

Revista

epm[®]

Publicación especializada en la gestión de servicios públicos

La diversidad, la equidad y la inclusión evolucionan en EPM

No. 24 | Julio - Diciembre 2024

Planta de Biometano San Fernando. Una innovación de proceso amigable con el ambiente y que promueve la economía circular

Trabajos subacuáticos con equipos hidromecánicos para rehabilitación y mantenimiento de túneles y estructuras de captación en proyectos de aprovechamiento hidráulico





energía | gas natural | aguas

Revista EPM No. 24
Julio – diciembre 2024
ISSN: 2145-1524

GRUPO DIRECTIVO EPM:

Jhon Alberto Maya Salazar

Gerente General

Gabriel Velásquez Restrepo (E)

Secretaria General

Margarita Maria Salazar Henao (E)

Vicepresidenta Ejecutivo Gestión de Negocios

Alejandro Jaramillo Arango (E)

Vicepresidente Ejecutivo Nuevos Negocios, Innovación y Tecnología

Adriana Janeth Pulgarín Piedrahíta (E)

Vicepresidenta Ejecutivo Proyectos e Ingeniería

Diana Rúa Jaramillo

Vicepresidente Ejecutivo Finanzas Corporativas e Inversiones

Carlos Israel Orduz Aguilar

Vicepresidente Generación Energía

John Jairo Celis Restrepo (E)

Vicepresidente Transmisión y Distribución Energía

Diego Humberto Montoya Mesa

Vicepresidente Gas

Santiago Ochoa Posada

Vicepresidente Agua y Saneamiento

William Giraldo Jiménez

Vicepresidente Proyectos Generación Energía

Juan Felipe Valencia Gaviria

Vicepresidente Comercial

Sebastián Méndez Agudelo (E)

Vicepresidente Crecimiento Negocios

Adriana María Palau Ángel (E)

Vicepresidenta Sostenibilidad y estrategia

María Patricia Giraldo Velásquez

Vicepresidenta Experiencia del Empleado y Soluciones Organizacionales

Humberto Iglesias Gómez

Vicepresidente Suministros y Servicios Compartidos

Gabriel Jaime Velásquez Restrepo

Vicepresidente Asuntos Legales

Mónica Julieta Pinzón Bueno

Vicepresidenta Comunicación y Relaciones Corporativas

Angela Vergara Jaller (E)

Vicepresidenta Riesgos

Gustavo Alejandro Gallego Hernández

Vicepresidente Auditoría Corporativa

Edición y coordinación de la Revista EPM:

Carolina Urrea Ernotte (E)

Unidad de Talento Humano

Evelyn Correa Zabala

Profesional Desarrollo Humano

Diego León Salazar Vargas

Gerencia Comunicación Corporativa

Paola Andrea Valencia Valencia

Gerencia Identidad Corporativa

Equipo editorial Biblioteca EPM

Amparo Eliza Peña Peña

Dahianna Elisey Moreno

Alejandro Ruiz Bonilla

Stevens Aguirre Pérez

Catalina Cardona Otálvaro

Ana Lorena González García

Alejandra Acevedo Sánchez

Leidy Marian Martínez Toro

Elkin Gabriel Parra Calderón

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

Presentación

En esta vigésima cuarta edición de la Revista EPM, celebramos un espacio donde convergen la innovación, la evolución y el compromiso con la diversidad, equidad e inclusión. En EPM, creemos firmemente en la importancia de fortalecer nuestras relaciones con nuestras filiales, grupos de interés, instituciones educativas y comunidades. Esta revista es un reflejo de nuestro esfuerzo continuo por compartir conocimientos y experiencias que contribuyen al bienestar social y al desarrollo sostenible.

En cada página de esta edición, encontrarás historias inspiradoras y proyectos innovadores que demuestran nuestro compromiso con un futuro más justo y equitativo. Desde iniciativas de sostenibilidad ambiental hasta programas de inclusión social, cada artículo refleja nuestra dedicación a crear un impacto positivo en la sociedad. Te invitamos a unirte en este viaje de aprendizaje y crecimiento, donde cada conocimiento cuenta para contribuir a la armonía de la vida para un mundo mejor.

A lo largo de estas páginas, vas a embarcarte en un viaje a través de diversas iniciativas y proyectos que demuestran cómo la innovación y la evolución se entrelazan en nuestras prácticas diarias. Comenzamos explorando *la importancia de desarrollar y aplicar nuevos indicadores y metodologías para medir la innovación en el ámbito empresarial*, estos avances son cruciales no solo para el crecimiento y la competitividad, sino también para mantenerse a la vanguardia en un mundo empresarial en constante cambio.

La transformación organizacional es otro pilar fundamental en nuestro camino hacia la excelencia. En este sentido, *la implementación del Teletrabajo en la filial CHEC basado en la confianza* se destaca como una iniciativa que ha revolucionado la forma en que trabajamos, esta modalidad no solo ha mejorado significativamente la calidad de vida de los empleados, permitiéndoles un mejor equilibrio entre la vida laboral y personal, sino que también ha demostrado ser una estrategia eficaz para mantener altos niveles de productividad y satisfacción laboral.

En nuestro compromiso con la sostenibilidad y la economía circular, *el proyecto de Biometano San Fernando* se erige como un ejemplo de innovación y responsabilidad ambiental. El aprovechamiento del biogás en la Planta de Aguas Residuales San Fernando no solo contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también genera energía limpia y renovable, impulsando así un modelo económico más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

La innovación también se manifiesta en las soluciones técnicas y operativas. *La rehabilitación subacuática en nuestras centrales hidroeléctricas*, mediante el uso de equipos hidromecánicos, representa una solución avanzada para el mantenimiento y rehabilitación de estructuras críticas. Este enfoque no solo garantiza la eficiencia y seguridad de nuestras operaciones, sino que también prolonga la vida útil de nuestras infraestructuras, asegurando un suministro energético confiable y sostenible.

En el ámbito de *la diversidad, la equidad y la inclusión* contamos cómo ha evolucionado EPM en la implementación de acciones afirmativas y buenas prácticas en equidad de género y discapacidad; así mismo, destacamos de la biblioteca EPM el *proyecto AccessBot, una herramienta electrónica educativa diseñado para personas con discapacidad visual*, esta iniciativa abre nuevas oportunidades para que estas personas participen activamente en el aprendizaje y desarrollo tecnológico, derribando barreras y fomentando un entorno educativo más inclusivo y accesible para todos.

Esperamos que los conocimientos y estrategias presentados en esta edición enriquezcan tu perspectiva y te proporcionen herramientas valiosas para fortalecer tu gestión institucional. Que este intercambio de sabiduría impulse tu éxito y el de nuestra organización hacia nuevos horizontes. Cada artículo ha sido cuidadosamente seleccionado y elaborado para ofrecerte una visión integral de cómo en EPM estamos comprometidos con la innovación, la sostenibilidad y la inclusión, y cómo estos valores se reflejan en nuestras acciones diarias.

Comité Editorial Revista EPM

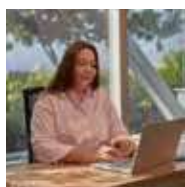
Contenido



Importancia de la medición de la innovación empresarial: reflexiones sobre indicadores y metodologías en la última década.

Importance of measuring business innovation: reflections on indicators and methodologies in the last decade.

PAG 06



Evolución de la gestión organizacional: Cómo CHEC adopta un modelo de trabajo basado en la confianza

Evolution of organizational management: How CHEC adopts a trust-based work model

PAG 15



La diversidad, la equidad y la inclusión evolucionan en EPM

Diversity, Equity and Inclusion are evolving at EPM

PAG 31



Planta de Biometano San Fernando. Una innovación de proceso amigable con el ambiente y que promueve la economía circular

San Fernando Biomethane Plant. An environmentally friendly process innovation that promotes the circular economy

PAG 41



Trabajos subacuáticos con equipos hidromecánicos para rehabilitación y mantenimiento de túneles y estructuras de captación en proyectos de aprovechamiento hidráulico

Underwater works with hydromechanical equipments for rehabilitation and maintenance of tunnels and intakes in hydraulic projects

PAG 51



AccesBot: electrónica educativa para personas con discapacidad visual

AccessBot: educational electronics for visually impaired individuals

PAG 65



Importancia de la medición de la innovación empresarial: reflexiones sobre indicadores y metodologías en la última década

Importance of measuring business innovation: reflections on indicators and methodologies in the last decade

**Enrique
Villa Pérez**
Gerencia Nuevas
Soluciones, EPM

enrique.villa@epm.com.co

Resumen

El presente artículo examina la medición de la innovación en el ámbito empresarial, con el propósito de profundizar en la comprensión de los indicadores y metodologías aplicadas para este fin. Se ha realizado una revisión sistemática de literatura en las bases de datos Web of Science y Scopus, abarcando publicaciones de los últimos diez años, incluyendo revistas, actas de conferencias y capítulos de libros. A través de este análisis, se ha evidenciado que la innovación continúa siendo un componente esencial en el entorno empresarial, y que el desarrollo de indicadores

para su medición ha progresado notablemente en las últimas décadas. Sin embargo, se han identificado deficiencias en la estandarización de la medición, destacando la necesidad de metodologías comparativas y estándares que faciliten el análisis en diversos sectores económicos. El documento concluye subrayando la relevancia de la innovación para el crecimiento económico y la importancia de fomentar debates que permitan compartir experiencias y perspectivas sobre la innovación en el ámbito empresarial.

Palabras clave:

Bibliometría, Indicadores de innovación, Innovación empresarial, Medición de la innovación empresarial, Variables de la innovación empresarial

Keywords:

Bibliometrics, Innovation indicators, Business innovation, Business innovation measurement, Business innovation variables

Introducción

La innovación se conceptualiza como un proceso mediante el cual se desarrollan o mejoran productos, servicios o procesos, con el fin de lograr un posicionamiento competitivo en el mercado. Este proceso implica la generación y aplicación efectiva de nuevo conocimiento para crear valor tanto para la organización como para sus clientes (Sohn et al., 2016). La relevancia de la innovación reside en su capacidad para fomentar el crecimiento económico, la sostenibilidad y el bienestar social, constituyendo un elemento central en las estrategias de desarrollo y políticas públicas (OECD/Eurostat, 2018).

El Manual de Oslo 2018 ofrece un marco conceptual para la medición de la innovación en el sector empresarial, estableciendo definiciones y metodologías que han sido adoptadas internacionalmente. No obstante, se ha identificado una carencia en la estandarización de la medición de la innovación en otros sectores, como el público y el de hogares, lo que representa un desafío para el análisis integral de la innovación en la economía (Gault, 2018).

A pesar de la importancia de la innovación para alcanzar ventajas competitivas por parte de empresas y países, se resalta la necesidad de espacios de debate y reflexión que permitan compartir experiencias y perspectivas sobre la innovación, especialmente aquellas que afectan a comunidades rurales y campesinas (Pan et al., 2019).

Finalmente, se reconoce que la evaluación de la innovación dentro del sector corporativo es una disciplina esencial que permite comprender las dinámicas y consecuencias de la innovación en el progreso económico y la estructura social. El análisis de la literatura ha revelado tanto avances como deficiencias en la cuantificación de la innovación, subrayando la necesidad de formular y adoptar métodos y normativas que promuevan un estudio comparativo eficaz y una mayor comprensión de la innovación a través de los diversos ámbitos económicos.

Reflexión

En la elaboración de este artículo se ha procedido a la identificación y análisis de literatura científica que aborda la medición de la innovación, destacando la diversidad de metodologías y variables empleadas en distintos contextos geográficos y organizacionales. Se ha constatado la existencia de estudios que exploran la gestión de nuevas tecnologías, el proceso de innovación y las actividades innovadoras, así como los factores de mercado que influyen en estos procesos. Asimismo, se han examinado trabajos que se enfocan en las capacidades tecnológicas, la competitividad y la brecha tecnológica, junto con los indicadores de innovación pertinentes (Melo et al., 2017).

En la literatura científica se ha identificado la gestión del conocimiento como un área significativa para la medición de la innovación, donde se han abordado diversas metodologías y variables empleadas en diferentes contextos organizacionales y geográficos.

Esto se ha evidenciado a través de estudios que examinan la gestión de nuevas tecnologías y procesos innovadores, así como las actividades relacionadas con la innovación y los factores de mercado que influyen en estos procesos (Alsereihy y Harasani, 2021). Además, se ha encontrado que la cultura organizacional y la transferencia de conocimiento juegan un papel crucial en la competitividad de las organizaciones, tal como lo demuestran las investigaciones sobre la miopía gerencial y el control corporativo (Denlertchaikul et al., 2022).

