdo con Shmelev y Shmeleva (2009), el concepto de desarrollo sostenible fue introducido en 1987 en el informe de la Comisión de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Desarrollo, y se entendía como un "proceso de progreso económico armonioso capaz de satisfacer los principios de justicia social y responsabilidad ambiental". Para lograrlo, se consideraba que era necesario un compromiso que permitiera equilibrar las metas económicas, ambientales y sociales entre las generaciones presentes y futuras. Pero solo hasta 1992, durante una conferencia de expertos en Rio de Janeiro, las ciudades fueron reconocidas como un área importante para la aplicación del concepto de desarrollo sostenible.

Con el desarrollo de las ciudades, especialmente por el incremento de la urbanización, se ha llegado a un nuevo concepto de sostenibilidad, que abarca diferentes componentes urbanos que trascienden lo ambiental e incluye variables culturales, políticas, institucionales, sociales y económicas. Para ello se requiere implementar nuevas metodologías que contemplen a las ciudades como un sistema



Imagen 4. Sostenibilidad

holístico complejo, con múltiples sectores donde intervienen varios componentes, realizando análisis del territorio más integrales que incluyan la participación de los actores involucrados, que van desde las organizaciones estatales, comunitarias e internacionales y comunidad en general, permitiendo la interdisciplinariedad y poniendo en evidencia sus necesidades y las formas de suplirlas.

3. ¿Bajo este contexto, qué papel juega la ecología humana en el desarrollo de las ciudades?

La ecología humana, está definida como el estudio de las interacciones entre los seres humanos y su entorno. Se remonta a los antiguos griegos, quienes creían que el entorno físico determinaba la cultura y la conducta, además tenían la creencia que los climas con diversidad de estaciones eran fuentes de salud y equilibrio.

Se podría decir que el fenómeno del urbanismo ha generado una serie de estudios interdisciplinarios para tratar de entender su comportamiento complejo, es casi a partir de la primera guerra mundial que comienza a ganar fuerza al término "La sociología "urbana" como lo menciona Ostrowetsky (citado por Lamy, 2006).^[3]

Por otro lado, el concepto de Ecología Humana, nace en una Escuela de Chicago en 1920, con el aporte de los científicos Park y Burgess, llamado en un comienzo ecología vegetal o ecología urbana. Todo comienza con el estudio de las invasiones que siglos atrás forjaron los europeos en las naciones vírgenes de América, comenzando con el estudio del impacto

en la cultura, el desarrollo, los cambios sociales y el medio ambiente y también se debe al crecimiento acelerado de la sociedad industrial que amenazaba con destruir el patrimonio ambiental.^[4]

Según Lopez Barbosa "la ecología humana es el estudio científico de las relaciones, en tiempo y espacio, entre la especie humana (*Homo sapiens*) y otros componentes y procesos de los ecosistemas de los cuales forma parte. Su objetivo es conocer la forma en que las sociedades humanas conciben, usan y afectan el ambiente, incluyendo sus respuesta biológicas, sociales y culturales a cambios en dicho ambiente".^[5]

La ecología humana permite conocer la historia y el estado actual de la relación sociedad-ambiente y de las poblaciones humanas. Permite además identificar, diseñar y probar alternativas para mejorar las condiciones de vida de las poblaciones humanas, he ahí la importancia de realizar los estudios de las ciudades a través de esta ciencia que estudia las relaciones de las personas con el medioambiente, el componente biótico y abiótico, incluyendo todo lo construido por el ser humano, esta ciencia estudia la adaptación social a las tecnologías y como debe, el humano, adecuar su entorno para sobrevivir.

Lo interesante del trabajo que se hace desde la ecología humana, es que analiza en doble vía la interacción del hombre con el medio ambiente, evalúa las consecuencias y propone soluciones. Además, tiene un carácter multidisciplinario que permite abordar los estudios de una manera muy amplia, algunos de los temas que se investigan es el modo en que los seres humanos adaptan su genética, fisiología, cultura y conducta al medio físico- social, a la vez que observan el cambio ambiental que proviene de la interrelación hombre-ecosistema.



Imagen 5. Ecología humana

En este orden de ideas, la ecología humana, es una herramienta metodológica que permite analizar los contextos de cómo lo social interactúa con el entorno, aportando elementos analíticos para comprender fenómenos - como: la acelerada urbanización en las ciudades, la construcción de infraestructuras para cubrir las necesidades de los habitantes, el incremento de las migraciones a la ciudad, el déficit de viviendas y de servicios públicos, los cambios de usos del suelo, la apropiación del espacio por parte de los habitantes, el deterioro ambiental en las urbes, entre otros.

Luego de ser analizados los fenómenos, se tienen bases concretas del origen de los problemas y las posibles alternativas de solución encaminadas a mitigar los impactos ya generados, prevenir situaciones venideras, compensar, liderar o proponer acciones encaminadas a la transformación y a los cambios que se presentan dentro las dinámicas sociales.

4. ¿Qué hacer entonces, con el desarrollo de las ciudades, el incremento de las obras de infraestructura, en un marco de la ecología humana?

Como se ha mencionado, el crecimiento demográfico, lleva como consecuencia la urbanización desmedida y desordenada, la cual se refleja en las construcciones en zonas periféricas de las ciudades, que se caracterizan por una alta tasa de desempleo, miseria social, produciendo además una expansión descontrolada que lentamente va consumiendo el - entorno social y un déficit de cobertura en la prestación de servicios públicos, ya que la demanda supera la oferta y los recursos.

De acuerdo con lo expresado por Perico-Agudelo (2009): "Actualmente, la ciudad se encuentra bajo la presión de sus habitantes, pues la migración crece de manera constante. De esta forma, alcanzar altos niveles de calidad de vida urbana y prácticas más ecológicas es cada vez más complejo" (p. 280).

Con el panorama actual, las ciudades colombianas, tienen doble reto, por un lado, responder a las necesidades de la población, en plazos cortos y a bajos costos para los habitantes, -que debido a - condiciones de desempleo tienen baja capacidad adquisitiva. Por otro lado, las políticas de los gobernantes deben apuntar a decisiones acertadas que derivan de una planeación y ejecución de proyectos urbanos - equitativos, amables con el medio ambiente y direccionados para que sean replicados en otros modelos urbanísticos.

Surge la inquietud sobre, si se hace necesario realizar obras de infraestructura en las ciudades para satisfacer las necesidades de los habitantes y para responder a las necesidades de crecimiento de las mismas, ¿qué hacer entonces con los impactos que se generan en el entorno especialmente con el componente biótico, abiótico y social? Si bien existen mecanismos que permiten identificar y detectar riesgos sobre la generación de impactos negativos en etapas tempranas como - la planeación , los diseños de las obras de infraestructura y durante la construcción o puesta al servicio - a través del DAA (Diagnostico Ambiental de Alternativas) y PMA (Programa de Manejo Ambiental), existen desafíos importantes para las empresas prestadores de servicios, urbanizadores y para los mismos municipios, En vista de que son estos los llamados a reorganizar el territorio, teniendo en cuenta las normas existentes, las limitaciones que se tienen en el uso del suelo y la capacidad de brindar los servicios públicos a toda la comunidad. Parte de estas deficiencias obedecen a que por políticas del POT, tienen limitaciones en el uso del suelo, por consiguiente, hay sectores periféricos que no se les puede suministrar servicios públicos, por la ubicación geográfica y/o por estar en zonas de alto riesgo.

Por otro lado, para algunos habitantes de las ciudades, esto no ha sido una limitación para tener una vivienda con servicios públicos, por ello se ubican en las laderas y construyen viviendas de madera con servicios precarios, ya que el agua la toman de las fuentes directamente (sin permisos de la autoridad ambiental), generando usos indebidos y sin control; otro aspecto es el manejo de aguas residuales, las cuales en estos sectores mencionados, son descargadas directamente a los cuerpos de agua o en el peor de los casos a canales abiertos o en vías públicas, generando enfermedades, contaminando a veces el agua que es para consumo.

Para llevar a cabo un proceso de urbanización legal o ilegal, se requiere con frecuencia devastar grandes cantidades de bosque que pueden haber sido declarados patrimonio o reservas forestales, siendo remplazados o compensados en algunos casos, en otros sitios distintos, generando cambios en el ecosistema del sector, es decir, una vez se talan los árboles el entorno cambia no solo en su paisaje, sino también en el traslado de especies que habitan en ese ecosistema.

Esto nos lleva a pensar que, una vez se desplazan las personas del campo a la ciudad, genera dinámicas de crecimiento y cambios importantes que deben ser controlados y planeados por los entes gubernamentales. Se deben además generar políticas de ocupación de los territorios y controlar la ubicación en las zonas en alto riesgo señalados por el POT, que permitan brindar los servicios públicos, educación, salud, transporte público, desarrollo vial y buenas condiciones de vida. Es decir, se deben modificar los viejos paradigmas y buscar minimizar los impactos ocasionados al medio ambiente, proponiendo y desarrollando estrategias coherentes en pro de una sostenibilidad del territorio. (Medrano, 2014).

Es importante establecer una relación sinérgica entre urbanismo y desarrollo sostenible, que cubra las necesidades de la población, pero sin deteriorar el entorno. y es posible lograrlo, con la planificación del territorio, con el control social frente a la ocupación del mismo, además de repensar el desarrollo, planificarlo desde la interdisciplinariedad, incluyendo

todos los componentes: sociales, ambientales, políticos, culturales, gubernamentales, financieros, económicos, entre otros. Por otro lado, se deben aplicar estrategias como: el Diagnostico Ambiental de Alternativas (DAA), Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y los Planes de Manejo Ambiental (PMA) en los proyectos de infraestructura, no solo en la prestación de servicios públicos, sino que debe ser algo globalizado a todos los niveles de la construcción, de modo que se convierta en un instrumento de control para proteger los recursos naturales y para mitigar los impactos durante los procesos constructivos, los cuales deben garantizar que se utilizan en el presente, perdurando para las generaciones venideras.

En este sentido, retomar la ecología humana, como un elemento que direcciona la utilización de los recursos y su cuidado, al igual que permite identificar si ciertos proyectos pueden afectar a los habitantes, nos da un norte hacia el equilibrio entre el entorno y las personas, sin detener el desarrollo de las ciudades, retomando el concepto de sostenibilidad que nos permite visualizar los recursos en el tiempo para preservarlos. El objetivo es planear las ciudades, teniendo un panorama de los recursos con los que se cuentan, identificar lo que se requiere para el desarrollo y definir acciones que permitan utilizar y compensar los recursos sin deteriorar las condiciones iniciales.

En los proyectos de infraestructura, una estrategia para planear, sería que, desde el DAA, se analicen las relaciones entre entorno, personas y desarrollo, para que de allí surjan propuestas encaminadas a la conservación de los recursos y apuntar a que las relaciones entre ellos sean equilibradas y generar alternativas que sean más viables ambientalmente y que cumplan con el objetivo de prestar servicios a la comunidad. Estas premisas de tener en cuenta los estudios de la ecología humana en el relacionamiento con las obras de infraestructura, se deben dar a todo nivel en las ciudades, de manera que surjan el efecto de repensar los territorios con miras a equilibrar las cargas sin deteriorar el entorno, ni afectar a la población y de igual forma, las comunidades deben tomar conciencia a través de políticas públicas para preservar el medio ambiente.

Existen empresas que ya son conscientes de la relación estrecha entre el entorno y las personas, por ello, tienen dentro de su política de responsabilidad social, la directriz de entender los territorios antes de intervenirlos, con el fin de proponer alternativas que permitan mitigar los impactos ocasionados por las obras de infraestructura, ya sean parciales o permanentes. Esto les ha permitido tener una relación más estrecha con sus grupos de interés y al escucharlos se tienen perspectivas distintas que posibilitan generar el desarrollo de una manera menos impactante y con mayores beneficios. Una de esas empresas conocidas es el Grupo EPM de la ciudad de Medellín, que, a nivel internacional, nacional y local, ha llevado la cultura del respeto por los actores y por el entorno con miras a influir dentro

de los territorios y prestar servicios con calidad y con proyección a la sostenibilidad.

Aun así, tener estudios sobre la ecología humana en los territorios impactados, permitiría ampliar la óptica de los impactos y sus posibles soluciones, con miras al trabajo interdisciplinario que posibilite ver el mismo fenómeno desde varias ópticas y perspectivas. Es decir, es a partir de los estudios iniciales de los proyectos de infraestructura que se pueden identificar, diseñar y probar alternativas para mejorar las condiciones de vida de las poblaciones humanas, encaminados a preservar el medio ambiente, mitigando impactos y buscando alternativas menos agresivas con el entorno.

Conclusiones

- El incremento demográfico en las ciudades a nivel mundial, se presenta de una manera diversa, de acuerdo a las condiciones culturales y de desarrollo, por ello vemos un incremento notorio en continentes como Asia y África, teniendo América Latina un crecimiento exponencial, pero con tendencia a controlarlo. Las causas del aumento demográfico, son distintas para cada continente, en el caso de América Latina, especialmente caso colombiano, el incremento se observa en las ciudades, por el desplazamiento involuntario del campo a las urbes, principalmente por el tema de la violencia, por ello llegan poblaciones en busca de mejores condiciones de vida, al área urbana, pero encuentran desempleo y dificultad para satisfacer necesidades de vivienda y servicios públicos.
- El incremento demográfico genera un acelerado crecimiento urbanístico, que lleva consigo el deterioro ambiental si no es controlado, se generan demandas de servicios que a veces

por la ubicación de las viviendas no es posible suplir, por encontrarse en zonas de alto riesgo definidas en el POT. En Colombia, las poblaciones desplazadas se ubican generalmente en las laderas de las ciudades, las cuales están concebidas como zonas de alto riesgo no mitigable por lo que no se les puede brindar servicios públicos, ni legalizar las viviendas.

- Esta dinámica poblacional acelera el crecimiento de las ciudades, incrementando las obras de infraestructura, las cuales generan impactos al entorno y a las personas, por ello se propone implementar estudios de ecología humana, para identificar los impactos que se generan con las interacciones y generar propuestas integrales de solución o prevención, en pro de conservar los recursos en el tiempo para las generaciones venideras (sostenibilidad) y garantizar una relación armoniosa entre las personas, el entorno y el desarrollo de las ciudades.

Referencias

- Aledo, Antonio. Silvia Rico. Problemas socioambientales I: Tecnología, población y medio ambiente. Pp 21.
- Aranda Sanchez, Jose María. Principales desarrollos de la Sociología Ambiental. Centro de Investigaciones en Ciencias Social y Humanidades. Universidad Autónoma del Estado de México. P 201, 202, 203. Julio-octubre de 2004. Aledo, Antonio. Problemas socio-ambientales II: Las Ecotopias. P 7- 20.
- Domínguez, Andres. Aledo Antonio. Teoría para una sociología ambiental. Pp 45.
- <http://poblacion.population.city/world/la>
- <http://www.eumed.net/cursecon/2/evolucion.htm>
- <http://www.eurosur.org/futuro/03.htm>
- <http://www.worldometers.info/es/>
- <https://www.lopezbarbosa.net/cursos/ecolog%C3%ADa-humana/>
- Irigalba, Ana Carmen. Ana Isabel Etxaleku. Evaluación del impacto ambiental, recopilación, análisis y punto de vista crítico desde la perspectiva sociológica. Pp 45.
- Medina Rojas, Iván Darío La ecología humana en el contexto urbano, una aproximación a la ciudad de Bogotá d.c. Universidad De Manizales. Septiembre de 2016. P 56-73.
- Ortiz, Pablo. Comunidades y conflictos socioambientales: experiencias y desafíos en América Latina. Comunidec. 1999. P 331-465.
- Revista SEMANA publicó un especial sobre víctimas, por la violencia, en junio de 2013
- Santa Cruz Espinoza, Jorge Luis. Ecología Humana. P 4-7.
- Sapiens. Revista Universitaria de Investigación. La Escuela de Chicago. Sus aportes para la investigación en ciencias sociales. Fernando Azpurua. UPEL. Instituto Pedagógico de Caracas. Universidad Pedagógica Experimental. Libertador Venezuela. pp 12.
- Shmeleva (2009) Sostenibilidad urbana en América Latina y el Caribe

Notas al final

- (1) Revista SEMANA publicó un especial sobre víctimas, por la violencia, en junio de 2013
- (2) Shmeleva (2009) 0 Sostenibilidad urbana en América Latina y el Caribe
- (3) Medina Rojas, Iván Darío La ecología humana en el contexto urbano, una aproximación a la ciudad de Bogotá d.c. Universidad De Manizales. Septiembre de 2016. P 56-73.
- (4) <https://www.lopezbarbosa.net/cursos/ecolog%C3%ADa-humana/>
- (5) Ibid.

Cómo citar este artículo:

Tamayo, J. C. (2018). La ecología humana y las obras de infraestructura. En: Revista EPM, (12) p.

Caso de estudio: diagnóstico, reparación, inspección y pruebas de la válvula Howell Bunger de la presa Miraflores de EPM

Case study: Diagnosis, repair, inspection and testing of the Howell Bunger valve of the Miraflores dam of EPM

**José David
Vera Rodríguez**

Profesional de la Unidad
Centro de Excelencia Técnica
Ingeniería de Proyectos, EPM

jose.vera@epm.com.co

**Carlos Enrique
Arias Jiménez**

Profesional de la Unidad
Operación y Mantenimiento
Generación Energía, EPM

carlos.arias@epm.com.co

**Bladimir
Suárez Agudelo**

Jefe
Unidad Operaciones Ituango,
EPM

bladimir.suarez@epm.com.co

Resumen

El objetivo de este artículo es presentar como caso de estudio el diagnóstico realizado a una válvula del tipo chorro hueco o cono fijo, también conocida como Howell Bunger, instalada en la descarga de fondo del embalse Miraflores de Empresas Públicas de Medellín (EPM). El diagnóstico realizado se basó en pruebas funcionales, ensayos no destructivos, medición y análisis de vibraciones, simulaciones computacionales y en la medición y correlación de variables hidrodinámicas asociadas con el rango

operativo de la válvula. Este diagnóstico permitió la toma de decisiones en cuanto al procedimiento de reparación y operación de la descarga de fondo del embalse, en razón de algunas deficiencias detectadas luego de 53 años de servicio, de manera que la disponibilidad comercial de la cadena Guadalupe-Troneras no fuera afectada, pese a la condición aparente de la válvula.

Palabras clave:

Válvula Howell Bunger, pruebas diagnósticas, vibraciones, aireación, descarga de fondo, seguridad de presas.

Key words

Howell Bunger valve, diagnostic tests, vibrations, aeration, bottom discharge, dam Safety

Introducción

Uno de los aspectos más importantes en la seguridad de proyectos hidroeléctricos que emplean grandes presas, es el control de los riesgos inherentes a las descargas, ya sea por el vertedero, la descarga intermedia, la descarga de fondo o como flujo turbinado (ICOLD, 2005)

Este control de los caudales de descarga se realiza principalmente mediante la operación de equipos hidromecánicos tales como: compuertas planas, compuertas radiales, válvulas especiales del tipo Howell Bunger, Giratorias, Aguja, entre otros. (Lewin, 1995).