Sin embargo, se ha detectado una carencia en la literatura respecto a estudios que aborden específicamente el desempeño de la innovación dentro de la industria, lo que representa una limitación importante en la comprensión completa de la innovación en contextos industriales (Dobni y Klassen, 2021). Esta falta de investigaciones detalladas sugiere la necesidad de un enfoque más

robusto que incluya el desempeño de la innovación como un factor clave en los estudios futuros. La literatura revisada hasta ahora no solo enfatiza la importancia de la innovación en el ámbito organizacional, sino que también resalta la necesidad de establecer un marco metodológico coherente que permita una evaluación más estandarizada y precisa de la innovación en diversos sectores económicos.

En lo que respecta a la gestión general, se han identificado artículos que proporcionan datos relevantes para la evaluación del desempeño innovador de las organizaciones. La medición del desempeño innovador se realiza mediante el seguimiento de Indicadores Clave de Desempeño (KPI), tanto cuantitativos como cualitativos, que son fundamentales para la operatividad efectiva de las organizaciones. Los KPI de innovación son herramientas que permiten a los gerentes comprender las fortalezas y debilidades de sus organizaciones, identificar áreas de mejora y monitorear el éxito de las iniciativas (Jong, 2021).

Se ha concluido que el desempeño de la innovación no puede ser evaluado adecuadamente mediante un único indicador. De acuerdo con Acevedo et al. (2017), la evaluación del desempeño de la innovación debe ser abordada como un proceso complejo que integra un conjunto de indicadores relacionados con las estrategias, procesos y productos de la organización.

En el proceso de evaluación del desempeño de la innovación, se enfrentan desafíos significativos. Por un lado, se encuentra la necesidad de identificar y formular indicadores que sean adecuados para dicha evaluación. Por otro lado, se requiere el establecimiento de métodos que permitan cuantificar y medir la innovación en función de los indicadores seleccionados (Acevedo et al., 2017). Se entiende por indicador aquel instrumento que sirve para medir y señalar el desempeño y el éxito, mientras que una métrica se refiere a un juicio, expresado numéricamente o cualitativamente, que se emplea para seguir el desempeño y el progreso (Almeida et al., 2019).

A pesar de la existencia de indicadores clave de rendimiento para medir el desempeño de la innovación, persiste una falta de consenso respecto a

qué aspectos deben ser medidos y cómo debe realizarse dicha medición (Dziallas y Blind, 2019). Aunque la medición directa del rendimiento financiero podría considerarse un indicador simple, investigaciones previas han demostrado que las medidas financieras no siempre son representativas de la innovación. Por tanto, la selección de indicadores no debe basarse exclusivamente en su capacidad de ser medidos, especialmente en el contexto de la innovación (Henttonen et al., 2016).

En la práctica, los gerentes recurren a una serie de métricas para evaluar la innovación dentro de sus organizaciones. Acorde Zihan et al., 2013, entre estas métricas se encuentran las ventas de nuevos productos, el crecimiento de los ingresos, el registro de patentes, los gastos en investigación y desarrollo (I+D) y las marcas registradas. Aunque estas medidas son útiles, no siempre reflejan directamente el nivel de innovación alcanzado. La evaluación de la innovación requiere el uso de múltiples indicadores, cuya cantidad se recomienda limitar a un máximo de diez para optimizar su eficiencia y efectividad tanto a nivel de proyecto como organizacional. Al aplicar enfoques cualitativos y cuantitativos, los indicadores cuantitativos, aunque son fáciles de medir y seguir, requieren una interpretación cuidadosa y no deben ser considerados como medidas absolutas de éxito en todas las circunstancias. La complejidad de la innovación sugiere que para obtener una evaluación completa, se debe considerar un enfoque integral que contemple tanto los aspectos tangibles como intangibles del proceso innovador.

Jin y Choi (2019) señalan que la innovación puede conllevar riesgos y alterar las operaciones organizacionales, y su impacto en el desempeño empresarial es complejo de medir y predecir. Aunque puede resultar beneficiosa para la organización, su impacto real puede no ser medible hasta varios años después. Asimismo, Chiang et al. (2019) advierten que un análisis cuantitativo unidimensional puede inducir a un sesgo en la medición de la innovación organizacional. Por lo tanto, el desempeño de la innovación debe ser evaluado en relación con el modelo corporativo de innovación y el proceso de acumulación creativa dentro de la organización, considerando los criterios de medición a nivel de gestión (Wojan, 2022).

La calidad de la evaluación del desempeño de la innovación depende en gran medida de los juicios e interpretaciones de expertos. Los criterios empleados deben ser sencillos y de fácil evaluación, y los expertos más idóneos para proporcionar dichos juicios son aquellos profesionales con experiencia práctica y perspectivas informadas. Se recomienda no sobrecargar al tomador de decisiones con un exceso de indicadores, ya que esto puede conducir a información confusa o contradictoria. (Prieto et al., 2015).

En el contexto de la evaluación del desempeño de la innovación, se ha identificado que la complejidad inherente a este proceso exige la utilización de un conjunto de indicadores. Se ha sugerido que la cantidad de indicadores empleados sea restringida, oscilando entre cinco y diez, para optimizar la eficacia y eficiencia de la evaluación. Se subraya la importancia de no limitar la medición a indicadores cuantitativos, sino de incorporar también indicadores cualitativos que sean comprensibles para los expertos, aunque la precisión de estos últimos depende de la calidad de las opiniones de los expertos y puede conllevar a mediciones sesgadas (Silva et al., 2019).

La evaluación del desempeño de la innovación puede realizarse tanto a nivel de proyecto como organizacional. En el caso de la innovación de productos, la evaluación se recomienda a nivel de proyecto, mientras que para la innovación general de una empresa, se aconseja una evaluación a nivel organizacional (Ghaben y Jaaron, 2017). Estos enfoques permiten la definición de un conjunto de indicadores que facilitan la medición del desempeño de la innovación empresarial mediante una metodología adecuada, lo que posibilita la comparación de datos de manera consistente y precisa (Pelser, 2014).

En los últimos años, la medición de la innovación ha sido un tema de gran interés para científicos, individuos, gobiernos y organizaciones. Según la literatura existente sobre medición de la innovación, esta se define como un fenómeno complejo y multidimensional que ha sido objeto de estudio ontológico y epistemológico (Adams et al., 2006). A partir de la revisión, se presenta una lista consolidada de indicadores que permiten medir la innovación a nivel organizacional.

- **Recursos financieros:** se refiere a los fondos que se destinan para actividades relacionadas con la innovación, tales como subvenciones para proyectos de prueba, competencias de ideas con premios y financiamiento para invertir en tecnologías nuevas, entre otros.
- **Proceso de Gestión de Ideas:** se define como un proceso ordenado para gestionar ideas innovadoras, incluyendo su creación, aplicación y cómo avanzan desde su generación hasta su implementación y, en algunos casos, su comercialización.
- **Creatividad de los empleados:** aborda la habilidad de los trabajadores para ser creativos en la solución de problemas en su labor, así como su disposición a compartir sus innovaciones con la empresa.
- **Personas y Organizaciones:** evalúa la cultura de la empresa, la estructura de dirección, el medio tecnológico, los recursos y la dirección, así como la dedicación de los trabajadores en el proceso innovador y cuán apta está la organización para fomentar la innovación en la actualidad.
- **La Capacitación:** abarca los programas de entrenamiento ofrecidos por la empresa para que los trabajadores aprendan tecnologías o técnicas nuevas, así como la organización respalda el crecimiento personal y profesional de sus empleados.
- **El intercambio de conocimientos:** incluye las herramientas y estrategias por las que la empresa fomenta la circulación de información entre sus trabajadores y cómo se puede transferir el progreso en la implementación de un equipo a otro.
- **Implementación de Ideas novedosas:** evalúa la eficacia y rapidez en la implementación de innovaciones en la empresa, así como las tácticas y estrategias utilizadas.
- **Calidad de las nuevas ideas:** analiza la viabilidad a largo plazo, la capacidad de crecimiento y la eficacia de las nuevas ideas para determinar su efectividad en brindar beneficios a la empresa.

- **Resultante de Nuevas Ideas:** examina el impacto de las nuevas ideas en la mejora del proyecto, gastos, tiempo, calidad, reputación de la empresa y su competitividad, con el objetivo de conocer el retorno de la inversión.
- **Satisfacción de los Clientes:** se centra en la satisfacción de los clientes y destinatarios finales, así como en la percepción de la generación de valor.

En el análisis de la literatura, se han explorado distintas perspectivas que aportan a una comprensión holística de la evaluación de la innovación, enfatizando la importancia de la calidad, la cantidad y la naturaleza implícita de los conocimientos emergentes. Estos factores han recibido una atención limitada en el escenario competitivo vigente.

Conclusiones

En este artículo se ha reflexionado sobre la medición de la innovación en el ámbito empresarial, con el objetivo de ampliar el conocimiento sobre los indicadores y metodologías utilizados. Se ha llevado a cabo una revisión sistemática de la literatura científica disponible en las bases de datos Web of Science y Scopus, seleccionando publicaciones de los últimos diez años, incluyendo revistas, actas de conferencias y capítulos de libros.

Se ha constatado que la innovación es un elemento esencial para el desarrollo tanto en el sector empresarial como en el gubernamental. Los resultados de esta reflexión proporcionan orientación para futuras investigaciones en la medición de la innovación empresarial. Se resalta la necesidad de integrar la gestión de la innovación en los programas educativos, de otorgar certificaciones y reconocimientos a individuos y empresas que implementen innovaciones de manera responsable y sostenible, y de establecer políticas nacionales e internacionales que incrementen la conciencia sobre la seguridad de dichas innovaciones. Se enfatiza la importancia de invertir en investigación y desarrollo en torno a estas innovaciones transformadoras y de fomentar una colaboración estrecha entre académicos y profesionales para comprender en profundidad las complejidades de la innovación.

En Colombia, el Ranking de Innovación Empresarial de la ANDI es una iniciativa anual que evalúa el desempeño innovador de las empresas en el país. Este ranking tiene como objetivo identificar y destacar a las organizaciones que han logrado sobresalir en la implementación de proyectos de ciencia, tecnología e innovación (CTI), contribuyendo al crecimiento económico y

a la competitividad del país (Empresas líderes en innovación..., 2024). La metodología utilizada para el ranking incluye una evaluación exhaustiva de diversos indicadores, tales como la inversión en actividades de I+D, el número de proyectos innovadores desarrollados, y el porcentaje de ventas derivadas de productos o servicios innovadores. En su edición 2024, participaron 389 empresas de 50 subsectores económicos, lo que refleja un amplio espectro del tejido empresarial colombiano. Entre las empresas más destacadas se encuentran Grupo Nutresa, Alpina y Ecopetrol, quienes lideran el podio gracias a su compromiso con la innovación disruptiva y sostenible. El ranking también subraya que, en promedio, las empresas destinan un 5.86% de sus ventas a actividades de CTI, lo que demuestra la relevancia de la innovación como estrategia para enfrentar los desafíos económicos actuales (*Descubra el ADN de las empresas innovadoras...*, 2024).

En el caso específico de Empresas Públicas de Medellín (EPM), se ha evidenciado un esfuerzo significativo por promover la innovación dentro del grupo empresarial. Según el reporte enviado para el Ranking ANDI 2024, EPM ha invertido más de \$1.000.001 USD en actividades de ciencia, tecnología e innovación (CTI), colaboración con proveedores y desarrollo de proyectos con enfoque en energía solar comunitaria durante el año 2023 (EPM, 2024). Además, se destaca la ejecución de seis proyectos innovadores con proveedores y tres con centros de investigación y desarrollo tecnológico.

Aunque la empresa cuenta con indicadores positivos, como la participación en proyectos de innovación abierta y el desarrollo de productos

dirigidos a sectores como Energytech y Economía Circular; se observa que no se han registrado patentes ni modelos de utilidad durante este mismo periodo, lo que sugiere una oportunidad para fortalecer la protección intelectual y fomentar una mayor creación de propiedad industrial.

El análisis comparativo con los resultados del Ranking ANDI en años anteriores revela que EPM ha mantenido una posición destacada en

términos de inversión en I+D, pero aún enfrenta desafíos en cuanto a la generación de productos y servicios innovadores que impacten directamente sus ingresos. Durante el año 2023, no se reportaron ventas derivadas directamente de productos innovadores, lo que indica una brecha entre las inversiones realizadas y los resultados tangibles en términos comerciales. Este aspecto es crucial para mejorar la competitividad y asegurar un retorno sobre las inversiones realizadas en innovación.

Recomendaciones y perspectivas futuras para EPM

A partir del análisis realizado, se proponen varias acciones estratégicas que EPM debería considerar para mejorar su desempeño en innovación. En primer lugar, es fundamental fortalecer la protección de la propiedad intelectual mediante el incremento en el registro de patentes y otros mecanismos de protección, como los secretos industriales y los diseños industriales. Esto permitiría salvaguardar las innovaciones desarrolladas y asegurar un retorno sobre la inversión en investigación y desarrollo. Además, se recomienda incrementar la inversión en I+D, destinando un mayor porcentaje de los ingresos a estas actividades. Aumentar los recursos financieros dirigidos a la investigación puede potenciar la generación de innovaciones disruptivas que impacten positivamente en el mercado.

Asimismo, se sugiere ampliar la colaboración internacional, participando en proyectos conjuntos con instituciones y empresas extranjeras; así como fortalecer la colaboración con universidades y centros de investigación. Esta estrategia facilitaría

el acceso a nuevos conocimientos, tecnologías y mercados, lo que podría acelerar el desarrollo de soluciones innovadoras aplicables al sector energético y otros sectores estratégicos.

Por otro lado, es crucial fomentar una cultura organizacional orientada hacia la innovación, implementando programas internos que promuevan la creatividad y la participación activa de todos los niveles de la organización en los procesos innovadores.

Finalmente, se recomienda desarrollar un sistema integral de indicadores de innovación que permita medir y evaluar continuamente el desempeño innovador de EPM. Este sistema debería incluir tanto indicadores cualitativos como cuantitativos para monitorear el progreso y ajustar las estrategias en tiempo real. La medición continua es esencial para identificar áreas de mejora y asegurar que las inversiones en innovación generen resultados tangibles.

Referencias

- Acevedo, N., Jiménez, L. y Rojas, M. (2017). Análisis bibliométrico sobre indicadores de innovación. *Espacios*, 38(8), 10. <https://rb.gy/5ekea3>
- Adams, R., Bessant, J. y Phelps, R. (2006). Innovation management measurement: A review. *International Journal of Management Reviews*, 8(1), 21–47. <https://rb.gy/5m5vlo>
- Almeida, F., Kennedy, A., Lin, B. y Nowak, I. (2019). Measuring innovation through a crowd source initiative. *International Journal of Innovation Science*, 11(3), 471–488. <https://rb.gy/bkf5l5>
- Alsereihy, H. y Harasani, M. (2021). Towards Integrating the Knowledge Management Mechanisms to Employ Innovation Factors

within Universities: Critical Appraisal Study. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 21(8), 327–341. <https://rb.gy/vabdkf>

- Chiang, C., Chen, W. y Hsu, C. (2019). Classifying technological innovation attributes for hotels: an application of the Kano model. *Journal of Travel and Tourism Marketing*, 36(7), 796–807. <https://rb.gy/t3z8pv>
- Denlertchaikul, N. Chatjuthamard, P., Jiraporn, P. y Phiromswad, P. (2022). Do Takeover Threats Stifle or Promote Managerial Efforts to Innovate? Evidence from Takeover Vulnerability, and Text-Based Measure of Innovation. *Administrative Sciences*, 12(3), 110. <https://doi.org/10.3390/admsci12030110>
- *Descubra el ADN de las empresas innovadoras y cómo han logrado sobresalir*. (6 de septiembre de 2024). Semana. <https://rebrand.ly/fdstu94>
- Dobni, C. y Klassen, M. (2021). The decade of innovation: from benchmarking to execution. *Journal of Business Strategy*, 42(1), 23–31. <https://doi.org/10.1108/JBS-11-2019-0209>
- Dziallas, M. y Blind, K. (2019). Innovation indicators throughout the innovation process: An extensive literature analysis. *Technovation*, 80–81, 3–29. <https://rb.gy/idariy>
- *Empresas líderes en innovación en 2024. Descubra quiénes lideran ese camino*. (7 de septiembre de 2024). Especiales Semana. <https://rebrand.ly/fcl8ngz>
- Empresas Públicas de Medellín. (2024). *Reporte enviado para el Ranking de Innovación Empresarial ANDI 2024*. EPM.
- Gault, F. (2018). Defining and measuring innovation in all sectors of the economy. *Research Policy*, 47(3), 617–622. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.01.007>
- Ghaben, R. y Jaaron, A. (2017). Identifying and assessing innovation factors in construction projects in Palestine: An empirical study. *International Journal of Project Organisation and Management*, 9(4), 350–373. <https://doi.org/10.1504/IJPOM.2017.088250>
- Henttonen, K., Kianto, A. y Ritala, P. (2016). Knowledge sharing and individual work performance: an empirical study of a public sector organisation. *Journal of Knowledge Management*, 20(4), 749–768. <https://doi.org/10.1108/JKM-10-2015-0414>
- Jin, S. y Choi, S. (2019). The effect of innovation capability on business performance: A focus on it and business service companies. *Sustainability*, 11(19), 5246. <https://doi.org/10.3390/su11195246>
- Jong, I. (2021). When Wrong Is Right: Leaving Room for Error in Innovation Measurement. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(7), 332. <https://doi.org/10.3390/jrfm14070332>
- Melo, T., Correa, A., Carvalho, E. y Possas, M. (2017). Competitividade e gap tecnológico – uma análise comparativa entre Brasil e países europeus selecionados. *Revista Brasileira de Inovação*, 16(1), 129. <https://doi.org/10.20396/rbi.v16i1.8649142>
- OECD/Eurostat. (2018). *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation. The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*. (4ª ed.). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- Pan, X., Ai, B., Li, C., Pan, X. y Yan, Y. (2019). Dynamic relationship among environmental regulation, technological innovation and energy efficiency based on large scale provincial panel data in China. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 428–435. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.012>
- Pelser, T. (2014). The affect of innovation strategies and their connect to company performance. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 5(9), 60–68. <https://doi.org/10.5901/mjss.2014.v5n9p60>
- Prieto, L., Dimitriadis, Y., Asensio, J. y Looi, C. (2015). Orchestration in learning technology research: Evaluation of a conceptual

framework. *Research in Learning Technology*, 23. <https://doi.org/10.3402/rlt.v23.28019>

- Silva, M., Gomes, C. y da Costa Junior, C. (2019). The use of topsis for ranking wipo's innovation indicators. *Innovar*, 29(73), 133–148. <https://doi.org/10.15446/innovar.v29n73.78027>
- Sohn, S., Kim, D. y Jeon, S. (2016). Re-evaluation of global innovation index based on a structural equation model. *Technology Analysis and Strategic Management*, 28(4), 492–505. <https://doi.org/10.1080/09537325.2015.1104412>
- Wojan, T. (2022). Viewpoint: 'Hipsters vs. Geeks?' and patenting productivity: A replication using an unbiased measure. *Cities*, 131, 104023. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.104023>
- Zihan, Z., Tao, H. y Meng, Z. (2013). Study of SP classification applied by telecommunication operator. *Journal of Applied Sciences*, 13(20), 4201–4205. <https://doi.org/10.3923/jas.2013.4201.4205>

Cómo citar este artículo:

Villa, E. (2024). Importancia de la medición de la innovación empresarial: reflexiones sobre indicadores y metodologías en la última década. *Revista EPM*, (24), 6-14.



Evolución de la gestión organizacional: cómo CHEC adopta un modelo de trabajo basado en la confianza

Evolution of organizational management: how CHEC adopts a trust-based work model

Pilar
Salazar Henao
Área Gestión Humana y
Organizacional, CHEC

pilar.salazar@chec.com.co

Resumen

Tenemos actualmente en nuestras manos la oportunidad de transformar la forma cómo se realiza la gestión organizacional y con ello la posibilidad de impactar positivamente la vida de las personas y la evolución de las empresas; sin embargo, debido a nuestras arraigadas creencias limitantes sobre las personas en el trabajo, estamos corriendo el riesgo de perder la oportunidad histórica de trascender el paradigma laboral que fue impulsado por Taylor en el siglo XX.

CHEC (Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. E.S.P. BIC), empresa del Grupo EPM, decidió intentar romper este paradigma, implementando la modalidad de Teletrabajo Móvil para todos los cargos considerados teletrabajables, con lo cual ha logrado generar un impacto positivo en las personas y mantener los resultados organizacionales; sin embargo, aún existen desafíos que al superarse permitirán consolidar este camino que busca una verdadera conciliación entre la vida personal, familiar y laboral.

Palabras clave:

Modelos de trabajo, Tendencias laborales, Teletrabajo, Trabajo híbrido, Conciliación vida laboral y personal

Keywords:

Work models, Job trends, Remote work, Hybrid work, Work-life balance

El modelo de trabajo que heredamos

Cuenta Max-Neef (1992) que en la Edad Media la vida de los seres humanos integraba trabajo, diversión, enseñanza, salud y demás aspectos, alrededor de un núcleo familiar ampliado.

En palabras de Csikszentmihalyi (1990), se podría decir que se trataba de personas que no podían distinguir entre el trabajo y el tiempo libre, su quehacer estaba relacionado con su identidad y disfrutaban tanto lo que hacían que no querían dejar de hacerlo así tuvieran la oportunidad.

Sin embargo, con la Revolución Industrial llegó la fragmentación, al punto de tener un lugar donde trabajar, otro donde dormir, otro para divertirse, otro para educarse y otro para sanarse; y así fue cómo los seres humanos primero descubrieron el trabajo y después inventaron el empleo (Max-Neef, 1992).

Esta fragmentación se incrementó con la visión de un ingeniero estadounidense llamado Frederick Winslow Taylor, quien a principios del siglo XX consideró que las empresas estaban funcionando de manera ineficiente e inventó lo que llamó la gestión científica, que consideraba el trabajo como una serie de tareas sencillas y poco interesantes, y a los trabajadores como partes de una maquinaria complicada, que si lograban seguir los pasos previamente establecidos y en el horario previsto, la maquinaria funcionaría perfectamente (Pink, 2010).

Al tratarse de trabajos de operación de máquinas que para obtener mayor rentabilidad no podían parar, y siguiendo las ideas de Taylor, tomaron fuerza los esquemas de trabajo presenciales, los mínimos de horas laborales semanales, los turnos, el seguimiento minucioso de actividades, las recompensas y los castigos.

Este tipo de sistema organizacional de la Era Industrial, se clasifica según Laloux (2015) en el paradigma Naranja – Logro, y se crea a partir de supuestos tácitos como los siguientes:

- Los trabajadores son flojos, si no se les vigila, no trabajarán con eficiencia.

- Los empleados trabajan principalmente por dinero. Harán lo que sea para obtener tanto dinero como sea posible.
- Los trabajadores ponen sus propios intereses por sobre lo que es mejor para la organización. Son egoístas.
- Los trabajadores se desempeñan mejor y son más eficientes si tienen que cumplir con una tarea simple y repetitiva.
- Los trabajadores no son capaces de tomar buenas decisiones sobre asuntos importantes que afecte el desempeño económico de la empresa. Los que son buenos para tomar este tipo de decisiones son los jefes.
- Los trabajadores no quieren ser responsables de sus acciones o de las decisiones que afecten el desempeño de la organización.
- Los trabajadores necesitan cuidado y protección, así como los niños necesitan del cuidado de sus padres.
- Se debería compensar a los trabajadores por hora, o por el número de piezas que produzcan. A los jefes debería pagárseles un salario y deberían recibir bonos y acciones.
- Los trabajadores son como piezas intercambiables de una máquina. Un buen trabajador es bastante parecido a cualquier otro buen trabajador.
- Es necesario decir a los trabajadores qué deben hacer, cuándo hacerlo y cómo. Los jefes deben hacer que rindan cuentas de sus resultados. (p. 143)

Bajo estas creencias se continuaron estructurando las organizaciones, a pesar de que luego llegó una Era Postindustrial, en la que la mayoría de las personas no estaba ya comprometida en la producción o trabajaba en el sector servicios (Csikszentmihalyi, 1990).

Ante esto, agrega Pink (2010), que aunque es cierto que para algunos el trabajo sigue siendo rutinario, poco estimulante y dirigido por otros; para un número sorprendente de personas, los trabajos se han vuelto más complejos, interesantes y autónomos, ya que exigen experimentar con posibilidades y deducir soluciones nuevas; mientras las funciones que implican hacer prácticamente lo mismo una y otra vez están siendo desempeñadas mejor, de forma más rápida y más económica por los sistemas de información.

Es evidente entonces que, aunque nuestra realidad haya cambiado, seguimos operando las organizaciones bajo un paradigma laboral heredado, tal vez porque las creencias que tenemos sobre los trabajadores siguen siendo las mismas de la época de Taylor.

Una nueva era del trabajo

Según Laloux (2015), a los diferentes estadios de desarrollo de la conciencia humana, les corresponde su respectivo modelo organizacional, y el modelo emergente actual es el paradigma Teal – Evolutivo, caracterizado por supuestos como los que se exponen a continuación:

- Los trabajadores son personas razonables y puede confiarse en que harán lo correcto.
- Todas las personas tienen el mismo valor humano.
- Las personas son fundamentalmente buenas a menos que se pruebe lo contrario.
- No existe una sólo forma de administrar bien los problemas corporativos.
- Los trabajadores son adultos en quienes se puede confiar, capaces de tomar decisiones importantes.
- Los trabajadores son competentes y responsables de sus decisiones y acciones.
- Los trabajadores quieren usar sus talentos y habilidades para hacer una contribución positiva a la organización y al mundo.