Algunos de los aspectos que pueden afectar la estabilidad de las presas y que directa o indirectamente pueden relacionarse con la operación de los equipos de descarga (Tobón, 2008), son:

Sobre-vertimiento o Desbordamiento.

Considerada la primera causa de falla en presas de tierra o concreto, debido al efecto erosivo que produce sobre la cresta de las presas de tierra y su talud aguas abajo, o sobre la fundación de los estribos en el caso de las presas de concreto. Este evento puede ser producido por asentamiento durante sismo o por la ocurrencia de una creciente excepcional.

Inestabilidad por cargas estáticas.

Producida por efecto del embalse y por el peso de la presa, generando deslizamientos y erosión interna en presas de tierra y, volcamiento, deslizamiento o levantamiento en presas de concreto. Este riesgo es contrarrestado mediante la estabilización de taludes, el control de las fuerzas generadas por el flujo del agua a través de la presa, el mejoramiento de los sistemas de drenaje, entre otros.

Inestabilidad por cargas sísmicas.

Producida por el efecto de ondas generadas por un sismo, lo cual podría afectar la fundación, el vertedero, las estructuras subterráneas o los equipos, causando posibles deformaciones, deslizamientos, volcamientos o asentamientos en presas de tierra, lo cual a la vez puede propiciar el sobre-vertimiento o el agrietamiento transversal de la presa y, deslizamientos en planos débiles de la fundación o cortantes entre capas y agrietamientos en presas de concreto.

De los anteriores aspectos podrían relacionarse directamente con la operación de los equipos hidromecánicos, y específicamente con los equipos de descarga de fondo, los efectos generados por el aumento de carga impuesta por el embalse, tales como el aumento de las fuerzas de flujo a través de las presas y la erosión del terraplén en el caso de las presas de tierra o de su fundación en el caso de las presas de concreto.

Adicionalmente, un aspecto igualmente importante a controlar en estos equipos es su estabilidad estructural durante el llenado previo a su operación y durante el vertimiento de caudal controlado, es decir, con apertura parcial.

Mediante este caso de estudio se busca dar a conocer la metodología desarrollada para conocer el estado estructural y operativo de la válvula Howell Bunger instalada en la descarga de fondo de la presa Miraflores. Dicha metodología permitió la toma de decisiones en relación con la operación más segura de la válvula para las condiciones normales de operación del embalse, e incluso, para las condiciones más adversas que pudieran afectar la condición operativa del equipo.



Imagen 1. Presa Miraflores (EPM)

1. Antecedentes Generales

En la operación de compuertas radiales para descarga de fondo, normalmente se emplean sistemas de control que ordenan la apertura o cierre total de la misma. El caso de control de caudal con porcentajes parciales de apertura es mucho más exigente para el equipo debido a los efectos hidrodinámicos presentes, los cuales pueden incrementar el estado de falla potencial asignable a la compuerta, la válvula o a la estructura que la delimita, siendo relevantes los efectos producidos por vibración o cavitación (Committee on Hydraulics for Dams, 1996).

Tomar la decisión de operar estos equipos hidromecánicos diseñados para el control de descargas a través de una gran presa, no sólo depende de un buen programa de mantenimiento preventivo que controle las deficiencias que surjan con el tiempo, sino también de la opinión de expertos,

quienes, sin contar con una medida precisa del estado potencial de falla, asumen altos riesgos al conceptuar a favor de su operación, lo que puede conllevar a daños significativos del equipo, la presa o de su entorno.

Por esta razón se hace necesario profundizar en el análisis de los factores que puedan conducir a la materialización de fallas o riesgos que afecten la confiabilidad operativa de los equipos y demás componentes involucrados en las operaciones de descarga requeridas en una presa.

En la actualidad existen algunos programas de administración del riesgo para grandes presas, que han sido desarrollados para determinar niveles más aceptables de confiabilidad para estas estructuras, buscando garantizar el mínimo de fatalidad y pérdidas económicas inherentes a ellas (Delgado, 2007).

2. Antecedentes Particulares

El embalse de Miraflores está situado sobre el río Tenche en jurisdicción del municipio de Carolina del Príncipe, y está previsto para aumentar la capacidad de almacenamiento y de generación del complejo hidroeléctrico Guadalupe, especialmente durante épocas de estiaje. Su aprovechamiento se logra descargando el agua del embalse nuevamente al río Tenche, mediante la operación de una válvula de cono fijo que se tiene instalada en la descarga de fondo de la presa y posteriormente desviando las aguas al embalse Troneras mediante un túnel de conducción adyacente a la presa Tenche.

Esta obra fue construida entre los meses de octubre de 1962 y septiembre de 1965 por la firma Taylor Woodrow Ltda., actualmente Overseas. El diseño original de esta obra lo realizó la firma INTEGRAL S.A. en asocio con la firma Gannett Fleming Corddry and Carpenter Inc. de Harrisburg, U.S.A.

Para regular el nivel del embalse se hace uso de una válvula Howell Bungler de eje horizontal fabricada por Voest de Austria, con un diámetro interno de 1200 mm, apta para descargar 18 m³/s @24 mca con apertura de 70%, y un máximo de 32 m³/s @ 55 mca con apertura del 100%. La válvula se puede operar de manera manual y/o eléctricamente.



Imagen 2. Válvula Howell Bungler de la Presa Miraflores de EPM

En octubre de 2016, EPM recibió un estudio en el cual se indicaba que era necesario suspender definitivamente la operación de esta válvula, debido a las deficiencias aparentes encontradas mediante inspecciones visuales realizadas por un consultor local.

En razón de tal recomendación, EPM emprendió un análisis complementario más profundo, mediante el cual se pudiera determinar el estado real de la válvula, para lo cual realizó análisis mediante ensayos no destructivos, medición de vibraciones,

medición de la aireación en todo el rango operativo y el análisis computacional, tanto del flujo como del comportamiento estructural de la válvula misma durante operación.

En el presente artículo se presentan las distintas pruebas realizadas y el análisis de los resultados obtenidos.

A continuación, se presenta un esquema del conjunto de pruebas diagnósticas implementadas en el desarrollo del presente análisis.



Figura 1. Pruebas diagnósticas implementadas en el análisis del estado de la válvula Howell Bunger

3. Pruebas Diagnósticas

Las pruebas consideradas para la verificación del estado operativo de la válvula Howell Bunger, fueron las siguientes:

Pruebas Estructurales

Orientadas a la búsqueda de fallas estructurales en todos los componentes de la válvula Howell Bunger.

En particular, estas pruebas incluyeron:

- Inspección visual.
- Ensayos no destructivos a las soldaduras (Ultrasonido y Partículas Magnéticas).
- Medición de espesores de las aletas, del cuerpo y del obturador de la válvula.

Pruebas de material

Orientadas a determinar el tipo de acero de los componentes principales de la válvula y su estado a nivel micro-estructural.

En particular, estas pruebas incluyeron:

- Pruebas de dureza.
- Análisis metalográfico.

Pruebas dinámicas

Orientadas a determinar las frecuencias de vórtice del fluido, frecuencias de flujo turbulento y las frecuencias propias de la válvula, con el fin de establecer si existe la posibilidad de resonancia en algún punto de su rango operativo.

4. Simulaciones Computacionales

Las simulaciones consideradas para la verificación del estado operativo de la válvula fueron las siguientes:

Análisis modal de la válvula

Permite determinar las frecuencias propias y de los componentes de la válvula Howell Bungler.

Análisis hidrodinámico

Se utiliza para establecer los campos de velocidad y de presión en el fluido descargado en todo el rango operativo de la válvula. Para este análisis se empleó una simulación computacional del tipo CFD (Computational Fluid Dynamics).

Análisis estructural

Facilita el análisis del estado de esfuerzos producidos en los principales componentes de la válvula Howell Bungler, utilizando el campo de velocidad y de presión obtenidos de la simulación en CFD, buscando determinar las deformaciones y esfuerzos a los que es sometida la válvula en todo su rango operativo. Adicionalmente, este análisis permite evaluar el comportamiento de la válvula a partir del diseño original y/o del estado actual. Para este análisis se empleó una simulación computacional del tipo FSI (Fluid Structural Interaction).

5. Resultados de las Pruebas

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada prueba realizada:

5.1. Pruebas estructurales

5.1.1. Inspección visual

La inspección visual realizada por el personal de EPM, arrojó el siguiente resultado:

- **Condición de la protección superficial.**
En relación con la protección superficial se podría afirmar que el estado de la pintura estaba bastante deteriorado debido a las condiciones del sitio y a la falta de mantenimiento. El equipo presenta un estado importante de corrosión detectable bajo visión normal.
- **Condición estructural aparente.**
En cuanto a la condición estructural, algunas zonas presentan deficiencias por erosión, principalmente en la zona de entrada de las

aletas, en la zona cercana al perímetro de sellado en el cuerpo de la válvula y en zonas cercanas a la unión entre aletas y cono fijo. Igualmente, se observaron desgastes en los cordones de soldadura, aunque su apariencia en general era bastante uniforme, pese a que se detectó una fisura de 10 mm entre las aletas 1 y 2 en la zona de entrada de la válvula. Exteriormente, podría afirmarse que el estado de las superficies del acero era aceptable.

- **Condición del mecanismo de operación.**
El mecanismo de operación, aunque funcional, se observó con algunas deficiencias importantes en sus conexiones pernadas y presentó desajuste en la carrera de cierre, por lo cual se hace necesario ajustar la posición de cierre total a fin de eliminar algunas fugas que aparecen cuando la válvula está completamente cerrada.



Imagen 3. Identificación alfa-numérica de las cuatro aletas en la Válvula Howell Bungler

5.1.2. Ensayos no destructivos

Los ensayos realizados al 100% de las soldaduras, tanto de las aletas, del cuerpo, del cono y del obturador fueron bajo las técnicas de ultrasonido y partículas magnéticas. En general, las soldaduras se encontraron en buen estado, pese a que se identificaron algunos defectos que no comprometen en gran medida la integridad de la válvula.

5.1.3. Medición de espesores

Se tomaron medidas de espesor a las aletas, al cuerpo y al obturador de la válvula, en puntos distanciados cada 10 cm, detectándose algunas zonas con espesores menores a los indicados en los planos de fábrica.

Las principales pérdidas de espesor se encontraron en la entrada de las aletas (ver Tabla 1). El espesor medido en el área restante de las aletas se encontró bastante aproximado al espesor original (20 mm).

Aleta N°	Espesor Promedio (mm)	Franja Desgastada (mm)
Aleta 1	8,04	380
Aleta 2	6,53	250
Aleta 3	5,98	200
Aleta 4	6,76	610

Tabla 1. Espesores en zonas de desgaste en las aletas

5.2. Pruebas de material

5.2.1. Prueba de dureza

Se tomaron durezas en varios sitios alrededor y cercanos a la brida de la válvula presumiendo que es un lugar donde puede ser más evidente la fatiga del material y básicamente se encontró una dureza promedio de 89,9 HRB (185 HB) lo que puede indicar que no ha existido fatiga tal que cambie la homogeneidad del material.

5.2.2 Análisis metalográfico

Continuando con la búsqueda de fatiga en el material del cuerpo de la válvula, se hicieron varias tomas de la microestructura del material del cuerpo de la válvula con el fin de encontrar micro-defectos (como micro-fisuras) que nos pudiesen conducir a encontrar fatiga del material. De acuerdo con los resultados del análisis, el acero de la válvula se encontró en condiciones normales.

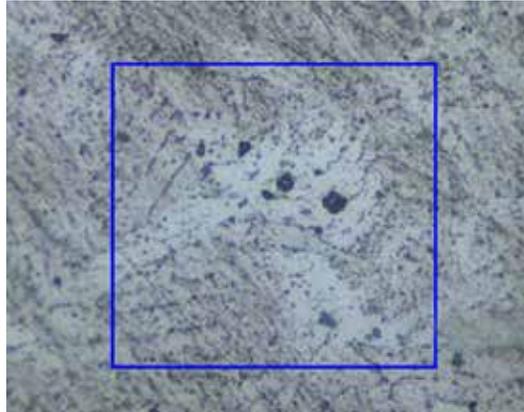


Imagen 4. Muestra metalográfica tomada a 500X. Carburos libres y aislados en la matriz del material

5.3. Pruebas dinámicas

5.3.1. Medición de vibraciones

En relación con la funcionalidad general del equipo, podría afirmarse que se observó bastante normal y estable, teniendo en cuenta la magnitud de la vibración que se percibió físicamente durante la operación de la válvula y según las mediciones mismas realizadas durante la descarga de flujo en todo su rango operativo.

Se realizaron varias pruebas operativas con agua a diferentes porcentajes de apertura de la válvula, teniendo sumo cuidado con el comportamiento de las medidas registradas en las vibraciones y aireación de la válvula para evitar de alguna manera puntos de acople de frecuencias (resonancia).

Durante las pruebas se pudo evidenciar una frecuencia que siempre estuvo excitada y se movía entre 57 Hz y 77 Hz, además apareció otra frecuencia de excitación (620 Hz) entre 7,5% y 30% de apertura de la válvula. Más adelante, se presenta un análisis modal en donde se asociarán las frecuencias mencionadas.

5.3.2. Medición de la aireación

Uno de los problemas asociados con la aireación en las descargas de las presas, es la cavitación que se produce en el equipo que controla la

descarga del flujo, debido al fenómeno de subpresión que es producido por la aceleración que experimenta el flujo descargado.

Este fenómeno tiende a incrementarse en la medida en que se aumenta el porcentaje de apertura del componente de control, lo cual, a su vez, tiende a aumentar la magnitud en la turbulencia y/o vibraciones, afectando la estabilidad funcional en los equipos e incluso afectando las condiciones del recinto que recibe el impacto del chorro o flujo descargado.

En razón de lo anterior, durante las pruebas dinámicas en la presa de Miraflores, se midieron las velocidades del aire a través de las secciones previstas en la obra civil, justo por encima de la válvula Howell Bungler, a fin de determinar la relación entre el caudal del aire y el caudal del agua descargada en todo el rango de apertura de la válvula.

Para determinar esta relación se utilizó el parámetro Beta (β), el cual representa la tasa de demanda de aire en función del caudal de agua descargada. Este parámetro se calcula con base en la investigación de varios autores que han estudiado a profundidad la hidrodinámica de las descargas para distintos tipos de presas (USACE, 1980).

La ecuación básica para calcular este parámetro, es la siguiente:

$$\beta = \frac{Q_A}{Q_W}$$

Donde:

- β : Tasa de demanda de aire.
- Q_a : Caudal de aire requerido aguas abajo del orificio de descarga [m³/s].
- Q_w : Caudal de agua descargado a través de la válvula [m³/s].

El parámetro Beta (β) depende fundamentalmente del número de Froude (F_c) y de una constante empírica (k) que depende de aspectos tales como: las geometrías del ducto de aireación y del orificio de descarga, la velocidad y profundidad en la vena contracta y la presión sobre la compuerta y/o válvula, entre otros.

A continuación, se presenta la forma generalizada de la ecuación que permite determinar la tasa de demanda de aire o parámetro Beta (β):

$$\beta = k (F_c - 1)^n$$

Donde:

- F_c : Número de Froude en la vena contracta.
- K : Coeficiente empírico.
- n : Coeficiente empírico.

A su vez el número de Froude está definido por la siguiente expresión:

$$F_c = \frac{V_c}{\sqrt{gh_c}} = \frac{\sqrt{2gH}}{gh_c} = \sqrt{\frac{2H}{h_c}}$$

Donde:

- V_c : Velocidad del agua en la vena contracta [m/s].
- h_c : Profundidad del agua en la venacontracta [m]. Este parámetro se asume igual al diámetro de la válvula (1,2 m).
- H : Presión hidrostática sobre la compuerta [m].

A continuación, se presentan las ecuaciones más reconocidas en el tema (Erbisti, 2014):

$$\beta = 0,0066 (F_c - 1)^{1,4}$$

kalinske and Robertson, 1943.

$$\beta = 0,04 (F_c - 1)^{0,85}$$

Campbell and Guiton, 1953.

$$\beta = 0,03 (F_c - 1)^{1,06}$$

U.A. Army Corps of Engineens, 1964.

$$\beta = 0,05 (F_c - 1)$$

Levin, 1965.

$$\beta = 0,05 (F_c)^{1,418}$$

Ghetti and Disilvio, 1967.

$$\beta = 0,09 (F_c)$$

Sharma, 1976.

En los siguientes gráficos se presentan los resultados de aplicar estos criterios de aireación durante las distintas pruebas dinámicas realizadas. La curva

en color negro corresponde a los datos obtenidos durante las pruebas:

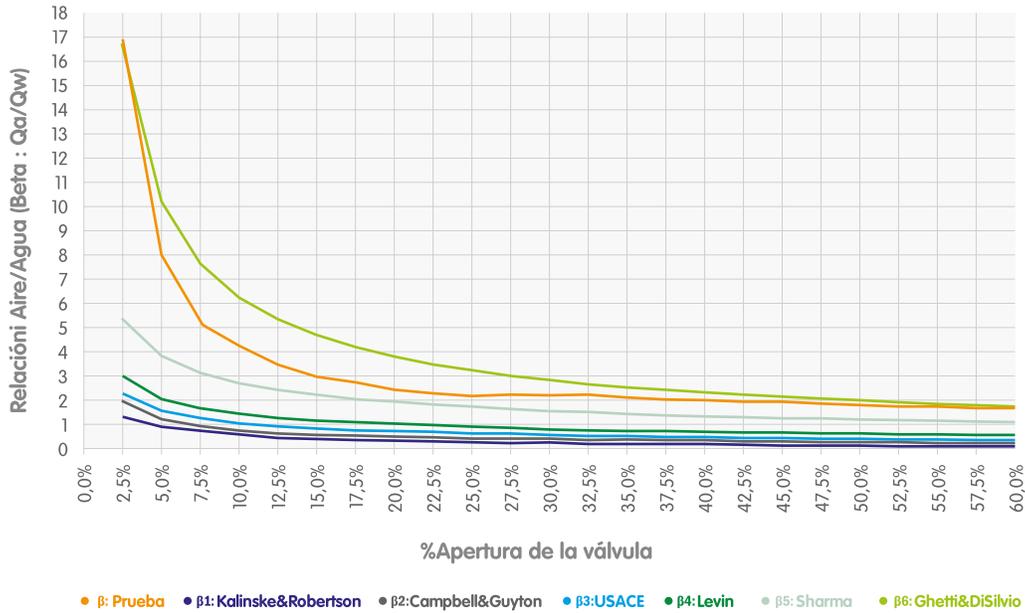


Gráfico 1. Descarga de flujo hasta el 60% de apertura

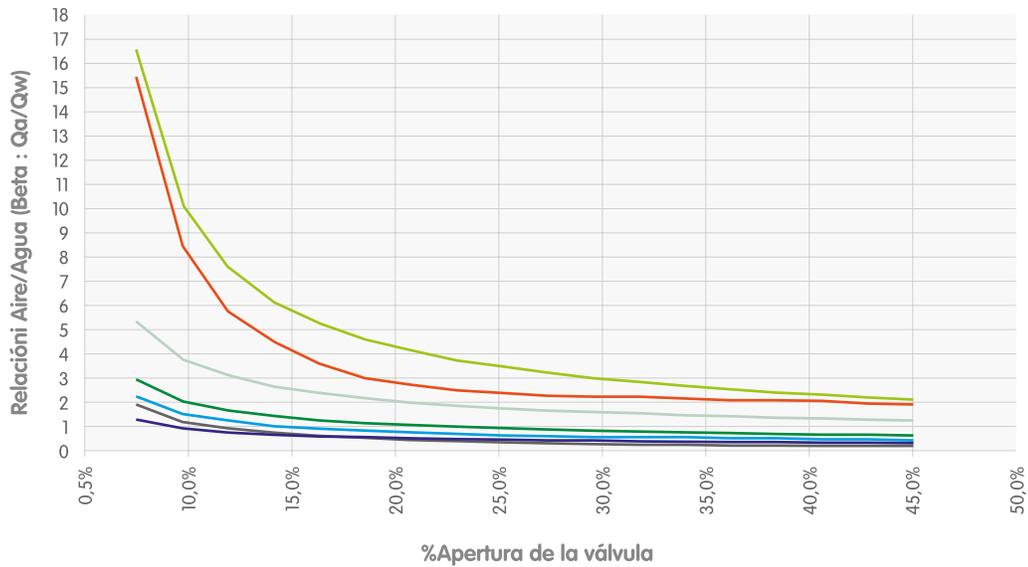


Gráfico 2. Descarga de flujo hasta el 45% de apertura

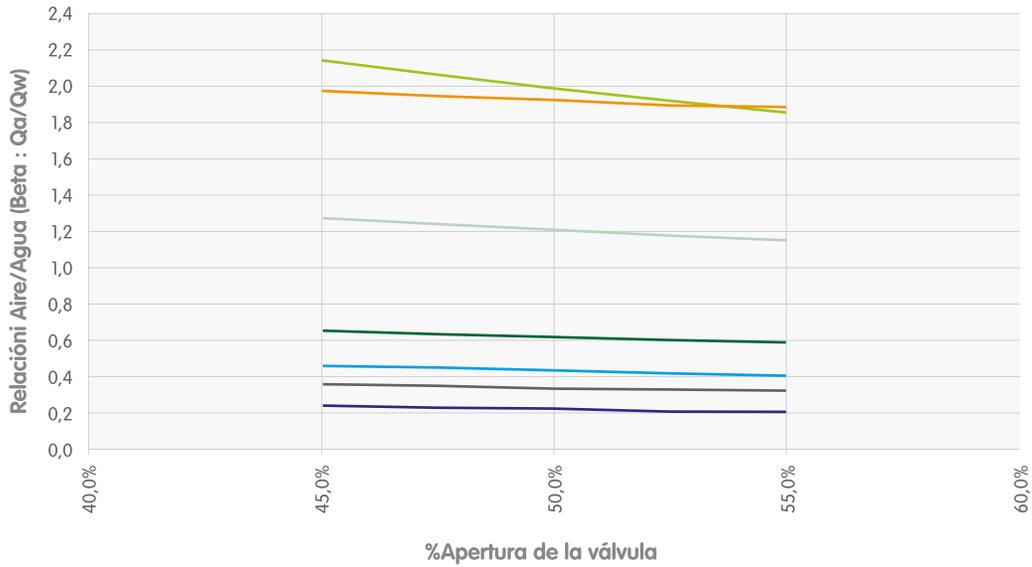


Gráfico 3. Descarga entre el 45% y el 55% de apertura

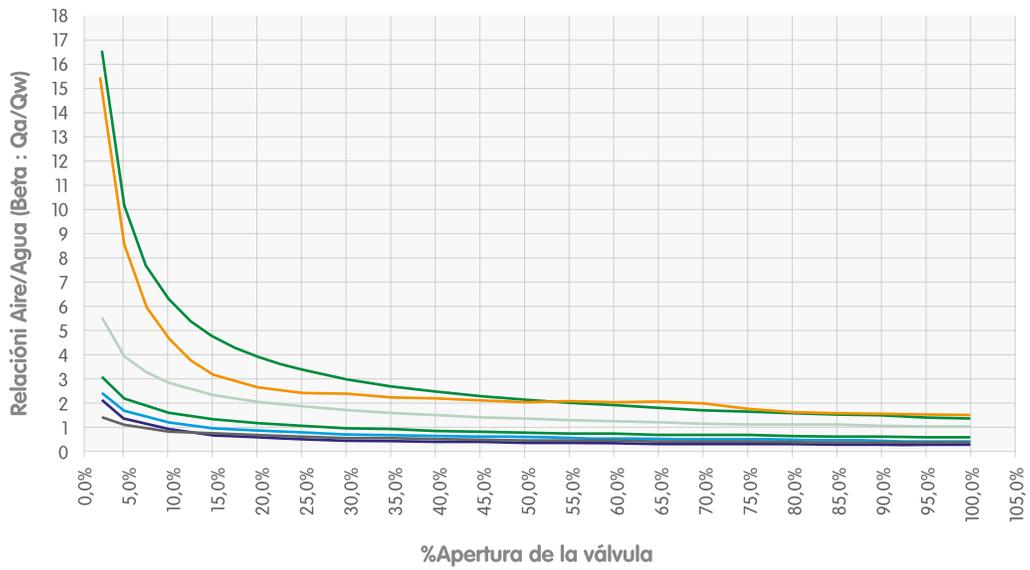


Gráfico 4. Descarga hasta el 100% de apertura

En relación con la anterior información se puede concluir que, en todas las pruebas realizadas, la tasa de aireación medida para la válvula de Miraflores es

bastante aproximada al comportamiento establecido con el criterio de Ghetti&DiSilvio.

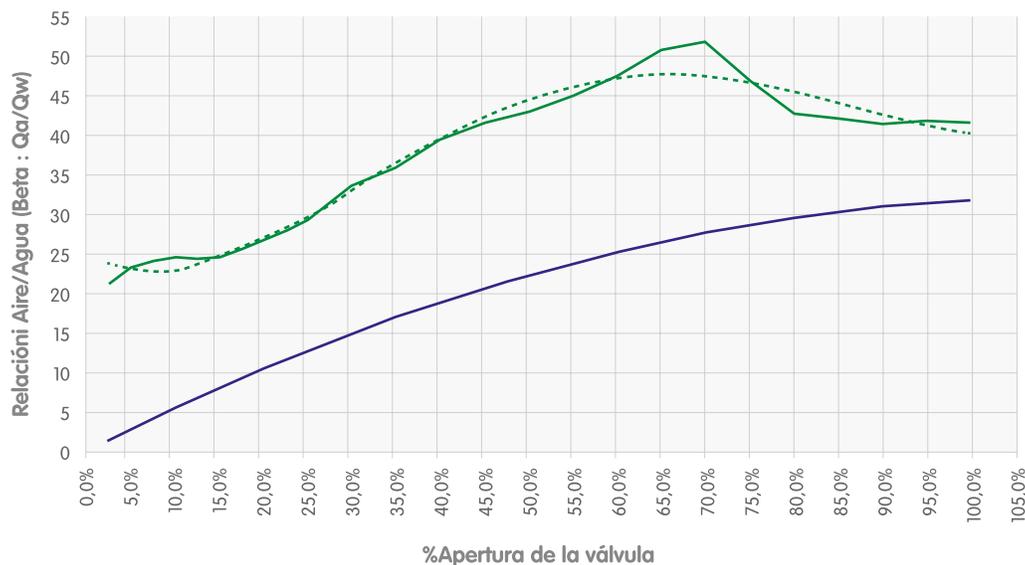


Gráfico 5. Relación de caudales de agua y de aire en todo el rango de apertura de la válvula

En el gráfico 5 se observa claramente una relación directa y proporcional entre los caudales de agua y de aire, obteniéndose una demanda pico de aire en el 70% de la apertura.

5.4. Análisis modal de la válvula

Antes de comenzar este análisis es importante tener en cuenta que muchas situaciones en la vida cotidiana nos muestran que existen muchas máquinas que coexisten con frecuencias que excitan varios de sus modos de vibrar y que ello no implica destrucción. Algo importante es que cuando aquellas máquinas se diseñan, se tiene en cuenta que existen tales fenómenos presentes y que se pueden compensar de alguna manera mejorando su robustez y rigidez estructural a través de los elementos que las conforman (una de tantas soluciones), de tal manera que la energía de la fuente de excitación pueda ser disipada y así poder eliminar o mitigar el riesgo estructural.

En particular para el tema de flujo turbulento, hoy en día no existen soluciones analíticas para resolver su comportamiento y por tanto se debe recurrir a soluciones probabilísticas y/o experimentales para

dar respuesta, por ejemplo, al comportamiento espectral (de frecuencias) de estos flujos turbulentos. Lo anterior es una de las cosas que nos hace pensar en realizar pruebas experimentales o en este caso pruebas en campo, pero cabe tener en cuenta que encontrar correlaciones entre la experimentación y la teoría es un poco más complejo de lo que se creería y es la principal razón por la que los resultados y conclusiones que se obtienen de este tipo de análisis no son absolutos.

Como complemento a las pruebas diagnósticas presentadas en este informe, se realizó un análisis de estabilidad mecánica basada en la investigación de Albert G. Mercer, quien, basado en información de una serie de válvulas de cono fijo, logró determinar el cálculo de un parámetro que permite correlacionar las dimensiones y características particulares de este tipo de válvulas, permitiendo con ello establecer rangos operativos con mayor confiabilidad.

El cálculo propuesto por Mercer permite estimar el cálculo de las frecuencias propias de la válvula, a fin de compararla con las frecuencias de vórtice, permitiendo analizar por lo menos dos modos de vibración aplicables particularmente a este tipo de

válvulas. También se tuvo en cuenta para el análisis que normalmente las frecuencias de flujo turbulento, de acuerdo con Naudascher, tienen un ancho de banda de aproximadamente 10 Hz con frecuencia

central entre 15 Hz y 20 Hz.

En la Tabla 2 se puede observar el resumen de los resultados obtenidos.

Espesor aleta (mm)	81	01	42	0
Apertura (%)	45	55	80	100
Mercer	0,110	0,1070	,112	0,102
Frecuencia propia 1er modo Mercer (Hz)	12	15	20	28
Frecuencia de vórtice (Hz)	81	65	46	32
Frecuencia propia 1er modo medida 1 (Hz)	11	12	15	21
Frecuencia propia 2er modo medida 2 (Hz)	52	64	91	120
Frecuencia 3er modo medida 3 (Hz)	64	84	111	121

Tabla 2. Resultados del parámetro Mercer y frecuencias medidas en campo

Para complementar los cálculos, se realizó un estudio de análisis modal de la válvula mediante el cual buscaba encontrar algunos modos de vibración para espesores promedio de aletas de 8, 10, 14 y 20 mm, cuyo objetivo era el de confrontar dichos modos de vibración contra las frecuencias encontradas en los cálculos realizados por EPM.

De la Tabla 2 se puede decir que:

- A medida que el espesor de la aleta es menor, el margen entre la frecuencia del primer modo de vibración de la válvula y la frecuencia de vórtice se hace mayor; es decir, se alejan. Dicho en otras palabras, entre el primer modo de vibración de la válvula y la frecuencia de vórtice, la probabilidad de encontrar resonancia es mínima.
- Con respecto a las medidas tomadas en campo, para un espesor de 10 mm en el segundo modo de vibración aparece una frecuencia de 64Hz,

lo que de alguna manera podría indicar que la frecuencia de vórtice se podría estar acoplando con dichos modos de vibración pero que, por la magnitud de la energía contenida en el fluido, el compromiso estructural de la válvula sería mínimo.

- A medida que el espesor de la aleta disminuye, la frecuencia del primer modo de vibración de la válvula disminuye existiendo la posibilidad de acoplarse con frecuencias de flujo turbulento.
- A pesar de que los primeros modos de vibración de la válvula se podrían acoplar con frecuencias de flujo turbulento, la válvula tiene la rigidez suficiente para amortiguar las amplitudes.
- Los primeros modos de vibración entre los calculados por la metodología de Mercer y las mediciones de campo son cercanos, lo que genera mayor confianza en los datos usados para el análisis.

5.5. Análisis hidrodinámico

Este análisis fue realizado bajo simulaciones computacionales del tipo CFD (Computational Fluid Dynamics) y FSI (Fluid Structural Interaction), mediante las cuales se determinaron los campos de presión y velocidad del flujo descargado y su impacto sobre la válvula Howell Bungler, teniendo en consideración, además, su estado dimensional actual debido a

los diferentes desgastes del acero determinados durante las pruebas diagnósticas realizadas por EPM.

El objetivo fundamental de este análisis fue establecer con claridad la confiabilidad operativa de la válvula Howell Bungler pese a las deficiencias detectadas en su estructura.

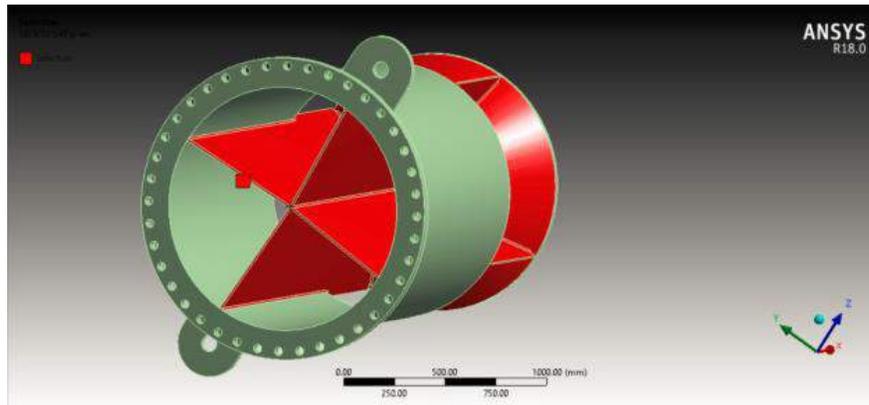


Imagen 5. Región de control de las venas de la válvula

El proceso de análisis y simulación se centra en las etapas listadas a continuación:

- Modelización de la geometría
Generación de la malla (discretización del dominio de cálculo)
- Definición de las condiciones de operación (frontera y condiciones iniciales)
- Parámetros numéricos y criterios de convergencia
- Simulación
- Revisión de los resultados

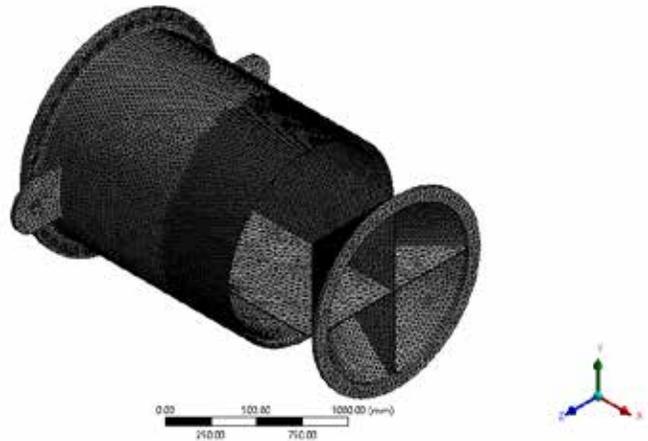


Imagen 6. Discretización de la válvula (mallado)

Las aperturas de la válvula analizadas correspondieron al 15%, 40%, 70% y 100% de la apertura total del obturador.

Una vez obtenidos los campos de presión sobre las zonas de mayor interés (venas y cono de la válvula) fueron introducidos en la geometría de la simulación los adelgazamientos medidos en los espesores de las venas, permitiendo identificar de manera precisa los esfuerzos y las deformaciones de cada componente, en todo el rango operativo de la válvula. Esta disminución de espesores en los componentes principales cambia la rigidez del equipo y por lo tanto es necesario restringir la operación a un rango de aperturas en el cual la estabilidad general de la válvula no sea comprometida, ya que podría causar problemas en toda la cadena de generación.

El análisis por simulación computacional se dividió en dos grandes grupos: Inicialmente, se realizó un modelo analítico para entender la hidráulica del sistema y obtener valores aproximados de presión dinámica y presión estática sobre la válvula; posteriormente, estos valores de presión fueron utilizados en un modelo analítico estructural, para determinar las deformaciones esperadas en los componentes principales.

Por tratarse de un flujo a alta velocidad, el flujo se considera turbulento. En la salida de la válvula se presenta una deflexión de las líneas de corriente, además de gradientes de presión altos, razón por la cual se implementa un modelo tipo RANS (Reynolds Average Navier-Stokes equations) a través de un modelo de dos ecuaciones tipo K-épsilon para obtener una aproximación de la turbulencia en términos de escalas de tiempo y longitudes.

El modelo K-épsilon, debido a su robustez, permite disminuir el tiempo de cálculo computacional, con una precisión razonable para un amplio rango de flujos turbulentos. Este modelo consiste en la adición de dos ecuaciones de transporte que incluyen la convección, difusión, producción y destrucción de la energía cinética turbulenta y su tasa de disipación.

Para esta simulación se analizó tanto el tramo a presión (incluida la bifurcación) como parte del

tramo a superficie libre, además, se especifica una condición de entrada (en la tubería principal) y una condición de salida (en la parte posterior de la estructura de aquietamiento). Las demás fronteras fueron consideradas como paredes, sin embargo, se realizan dos superficies de control sobre la válvula (en las venas y en el cilindro interno) para después mapear el campo de presiones.

Básicamente existen dos aproximaciones para la simulación de flujos multifásicos. Para los flujos dispersos se utilizan modelos de aproximación del tipo Euleriano o Lagrangiano. Para flujos separados (como el caso de estudio) se utiliza el método VOF. En el modelado de flujos separados, las fases son tratadas matemáticamente como fases continuas, en donde cada fase representa una fracción volumétrica en espacio y tiempo. La suma de las fracciones volumétricas que intervienen en la simulación debe ser igual a 1. La fracción volumétrica utilizada por el método para la captura de la interfase fluctúa entre los valores de 0 y 1, lo cual corresponde a una celda que esté totalmente llena con alguna de las fases especificadas, de lo contrario tendrá valores intermedios que representan la ubicación de la interfase en el dominio de cálculo, que para el caso de estudio representa el chorro en la salida de la válvula. Es pertinente aclarar que, para la presente simulación, el fluido incompresible (agua) se introdujo como la fase 1 y el fluido compresible (aire) como la fase 2.

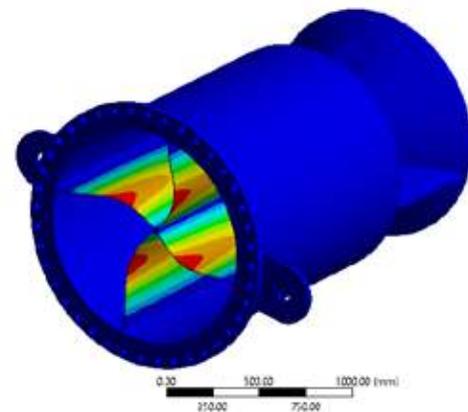
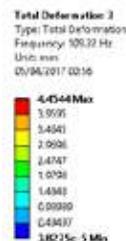


Imagen 7. Modos de vibración

6. Reparación, Inspección y Pruebas

6.1. Reparación

En el mes de agosto de 2017 se ejecutó un procedimiento de reparación en el cual se incluyeron actividades de corrección de defectos, limpieza con chorro de arena (sandblasting) y recubrimiento interior y exterior a toda la válvula.