Estas premisas conducen a sistemas organizacionales completamente diferentes, con características como las siguientes:

- No se establecen jerarquías, sino equipos o unidades autogestionadas.

- Se necesitan pocas reglas y sistemas de control.
- El liderazgo se construye de acuerdo con habilidades y talentos.
- Todas las personas están capacitadas para tomar decisiones en su ámbito de trabajo.
- Cada persona se compromete a asumir funciones según sus intereses y talentos.
- Todos tienen acceso a toda la información al mismo tiempo para que puedan tomar las mejores decisiones.
- Se eliminan los incentivos individuales y se favorecen los motivadores intrínsecos, como la posibilidad de expresar talentos y vocaciones.

De acuerdo con Laloux (2015), estos rasgos se pueden agrupar en tres avances revolucionarios que caracterizan a las organizaciones Teal, que son:

- Autogestión, en ausencia de jerarquía.
- Plenitud, referida a la posibilidad de ser nosotros mismos en el trabajo.
- Propósito evolutivo, bajo el cual se considera que las organizaciones, al igual que las personas, son sistemas vivos, con identidad, vocación y potencial creativo propio para contribuir con algo valioso para el mundo.

Algo similar plantea Pink (2010) cuando habla de tres elementos que están cobrando relevancia en el entorno actual, que son la autonomía para dirigirse uno mismo, la maestría para dominar una disciplina por la que se tiene vocación y el propósito que se relaciona con poner lo que se hace al servicio de un fin u objetivo superior.

Y más recientemente Corporate Rebels. (s. f) habla de 8 tendencias que implican transitar:

- Del beneficio económico al PROPÓSITO Y LOS VALORES
- De las pirámides jerárquicas a las REDES DE EQUIPOS
- Del liderazgo directivo al LIDERAZGO DE APOYO
- De predecir y planear a EXPERIMENTAR Y ADAPTAR

- De las reglas y el control a LA LIBERTAD Y LA CONFIANZA
- De la autoridad centralizada a la AUTORIDAD DISTRIBUIDA
- Del secreto a la TRANSPARENCIA RADICAL
- De la descripción de cargos al TALENTO Y LA MAESTRÍA

Estas tendencias coinciden en que el trabajo puede ser definitivamente algo distinto a lo que hemos estado acostumbrados desde la Era Industrial.

Y como dice Laloux (2015), “muchos de nosotros sentimos que la forma actual de administrar las organizaciones es tremendamente restrictiva. Seguro que encontraremos mejores formas, porque hay demasiada vida y demasiado potencial humano a la espera de expresarse” (p. 340).

Modalidades de trabajo emergentes

La pandemia generada por el COVID-19 hizo evidente que el trabajo definitivamente estaba dejando de ser un lugar, para convertirse en aquello que se hace.

Consultoras como Deloitte (2021) hablaban de la tendencia hacia la “integración de la salud física, mental, financiera y social de los colaboradores en el diseño del trabajo en sí mismo, en lugar de abordar el bienestar con programas adyacentes” (p. 5); y Mercer (2021) decía que para mantenerse a la vanguardia era necesario revertir lo que significaba estar en el trabajo, potenciando una experiencia del empleado motivadora y empática.

Las señales estaban claras. Estaba emergiendo ante el mundo entero el futuro del trabajo. Empezaron entonces a tomar fuerza opciones de flexibilidad en ámbitos como la ubicación y el tiempo de ejecución del trabajo, que en algunos casos ya habían sido reguladas por Ley, pero que en muchos países tenían poca implementación, incluso para los cargos, en su mayoría administrativos, que por su naturaleza no operativa lo permitían.

En Colombia, los modelos que consideran los cambios asociados a la ubicación son la única opción planteada por la Ley del Teletrabajo (2008), en la que se entiende esta modalidad como

Una forma de organización laboral, que consiste en el desempeño de actividades remuneradas o prestación de servicios a terceros, utilizando como soporte las tecnologías de la información y comunicación -TIC- para el contacto entre el trabajador y la empresa, sin requerirse la presencia física del trabajador en un sitio específico de trabajo. (Art. 2)

Las modalidades permitidas por esta ley son las siguientes:

- **Teletrabajo autónomo:** se utiliza el propio domicilio o un lugar escogido para desarrollar la actividad profesional, puede ser una pequeña oficina, un local comercial. En este tipo se encuentran las personas que trabajan siempre fuera de la empresa y sólo acuden a la oficina en algunas ocasiones.

- **Teletrabajo suplementario:** se laboran dos o tres días a la semana en casa y el resto del tiempo en una oficina.
- **Teletrabajo móvil:** no se tiene un lugar de trabajo establecido y las herramientas primordiales para desarrollar las actividades profesionales son las Tecnologías de la Información y la Comunicación, en dispositivos móviles. (Art. 2)

En un intento por eliminar algunas barreras que dificultaban la implementación del teletrabajo en Colombia, el Ministerio de Trabajo emitió el Decreto 1227 de 2022, en el que incluyó un artículo que abría la posibilidad de flexibilizar también el tiempo y modo de ejecución de labores. Sin embargo, seguía primando la jornada laboral semanal:

Las partes procurarán la flexibilización respecto del tiempo y modo de desempeño de la labor contratada, siempre que se cumpla con la jornada laboral semanal... Con este fin se podrán acordar los esquemas de cumplimiento y seguimiento de funciones, así como de tiempos de entregas de trabajos y de ejecución de labores. (Art. 2.2.1.5.17)

Por otra parte, existen arreglos flexibles en cuanto al tiempo de ejecución del trabajo, que se implementan de forma más extendida en otros países, entre los cuales, de acuerdo con Silva-Porto (2022) están los siguientes:

- **Horario flexible:** los trabajadores eligen el horario de inicio y finalización de la jornada dentro de parámetros determinados fijados por la empresa.
- **Banco de horas:** los trabajadores acumulan créditos o débitos de horas trabajadas en un período de varios meses, siempre que se respeten ciertos límites. Las horas que se trabajan en exceso puede compensarse con tiempo libre remunerado o usarse para aumentar los días de vacaciones.

- **Semana comprimida:** se trabajan las mismas horas semanales en menos días a la semana, en jornadas diarias más prolongadas.
- **Ciclos semanales:** el trabajo por ciclos permite promediar las horas de trabajo en períodos mayores a una semana y el trabajador decide cómo las distribuye.
- **Trabajo a tiempo parcial:** se establece un número fijo de horas de trabajo; por ejemplo, trabajar 4 horas diarias para estudiar en el resto del tiempo.
- **Trabajo compartido:** se comparte un trabajo de tiempo completo entre varios trabajadores.

En otras charlas virtuales que fueron constantes durante la pandemia, también se mencionó la jornada laboral no lineal, en la cual la persona cumple un cierto número de horas de trabajo pero no en horas continuas; y empezó a tomar fuerza el concepto de trabajo asincrónico, que no requiere que todos los trabajadores de la misma empresa estén laborando al mismo tiempo y permite que cada persona establezca tiempos de trabajo en las franjas horarias que le funcionen mejor para poder hacer pausas en su jornada habitual.

Adicional a los anteriores, existe también el Smart Working o Trabajo Inteligente, modelo que brinda total autonomía en la elección de la ubicación y el horario de trabajo, y cuya productividad es medida por el cumplimiento de objetivos en plazos acordados.

También surgió en alguna charla el concepto de flexibilidad inclusiva, que se refiere a que todos los trabajos, no sólo los administrativos, pueden ser flexibles cuando lo requieran de acuerdo con su propia naturaleza, y no solo en lo relacionado con el dónde y cuándo realizar el trabajo, sino también con el cómo, qué y quién lo realiza.

Modalidad adoptada por CHEC

CHEC, en una apuesta por contribuir con la evolución de su cultura organizacional, eligió implementar la modalidad de Teletrabajo Móvil, la cual, entre las opciones permitidas por la Ley colombiana, es tal

vez la más afín con algunas de las creencias que se tienen sobre los trabajadores en un contexto Teal-Evolutivo.

Fue así como se diseñó la siguiente política, dirigida a aquellos trabajadores que desempeñan cargos teletrabajables:

Partiendo de la concepción del trabajo como aquello que hacemos para generar valor, disponiendo nuestras competencias, habilidades, intereses y propósito personal, al servicio del propósito organizacional, independiente del lugar en el que nos encontremos; CHEC S.A. E.S.P. BIC. adopta el teletrabajo (móvil).

Con esta modalidad que se basa en la confianza, la orientación a resultados y la corresponsabilidad, buscamos contribuir con la conciliación de la vida personal, familiar y laboral; lo que se traduce en un mayor bienestar que nos impulsará a liberar nuestro potencial personal y nuestras capacidades colectivas, con lo que lograremos mejores resultados como organización y mayores beneficios para todos nuestros grupos de interés. (CHEC, 2022, p. 4).

Para operacionalizar esta política, se establecieron algunos lineamientos, entre los que están los siguientes principales que se pueden clasificar en estas categorías (CHEC, 2022):

Dimensión lugar

- Laborar de manera presencial cuando sea requerido. Así mismo, cuando lo determine cada trabajador.
- Quienes así lo requieran, podrán trabajar de manera presencial durante media jornada —mañana o tarde— y teletrabajar la jornada laboral restante.
- Acordar oportunamente con el directivo/coordinador de equipo cuando se elija laborar desde un municipio diferente a la sede de trabajo.
- Todos los trabajadores podrán hacer uso de los espacios abiertos de trabajo colaborativo con los que se cuenta en las diferentes instalaciones de la Empresa.

Dimensión tiempo

- Cumplir con el horario de trabajo acordado con el directivo/coordinador (existen cuatro opciones de horario).
- Se establece franja de reuniones de 8:00 a.m. a 11:45 a.m. y de 1:45 p.m. a 4:30 p.m.
- Si por alguna razón se es convocado a una reunión por fuera del horario elegido, se puede laborar en otra opción de horario ese día.

Buenas prácticas

- Los puestos de los teletrabajadores serán compartidos y podrán ser utilizados por cualquier trabajador durante los días de presencialidad.
- Procurar encender las cámaras durante las reuniones virtuales e híbridas, para fomentar la cercanía en las interacciones.
- Conservar esta modalidad dependerá en gran medida del cumplimiento de las responsabilidades de los trabajadores con calidad y oportunidad; y de la disponibilidad, ya sea presencial o virtual, durante los horarios laborales establecidos.

Bajo este esquema se empezó a implementar por primera vez el teletrabajo en CHEC a partir del primero de noviembre del 2022, con 509 personas, incluyendo principalmente directivos, profesionales y asistentes, que luego de realizar la capacitación previa de seguridad y salud en el trabajo y seguridad de la información se adhirieron a esta modalidad.

Resultados de la implementación del Teletrabajo Móvil

Seis meses después de la implementación de la modalidad de Teletrabajo Móvil, con 510 personas adheridas, se realizó seguimiento mediante la

aplicación de un sondeo dirigido a los teletrabajadores y otro a los líderes, con el fin de identificar sus percepciones frente a los impactos generados.

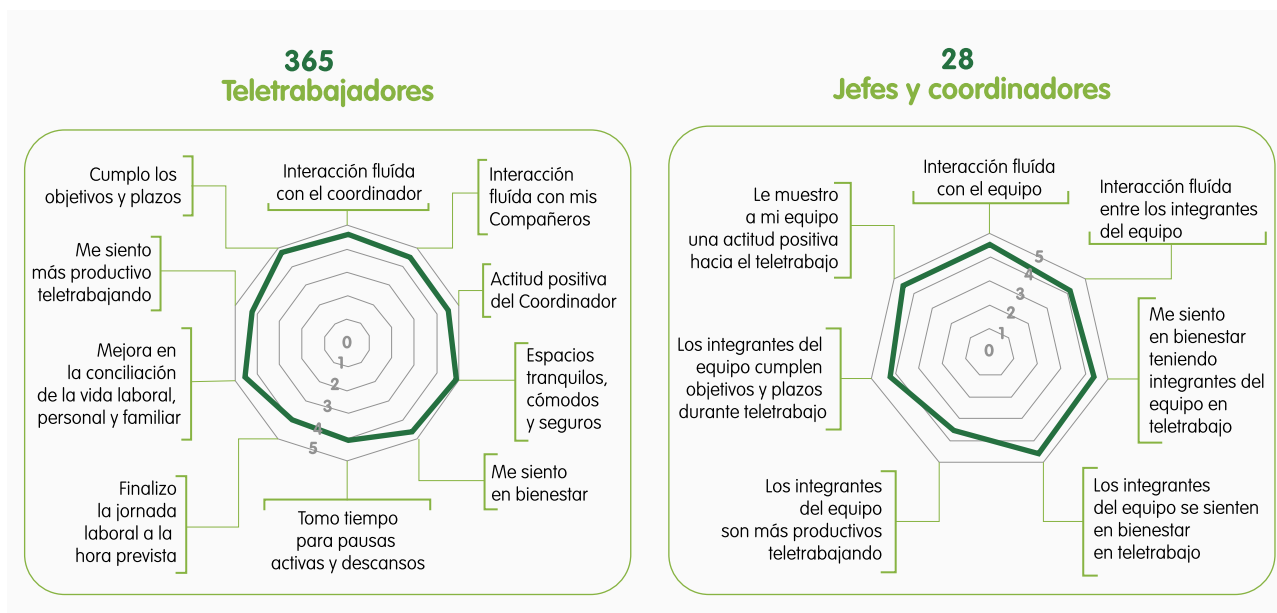


Figura 1. Impacto del Teletrabajo.

Percepción de los teletrabajadores

Los aspectos calificados por los teletrabajadores de CHEC, en una escala de 1 a 5, (1 Muy en desacuerdo y 5 Muy de acuerdo) obtuvieron el siguiente orden:

1. Realizo el teletrabajo en espacios tranquilos, cómodos y seguros – 4.87
2. Cuando teletrabajo cumplo los objetivos y plazos de ejecución de mis actividades – 4.77
3. Cuando estoy en teletrabajo me siento en bienestar (sin preocupación, estrés o ansiedad) – 4.64
4. La interacción con el coordinador de mi equipo es fluida, independiente de si estoy en teletrabajo o de manera presencial – 4.61
5. He percibido mejoras en la conciliación de mi vida laboral, personal y familiar a partir del teletrabajo – 4.56

6. La interacción con mis compañeros de trabajo es fluida, independiente de si estoy en teletrabajo o de manera presencial – 4.50
7. El coordinador de mi equipo muestra una actitud positiva hacia el teletrabajo – 4.48
8. Me siento más productivo teletrabajando que haciéndolo desde las instalaciones de la Empresa – 4.21
9. Cuando estoy en teletrabajo tomo tiempo para pausas activas y descansos – 4.05
10. Cuando estoy en teletrabajo finalizo la jornada laboral a la hora prevista, según el horario habitual que he elegido – 4.01

Todos los aspectos evaluados se encuentran en un rango alto, entre 4 y 5, destacándose la realización del trabajo en espacios tranquilos, cómodo y seguros, la percepción de cumplimiento de

objetivos y plazos, y la sensación de bienestar; sin embargo, los teletrabajadores perciben menores tiempos de descanso y pausas activas, y una extensión de su jornada laboral.

Algunos de ellos resumieron su experiencia personal con comentarios como los siguientes:

- *Desde que esto empezó me pareció que la empresa dio un paso en la dirección correcta, hacia una cultura de confianza y autogestión, que nos lleve a todos a ser una mejor organización y que nos permita conciliar de mejor manera nuestras vidas personales y laborales.*
- *Es una muy buena opción, puesto que la responsabilidad no se mide por la presencia en la sede principal, sino por los indicadores y el cumplimiento de los mismos.*
- *Estoy feliz. Mi vida cambió muchísimo, y aunque sigo con las mismas o inclusive más responsabilidades, mi nivel de estrés ha disminuido. Trabajo más en armonía y con mucha concentración y tranquilidad. Estoy dando más del 100% y eso me encanta.*

Al indagar por la actitud de los líderes frente al teletrabajo, surgieron algunas ideas como las siguientes:

- Existen líderes apegados al poder que les da el control.
- Algunos de los líderes no dejan fluir a sus colaboradores en la modalidad de teletrabajo.
- No se respeta la franja de horarios de reuniones y se citan reuniones en horarios que exceden la jornada laboral.
- Se programan reuniones presenciales que no aportan nada adicional a si se hubieran hecho de forma virtual.
- Algunos líderes solicitan realizar trabajo presencial una o varias veces a la semana sin que esto obedezca a la necesidad de realizar una reunión.

Con respecto a las dificultades que han identificado en la implementación de la modalidad, se encontraron comentarios como estos:

- Con quienes no se han ajustado al modelo y se ven desconectados o ausentes durante el trabajo virtual, o incumplen la jornada laboral, se deberían realizar conversaciones individuales para realizar ajustes y así evitar que en un futuro el modelo no sea sostenible y personas responsables paguen por unos pocos.
- La responsabilidad del colaborador es primordial, no solo con sus actividades sino también con su salud personal, contando con condiciones de espacio acordes para el teletrabajo.
- Algunas personas no responden a través de medios digitales cuando están trabajando de forma presencial, lo cual se percibe como una resistencia al cambio.

Frente a los acuerdos o nuevas formas de operar que se han establecido en los equipos a partir de la implementación del teletrabajo, los encuestados mencionaron los siguientes:

- Tener mayor claridad en la asignación de objetivos y realizar seguimiento a su cumplimiento.
- Crear nuevos canales que permitan mantener más activa la comunicación.
- Realizar encuentros presenciales periódicos.
- Activar las cámaras en las reuniones virtuales.

Percepción de los líderes (primer sondeo)

Los aspectos calificados por los líderes, en una escala de 1 a 5, obtuvieron el siguiente orden:

1. Percibo que los integrantes de mi equipo se sienten en bienestar cuando están en teletrabajo (sin preocupación, estrés o ansiedad) – 4,60
2. Mi interacción con mi equipo es fluida, independiente de si están en teletrabajo – 4,50
3. Le muestro a mi equipo una actitud positiva hacia el teletrabajo – 4,50
4. Me siento en bienestar (sin preocupación, estrés o ansiedad) ante el hecho de que algunos integrantes de mi equipo estén en teletrabajo – 4,4

5. La interacción entre los integrantes de mi equipo es fluida, independiente de si están en teletrabajo o de manera presencial – 4,20
6. Percibo que durante el teletrabajo los integrantes de mi equipo cumplen los objetivos y plazos de ejecución de sus actividades – 4,20
7. Percibo que los integrantes de mi equipo en general son más productivos teletrabajando que haciéndolo desde las instalaciones de la Empresa – 3,50

En este caso, a diferencia de los teletrabajadores que obtuvieron puntajes de 4,7 y 4,8, los puntajes obtenidos por los líderes no superan el 4,6, que se refiere a la sensación de bienestar que el teletrabajo le genera a las personas.

Además, el único aspecto evaluado que quedó en un rango entre 3 y 4, fue el relacionado con la percepción de productividad de los teletrabajadores, a pesar de haber calificado en 4,20 el cumplimiento de objetivos y plazos.

Algunos líderes que apoyan el teletrabajo hicieron comentarios como el siguiente: *Pareciera que está bien visto quienes van permanentemente a las oficinas de CHEC y mal visto el caso contrario, sabiendo que la productividad no depende de estar o no en la Empresa.*

Sin embargo, fueron más los comentarios asociados a dificultades con la implementación de la modalidad, las cuales se pueden resumir de la siguiente forma:

- Los teletrabajadores están en casa intentando trabajar o aparentando trabajar.
- Muchos no quieren trabajar de forma presencial para poder interactuar con los demás y lograr así una mayor conexión y vínculo con las personas.

- Con la interacción presencial se logra mayor facilidad y oportunidad en la resolución de problemas.
- Es difícil tener conocimiento detallado de los temas concretos que están delegados en el equipo. No se sabe qué están haciendo los teletrabajadores.
- Es difícil poder explicar temas técnicos de forma virtual.
- Son más productivas las conversaciones cortas informales. En el teletrabajo todo requiere una citación.
- Es preferible separar los espacios laborales de los personales.
- Esta modalidad hace más difícil incorporar las personas a la cultura organizacional.
- El cambio a los nuevos esquemas de trabajo debería ser más gradual.

Percepción de los líderes (segundo acercamiento)

Teniendo en cuenta que las mayores dificultades con el Teletrabajo Móvil estaban siendo percibidas por los líderes, 10 meses después de implementada la modalidad, entre septiembre y octubre del 2023, se realizaron reuniones con el grupo de líderes de cada área para identificar las posibles dificultades que persistían, encontrando cuatro áreas que hicieron mención de personas que no responden cuando las contactan estando en virtualidad, personas que realizan poco trabajo presencial y percepción relacionada con que la empresa está brindando mucha flexibilidad.



Figura 2. Dificultades percibidas por los líderes de CHEC.

En cuanto a oportunidades de mejora en la modalidad implementada, se encontró una alta dispersión de aspectos, entre los que se destacan: reforzar el trabajo por objetivos, las condiciones

de ergonomía, la desconexión laboral y el correcto manejo de reuniones híbridas, el uso de Teams y otras tecnologías.

Análisis de resultados

Dificultad para la autogestión

Los seguimientos realizados al Teletrabajo Móvil en CHEC permitieron demostrar que no se materializaron los temores que algunos líderes tenían previo a la implementación de esta modalidad, relacionados principalmente con que las personas en su mayoría no volverían a hacer presencia en las instalaciones y no trabajarían durante el tiempo que estuvieran en la virtualidad.

Estas situaciones efectivamente se presentaron, pero en casos específicos que actualmente cada líder está abordando con los implicados; aunque en ninguno de los casos el líder ha decidido aplicar el principio de reversibilidad que se contempla en la reglamentación del teletrabajo.

Laloux (2015) se refiere a este tipo de situaciones cuando dice que en términos de psicología del desarrollo, ante una estructura y una cultura basada en determinado modelo, las personas se comportarán de conformidad con él; aunque también reconoce que esto no ocurrirá en todos los

casos, ya que, si las personas no han desarrollado un sentimiento de propiedad psicológica, lo que implica que estén poco involucrados emocionalmente con la organización y su propósito, y consideren que el trabajo es una carga que es necesario minimizar, no deberá sorprender que asuman la libertad que proviene de la liberación de muchas reglas, pero no asuman la responsabilidad de autogestionarse.

Al respecto, lo que se ha evidenciado en CHEC es que esta dificultad para autogestionarse puede ocurrir independiente de la modalidad de trabajo de la persona; es decir que no está ligada directamente al Teletrabajo Móvil.

Dificultad para liderar en un entorno híbrido

Los hallazgos encontrados en CHEC frente a las dificultades que perciben los líderes para realizar su gestión habitual en un entorno híbrido y su percepción frente a un exceso de flexibilidad y la necesidad de implementar de forma gradual nuevos esquemas de trabajo como éste, coinciden con estudios que aseguran que:

Los líderes se encuentran con un ambiente ambiguo cuando lideran en modalidad híbrida. Cuentan con poca visibilidad sobre las cargas de trabajo y los procesos en curso. Tienen menos oportunidades para conversaciones informales cara a cara. Sienten que pierden el control ya que tienen menos posibilidad de hacer seguimiento al cumplimiento de metas. No saben cómo recrear la cohesión, colaboración y camaradería de la oficina. Sienten que su liderazgo está en riesgo (McKinsey, como se citó en Álvarez et al., 2022, p. 88).

Dificultad para evidenciar la productividad

La percepción de productividad de los teletrabajadores de CHEC (4,2) coincide con estudios que han encontrado natural esta percepción debido a un aumento en el número de horas trabajadas por ausencia de traslados, menores interrupciones en el trabajo virtual, mayor autonomía en la elección de los tiempos de trabajo y el incremento del compromiso y la pertenencia del empleado con la empresa (Álvarez et al., 2022).

Sin embargo, difiere con la percepción de los líderes que tienden a creer que hay mayor productividad en el trabajo presencial (3,5), a pesar de que evidencian cumplimiento de objetivos y plazos (4,2).

Adicionalmente, aunque los líderes de CHEC reconocen que la modalidad implementada brinda bienestar a los teletrabajadores, la inquietud sobre su productividad durante el teletrabajo puede dar cuenta de que no correlacionan ambos factores, a diferencia de los autores que exponen que “bienestar y productividad no son conceptos opuestos, sino que, por el contrario, son complementarios. Los trabajadores son más productivos y están más concentrados cuando son más felices y sus necesidades emocionales están satisfechas” (Asana 2022, como se citó en Álvarez et al., 2022, p. 91).

“Microsoft le llama a esta diferencia entre la percepción de empleados y jefes, la paranoia de la productividad, que consiste en pensar que los empleados no están trabajando pese a que todos los indicadores demuestran lo contrario” (Álvarez et al., 2022, p. 147).

“Se trata generalmente de líderes menos habituados digitalmente y con clara preferencia por la

presencialidad, que cuestionan la modalidad híbrida independiente de sus eventuales resultados positivos, tanto en productividad como en bienestar laboral” (Álvarez et al., 2022, p. 19).