En relación con los defectos reparados es importante indicar que, mediante los ensayos no destructivos

realizados en la etapa de diagnóstico, sólo se detectó una fisura de 10 mm entre las aletas 1 y 2, a la entrada de la válvula. Sin embargo, una vez realizada la limpieza con chorro de arena hasta obtener metal blanco (SSPC-SP5) se evidenciaron otros defectos importantes tales como: fisuras en las uniones entre aletas y cuerpo, socavaciones y pérdida de espesor en diferentes zonas de la válvula.

A continuación, se presentan algunas ilustraciones de los defectos reparados:



Imagen 8. Corrección de fisura entre aletas 1 y 2

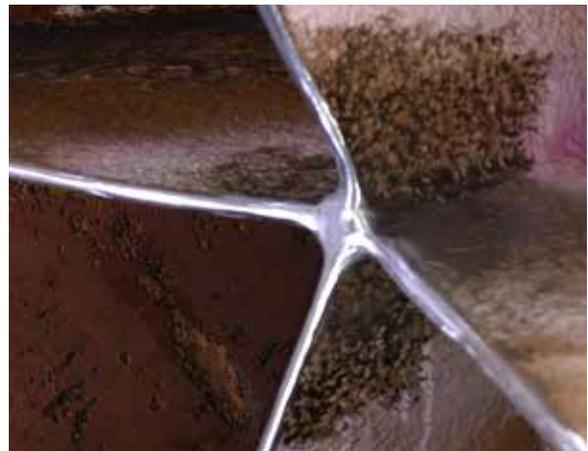


Imagen 9. Corte de aletas a la entrada de la válvula



Imagen 10. Fisura entre aleta y cuerpo de la válvula

Como se puede observar en estas ilustraciones, la corrección de la fisura a la entrada de la válvula se logró mediante el corte con disco abrasivo de una sección de cada aleta. Para las fisuras entre aletas y el cuerpo de la válvula se realizaron perforaciones con broca en el extremo de cada fisura a fin de cerrar el camino de propagación.

Posteriormente, las fisuras y socavaciones fueron completamente resanadas con masilla mecanizable (Belzona 1111) hasta alcanzar el espesor del acero

original (20 mm). Luego de nivelar internamente el espesor en aletas, cuerpo, cono y obturador de la válvula, se aplicó un producto cerámico (Belzona 1341) para darle mayor protección a la masilla mecanizable y mejorar el perfil de rugosidad de las superficies hidráulicas de la válvula. Externamente se aplicó una base epóxica de altos sólidos y un esmalte poliuretano.

A continuación, se muestra el aspecto de la válvula luego de su reparación:



Imagen 11: Aspecto de la válvula reparada

6.2. Inspección

En los meses de enero y julio de 2018 se realizaron inspecciones visuales a la válvula buscando identificar cambios en los recubrimientos interno y externo de la válvula.

En general, se puede afirmar que en ambas inspecciones se observó una condición satisfactoria en los recubrimientos tanto interno como externo de la válvula.

A enero de 2018 la válvula había operado cerca de 2250 horas (~ 3 meses) y para julio de 2018 había completado 4240 horas (~ 6 meses).

6.3. Pruebas

Luego de las inspecciones se instrumentó la válvula con acelerómetros tanto en el cuerpo como en el cono y se realizaron mediciones de la amplitud de las vibraciones de la válvula en todo su rango operativo. Igualmente, se hicieron mediciones de la aireación.

A continuación, se presentan los resultados de las mediciones obtenidas:

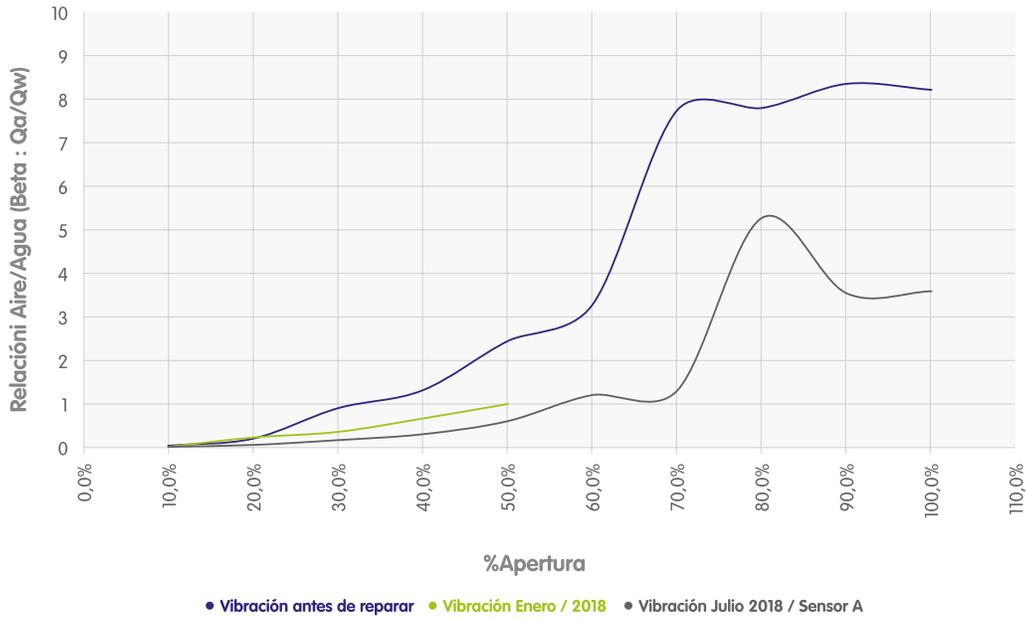


Gráfico 6. Amplitud de vibraciones vs % Apertura

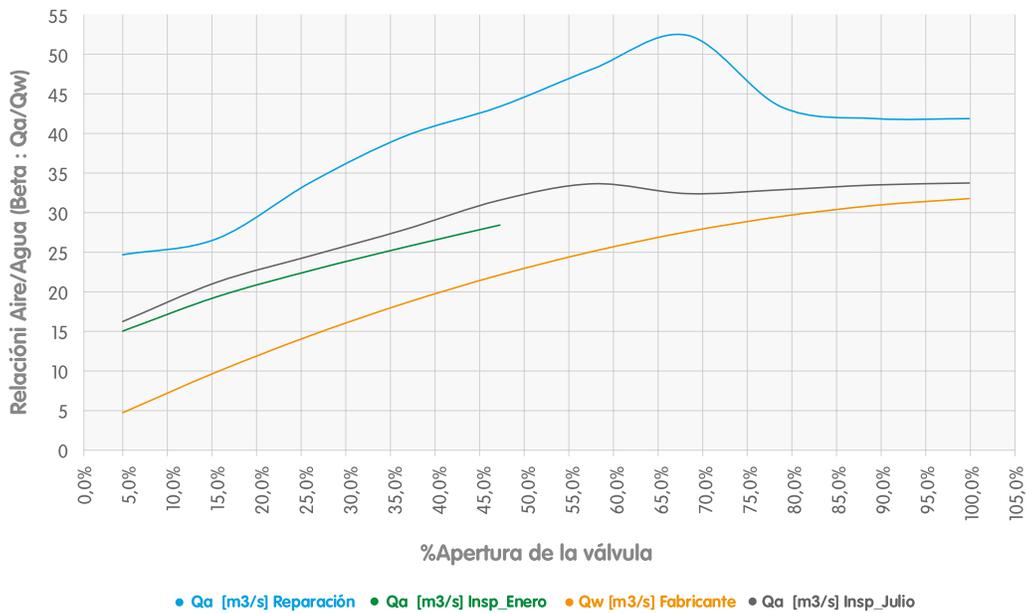


Gráfico 7. Aireación y caudal de agua descargada vs % Apertura

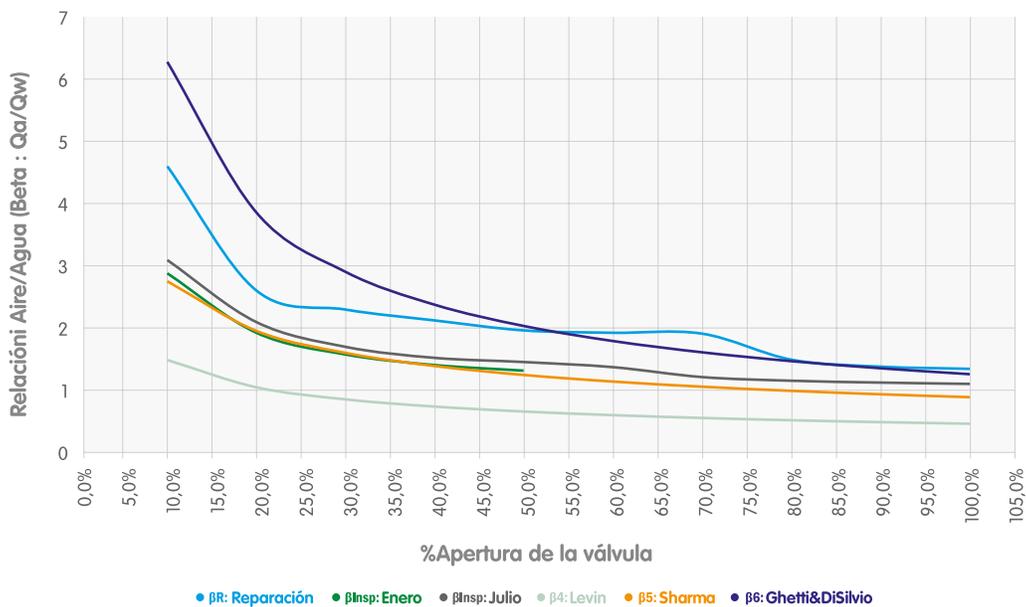


Gráfico 8. Relación aire-agua (Beta) vs % Apertura

Finalmente se realizó la verificación del parámetro de Mercer y se comparó antes y después de la

reparación. A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante este cálculo:

% Apertura	100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	55%	50%	45%	40%	35%	30%	25%	20%	15%	10%	5%
Factor Mercer antes de Reparación (M1)	0.195	0.185	0.175	0.1657	0.156	0.146	0.136	0.127	0.117	0.107	0.097	0.088	0.078	0.068	0.058	0.049	0.039	0.029	0.019	0.01
Factor Mercer después de Reparación (M2)	0.102	0.097	0.092	0.0869	0.082	0.077	0.072	0.066	0.061	0.056	0.051	0.046	0.041	0.036	0.031	0.026	0.02	0.015	0.01	0.005
(M) Aceptable:	M ≤ 0,115										(M) No aceptable: -									

Tabla 3. Factor de Mercer antes y después de la reparación

Conclusiones y recomendaciones

A continuación, se presentan las conclusiones y recomendaciones que surgen del presente estudio, con base en los resultados y análisis obtenidos:

- Después de analizar los resultados obtenidos en las pruebas diagnósticas complementarias lideradas y ejecutadas por EPM, se puede concluir que la válvula es susceptible de reparar.
- De acuerdo a todas las variables analizadas, el rango operativo de la válvula se encuentra actualmente entre 0% y 40% de apertura.
- Todo el rango de operación de la válvula muestra un comportamiento satisfactorio en cuanto a la aireación y a vibraciones se refiere.
- La bifurcación correspondiente a la unión entre las aletas entre sí y de cada aleta a la cara interna cilíndrica es la más propensa a presentar crecimiento y nucleación de grietas.
- La falla localizada en las bifurcaciones está más propensa a darse para las aperturas de bajo caudal como lo son la de 15% y 40% de caudal.
- Sin lugar a dudas, toda la válvula en general estará sometida a desgaste erosivo, debido a la interacción entre el fluido que además de estar compuesto principalmente por agua, también el sedimento y material particular suspendido en general, aceleran el desgaste de los componentes que definen el cuerpo de la válvula, esto como consecuencia disminuye la resistencia de la estructura y reduce aún más el factor de seguridad disponible para operar la válvula a las aperturas de bajo caudal.
- Después de realizar el análisis CFD y entender la hidrodinámica del sistema, es posible concluir que la cercanía entre la bifurcación de la tubería principal y la localización de la válvula, genera un perfil de velocidades no uniforme, más cargado sobre la zona izquierda (en dirección del flujo) lo que genera mayor desgaste en este lado.
- Ese perfil de velocidad no uniforme genera fluctuaciones de presión sobre las aletas de la válvula, generando una distribución desequilibrada de la presión sobre cada una de las caras. Como producto de esta distribución desequilibrada se generan esfuerzos y deformaciones más grandes en ciertas zonas de la válvula, lo que produce mayor desgaste y mayor probabilidad de falla o fatiga.
- Se recomienda realizar un análisis del flujo (CFD) para determinar cuál debe ser separación óptima entre la bifurcación y la localización de la válvula, para garantizar un desarrollo total del flujo, lo que garantice un perfil de velocidades totalmente desarrollado que no genere un campo de presión asimétrico sobre los componentes principales de la válvula.
- Es claro que este aumento en la longitud de la salida de la válvula implica un extra-costo en la obra civil, razón por la que la decisión sobre la misma no debe tomarse a la ligera y debe basarse en resultados obtenidos a través de simulaciones numéricas.

- A partir del campo de velocidad obtenido para las diferentes aperturas analizadas, se puede concluir que la velocidad media en la zona del acople entre la tubería de 1.5 m de diámetro y la válvula de 1.2 m de diámetro es superior a los 25 m/s. Cuando las velocidades del flujo están por encima de este valor existe la posibilidad de formación de la cavitación incipiente. Cuando esto ocurre se presenta un cambio repentino de fase, en donde las burbujas de agua se convierten en burbujas de vapor. La ocurrencia de dicho fenómeno desgasta el material, ya se acero o concreto y por lo tanto genera erosión del mismo. Si se va a realizar la extensión de la tubería para evitar el campo de presiones asimétrico, se recomienda considerar utilizar una tubería de diámetro de 1.5 hasta el empalme con la válvula, lo que garantiza velocidades por debajo de los 20 m/s aún para una apertura del 100%. Adicionalmente, si se tiene la consideración

de poner una válvula de guarda del tipo mariposa, esta genera una obstrucción al flujo aún para una apertura del 100%, lo que implica una nueva perturbación al flujo y un cambio en la distribución de velocidades y paulatinamente de las presiones, la tubería de 1.5 de diámetro quedaría justificada.

- Las fluctuaciones de presión obtenidas mediante la simulación CFD están en el mismo orden de magnitud que las presiones obtenidas de forma analítica. Es importante resaltar que el comportamiento exhibido por la fluctuación de presión para la apertura del 100%, es diferente al de las demás aperturas ya que, al tener una apertura total de la válvula, la contracción del chorro es mínima, razón por la cual no se presenta un gradiente de velocidades tan alto. Al no presentarse gradientes altos de velocidad, las fluctuaciones de presión son mínimas y con el paso del tiempo se estabilizan.

Referencias

- Committee on Hydraulics for Dams. (1996). Vibrations of Hydraulic equipment for Dams: Review and Recommendations. Bulletin 102 by Sub-Committee N° 2. Cap.6.3 y 6.5. CIGB-ICOLD.
- Delgado, D.J., De León D. (2007). Análisis de riesgo, confiabilidad estructural y mantenimiento de presas de tierra: Un caso en el estado de México. Protocolo de investigación para el análisis de comportamiento estructural e ingeniería sísmica enfocada al peligro, riesgo y vulnerabilidad de estructuras. Maestría y Doctorado en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de México, UAEMEX.
- Erbisti, P.C. (2014). Design of hydraulic gates, London: 2nd. Ed. CRC Press, Balkema Publishers. 10, p.251-264.
- ICOLD: International Commission on Large Dams. (2005). Risk Assessment in Dam Safety Management – A Reconnaissance of benefits, Methods and Current Applications. Bulletin 130.
- J. W. F. a. R. F. Tiry. (1972). Flow induced transverse vibration of trashrack bars, ASCE CIVIL ENGINEERING.
- Lewin, J. (1995). Hydraulic gates and valves in free surface flow and submerged outlets. Thomas Telford Publications. London.
- Mercer, G. (1970). Vane failures of Hollow-Cone Valves, Stockholm: I.A.H.R. Symposium, paper G4.
- Naudascher, E. R. D. (2005). Flow-Induced vibrations: an engineering guide, New York, USA.: Dover publications Inc. Mineola.
- Tobón, A., Miranda R. (2008). Ingeniería de presas en Empresas Públicas de Medellín. ISBN 978-958-97051-5-5. Pp. 42-59.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (1980), EM 1110-2-1602, Hydraulic Design of Reservoir Outlet Works, Washington.: Sec. VI, p. 224. Department of the Army.

Cómo citar este artículo:

Vera, J. D., Arias, C.E., Suárez, B. (2018). Caso de estudio: diagnóstico, reparación, inspección y pruebas de la válvula Howell Bungler de la presa Miraflores de EPM. En: Revista EPM, (12) p.



Estudios de tratabilidad y deshidratación de lodos producidos en plantas de potabilización

Treatability and dewatering studies of sludges produced in potabilization process

**Rodolfo
Mira**

Unidad Producción Aguas,
Empresas Públicas de Medellín,
Medellín, Colombia

rodolfo.mira@epm.com.co

**Eliana
Llano**

Facultad de Ingeniería,
Universidad de Antioquia,
Medellín, Colombia

eliana.llano@udea.edu.co

Resumen

El proceso convencional de potabilización de agua para el consumo humano implica la generación de lodos como residuo del proceso. Dichos lodos contienen gran cantidad de agua atrapada entre las partículas sólidas, lo que dificulta su manejo y genera una pérdida considerable de agua en el proceso. Además, estos lodos pueden presentar propiedades químicas y presencia de algunos metales que pueden llegar a afectar el medio ambiente. Por ello existe una legislación ambiental que controla su adecuada disposición. EPM tiene doce plantas de potabilización con un proceso convencional, las cuales generan un volumen considerable de lodos que deben ser tratados para dar cumplimiento a la normatividad ambiental. Por lo tanto, en este estudio se realizaron ensayos de tratabilidad de sedimentación y filtración para evaluar el proceso de deshidratación de estos lodos mediante el uso de dos polímeros como acondicionantes para cinco

plantas de potabilización que cuentan con sistemas de tratamiento de lodos. Estas plantas son: San Cristóbal, La Montaña, La Cascada, Villa Hermosa y Caldas. Adicionalmente, se realizó la caracterización de los lodos deshidratados obtenidos en los sistemas de tratamiento de lodos.

Los ensayos de tratabilidad permitieron determinar que ambos polímeros presentan un buen comportamiento como acondicionantes, con una recuperación del clarificado del 50% aproximadamente. Además, la caracterización de lodos deshidratados en todas las plantas muestra que no son residuos peligrosos. Por lo tanto, estos lodos pueden ser aprovechados como materias primas en otros procesos productivos como en la elaboración de materiales de construcción o producción de sulfato de aluminio.

Palabras clave:

Acondicionamiento, deshidratación, tratamiento de lodos.

Key words

Conditioning, dewatering, sludge treatment.