Los estudios actuales manifiestan que “el trabajo híbrido obliga a cambiar el foco a una gestión por resultados” (Álvarez et al., 2022, p. 147), en lugar de continuar basando el control en la ocupación de puestos y el seguimiento de actividades; lo que es reconocido por los líderes de CHEC y que según algunos teletrabajadores encuestados empezó a surgir de manera natural posterior a la puesta en marcha de la nueva modalidad de trabajo.

A esto se refiere también Pink (2010) cuando habla del Sistema ROWE (Entorno de trabajo por resultados), en el que los empleados no tienen horarios establecidos, sino que sencillamente deben hacer su trabajo, cómo, cuándo y dónde ellos lo decidan.

Dificultad para incorporarse a la cultura

En relación con la percepción de los líderes de CHEC sobre la dificultad para incorporar las personas a la cultura organizacional en medio del Teletrabajo Móvil, estudios enfatizan que la modalidad híbrida no es una amenaza para la cultura organizacional ni sus líderes, y recomiendan que los líderes refuercen las formas en que las personas se conectan con la cultura a través de su trabajo diario, asegurando que asuman una supervisión más humana (Gartner 2022, como se citó en Álvarez et al., 2022).

En este sentido, se proponen tres estrategias para conectar a los empleados en modalidad híbrida (Liu 2022, como se citó en Álvarez et al., 2022):

- Difundir la cultura organizacional a través del trabajo, no de la oficina, asegurando que los procesos establecidos reflejen la cultura de la organización.
- Conectarse mediante cercanía emocional más que cercanía presencial. La cercanía presencial se enfoca en ser visto; la cercanía emocional refleja la importancia de uno/a para las otras personas.
- Fomentar las microculturas de la organización más que tratar de optimizar la cultura corporativa. Trabajar en equipo conecta más a las personas que escuchar iniciativas culturales (p. 109).

Para construir una cultura híbrida robusta otros sugieren asegurar la visibilidad de todos, tanto de quienes están en la oficina como de quienes trabajan remotamente; establecer una estructura

de comunicación remota y brindar iguales oportunidades para todos (Timely, como se citó en Álvarez et al., 2022).

Mejores prácticas de trabajo híbrido

Algunos aspectos que podrían fortalecer la adopción de prácticas laborales flexibles similares a la adoptada en CHEC, se pueden encontrar en el estudio *Mejores Prácticas de Trabajo Híbrido* realizado en Chile, que permite identificar beneficios y desafíos del trabajo híbrido. Álvarez et al. (2022) define la modalidad como:

Aquella prestación de servicios asalariada que se realiza de manera preponderante en el domicilio del trabajador o en el lugar libremente elegido por éste, de modo alternativo a su desarrollo presencial en el centro de trabajo de la empresa, bien parcial o totalmente, mediante el uso o reporte de medios tecnológicos, informáticos o de telecomunicaciones. (p. 9)

Según el estudio, los principales aportes del trabajo híbrido se clasifican así:

- Para las personas, mayor flexibilidad, autonomía, satisfacción laboral, equilibrio de la vida personal y laboral, calidad de vida y motivación.

- Para las organizaciones, aumento de la productividad por una mayor autonomía sin sacrificar la colaboración y la interacción social, aumento de la atracción y retención del talento, y reducción de costos.
- Para la sociedad, beneficios para el medio ambiente, disminución de riesgos sanitarios y fomento de la diversidad e inclusión.

Y entre los principales desafíos de esta modalidad se menciona la necesidad de dejar de creer que se trata sólo de trasladar el trabajo de la oficina a la casa; y en lugar de esto, repensar la forma cómo se ejerce el liderazgo, se asignan las tareas y se gestiona el desempeño.

Por otra parte, en el estudio se plantea un modelo de desarrollo y madurez del trabajo híbrido, conformado por los siguientes niveles:



Figura 3. Modelo de desarrollo y madurez híbrida.
Recuperado de: (Álvarez et al., 2022)

El primer nivel de madurez se refiere al establecimiento del modelo, para lo cual recomiendan definir normativas que permitan gestionar los primeros pasos e implementar acciones como las siguientes:

- Tener el apoyo de la alta dirección.
- Transmitir con claridad las políticas y directrices para facilitar la toma de decisiones autónomas bajo el marco de los lineamientos definidos.

- Permitir establecer estructuras de trabajo a la medida de las características de cada área o equipo.
- Definir una política que asegure la calidad del trabajo mediante el cumplimiento de objetivos más que un horario determinado.
- Diseñar el trabajo presencial con foco en la innovación, el trabajo colaborativo y las

conversaciones espontáneas que ayudan a generar vínculos productivos entre colegas.

- Establecer un modelo que permita guiar la modalidad de ejecución de las diferentes actividades, para lo cual plantean el siguiente ejemplo de una de las empresas participantes del estudio:

Con la actividad que realizaré, busco:

	Impulsar cohesión y sentido de pertenencia de equipos, la cultura de innovación en base a co-construcción y la experiencia de clientes	Impulsar la fluidez y agilidad individual y de equipos, maximizar productividad y bienestar
	Presencial en oficinas Bci	Remoto desde casa u otro lugar
Grupal	• Sesiones de colaboración/innovación con participantes acotados y herramientas físicas (workshops, resolución de problemas, co-construcción). • Sesiones en que comunicación no verbal y empatía agregan valor diferencial (celebraciones, camaradería, reuniones de equipo, desvinculaciones).	• Reuniones de trabajo recurrente, virtualidad permite coordinación ágil y eficiente. • Reuniones breves y espontáneas / no planificadas. • Actividades masivas costosa coordinación presencial (N° de personas, distancia, geografía).
Individual	• Tareas individuales en ventanas de tiempo entre sesiones en trabajo presencial. • Interacciones con clientes o proveedores en oficina (adicional a visitas en terreno en trabajo remoto).	• Tareas individuales, sin interacción co otros. • Visitas a clientes/proveedores en terreno. • Formación e-learning.

Figura 4. Cuadrante de orientación de actividades/lugar.
Recuperado de: (Álvarez et al., 2022)

El segundo nivel de madurez del modelo híbrido corresponde a la fase de consolidación, en la que se incorporan elementos de gestión de las personas de manera integral, tales como los siguientes:

- Fortalecer los espacios de trabajo productivos individuales mediante el uso de tecnologías colaborativas.
- Promover los días sin reuniones para que las personas tengan tiempo para el trabajo individual.
- Sensibilizar a los colaboradores sobre la necesidad de abandonar sus oficinas individuales, evitando la percepción de pérdida de estatus en la organización.
- Desarrollar habilidades en los líderes que conduzcan a construir confianza e inclusión, comunicar bien y a menudo, fomentar el foco en los resultados, afianzar una cultura fuerte de equipo y evitar el agotamiento laboral mediante la empatía.

Específicamente para el ejercicio del liderazgo en una modalidad híbrida recomiendan acciones como las siguientes:

- Integrar las opiniones del equipo para establecer normas, horarios y formas de trabajo.
- Enfocarse en los entregables más que en el cumplimiento de horarios, y realizar seguimientos regulares para encauzar el trabajo.
- Evitar el sesgo de distancia, tendencia inconsciente que consiste en favorecer a los empleados que están más cerca sobre los que están lejos o trabajando remotamente.
- Generar instancias de conversación individual para hablar de temas como objetivos, obstáculos que afectan el rendimiento y apoyo requerido; y conversaciones grupales para compartir experiencias e inquietudes.
- Establecer pautas para la organización de reuniones efectivas.

Por otra parte, el tercer nivel de madurez se refiere a la etapa de re-imaginar el modelo, integrando indicadores de gestión y creando la capacidad de repensar los procesos organizacionales a partir de las ventajas otorgadas por el trabajo híbrido.

El estudio recomienda que las organizaciones estructuren un conjunto de indicadores clave que permitan gestionar adecuadamente esta modalidad de trabajo, sin perder sus ventajas y flexibilidad.

La elección de los indicadores reflejará los factores considerados importantes por cada organización y pueden referirse a métricas como productividad, cumplimiento de tareas, logro de metas, evaluación de calidad de entregables, eficacia de reuniones, tiempo de enfoque para gestionar tareas, bienestar laboral, satisfacción, estrés y confianza entre jefes y trabajadores.

Desafíos para CHEC

El grado de madurez de CHEC se podría ubicar en el nivel 2 del modelo de desarrollo y madurez híbrida propuesto por el estudio realizado en Chile, ya que superó la fase de implementación, evidenciando impactos positivos en las personas, la empresa y el entorno; sin embargo, se identifican especialmente oportunidades de mejora en relación con el desarrollo del liderazgo para desempeñarse con mayor naturalidad y confianza en un entorno híbrido.

Podría ser necesario un programa enfocado en el desarrollo de la conciencia de los líderes, que fomente el conocimiento de sí mismos y un análisis crítico de sus formas de operar tradicionales, identificando los supuestos que subyacen en sus comportamientos habituales.

Una vez identificadas las creencias limitantes, los líderes podrían tomar conciencia sobre la necesidad de transformarlas para dejar a un lado las prácticas que aún conservan del modelo Taylorista y así abrir paso a otras nuevas dinámicas laborales.

Para pasar a un nivel 3 de desarrollo, se podría realizar con los líderes un rediseño de procesos y de la forma cómo se realiza el trabajo diario, para reflejar allí mismo la cultura organizacional, en lugar de buscar transmitirla principalmente a través de las instalaciones de la empresa y los eventos masivos organizacionales.

Un ejemplo de esto sería la evolución de los tradicionales modelos de gestión del desempeño para transitar a un entorno de trabajo por resultados, en el que se establecen metas tan claras que no hay dificultad en brindar autonomía para lograrlas, lo que conllevaría a dejar de centrar la atención en el trabajo presencial, el cumplimiento de la jornada laboral y el desarrollo de actividades sin una previa definición de entregables y sin seguimientos periódicos.

Sin embargo, mientras esto ocurre, es importante reconocer la apuesta que está realizando CHEC para implementar un modelo de trabajo que busca promover el tipo de compromiso que nace de la

confianza y la autonomía, en lugar de la obediencia que nace del control (Pink, 2010), con la convicción de que así los trabajadores podrán disfrutar más

su trabajo, lo que no sólo los beneficiará a nivel personal, sino que los llevará a producir de manera más eficiente (Csikszentmihalyi, 1990).

Referencias

- Álvarez, J., Arratia, C., Cifuentes, P., Cifuentes, V., Conde, S., Díaz, E., Echeverría, M., González, M. y Martínez, L. (2022). *Liderando el trabajo híbrido*. ABRA Laboratorio de Aprendizaje. https://s3.amazonaws.com/cdn.oticssofofa.cl/ESTUDIOS/2023/ManualTrabajoHibrido-CIO_OTICSsofofa.pdf
- Central Hidroeléctrica de Caldas-CHEC. (15 de septiembre de 2022). *Manual implementación de teletrabajo*. [Documento interno]
- Corporate Rebels. (s. f). *The 8 trends*. Corporate rebels. <https://www.corporate-rebels.com/bucketlist/the-8-trends>
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Fluir*. Penguin Random House Grupo Editorial
- Decreto 1227 de 2022 [Ministerio de Trabajo] Por el cual se modifican los artículos 2.2.1.5.3, 2.2.1.5.5, 2.2.1.5.8 y 2.2.1.5.9. y se adicionan los artículos 2.2.1.5.15 al 2.2.1.5.25 al Decreto 1072 de 2015, Único Reglamentario del Sector Trabajo, relacionados con el Teletrabajo. 18 de julio de 2022. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=190935>
- Deloitte. (2021). *La empresa social en un mundo disruptivo*. Tendencias globales de capital humano. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/co/Documents/human-capital/HCT-2021.pdf>
- Laloux, F. (2015). *Reinventar las organizaciones*. Editorial Arpa
- Ley 1221 de 2008. Por la cual se establecen normas para promover y regular el Teletrabajo y se dictan otras disposiciones. 16 de julio de 2008. D. O 47.052. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=31431>
- Max-Neef, M. (1992). El acto creativo. En *Ampliando espacios para la creatividad. Memorias del Primer Congreso Internacional de Creatividad*. Pontificia Universidad Javeriana, Colciencias.
- Mercer. (2021). Triunfar con empatía. Tendencias globales de talento 2020 - 2021
- Pink, D. (2010). *La sorprendente verdad sobre qué nos motiva*. Editorial Planeta.
- Silva-Porto, M. (16 de septiembre de 2022). *El futuro del teletrabajo: ¿qué sigue después de una experiencia de escala global?* [Sesión de conferencia]. Teletrabajo: presente y futuro de la transformación digital, Bogotá https://www.facebook.com/watch/live/?ref=watch_permalink&v=816885572821034

Cómo citar este artículo:

Salazar, P. (2024). Evolución de la gestión organizacional: cómo CHEC adopta un modelo de trabajo basado en la confianza. *Revista EPM*, (24), 15-30.



En EPM abra
la

¡Tu lleg
llen
ale
ep

La diversidad, la equidad y la inclusión evolucionan en EPM

Diversity, equity and inclusion are evolving at EPM

**Evelyn
Correa Zabala**
Unidad Talento Humano, EPM

evelyn.correa@epm.com.co

**Sonia Milena
Giraldo Giraldo**
Unidad Talento Humano, EPM

sonia.giraldo@epm.com.co

Resumen

Este artículo expone desde una mirada histórica, que transita a la actualidad, el cambio de perspectiva de la gestión organizacional en la diversidad, la equidad y la inclusión (DEI), ilustrando cómo EPM ha incorporado este asunto en su gestión del talento humano. Desde 2017, la organización ha implementado buenas prácticas en estos temas, enfatizando en acciones afirmativas para los enfoques de equidad de género y discapacidad, lo que le ha permitido reconocimientos internos y externos, aprendizajes y avances, y así mismo la identificación de retos que implican la continuidad

en tanto la gestión de este tema. Las estrategias implementadas han implicado una evolución en sus perspectivas para la continuidad de este camino, ampliando la concepción de DEI hacia un asunto natural y propio de lo humano. Los avances y logros han involucrado distintos actores y alianzas estratégicas para hacer tangibles hechos de equidad. A pesar de los avances, persisten brechas que la organización continúa abordando para avanzar hacia la mejora continua, comprendiendo que este es un tema de importancia y de constante evolución.

Palabras Clave:

Diversidad, Equidad, Inclusión, Género, Discapacidad, Evolución, Organización

Keywords:

Diversity, Equity, Inclusion, Gender, Disability, Evolution, Organization

Introducción

Al hablar de diversidad, ¿en qué se piensa? Seguramente dependerá de los arquetipos e información que almacena el cerebro de cada persona. Para algunos este concepto evoca los multicolores de un jardín florecido o la diversidad de tonos verdes que se pueden identificar en un mismo bosque, para otros significará la riqueza en la variedad de artículos tecnológicos o de marcas de algún producto, o para otros podrá resultar un concepto utópico, complejo de comprender por su misma pluralidad de significados en los que resultaría fácil perderse. Pero de cara al contexto organizacional, ¿que se podrá decir de este concepto que, a ejemplo de las olas sonando al ritmo del viento en el mar, toma cada vez más fuerza en el entramado del mundo empresarial?

Los antecedentes históricos sobre la evolución de las organizaciones a través del tiempo ilustran el rol

e importancia de los seres humanos dentro de ellas, pasando de la concepción del hombre máquina, al ser humano en acción y desarrollo continuo, que se convierte en eje vertebral del crecimiento, evolución y competitividad de las organizaciones. ¿Pero, cómo conversa esta evolución con el asunto de la diversidad? No es una mera casualidad que, a medida que se ha comprendido la importancia de lo humano en el alcance de objetivos y metas organizacionales, se afiance la necesidad de comprender que la diversidad es propia de la condición humana. Basta con dar una mirada alrededor cuando se participa de una actividad de equipos para darse cuenta de que, solo al hablar de una dimensión netamente física, se perciben diferencias humanas en rasgos, estilos y formas de expresión. Esto sugiere, en primer plano, que la diversidad es inherente a lo humano en sus distintas dimensiones de desarrollo.

Antecedentes del concepto de diversidad en las organizaciones

Partiendo de la premisa de que la diversidad es característica esencial de lo humano, se entendería que donde hay personas hay diversidad y ello debería ser un asunto natural que se consigne de manera implícita. Sin embargo, la realidad ha evidenciado que existen brechas en la participación equitativa para algunas personas, especialmente para quienes pertenecen a determinados grupos poblacionales como personas con discapacidad, mujeres, personas LGBTQ+, personas negras, indígenas, de pertenencias étnicas, entre otras características culturales y humanas en las que se evidencian claras desventajas para el goce pleno de sus derechos de participación en los distintos escenarios, entre los que no es ajeno el ámbito organizacional.

¿Pero, desde cuándo lo que nos hace distintos se ha convertido en una brecha para acceder a la oportunidad de derechos para todos? Vale la pena conceptualizar entonces en primera instancia lo que aquí se comprenderá por diversidad. Zuleta, (2010), afirma que la diversidad es democracia, es un derecho a pensar y sentir distinto. Por su parte, Husserl (2005) expone que el yo se constituye a

través de los otros y hablar de los otros ya implica hablar de diferencias y de la misma diversidad. Pero siendo este un asunto tan propio de la naturaleza humana y por cierto de aquello que nos constituye en esencia, crecimiento, desarrollo y potencial, no resulta tan natural cuando aparecen aquellas diversidades que durante siglos han cargado con etiquetas y rótulos sociales, en los que ser mujer, ser persona con discapacidad, pertenecer a determinada edad, grupo étnico o clase social, encara un juego de roles socioculturales que, para desventaja de estos colectivos, no ha resultado equitativo en tanto las formas y posibilidades de acceso y participación.

Es así como a lo largo de la historia se conocen hechos y datos que reflejan claras brechas de inequidad para los distintos grupos poblacionales; a saber entre los que mayormente han experimentado dichas situaciones a través del tiempo son las mujeres, los niños y ancianos, las personas con discapacidad, las personas afrodescendientes, indígenas o de otras pertenencias étnicas, de religión y de cultura y las personas con orientaciones sexuales diversas, quienes a diferencia de las

definiciones expuestas anteriormente, han sufrido el estigma del machismo, el maltrato, la etiqueta social, la exclusión y por supuesto la marginación de distintos escenarios entre los que no se exime el laboral.

Hoy todavía suceden situaciones de este tipo, y aunque parece alarmante, los datos indican que tardaremos, como sociedad, al menos 200 años más para lograr la paridad y la participación equitativa en términos de derechos para los distintos grupos poblacionales. Y, si bien es indiscutible que, en la mayoría de contextos, naciones y culturas,

se han reflejado avances en torno a estos temas, haciendo al menos más visible la voz y la existencia de quienes, por razón del destino, del azar o de su propia decisión, hacen parte de lo que tal vez mal llamamos comunidades diversas —todo ello bajo el entendido que diversos somos todos ya por el único hecho de ser humanos—, los datos y las realidades particulares de estos grupos poblacionales, así como las realidades mismas reflejadas en las dinámicas sociales, culturales y políticas, siguen evidenciando la necesidad de dar continuidad a estas gestiones y luchas por la equidad para todos.

Un giro en la mirada

Para hablar de cambios de perspectivas sobre este tema, necesariamente hay que nombrar la Carta Magna de la Declaración Universal de los Derechos Humanos de 1948, en la que se consagran los derechos humanos como fundamentales y se ratifica la eliminación de toda forma de discriminación, puesto que, a partir de dicha declaración, se han desplegado distintos marcos normativos que han habilitado oportunidades que antes no eran pensadas. Todo este enfoque y sumado a los retos que trajo a la humanidad la Segunda Guerra Mundial, se dio lugar a revoluciones muy potentes para estas poblaciones, donde su voz y su rol fueron vistos y escuchados de otra manera, iniciando un camino de batallas, pero también de apertura a nuevas oportunidades que desde entonces vienen dando paso a un rol más activo de estas poblaciones en la

sociedad, por lo que ya somos el reflejo de la sociedad misma.

La Diversidad, la Equidad y la Inclusión (DEI) desde hace algunos años se ha convertido en un tema de interés de los distintos sectores sociales, políticos, económicos y de gobierno hasta el punto de aparecer como tendencia para la gestión del talento humano. Lejos de ser un tema de moda, una obligación o una estrategia de marketing, como a menudo se percibe y gestiona, es un asunto marco de garantía de derechos de las personas. El interés genuino por parte de estos sectores, para la incorporación y gestión con perspectiva DEI, debería reflejarse en la respuesta a las dinámicas cambiantes del entorno y la sociedad de la cual estos grupos poblacionales son hoy parte activa y, por tanto, sujetos del goce pleno de sus derechos.

DEI en EPM

EPM no ha sido ajena al notado interés para la incorporación de sus prácticas con enfoque DEI, partiendo entre otros asuntos de la ratificación del compromiso que implica su naturaleza pública, por lo que es una empresa de la sociedad y para la sociedad. En esta vía, desde el año 2017, la organización decide emprender acciones afirmativas para la contribución al cierre de brechas para los distintos grupos poblacionales. Pues si bien se partía del supuesto de ser una empresa incluyente y equitativa de manera genuina y natural, se permitió dar un giro

en la mirada, identificando que para aportar al cierre de brechas para los distintos grupos poblacionales, que históricamente han tenido desventajas para el acceso en condiciones equitativas en el escenario laboral, se hacía necesaria la implementación de acciones contundentes que de manera tangencial e intencionada convocaran a estos públicos históricamente en desventaja en estos contextos, materializando acciones afirmativas que impulsaran la evolución cultural, y que a su vez ratificaran el compromiso de la empresa con el tema.

La evolución de las prácticas DEI en EPM

Estos temas han cobrado cada vez más relevancia y, después de iniciar este recorrido en la búsqueda de estrategias para posicionar iniciativas con mirada DEI, se hacen evidentes pequeños pasos, evolución en la misma concepción del tema, y la necesidad de expandir la visual, contemplando un panorama más integrativo. En esta vía, en el año 2019 se pasa de una mirada unilateral de una iniciativa puntual como el programa de inclusión para personas con discapacidad, dando apertura a nuevas perspectivas, nuevos enfoques, nuevas conceptualizaciones y una visual que empieza a expandirse a través del tiempo y que hasta ahora viene creciendo, con el único fin de lograr objetivos comunes de ganar-ganar, donde estos públicos tengan mayores posibilidades en términos de acceso equitativo, lo que se refleja en transformación y desarrollo social, contribuyendo a una evolución en tanto mejores prácticas para la gestión de su talento, desde una perspectiva de apertura, respeto e inclusión.

Vale la pena destacar la incorporación de la perspectiva DEI desde el propio direccionamiento estratégico, integrando este enfoque al propósito organizacional de contribuir a la armonía de la vida para un mundo mejor. Además, en el direccionamiento

estratégico 2024-2035, se ratifica nuevamente este compromiso mediante la promoción del desarrollo humano sostenible. La materialización DEI también se consigna a través de los siguientes pilares de la cultura organizacional: *Valoramos la diversidad y la enfocamos en el logro de objetivos comunes y Todos somos responsables de diseñar y ejecutar experiencias únicas y positivas para nuestra gente y nuestros clientes*. Así mismo, y con el fin de lograr un despliegue que haga posible desde lo estratégico hasta lo operativo, la materialización de hechos concretos en clave DEI, el tema se incluye en el Cuadro de Mando Integral en los objetivos de *Aprovechar la diversidad generacional y mejorar la experiencia de nuestra gente*.

Para dar despliegue a lo aquí expuesto y comprendiendo una clara evolución en lo que respecta a la concepción de la gestión DEI en EPM, se ha diseñado un esquema de trabajo que posibilita una articulación para su despliegue, donde el concepto de DEI ya cuenta con unas definiciones claras y construidas desde la misma gente EPM, lo que podría considerarse un primer paso para que se logren apropiaciones de estas expresiones. Así mismo, y comprendiendo la necesidad de identificar distintos grupos poblacionales para



gestionar con clave DEI, lo cual se sustenta en las brechas existentes de los mismos para el acceso y plena participación en el contexto laboral, se ha avanzado en la definición de enfoques específicos para esta cuestión que, a saber, son los siguientes: enfoque de discapacidad, equidad de género y orientación sexual, talento generacional y multiculturalidad. Dichos enfoques cuentan con gestiones individuales que, a su vez, conversan en un mismo asunto y es el reconocimiento de la diversidad humana desde la empatía y el respeto de todos y para todos, y para su despliegue e implementación se cuenta con el respaldo y acompañamiento de líderes patrocinadores que apalancan la concepción estratégica de este tema.

La evolución del tema no solo ha involucrado lo expuesto, sino también la mirada puesta en distintos públicos de interés de la organización, donde por tratarse de lo humano, aparece también la diversidad y a su vez la necesidad de gestionarla. Solo con preguntarse si ¿todas las personas tendrán acceso a la información que emitimos? o si la ausencia de los servicios públicos afectará de la misma manera a unos que a otros, será

una base suficiente para darse cuenta de que el asunto requiere de un foco puesto en otros grupos de interés, y es por ello que para el despliegue táctico de la gestión DEI, se identificaron líderes y dependencias responsables por cada grupo de interés, donde se busca un rol e involucramiento activo por cada uno de ellos, comprendiendo su cercanía y conocimiento de cada público. Es así como se han priorizado hasta ahora los siguientes públicos de interés para contemplar dentro de las gestiones naturales para su atención, la perspectiva de DEI: Gente EPM que involucra trabajadores oficiales de todos los niveles de la estructura organizacional, trabajadores públicos de niveles directivos, aprendices y estudiantes de práctica. Grupo de interés Comunidades, que involucra como su nombre lo indica, las comunidades que se encuentran en los distintos lugares en los que la empresa hace presencia, proyectos e iniciativas organizacionales. Proveedores y contratistas, que involucra toda la cadena de suministro y clientes y usuarios que son la razón de ser de EPM, puesto que hacen uso de los servicios públicos que son el quehacer de la organización.