Introducción

A medida que los recursos hídricos se vuelven más escasos y las normas ambientales más estrictas respecto a la disposición de residuos, surge la necesidad de realizar investigaciones orientadas a tener un mayor conocimiento sobre las técnicas que pueden aplicarse para aumentar la cantidad de agua producida por metro cúbico de agua cruda, y para el tratamiento y disposición adecuados de los lodos generados en el proceso, reconociendo la producción de lodos como la parte más crítica del proceso de potabilización. Estos lodos son definidos en el Título C del Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS del Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, como un contenido de sólidos en suspensión o disolución que contiene el agua y que se remueven durante los procesos de tratamiento. Dichos lodos se caracterizan principalmente por tener un alto contenido de agua, resistencia a la deshidratación mecánica y dificultad para su disposición, manejo y transporte. (Kaggwa, Mulalelo, Patrick, & Tom, 2001) (Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico)

El descargue de los lodos generados en el proceso de potabilización, sin un tratamiento previo, origina la contaminación de fuentes superficiales o subterráneas de agua y puede generar esterilidad en la tierra, brindándole una apariencia erosionada gracias al contenido de metales que presenta. Estos son algunos de los problemas ambientales por los que el descargue de lodos está controlado por los entes ambientales encargados.

Por tanto, en búsqueda de cumplir a cabalidad con la normatividad vigente en Colombia en materia de estos vertimientos y además de ello con el

ánimo de generar el menor impacto posible sobre los recursos naturales, EPM ha estado trabajando en los últimos años en la implementación de una solución para el tratamiento de estos residuos, iniciando con siete de las plantas de potabilización de EPM: San Cristóbal, La Montaña, La Cascada, Villa Hermosa, Caldas, Barbosa y San Nicolás. El sistema de acondicionamiento en estas plantas consta de una primera etapa conformada por tanques espesadores, donde se dosifica un polímero a los lodos buscando favorecer la floculación y, por ende, mejorar las propiedades de deshidratabilidad del lodo espesado; además permite recuperar parte del agua como clarificado de esta primera etapa. Posteriormente el lodo acondicionado pasa a una etapa de deshidratación. Los sistemas de deshidratación instalados en San Cristóbal, La Montaña, La Cascada y San Nicolás consisten en filtro prensas y los de Villa Hermosa, Caldas y Barbosa operan con lechos de secado. Estos sistemas de deshidratación generan un lodo con menos contenido de humedad, lo que facilita su manejo y disposición final. Además, esta segunda etapa también permite recuperar parte del agua en el filtrado que, junto a la corriente de agua clarificada obtenida en el espesamiento, es susceptible de ser recirculada al proceso aumentando la eficiencia del mismo.

En la Tabla 1 se detalla el sistema de tratamiento de lodos de cada una de las plantas, además de algunos factores de proceso que pueden afectar la composición de los lodos generados. Debido a que la implementación de las soluciones para la deshidratación de lodos de las plantas Barbosa y San Nicolás fue posterior a este estudio, no se incluyen en los resultados que se muestran a continuación.

	LA MONTAÑA	LA CASCADA	SAN CRISTÓBAL	VILLA HERMOSA	CALDAS
Tipo de Fuente	Embalse	Quebradas	Quebradas	Embalse	Quebradas
Coagulante Usado en el Proceso	Sulfato de Aluminio	Sulfato de Aluminio	Policloruro de Aluminio (PAC)	Sulfato de Aluminio	Policloruro de Aluminio (PAC)
Polielectrólito Usado en el Espesamiento	SUPERFLOC C492 (polímero de proceso)	ZETAG 8125 (Polímero de aguas esiduales)	SUPERFLOC C492 (polímero de proceso)	SUPERFLOC C492 (polímero de proceso)	SUPERFLOC C492 (polímero de proceso)
Dosis de Polímero (ppm)	5	2	4	5	5
Sistema de Deshidratación	Filtro prensa	Filtro prensa	Filtro prensa	Lecho de Secado	Lecho de Secado

Tabla 1. Sistemas de acondicionamiento y deshidratación de lodos de las plantas estudiadas

El objetivo principal de estos sistemas de tratamiento de lodos es convertir un residuo líquido de bajo contenido de sólidos y difícil manejo, a un residuo sólido de medio - alto contenido de sólidos con mayor facilidad para su manejo y disposición. Estos sistemas generan un lodo con menos contenido de humedad que debe ser dispuesto finalmente cumpliendo con la normatividad vigente, o aprovechado como materia prima en otros procesos productivos; y unos filtrados que deben ser descargados al alcantarillado o recirculados al inicio del proceso de potabilización.

Para ello se requiere conocer la calidad de estos filtrados y definir el impacto que tiene en el proceso en caso de que pueda ser recirculado o en el cumplimiento de la norma en caso de vertimiento.

Como se muestra en la Figura 1, los sistemas de acondicionamiento y deshidratación de lodos constan de dos etapas. En la primera etapa se reciben los lodos directamente del fondo de los

sedimentadores del proceso de potabilización, se acondicionan mediante la adición de reactivos químicos que provoquen la desestabilización de los sólidos dispersos presentes en el mismo con la finalidad de facilitar su deshidratación. Dentro de los procesos típicos usados para el acondicionamiento se incluyen tanques de espesamiento y dosificación de sustancias químicas como cal, cloruro férrico, sulfato ferroso o compuestos orgánicos como los polímeros. De esta primera etapa se obtiene un lodo con menos contenido de humedad y un flujo de agua clarificada que es susceptible de ser recirculada al proceso.

En la segunda etapa se reciben los lodos obtenidos del fondo de los espesadores de la etapa de acondicionamiento; en esta etapa se busca una mayor deshidratación de los lodos por métodos físico-mecánicos. Los sistemas de deshidratación más comunes son lechos de secado, filtro prensa, centrifugación, hornos de secado, entre otros.

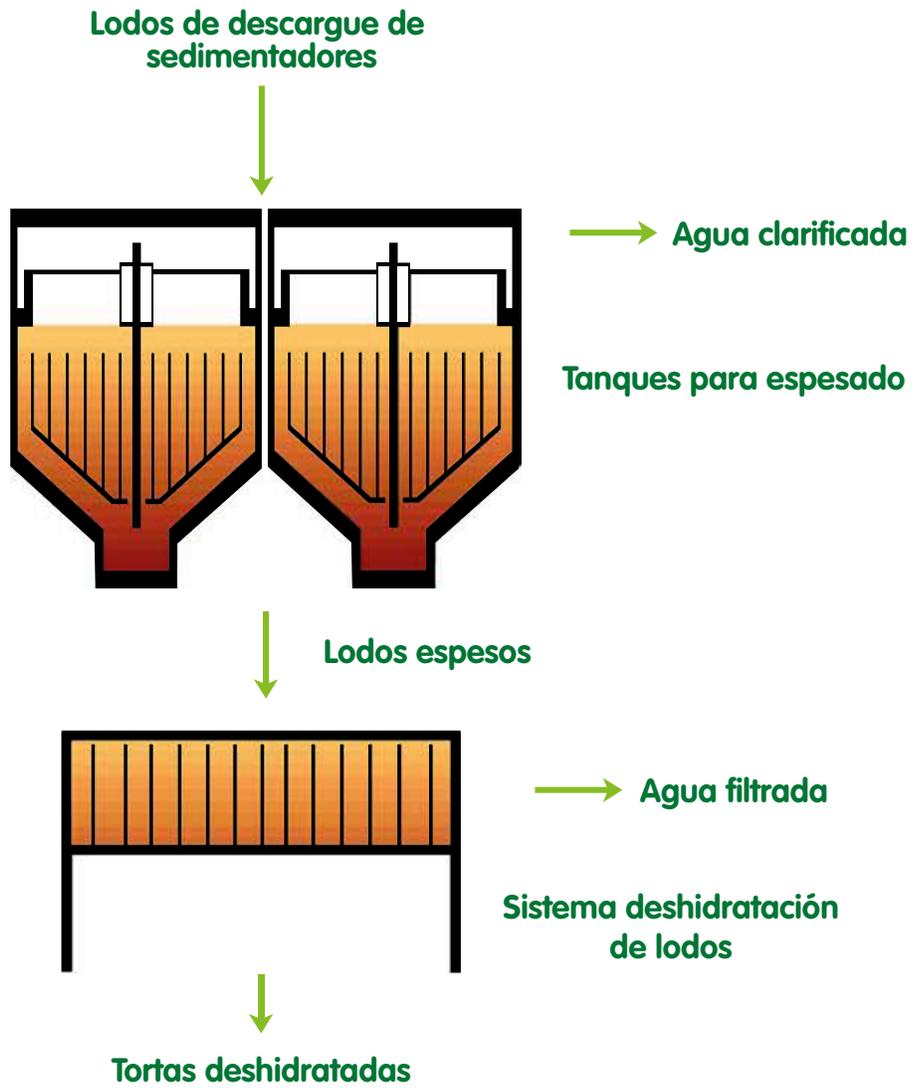


Figura 1. Esquema sistemas de acondicionamiento y deshidratación de lodos

1. Metodología

Para los ensayos de tratabilidad realizados, se tomaron muestras de lodos de descargue de sedimentadores de las cinco plantas objeto de estudio y se definieron como variables de entrada a controlar el tipo y dosis de polímero, usando dos tipos de polímero y diferentes dosis de acuerdo con la calidad del lodo de cada planta.

Los tipos de polímero usados fueron:

Pol 1: corresponde al polímero usado como ayudante de floculación en el proceso de potabilización de las plantas estudiadas. Es una poliacrilamida catiónica de peso molecular alto y carga relativa baja, conocida comercialmente como SUPERFLOC C492.

Pol 2: corresponde a un polímero usado para el tratamiento de aguas residuales. Es una polia-

crilamida catiónica de peso molecular alto y carga relativa baja, conocida comercialmente como ZETAG 8125.

En la Tabla 2 se muestran las dosis de cada polímero que fueron usadas para los estudios de tratabilidad de lodos de cada una de las plantas de potabilización estudiadas. Estas dosis fueron elegidas con base en la recomendación que hace el RAS para el acondicionamiento de los lodos mediante polielectrólitos, que debe estar entre 0.5 y 1 kg de polímero/tonelada de sólidos (Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico); además de tener en cuenta la experiencia previa que se tenían en las plantas en la etapa de acondicionamiento. Cada uno de los ensayos se realizó por duplicado con el fin de validar y tener resultados más confiables.

SAN CRISTÓBAL		LA MONTAÑA		LA CASCADA		VILLA HERMOSA		CALDAS	
Pol1	Pol2	Pol1	Pol2	Pol1	Pol2	Pol1	Pol2	Pol1	Pol2
DOSIS (ppm)									
0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
5	5	5	2	2	2	10	10	5	2
10	10	10	5	4	4	15	15	10	5
15	15	15	10	6	6	20	20	15	10
20	20	20	15	8	8	30	30	20	15
25	25	25	20	10	10			25	20
		30						30	30

Tabla 2. Dosis de polímero usadas en los ensayos de tratabilidad

Una vez definidas las variables de entrada y con el objetivo de simular en laboratorio los sistemas de acondicionamiento y deshidratación instalados en las plantas, se procedió al desarrollo experimental realizando ensayos de sedimentación y filtración, tal como se describe a continuación:

Ensayos de acondicionamiento y sedimentación de lodos

Inicialmente los lodos tomados de la salida de los

sedimentadores de las plantas de potabilización estudiadas, fueron servidos en recipientes de 1 litro, como se muestra en la Imagen 1, y después de ser acondicionados con cada una de las dosis de polímero establecidas, se sometieron a mezcla rápida 150 rpm por 10 segundos seguida de una mezcla más lenta de 100 rpm por 5 minutos. Las condiciones de mezcla se establecieron tomando como base las reportadas en la literatura y observando el comportamiento de las muestras.



Imagen 1. Acondicionamiento y mezcla rápida de los lodos

Posteriormente se procedió a realizar la medición de sólidos sedimentables. Dicho ensayo fue llevado a cabo en conos imhoff, como se muestra en la Imagen2,

tomando como guía el método estándar 2710C (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005.)



Imagen 2. Ensayo de sólidos sedimentables

Ensayos de Filtración

Posterior a los ensayos de sedimentación se tomaron muestras de los lodos sedimentados, recuperados por la parte inferior de los conos imhoff, y se realizaron ensayos de filtración. Para estudiar los mecanismos de deshidratación de los diferentes lodos se seleccionaron las siguientes variables de respuesta: la resistencia específica a la filtración (REF), el tiempo de filtración (tF) y la calidad del filtrado medido en términos de turbiedad y color.

Aunque en el método estándar 2710 H (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005.) se debe realizar un montaje especial de un embudo buchner conectado a una bomba de vacío, mediante ensayos preliminares se pudo concluir que, por las características del lodo generado en el proceso de potabilización, este procedimiento se hace tedioso y difícilmente aplicable debido al tiempo que tardarían los ensayos. Por tanto, en este estudio, los ensayos de filtración se realizaron en un filtro a presión que fue construido para tal fin, siguiendo el modelo de un filtro piloto facilitado por el proveedor de los filtro-prensas que se instalaron en algunas plantas. El filtrado obtenido debe ser medido en un recipiente graduado como puede ser una probeta tal como se observa en la Imagen 3.



Imagen 3. Ensayo de filtración

Las siguientes fueron las condiciones tenidas en cuenta para los análisis de filtración:

- Se filtraron muestras de 100 ml de lodo acondicionado.
- La filtración fue realizada a Presión constante.
- La filtración de cada muestra se llevaba a cabo hasta que se rompía la presión dentro del filtro.
- El material filtrante usado fue una lona malla 200, que es la que usan los filtro prensas que se encuentran instalados en las plantas San Cristóbal, La Montaña y La Cascada.

Una vez iniciada la filtración, se empezaba a controlar el tiempo y se registraba cada 5 ml de agua filtrada obtenida, esto con el fin de conseguir datos de volumen de filtrado en función del tiempo para realizar las gráficas necesarias para el cálculo de la resistencia específica a la filtración.

Tiempo de filtración

De acuerdo con el método estándar 2710 H (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005.), el tiempo de filtración se define como el tiempo que tarda en obtenerse como agua filtrada la mitad del volumen de lodo que fue sometido a la filtración inicialmente. Es decir, si se somete a filtración 100 ml del lodo, el tiempo de filtración será aquel que se registra cuando el volumen de agua filtrada alcance los 50 ml en la probeta.

Resistencia específica a la filtración (REF)

Es la resistencia que opone a la filtración una cantidad de lodo depositada en un área de superficie filtrante. Esta prueba tiene gran utilidad para comparar las características de filtración de distintos lodos provenientes de plantas potabilizadoras y determinar las necesidades de tratamiento para producir una torta que ofrezca mínima resistencia y optimizar el funcionamiento de la deshidratabilidad del lodo.

En el laboratorio, la prueba consiste en la filtración de un volumen (V) dado de lodo bajo una presión hasta que la torta es formada y no se puede filtrar

más. Posteriormente se quiebra como resultado de una caída de presión. La REF tiene ventajas sobre otras pruebas, una de ellas es la independencia de la concentración de los sólidos en el lodo y otra es la facilidad de aplicación a cualquier tipo de lodo.

Para determinar la resistencia específica a la filtración se sigue el procedimiento descrito anteriormente de filtración, midiendo el volumen de filtrado a diferentes tiempos. Con estos datos se construye una gráfica de volumen contra el cociente de tiempo entre volumen. La pendiente de la parte lineal de la curva obtenida es igual al coeficiente a , de la Ecuación 1, que corresponde a una linealización de la Ley de Poiseuille-D'Arcy donde se desprecia la resistencia del medio filtrante.

Ecuación 1

$$\frac{t}{v} = \frac{\eta C_r}{2PS^2} xv = av$$

Donde:

- t: tiempo (s)
- v: volumen de filtrado (m³)
- η : viscosidad dinámica del filtrado (a temperatura ambiente $\approx 1.1 \times 10^{-3}$ Pa-s)
- C: concentración de sólidos en el lodo (kg/m³), esta concentración de sólidos se define como:

se define como:

Ecuación 2

$$C = \frac{1}{\frac{C_1}{100 - C_1} - \frac{C_f}{100 - C_f}}$$

Donde:

- C_1 : humedad inicial del lodo que se somete a filtración.
- C_f : humedad final de la torta seca.
- S: superficie filtrante (m²)
- P: gradiente de presión (Pa)
- r: resistencia específica a la filtración (m/kg)

De esta forma se tiene que todos los elementos de la ecuación son conocidos y por tanto se puede despejar la REF (r).

NOTA: Los porcentajes de humedad c_1 y c_f se miden basados en el método estándar 2540 B (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2005.) llevando las muestras de lodo descargado y lodo deshidratado respectivamente a secar en estufa a 105°C en una cápsula de porcelana previamente pesada. Por diferencia de pesos al final se puede calcular el porcentaje de humedad.

2. Resultados y análisis

Para cada una de las plantas evaluadas se presenta el resultado de los ensayos de tratabilidad y de la caracterización de las tortas deshidratadas. Cada uno de los ensayos de tratabilidad se realizó por duplicado con el fin de validar y tener resultados más confiables. Los resultados presentados corresponden a los datos promedio resultantes de los ensayos y la desviación estándar para todas las muestras resultó ser despreciable. El resultado de caracterización se contrató con un laboratorio acreditado de acuerdo con lo regulado por las autoridades ambientales y por el Decreto 4741 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia.

2.1. Ensayos de Tratabilidad

En estos ensayos se midieron parámetros de sólidos sedimentables y resistencia específica a la filtración (REF) en función del tipo y la dosis del polímero. A continuación, se muestran los resultados por planta:

2.1.1. Planta San Cristóbal

De acuerdo con los gráficos 1 y 2, la resistencia específica a la filtración del lodo acondicionado mejora conforme se logra mayor deshidratación del lodo por sedimentación. Además, puede observarse que los lodos generados por los dos tipos de polímero evaluados presentan valores de REF y sólidos sedimentados similares.

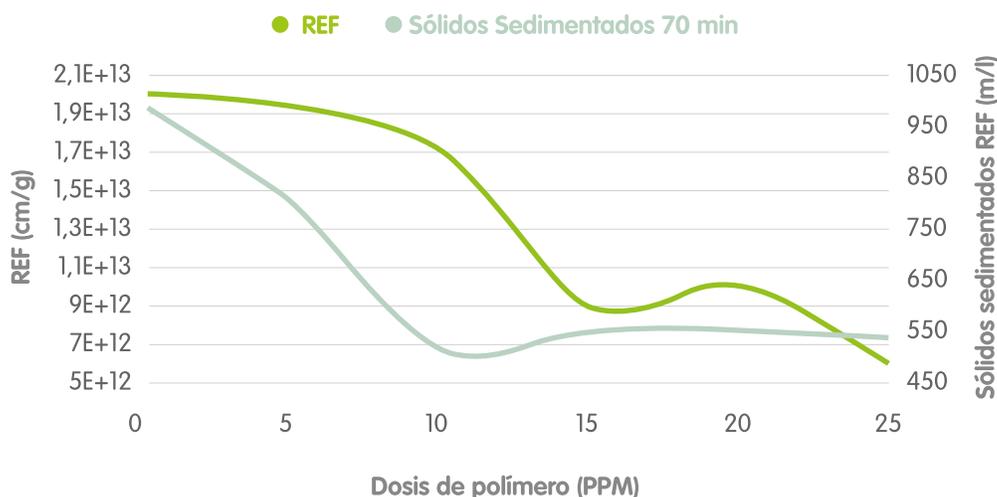


Gráfico 1. Sólidos sedimentados y REF POLIMERO DE AGUAS RESIDUALES, planta San Cristóbal

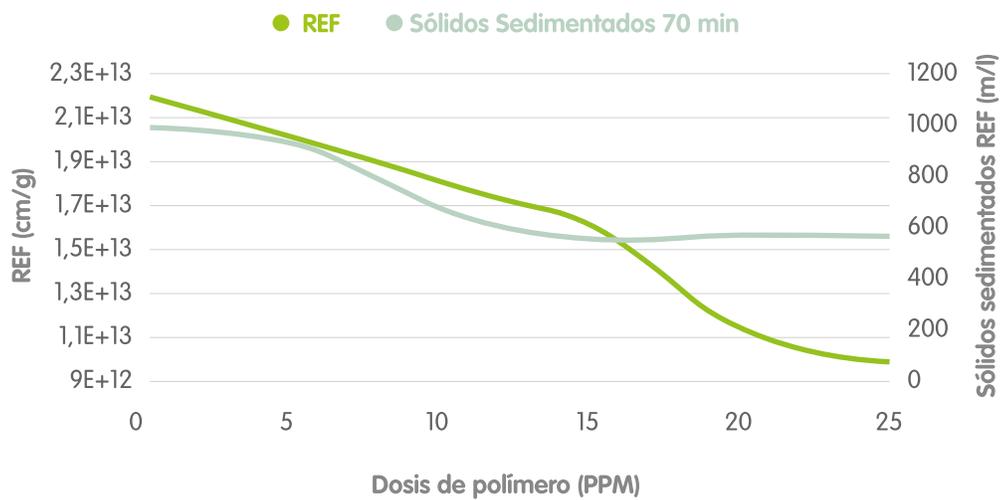


Gráfico 2. Sólidos sedimentados y REF POLIMERO DE PROCESO, planta San Cristóbal

2.1.2. Planta La Montaña

De acuerdo con los gráficos 3 y 4 que se muestran a continuación, la resistencia específica a la filtración del lodo acondicionado mejora conforme se logra mayor deshidratación del lodo

por sedimentación. Además, puede observarse que los lodos generados por los dos tipos de polímeros evaluados presentan valores de REF y sólidos sedimentados similares.

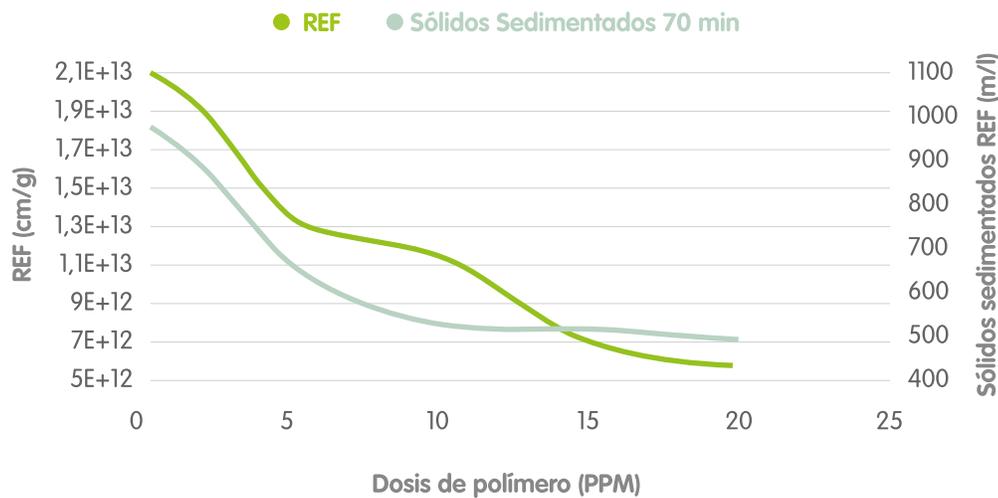


Gráfico 3. Sólidos sedimentados y REF POLIMERO DE AGUAS RESIDUALES, planta La Montaña

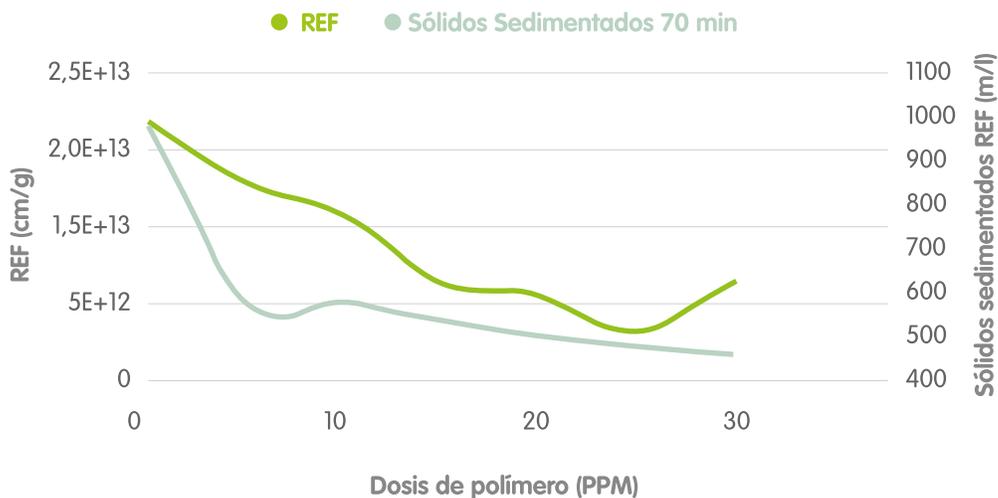


Gráfico 4. Sólidos sedimentados y REF POLIMERO DE PROCESO, planta La Montaña

2.1.3. Planta La Cascada

De acuerdo con los gráficos 5 y 6, la resistencia específica a la filtración del lodo acondicionado mejora conforme se logra mayor deshidratación

del lodo por sedimentación. Además, puede observarse que los lodos generados por los dos tipos de polímero evaluados presentan valores de REF y sólidos sedimentados similares.

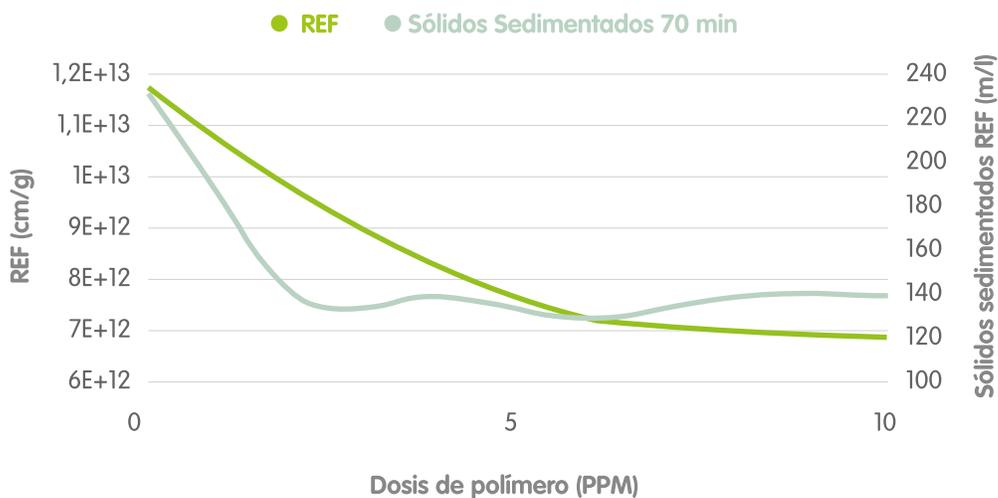


Gráfico 5. Sólidos sedimentados y REF POLIMERO DE AGUAS RESIDUALES, planta La Cascada

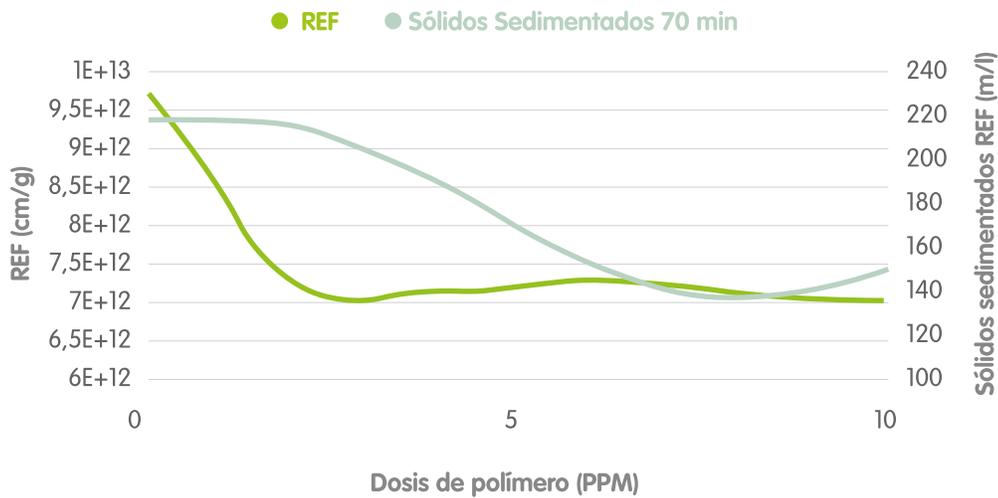


Gráfico 6. Sólidos sedimentados y REF POLIMERO DE PROCESO, planta La Cascada

2.1.4. Planta Villa Hermosa

De acuerdo con los gráficos 7 y 8, la resistencia específica a la filtración del lodo acondicionado mejora conforme se logra mayor deshidratación

del lodo por sedimentación. Además, puede observarse que los lodos generados por los dos tipos de polímeros evaluados presentan valores de REF y sólidos sedimentados similares.

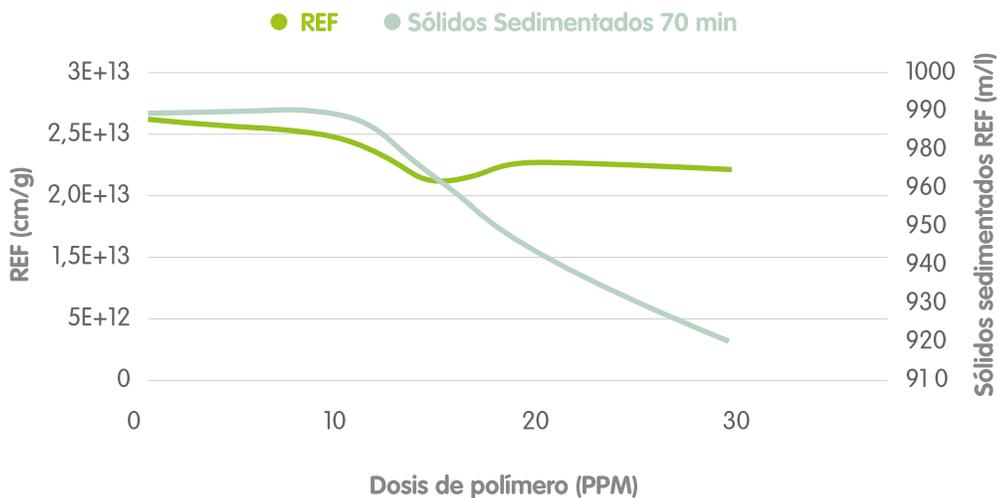


Gráfico 7. Sólidos sedimentados y REF POLIMERO DE AGUAS RESIDUALES, planta Villa Hermosa

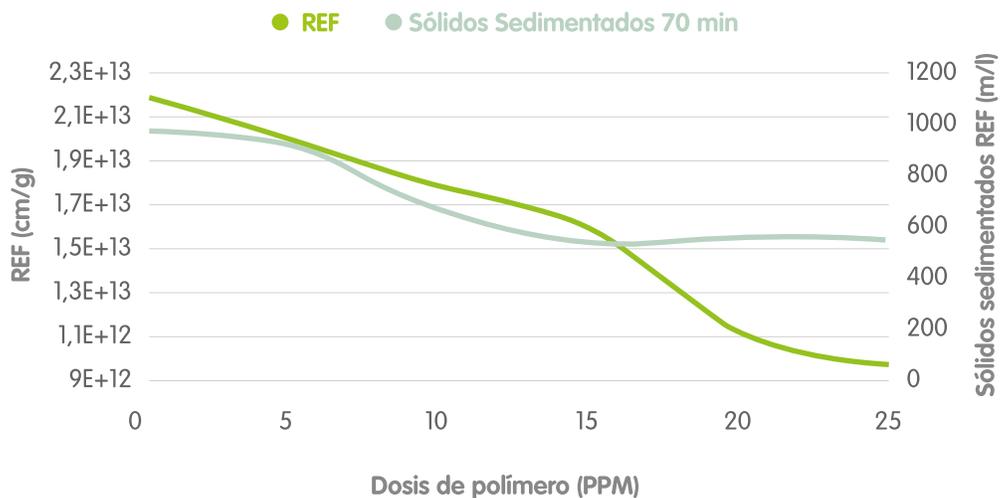


Gráfico 8. Sólidos sedimentados y REF POLIMERO DE PROCESO, planta Villa Hermosa

2.1.5. Planta Caldas

De acuerdo con los gráficos 9 y 10, la resistencia específica a la filtración del lodo acondicionado mejora conforme se logra mayor deshidratación

del lodo por sedimentación. Además, puede observarse que los lodos generados por los dos tipos de polímero evaluados presentan valores de REF y sólidos sedimentados similares.

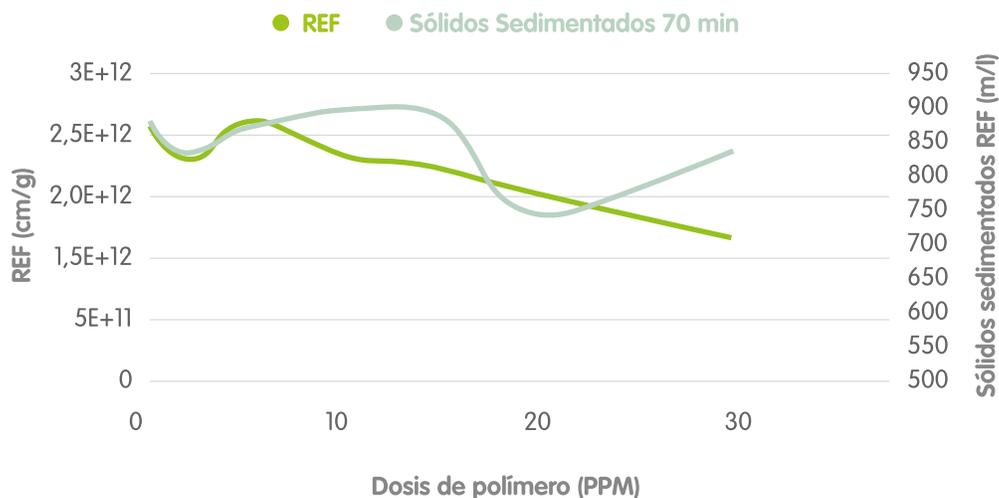


Gráfico 9. Sólidos sedimentados y REF POLIMERO DE AGUAS RESIDUALES, planta Caldas

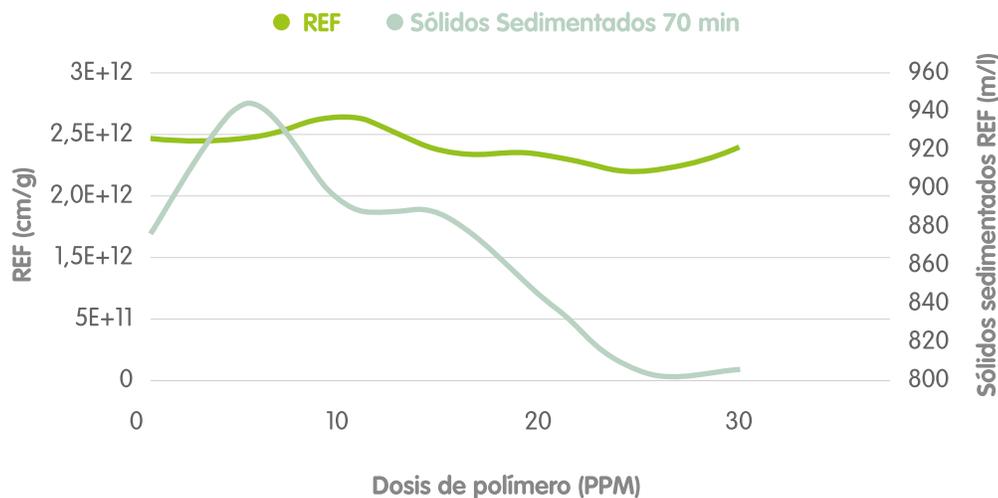


Gráfico 10. Sólidos sedimentados y REF POLIMERO DE PROCESO, planta Caldas

2.2. Conclusiones Ensayos de Tratabilidad

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de tratabilidad se puede concluir que ambos polímeros presentan comportamientos similares como acondicionadores y ayudantes de deshidratación de los lodos producidos en las plantas de potabilización San Cristóbal, La Montaña, La Cascada y Caldas. Por ello la elección del polímero

a usar debe obedecer a parámetros económicos y/o normativos del proceso de potabilización. Para la planta Villa Hermosa el polímero del proceso presentó un mejor comportamiento que el polímero de aguas residuales, el cual por su alta dosis no se recomienda. En la Tabla 3, se muestran las dosis recomendadas para cada planta.

Planta	Dosis (ppm)	
	SUPERFLOC C492 (POLÍMERO DE PROCESO)	ZETAG 8125 (POLÍMERO DE AGUAS RESIDUALES)
San Cristóbal	10	10
La Montaña	5	5
La Cascada	3	3
Villa Hermosa	20	-
Caldas	15	20

Tabla 3. Dosis óptimas halladas en los ensayos de tratabilidad

Para las plantas Caldas y Villa Hermosa las dosis recomendadas son bastante elevadas, lo cual puede indicar que la edad de lodo afecta su deshidratabilidad debido a que el descargue de sedimentadores de Villa Hermosa y Caldas no se hace de forma continua, como si se hace en las otras 3 plantas.

En la elección del tipo del polímero a usar en los sistemas de tratamiento de lodos debe tenerse especial cuidado si se pretende recircular al proceso las corrientes de agua clarificada y filtrada, puesto que todas las sustancias que ingresen al proceso

de potabilización deben cumplir con el certificado de seguridad alimentaria (NSF). Es de aclarar que el polímero de aguas residuales evaluado en los ensayos de tratabilidad no cuenta con dicho certificado.

También se puede inferir que para las plantas que tienen descargue de lodos continuos se puede observar que la dosis de polímero recomendada es proporcional a los sólidos totales del lodo de descargue de sedimentadores y éstos, a su vez, dependen de la calidad del agua natural, como se puede observar en los gráficos 11 y 12.

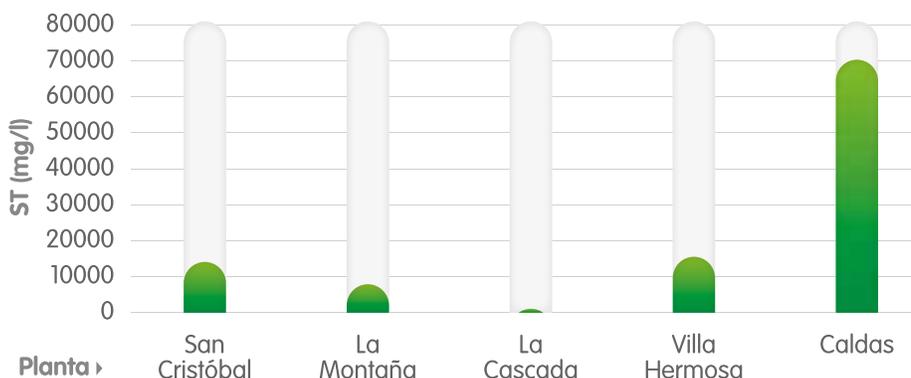


Gráfico 11. Sólidos totales del lodo de descargue de sedimentadores

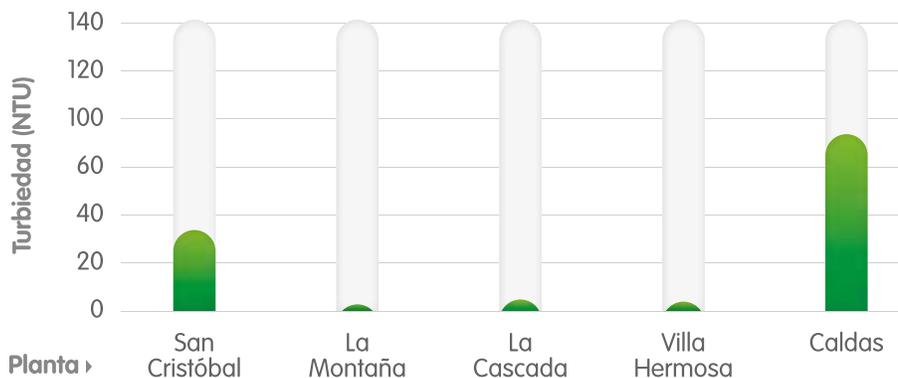


Gráfico 12. Turbiedad promedio 2013-2014 del Agua Natural

2.3. Caracterización del material deshidratado

2.3.1. Porcentaje de humedad

De acuerdo con los resultados obtenidos mostrados en el gráfico 13, puede relacionarse el porcentaje de humedad del material deshidratado con el tiempo que pasan los lodos en la planta antes de ser dispuestos. Para La Montaña y San Cristóbal, que tienen un período

de evacuación de lodos más corto, el porcentaje de humedad es mayor; caso contrario para las plantas Villa Hermosa y Caldas donde los lodos, una vez retirados del sistema de deshidratación, pasan bastante tiempo almacenados en costales hasta que se envían para su disposición final en una escombrera.

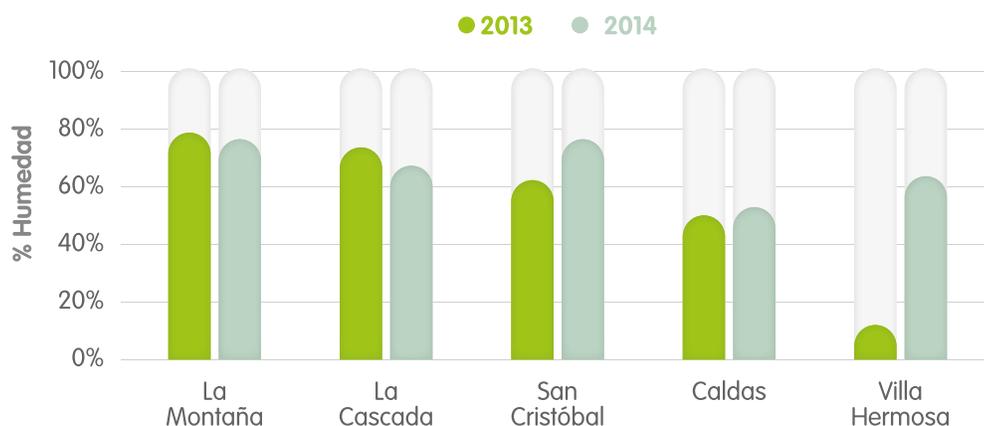


Gráfico 13. Porcentaje de humedad del material deshidratado

2.3.2. Pruebas CRTBE o CRETIIR

Para el material objeto de estudio, las características de Explosividad, Inflamabilidad y Radiactividad fueron descartadas debido a que dentro del proceso donde se generan no hay evidencia de una sustancia o contacto con un material que le puedan conferir alguna de estas propiedades. Esta decisión es tomada de acuerdo con el Decreto 4741 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia que estipula: "El generador podrá demostrar ante la autoridad ambiental que sus residuos no presentan ninguna característica de peligrosidad, para lo cual deberá efectuar la caracterización físico-química de sus

residuos o desechos. Para tal efecto, el generador podrá proponer a la autoridad ambiental los análisis de caracterización de peligrosidad a realizar, sobre la base del conocimiento de sus residuos y de los procesos que los generan, sin perjuicio de lo cual, la autoridad ambiental podrá exigir análisis adicionales o diferentes a los propuestos por el generador". (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2005).

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para las otras propiedades que se evalúan de acuerdo con lo establecido en el Decreto 4741 de 2005, para determinar si un residuo es peligroso.

Corrosividad

Como se puede observar en la Tabla 4, y de acuerdo con lo establecido Decreto 4741 de 2005, los lodos deshidratados de las plantas estudiadas se pueden

clasificar como No Corrosivos debido a que todos los materiales presentan un pH mayor que 2 y menor que 12.5.

PLANTA DE POTABILIZACIÓN					
CARACTERÍSTICA	SAN CRISTÓBAL	LA MONTAÑA	LA CASCADA	VILLA HERMOSA	CALDAS
pH-Residuo	Sulfato	Sulfato	Policloruro de	Sulfato	Policloruro de
pH-lixiviado	de Aluminio	de Aluminio	Aluminio (PAC)	de Aluminio	Aluminio (PAC)

Tabla 4. Análisis de corrosividad de los lodos

Reactividad

Como se puede observar en la Tabla 5 y de acuerdo con la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos), que establece que un residuo es

reactivo si presenta una concentración mayor a 250 CN-/Kg (b.s.) de cianuro reactivo y 500 S²-/Kg (b.s.) de sulfuro reactivo; se puede afirmar que todos los lodos estudiados son No Reactivos.

PLANTA DE POTABILIZACIÓN						
CARACTERÍSTICA	UNIDADES	SAN CRISTÓBAL	LA MONTAÑA	LA CASCADA	VILLA HERMOSA	CALDAS
CIANURO REACTIVO	CN-/Kg (b.s.)	<8	<8	<8	<8	<8
SULFURO REACTIVO	S ² -/Kg (b.s.)	<19	<19	<19	<19	<19

Tabla 5. Análisis de reactividad de los lodos

Toxicidad por metales pesados (extracción TCLP)

Como se puede observar en la Tabla 6, las concentraciones de los metales que son regulados por el Decreto 4741 de 2005, están muy por debajo

de los límites máximos permitidos, lo que indica que dichos lodos son No Tóxicos Por Presencia De Metales Pesados.

PARÁMETRO	DECRETO 4741/05	SAN CRISTÓBAL	LA MONTAÑA	LA CASCADA	VILLA HERMOSA	CALDAS
	Concentración (mg /L)					
Arsénico	5	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012
Bario	100	2,6	2,34	1,02	1,018	4,35
Cadmio	1	<0,034	<0,034	<0,034	<0,034	<0,034
Cromo Total	5	0,076	0,352	0,171	0,288	0,052
Mercurio	0,2	<0,083	<0,083	<0,083	<0,083	<0,083
Plata	5	<0,031	<0,031	<0,031	<0,031	<0,031
Plomo	5	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	0,017
Selenio	1	<0,036	<0,036	<0,036	<0,036	<0,036
Aluminio		508	1166	656	354	94,5
Bismuto		<0,011	<0,011	<0,011	0,014	0,024
Boro		<0,009	0,026	<0,009	<0,009	<0,009
Calcio		165	49	0,444	27,6	57,1
Cinc		0,642	0,136	0,22	0,499	0,08
Cobalto		0,007	0,102	0,013	0,198	0,055
Cobre		0,091	0,031	0,051	0,037	0,11
Estroncio		0,945	0,101	0,059	<0,006	0,581
Galio		0,036	0,294	0,091	0,429	0,127
Hierro		5,84	46,8	21,5	71,7	44,4
Indio		<0,044	<0,044	<0,044	<0,044	<0,044
Litio		<0,127	0,131	<0,127	<0,127	<0,127
Magnesio		35,5	13,7	5,78	3,22	39,4
Manganeso		12,4	59,4	3,97	41,1	22,2
Níquel		0,046	0,241	0,214	0,206	0,044
Potasio		14,3	4,48	3,53	2,2	5,68
Sodio		<58,7	<58,7	<58,7	<58,7	<58,7
Talio		<0,113	<0,113	<0,113	<0,113	<0,113

Tabla 6. Análisis de toxicidad por metales pesados de los lodos

De estos resultados se puede observar que:

- Las plantas de potabilización que presentan un mayor contenido de Hierro y Manganeseo son Villa Hermosa y la Montaña, por tanto, esta característica se asume que puede ser debido al tipo de fuente de agua natural, puesto que estas dos plantas son las únicas de las estudiadas que toman el agua natural de embalse.
- El contenido de Cromo y Níquel es considerablemente más bajo en las plantas Caldas y San Cristóbal, respecto a las otras plantas estudiadas. Esto es atribuible al coagulante usado en el proceso debido a que Caldas y San Cristóbal son las únicas plantas de las estudiadas que usan PAC como coagulante.

Riesgo Biológico

Como se muestra en el gráfico 14, todos los lodos estudiados No Contienen Agentes Patógenos en concentraciones como para causar enfermedades, por tanto, se puede afirmar que no presentan peligrosidad por ser Infecciosos. Además, puede observarse que para las plantas Caldas y Villa

Hermosa, que son las que cuentan con lecho de secado, se obtienen los menores valores de los bioindicadores. Esto indica que el tiempo que pasan los lodos a condiciones ambientales en el lecho de secado puede ayudar a inhibir la actividad biológica, caso que no pasa con los filtro-presas donde la deshidratación se hace de una forma más rápida.

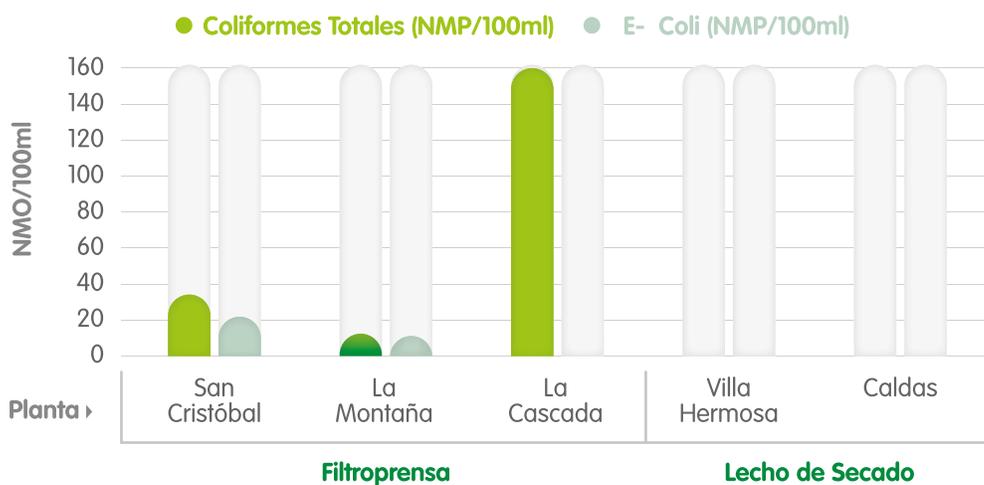


Gráfico 14. Análisis microbiológico del material deshidratado

En cuanto al riesgo biológico, también es de anotar que, en el análisis de Huevos del Helminto para todas las plantas, el resultado fue negativo excepto para Villa Hermosa, donde se evidencia presencia

de un huevo de Taenia s.p. Sin embargo, este hallazgo no es considerable debido a que según las disposiciones de la EPA se presenta riesgo cuando se encuentran más de quince huevos en una muestra.

Ecotoxicidad

De acuerdo con la Resolución 062 de 2007 del IDEAM, si el porcentaje de inmovilización de Daphnia es mayor o igual al 50%, el residuo es clasificado como Ecotóxico. Como se puede observar en el

gráfico 15, todos los materiales estudiados están por debajo de este límite y por tanto se puede afirmar que dichos residuos no presentan peligrosidad por ser Ecotóxicos.

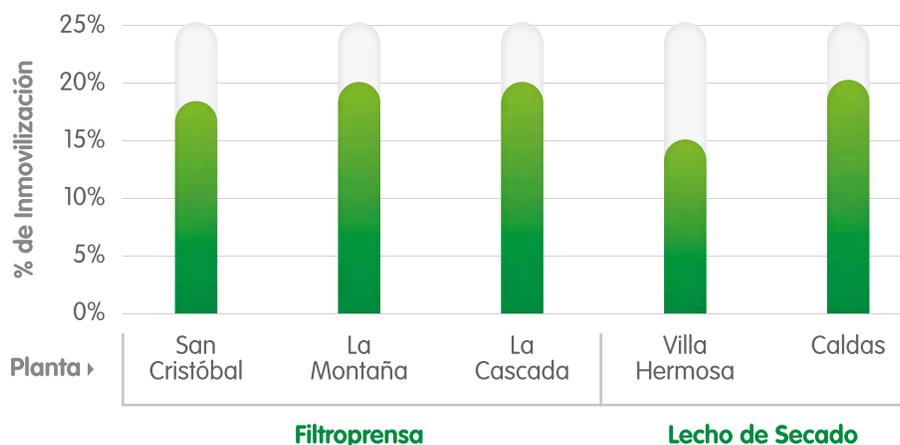


Gráfico 15. Análisis de ecotoxicidad de los lodos, porcentaje de inmovilización Daphnia Magna

2.3.3. Poder calorífico

Según los datos obtenidos de los lodos estudiados, mostrados en la Tabla 5, estos materiales no son viables para ser usados como combustibles debido al bajo poder calorífico que presentan. A modo de comparación puede mencionarse que los combustibles típicos no renovables como la antracita, que es el mejor carbón, presenta un PCI

= 33,30 MJ/kg, y el lignito, de peor calidad, tiene un PCI = 9,50 MJ/kg. Además, en la literatura se menciona que para que un material sea potencialmente usado como combustible debe presentar aproximadamente 10 MJ/kg. (Colomer Mendoza, Gallardo Izquierdo, Robles Martínez, Bovea, & Herrera Prats, 2010).

Poder Calorífico

Planta	(CAL/G)	(MJ/KG)
San Cristóbal	397	0,166
La Montaña	940	0,393
La Cascada	940	0,393
Villa Hermosa	577	0,241
Caldas	233	0,0975

Tabla 5. Resultados de poder calorífico del material deshidratado

Estos resultados tan bajos de poder calorífico de los lodos son atribuibles al alto contenido de humedad (aproximadamente el 70%) que presentan estos materiales. Una opción para mejorar este parámetro sería someterlos a un secado térmico que reduzca considerablemente la humedad. Sin embargo, y

según algunos trabajos previos, al realizar este procedimiento de secado se gasta más energía que la que puede entregar el residuo seco como combustible, por tanto, resulta inviable la utilización de estos tipos de materiales como combustibles.

Conclusiones

- Mediante los ensayos de tratabilidad fue posible simular a escala de laboratorio los sistemas de acondicionamiento y deshidratación de lodos usando dos tipos de polímeros, lo cual permitió encontrar las dosis de cada polímero que permiten un mejor funcionamiento del sistema de tratamiento de lodos en cada una de las plantas estudiadas.
- De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que la edad de los lodos en los sedimentadores es un parámetro que influye directamente en el sistema de acondicionamiento y deshidratación. Experimentalmente se encontró que lodos con menos tiempo de retención son más fáciles de deshidratar requiriendo una dosis más baja de polímero como acondicionante, por tanto, se recomienda hacer descargues tan continuos como las estructuras y el funcionamiento del proceso lo permitan.
- Según los resultados de caracterización obtenidos, se puede concluir que el lodo de cada planta presenta características diferentes que dependen de las particularidades de cada proceso de potabilización, siendo cada planta un sistema de estudio completamente independiente.
- De acuerdo con los resultados de caracterización de lodos, tortas y filtrados, se puede concluir que las condiciones propias del proceso de potabilización afectan de forma considerable la calidad de estos. En el caso de contenido de metales se pudo observar que de forma general los mayores contenidos se presentan para las plantas Villa Hermosa y Caldas, que son las plantas donde el descargue de lodos de sedimentadores no es continuo, además para los indicadores biológicos (coliformes y E-coli), se obtuvo que las plantas con lechos de secado presentan los menores valores.
- Con la caracterización de las tortas deshidratadas de las plantas estudiadas se puede concluir que dichos lodos No Son Corrosivos, No Son Reactivos, No Son Ecotóxicos, No Contienen Agentes Patógenos en Concentraciones como para causar Enfermedades y No Son Tóxicos Por Presencia De Metales Pesados. Por tanto, pueden ser potencialmente usados como materias primas en otros procesos productivos.

Referencias

- Arcos Pulido, M. d., Avila de Navia, S. L., Estupiñan Torres, S. M., & Gomez Prieto, A. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación e fuentes de agua. NOVA. Vol 3. N° 4, 69-79.
- Colomer Mendoza, F. J., Gallardo Izquierdo, A., Robles Martínez, F., Bovea, M., & Herrera Prats, L. (2010). Opciones de valorización de lodos de distintas estaciones depuradoras de aguas residuales. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 166-190.
- Garcés Arancibia, F., Díaz Aguirre, J. C., & Dellepiane Navarro, O. M. (1996). Acondicionamiento de lodos producidos en el tratamiento de agua potable. Santiago. Chile.
- Kaggwa, R., Mulalelo, C., Patrick, D., & Tom, O. (2001). The Impact of Alum ges on a Natural Tropical Wetland in Ugand. (Elsevier) 35, no. 3.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. (2005). Decreto 4741. Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia.
- Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. (s.f.). Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. Título C, sección 2. Bogotá, Colombia.
- Posada Ossa, J. I. (2014). Informe Parcial Empresas Públicas de Medellín. Medellín: Grupo de Investigaciones Ambientales - GIA.
- Salgar Hernández, J. G. (2006). Naturaleza de los lodos producidos en el proceso de potabilización en la planta bosconia utilizando sulfato de aluminio liquido como coagulante. Bucaramanga, Colombia.: Universidad Industrial de Santander.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (2005.). American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), and Water Environment Federation (WEF).

Cómo citar este artículo:

Mira, R., Llano, E. (2018). Estudios de tratabilidad y deshidratación de lodos producidos en plantas de potabilización. En: Revista EPM, (12) p.

Manejo Avanzado de la Red (MAR): Más de 10 años operando con el MAR la distribución de energía de EPM

Advanced Network Management (MAR): More than 10
years operating with the MAR the energy distribution of
EPM

María Elena Monsalve Vélez

Profesional informático Unidad Soluciones
de TI Operaciones e Ingeniería del Negocio,
EPM, Medellín

María.Monsalve.Velez@epm.com.co

Luis Bernardo Álvarez Pérez

Profesional Operaciones Negocios
Unidad Soporte Tecnología Operaciones
T&D Energía, EPM, Medellín

Luis.Alvarez.Perez@epm.com.co

Resumen

El 19 de febrero de 2007 y luego de un año y medio de desarrollo, entró en operación el Sistema MAR (Manejo Avanzado de la Red) para dar soporte a la operación de la red de distribución de energía de EPM. Este sistema desarrollado completamente con el conocimiento, talento y experiencia del personal de EPM permitió asimilar en junio de 2007 (cuatro (4) meses después), la operación de las redes de EADE, empresa adquirida y fusionada a EPM, para completar la gestión de las redes de distribución de energía del Departamento de Antioquia en un solo sistema. Posteriormente se implantó el MAR en la filial Edeq, empresa que opera con éste desde el 17 de mayo de 2011.



Desarrollado como un sistema amigable e intuitivo, basado en la visualización de las redes de energía, ha permitido la rápida adaptación a las reformas administrativas, cambios en la regulación y ha evolucionado para permanecer actualizado tecnológicamente.

Actualmente se está avanzando con el nuevo proyecto de Consolidación Centros de Control, el cual reemplazará en 2019 los sistemas DMS (MAR) y SCADA, con alcance de Grupo EPM en Colombia. El objetivo global del proyecto es consolidar los centros de control de los negocios del Grupo en Colombia, actualizando su infraestructura tecnológica y posibilitando su operación de forma eficiente, confiable y económica, usando una tecnología compartida.

El diseño conceptual de este proyecto de avanzada se enfoca en aspectos como modularidad, estandarización, interoperabilidad y seguridad.

Introducción

Para dar soporte a las actividades de operación de la red de distribución de energía se usan sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition System) y DMS (Distribution Management System).

El sistema SCADA permite la visualización y el control de todas las subestaciones y líneas de transmisión hasta los alimentadores y equipos de distribución. El sistema DMS da soporte a las actividades de operación en diagramas de la red de distribución, importados mediante una interfaz desde el GIS (Sistema de Información Geográfico). Incluye módulos como: atención de llamadas, despacho de cuadrillas, manejo de órdenes de trabajo (OTs), manejo de órdenes de maniobra, etc.; en un ambiente que integra el SCADA y la visualización de la red de distribución.

En el año 2005 se evaluó la herramienta en uso que daba soporte a la operación y se encontraron múltiples dificultades como: pérdida en el corto plazo de interfaces con otros sistemas de los cuales tomaba información (GIS, bases de datos, etc.) debido a los planes de migración de los mismos, pérdida de esos enlaces por obsolescencia del DMS, dificultades en la actualización del DMS, cambios en la regulación, mayores requerimientos y necesidad de integrar los nuevos desarrollos. Dichas evaluaciones dieron como resultado la necesidad urgente de renovar el DMS lo cual podría hacerse por compra de un nuevo software o desarrollarlo. En 2005 se decidió la construcción de un nuevo DMS, aprovechando la experiencia en operación de EPM. A este sistema se denominó MAR (Manejo Avanzado de la Red).

1. Características relevantes del MAR

El MAR es un sistema construido para ambiente Windows e integrado con el sistema SCADA para interactuar en tiempo real con los dispositivos de campo.

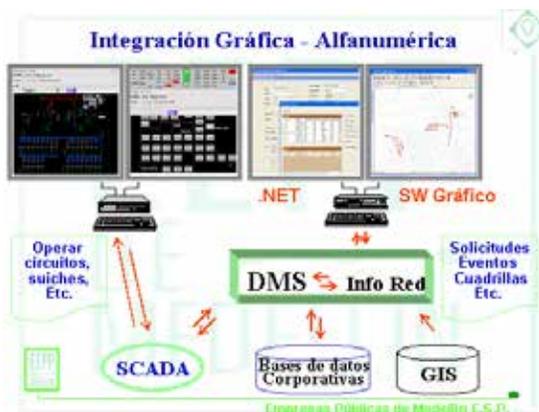
El operador de distribución de energía dispone de una estación de trabajo del SCADA y otra del MAR, cada una con dos monitores. En ellos se

pueden supervisar y efectuar todas las acciones de control requeridas para la operación de la red de distribución.

El núcleo del MAR es su modelo de la red de distribución. Todos los módulos están articulados sobre dicho modelo y usan la información de tiempo real para mantener una representación de la red en estado operativo, esto es, una red que refleja el estado actual de la red en campo.

Para construir dicho modelo de red se importa información del sistema GIS (Sigma para el caso de EPM) y desde otras bases de datos de EPM. Estas tareas se ejecutan automáticamente cada noche, con lo cual, se dispone de una versión permanentemente actualizada de la red.

El componente de software gráfico del MAR usa coordenadas geográficas (satelitales) para ubicar los elementos y ofrece funcionalidades como



mapas temáticos, consultas por múltiples criterios, localización y visualización de elementos, etc. En el sistema se hace énfasis en la visualización gráfica de

información: llamadas, eventos, cuadrillas y áreas sin servicio sobre la representación de la red.

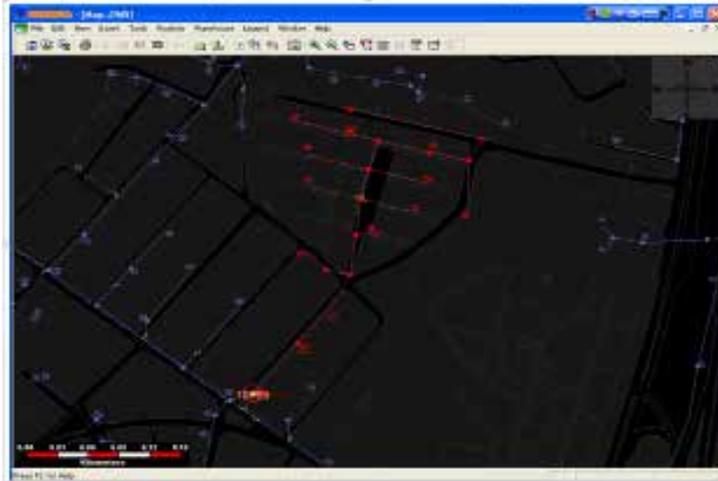


Imagen 1. Despliegue de un evento en MAR

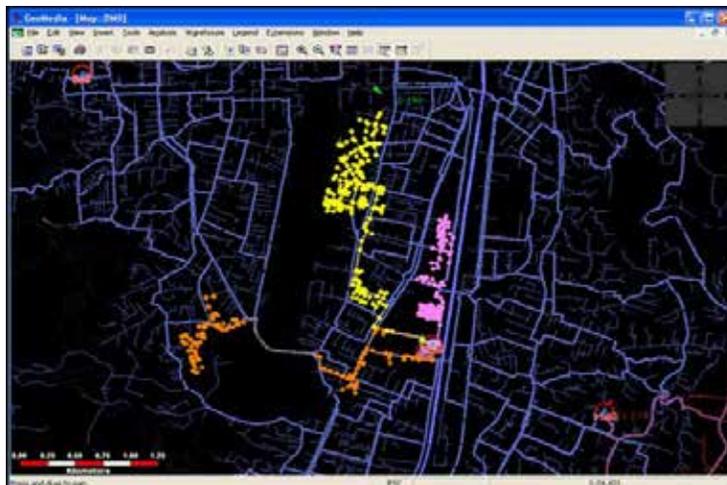


Imagen 2. Trace (resaltado) de red en MAR

En la Imagen 1 puede verse un evento. En rojo se observa la red y transformadores afectados, en azul la red aledaña en servicio, también se muestra la ubicación de los clientes que han llamado hasta el momento.

Sobre la red se pueden resaltar porciones de red, esto es, hacer diferentes seguimientos (o 'trace'). (Ver Imagen 2)

Esta opción permite resaltar sobre el visor gráfico de la red en estado operativa y en el color definido por el usuario, los elementos correspondientes al trace solicitado. Es posible realizar más de un trace y definir un color diferente para cada uno. Se pueden solicitar los siguientes tipos de Trace:

- **Trace Arriba:** Se resaltan todos los elementos que conforman el camino eléctrico desde la subestación hasta el elemento seleccionado por el usuario. Este tipo de Trace muestra cómo fluye la energía desde la fuente hasta el elemento deseado.
- **Trace Abajo:** Se resaltan todos los elementos ubicados aguas abajo del elemento seleccionado por el usuario. Este tipo de Trace muestra todos los elementos que se surten de energía desde el elemento deseado.
- **Trace Circuito:** Este tipo de Trace muestra todos los elementos que se surten de energía desde el mismo circuito que alimenta al elemento deseado.

- **Trace Troncal:** Este tipo de Trace resalta todos los tramos hacia las transferencias del circuito seleccionado hacia los circuitos aledaños.

El DMS se concibió no solo como sistema de soporte a la operación, se implementó como un sistema de apoyo a las actividades de EPM. El sistema es accesible en modo consulta desde la intranet para que el personal directivo, de mantenimiento, expansión, atención clientes, etc. pueda aprovechar la información en línea que provee el DMS para hacer sus consultas, evaluaciones y programar sus actividades.

En este nuevo DMS se hace un gran énfasis en mostrar de forma gráfica sobre la representación de la red los hechos relevantes para la operación: visualizar llamadas, eventos, OTs (órdenes de trabajo), cuadrillas, áreas y número de clientes sin servicio, etc. además de decidir y ejecutar acciones desde el ambiente gráfico.

2. Módulos de MAR

A continuación, se explican los principales módulos del MAR:

The screenshot shows a web-based form for client attention. It is organized into four main sections:

- Cliente:** Fields for Nombre, Apellido, Teléfono, Dirección (with a 'Sin Dirección' button), Pósta, and Tipo Cliente.
- Datos complementarios:** Fields for Número Instalación, Servicio Suscrito, Departamento, Municipio, Vereda, Barrio, Número de Llamadas, and Línea.
- Detalle Instalación:** Fields for Circuito, Área, Nodo Transformador, Nro de facturas sin cancelar, Fecha última factura cancelada, Influencia, and Fecha Desconexión.
- Información Adicional:** Fields for Evento, Causa, Tipo, and Orden de Trabajo. It also includes links for 'Ver Evento Vigente', 'Ver Suspensión Programada', 'Ver Eventos Terminados', and 'Ingresar/Modificar Solicitud de Servicio', along with a 'Ver Orden de Trabajo' link.

At the bottom of the form are three buttons: 'Consultar', 'Limpiar', and 'Salir'.

Imagen 3. Módulo Atención Clientes

- **Módulo Atención Clientes**
Esta opción del Sistema permite a las recepcionistas, tanto en el Contact Center como en las sedes o despachos, realizar la consulta de los clientes o usuarios de la Empresa, ingresar solicitudes de atención, dar información sobre suspensiones vigentes o programadas y consultar el estado de la atención.

- **Módulo Gestión Operación**
Con este módulo se visualizan los eventos vigentes del sistema, los cuales se encuentran en estado activo o en ejecución. También permite para los eventos vigentes ver información adicional como solicitudes asociadas, cuadrillas asignadas, estado de la reparación y la información relacionada con cada evento (cantidad de clientes afectados, tipo de clientes, tiempo sin servicio, etc.); ingresar eventos de forma manual, ubicar el evento en el visor de la red, modificar y cancelar eventos que se encuentran registrados en el sistema. También es posible crear las órdenes de trabajo o asignaciones a las cuadrillas para su ejecución en campo.

- **Módulo Gestión Móviles**
El sistema presenta una lista con todas las cuadrillas registradas en el sistema, las cuales pueden ser asignadas a los diferentes eventos que lo requieran. La información se envía directamente a la terminal móvil de la cuadrilla.

Se lleva un registro de las acciones realizadas por las cuadrillas, los materiales usados, los tiempos asociados a la reparación, etc.

- **Módulo Calidad del servicio**
Permite calcular los indicadores de calidad del servicio y entrega los formatos exigidos por el regulador.
- **Módulo Trabajos Programados**
Toda intervención de la red para mantenimiento o expansión requiere el trámite de un trabajo programado. Este módulo permite crear un trabajo programado, hacer todas las gestiones para su revisión y aprobación, y finalmente apoya al operador durante la ejecución de los mismos.

- **Orden de Maniobra Programada - OMP**
Esta opción permite ingresar, modificar, cancelar, duplicar y simular las órdenes de maniobras programadas o pasos de ejecución de acciones de control sobre los elementos de campo. Estas secuencias de maniobras se requieren bien sea para energizar o para transferir energía entre circuitos.

- **Restablecimiento Optimo del servicio - ROS**
Módulo que permite analizar la red de distribución y apoyar al analista en la solución de las contingencias que puedan presentarse en la red. El analista determina los sitios y condiciones de ocurrencia de posibles problemas en la red (fallos de subestaciones o líneas) y con apoyo de este módulo determina la secuencia de maniobras óptima para restablecer el servicio a la mayor cantidad de clientes posibles. Los casos analizados se almacenan en un repositorio de soluciones que permitiría agilizar su atención en caso de que se presente alguno de ellos.

- **Integraciones y plataforma**
El MAR se ha integrado con información de otros sistemas propios de EPM y plataformas estándares recientemente adquiridas. Por ser un desarrollo personalizado las integraciones se han realizado de manera simple utilizando diferentes herramientas y estrategias según cada caso.

Las integraciones iniciales con los sistemas de EPM GDE y OPEN se construyeron mediante enlaces directos a sus bases de datos. La integración con SCADA se implementó con protocolo ICCP (Inter Control Center Protocol), para entregar información en tiempo real a MAR y a otros sistemas interesados.

La Integración con One World (OW) fue implementada utilizando ISS (Integration Services System) para entregar a OW información de las órdenes de trabajo gestionadas durante el día. Este proceso se realiza todas las noches.

Las integraciones más recientes utilizan el bus de datos empresarial (Biztalk de Microsoft) consumiendo y exponiendo servicios WCF (Windows Communication

Foundation) para la comunicación: Integración con FSM, sistema responsable de la asignación y optimización de cuadrillas y con el cual se intercambia información sobre la ejecución de órdenes de trabajo y por otro lado la Integración con EAM-Máximo, sistema responsable del mantenimiento de activos y con el que se intercambia información para la aprobación de trabajos programados y para la intervención a activos del sistema eléctrico.

MAR es un sistema cliente servidor desarrollado en 3 niveles: Base de Datos, Servicios y Cliente; cuenta adicionalmente con un cliente liviano para trabajo en terreno y diferentes herramientas para visualización de la red tales como: Geomedia, Map Server y ArcGis.

MAR utiliza tecnologías abiertas que permiten la actualización permanente de versiones. Está desarrollada en C# de Visual Studio .NET para aplicación y servicios, y soportado en una Base de Datos Oracle, evolucionada constantemente a versiones según al ritmo de la tecnología.

3. Proyecto Consolidación Centros de Control

El objetivo global del proyecto es consolidar los centros de control de los negocios del Grupo en Colombia, actualizando su infraestructura tecnológica y locativa para soportar, en tiempo real, las funciones de protección, control, monitoreo y medición asociadas a las infraestructuras de campo de los negocios, posibilitando su operación de forma eficiente, confiable y económica, usando una tecnología compartida.

El Proyecto Consolidación Centros de Control busca actualizar la plataforma tecnológica de SCADA y de las aplicaciones asociadas para la gestión operativa de los negocios de Electricidad, Agua y Gas del Grupo EPM en Colombia.

La atención de todos los negocios y regiones del Grupo EPM ha derivado en una gran diversidad de aplicaciones y sistemas SCADA de diferentes fabricantes, arquitecturas, tecnologías y grados de obsolescencia.

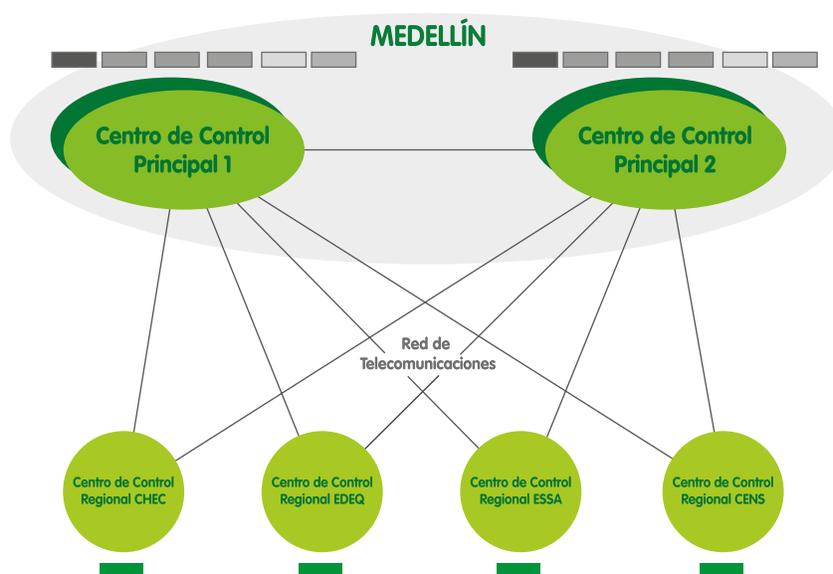


Gráfico 1. Arquitectura del sistema

Teniendo en cuenta el tamaño, el crecimiento de la empresa, la criticidad de los servicios que presta, la variedad de los negocios y el número de regiones involucradas, el Grupo EPM ha buscado la optimización de la operación de sus infraestructuras, implementando nuevas tecnologías que permitan una operación multiservicios centralizada usando una plataforma SCADA y aplicaciones avanzadas

comunes. Además, para afrontar los cambios tecnológicos que vienen sucediendo y la continua variación en las exigencias regulatorias, se requiere contar con una gestión más integrada de los diferentes sistemas, buscar sinergias tanto tecnológicas como de optimización de recursos y minimizar los riesgos operacionales de los sistemas.

Conclusiones

- Con la entrada en operación de este proyecto, se reemplazará el MAR y los demás sistemas que cumplen esta función de apoyo a la operación en las filiales nacionales.
- Se contará con un sistema único para la atención de eventos, llamadas y en general para la operación de las redes de distribución.
- Podremos avanzar en la consolidación de la operación de las redes, compartir la misma tecnología, contratos de soporte y actualización. Lo más importante, podremos consolidar la información operativa y obtener estadísticas de Grupo.
- Con esto, culminará el brillante camino del MAR, dando soporte a la operación del sistema de distribución energía y se cerrará otro capítulo en que la ingeniería de EPM brindó soluciones de avanzada por más de 10 años para el servicio de EPM.

Cómo citar este artículo:

Monsalve Vélez, M. E., Álvarez Pérez, L. B. (2018). Manejo Avanzado de la Red (MAR): Más de 10 años operando con el MAR la distribución de energía de EPM. En: Revista EPM, (12). p.

Información sobre la revista EPM

Luz Beatriz Rodas Guerrero

Profesional Gestión Humana y Organizacional

Teléfonos. 380 6341 - 380 6523

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

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

estamos ahí. comprometidos con el cuidado del medio ambiente.



estamos ahí.