Lecciones aprendidas y buenas prácticas en los distintos enfoques

Enfoque de equidad de género

La estrategia de inclusión con mirada de género en la organización se está implementando desde el año 2019, con acciones afirmativas y buenas prácticas que han ido incrementando paulatinamente durante cada año, en la medida en la que se descubren brechas y se identifican nuevas lecciones aprendidas. A continuación, se exponen las principales acciones en este enfoque:

- El marco normativo y estratégico: evidencia cómo la perspectiva de Diversidad, Equidad e Inclusión (DEI) se ha integrado en el propósito organizacional, así como en los valores y principios definidos en el código de ética institucional, la Política de Derechos Humanos y la Política de Gestión del Talento Humano. La organización ha logrado la implementación y certificación del Sello Plata Equipares, lo que demuestra un compromiso claro y contundente en la identificación de brechas de género y la implementación de acciones para

el cierre de estas. Además, ha desarrollado un Protocolo de Atención de Violencias de Género y establecido una mesa de atención para casos reportados, promoviendo procedimientos claros que acompañen a las personas cuando se dé la ocurrencia de este tipo de situaciones. También, se logró la incorporación de criterios de género a ser tenidos en cuenta para la conformación de la Junta Directiva con una visual de participación diversa y equitativa, lo que busca impulsar la representatividad del tema en los niveles más altos de toma de decisiones.

También se cuenta con la RIC DEI (Reunión de Integración y Coordinación) de altos directivos y las mesas tácticas para la gestión y despliegue del tema en los distintos públicos de interés, que constituye un abanico de plataformas clave para discutir y promover estas iniciativas. El espacio denominado *Red de Sinergia*, que está conformado por representantes del Grupo Empresarial para la gestión integral de distintos temas orga-

nizacionales asociados a Talento humano, por su parte, aporta una alineación de todas las filiales del Grupo EPM en asuntos de DEI, por lo menos en lo que compete a una visual estratégica y de definiciones e indicadores.

- Se han realizado otras acciones específicas como ajustes en la denominación de cargos para utilizar un lenguaje incluyente, lo que contribuye a una invitación más intencionada a que hombres y mujeres puedan participar en todos los cargos para los que cumplan con el perfil, rompiendo paradigmas y roles de género asociados a los cargos. También, se ha ajustado el tallaje de los uniformes para las mujeres, asegurando que la vestimenta laboral sea adecuada y cómoda para todos. Se instaló la creación de una sala de lactancia materna para que las mujeres que se encuentran en esta etapa puedan hacer uso de ella, favoreciendo estrategias de conciliación. Se logró evolucionar la estrategia de permisos remunerados para asuntos de conciliación entre la vida personal y laboral, donde hombres y mujeres pueden hacerse cargo de labores de cuidado. Otras estrategias y beneficios como teletrabajo y el programa de conciliación *Tiempo para tu Bienestar*, han aportado a que se avance en el equilibrio y paridad en asuntos de género de cara al escenario laboral.
- La sensibilización y capacitación: la organización ha promovido espacios de conversación con distintos públicos, propiciando construcciones reflexivas para la vivencia de la equidad de género; estas conversaciones no solo aumentan la conciencia sobre estos temas, sino que también fomentan un ambiente de respeto y comprensión mutua. Las campañas de comunicación están diseñadas para incentivar la gestión del cambio hacia una cultura de inclusión con enfoque de género, utilizando diversos medios y mensajes neutros para llegar a todos. Se han desarrollado estrategias específicas para el acompañamiento y permanencia de mujeres dentro de la organización; esto incluye: la creación de espacios para la gestión y adaptación de mujeres a cargos tradicionalmente masculinizados, lo que ayuda a romper barreras y a promover la equidad en todos los niveles de la organización; las retroalimentaciones

continuas dirigidas al mejoramiento de las competencias laborales, asegurando que todos los servidores/as tengan la oportunidad de crecer y desarrollarse profesionalmente. El acompañamiento integral a líderes, equipos y a las mujeres que forman parte de la estrategia es fundamental para el éxito de estas iniciativas. Este acompañamiento incluye la creación de espacios seguros, saludables y libres de violencias de género. El trabajo continuo en la evolución cultural promueve el respeto por las diversidades humanas y la equidad de género, consolidando un entorno laboral más justo e inclusivo.

- La transferencia de conocimientos y lecciones aprendidas: las buenas prácticas en equidad de género se sistematizan en los distintos procesos y dinámicas organizacionales, lo que facilita la transferencia de conocimientos. Esta sistematización incluye la elaboración de manuales y guías de usuario en algunos ítems específicos. Estos documentos son recursos valiosos que ayudan a los empleados a entender y aplicar las políticas de equidad de género en su trabajo diario.

Enfoque de discapacidad

- A lo largo de los años se han dado distintas lecciones aprendidas en el enfoque de discapacidad, que han permitido desarrollar una cultura que vive la inclusión desde lo natural y cotidiano, algunas de ellas son: la importancia de minimizar las barreras y habilitar escenarios de equiparación de oportunidades para visibilizar las competencias y habilidades de las personas y no la discapacidad, de implementar los ajustes razonables para que las personas puedan desempeñar su trabajo de manera eficiente y el hecho de que las personas con discapacidad son competentes y contribuyen al logro de los objetivos organizacionales independiente de su discapacidad. Es a causa de estas lecciones, que, con clara convicción de la importancia de aportar al desarrollo sostenible y la transformación social, EPM inicia el camino, partiendo de un diagnóstico en el que se identificaron barreras y facilitadores para la incorporación en el mundo laboral de las personas con discapacidad. Con esta primera acción se logra materializar un programa de inclusión laboral para personas



con discapacidad, que inicialmente se enfocó en la preparación del escenario para la llegada de este público. En el año 2018 se materializa el patrocinio en etapa práctica de estudiantes con discapacidad, lo que impulsó a un paso posterior la vinculación de 20 personas con otros tipos de discapacidad.

- En la actualidad el programa de inclusión cuenta con las siguientes prácticas: se realiza un acompañamiento permanente a funcionarios con discapacidad que no llegan a través de los cargos del programa pero que hacen parte de la organización, promoviendo la implementación de ajustes razonables de manera individual y en sus respectivos equipos de trabajo. Así mismo, se ha afianzado la alianza interinstitucional con el SENA y con otras organizaciones de la ciudad que trabajan en favor de la población con discapacidad, logrando el patrocinio continuo de aprendices con discapacidad en distintas áreas de conocimiento y en formación por competencias. Hoy el programa se ha convertido en un puente que facilita el ingreso de personas con discapacidad a la organización; actualmente dispone de vacantes de técnico, tecnólogo y profesional, en las que

no se requiere experiencia laboral para su participación, dichas vacantes se publican de forma periódica, dirigidas únicamente a personas con discapacidad; sin embargo, lo que se busca con este programa es acelerar el cierre de brechas para este público e incentivar que de manera natural las personas con discapacidad se presenten a cualquiera de los cargos que se publican a través del portal web, y que puedan competir en equidad de oportunidades. Es importante resaltar que no se especifica algún tipo de discapacidad para el cubrimiento de los cargos, porque lo que se visualiza es el potencial de la persona y no su discapacidad, y será bienvenida a la organización toda vez que pueda ajustarse al perfil del cargo al que se postula con la consigna de implementación de ajustes razonables.

En el marco puntual del programa de inclusión, se brinda un acompañamiento continuo en la gestión y desarrollo profesional de estas personas, entre ellas la orientación por parte de un tutor técnico durante el desarrollo del proyecto, la revisión de puestos de trabajo, la implementación de ajustes razonables y ergonomía. Se realizan estrategias de seguimiento para contribuir a la permanencia

laboral dentro de la organización, entre ellas: espacios de seguimiento al desempeño y el desarrollo, retroalimentaciones continuas que apuntan al mejoramiento de las competencias laborales, dinamización de las estrategias de participación en vacantes de la estructura organizacional, acompañamiento integral a líderes, equipos y personas con discapacidad.

Logros más representativos en lo transversal de DEI:

- Se creó un enfoque DEI en la política de Derechos Humanos, con nuevos lineamientos enfocados en este tema.
- Se conformó la RIC, estableciendo una visión estratégica de DEI para la organización.
- Se fortaleció la RIC a partir de un nuevo esquema de trabajo que contiene mesas tácticas por cada público de interés.
- Se definió una estrategia inicial que contempló definiciones DEI brindando un panorama de gestión del tema para el Grupo EPM.
- Se definieron dos indicadores de cara a la gestión en DEI que se reportan en el marco de derechos humanos y que, además, tienen alcance de grupo, que son: nivel de madurez en la gestión DEI y nivel de impacto DEI en la estrategia.
- En noviembre de 2021, EPM recibió Sello Plata por el compromiso con la igualdad de género en el Programa de Certificación de Sistemas de Gestión en Igualdad de Género (SGIG Equipares), de la mano del Ministerio del Trabajo y la Consejería Presidencial para la Equidad de la

Mujer (CPEM), con el apoyo técnico del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

- En 2019, EPM recibió el Premio Comfenalco Antioquia en categoría inclusión de personas con discapacidad.
- Para el 2020, se da la sistematización, la transferencia de conocimientos, lecciones aprendidas en inclusión y el patrocinio de aprendices con discapacidad, que sirvió como un piloto para convertirse en lo que hoy se conoce como el programa de inclusión de personas con discapacidad.
- En 2023 se recibe el tercer puesto del Premio Comfenalco Antioquia en la misma categoría del año 2019.
- En alianza con el SENA, se da la iniciativa de patrocinio en la formación de mujeres en electricidad industrial, un hito fundamental que ha trascendido las barreras del nivel operativo. Esta iniciativa no solo ha proporcionado oportunidades de desarrollo a mujeres en un campo tradicionalmente masculinizado, sino que también ha contribuido a desafiar y transformar los estereotipos de género arraigados en el ámbito laboral. Un año antes se genera una alianza interinstitucional con la Agencia Francesa para el Desarrollo (AFD) y con ella todo el despliegue de la consultoría técnica con la firma ECO Group, con la que se logra la incorporación de la perspectiva género en los proyectos TEPUY y Eliminación Descargas, la sensibilización en género en proveedores y contratistas, y distintas filiales del grupo EPM y una actualización en los instrumentos utilizados para el seguimiento a las dimensiones del Sello Equipares.

Retos para seguir este camino

Sintetizando lo aquí expuesto, se puede resaltar el avance de EPM en la gestión de DEI, lo que resulta representativo para el cierre de brechas. Sin embargo, siguen existiendo retos que ameritan un abordaje de continuidad, donde se pueda estar en constante actualización sobre la gestión integral en DEI, exponiendo entonces que los

mayores retos para seguir este camino consisten en primer lugar en que cada día se apalanque y ratifique el compromiso de la alta dirección y todo su órgano directivo con estos asuntos. Pues, como bien lo ratifica la teoría, esto es un cambio y una evolución cultural, que requiere de una gestión del cambio, de unos patrocinadores que apalanquen

y encaren estos temas, que le den un lugar y una perspectiva estratégica comprendiendo los aportes de valor para todas las partes y que en esta vía lo puedan elevar como caso de negocio. Así mismo, se hace importante evolucionar en las

políticas, el trabajo en red con empresas del grupo empresarial y otras instituciones que persiguen estos mismos fines y desplegar acciones contundentes con causas objetivas, que hagan posible el cierre de brechas para estos públicos.

Conclusiones

Este artículo evidencia los avances que la organización ha logrado en la integración de la diversidad, equidad e inclusión (DEI) en su gestión desde 2017, permitiéndose así mismo reconocer e identificar las brechas y retos que en materia de este tema se deben seguir gestionando para responder a las tendencias y necesidades que demanda este tema. Esto incluye la implementación natural de prácticas que en vía de cierre de brechas para los grupos poblacionales denominados diversos, permita ir reflejando naturalmente la participación equitativa en el escenario organizacional, logrando una transformación efectiva y que se mantenga en el tiempo.

En síntesis, aunque EPM ha avanzado considerablemente en su camino hacia una mayor equidad e inclusión, el compromiso con estos asuntos implica un esfuerzo continuo y sostenido. La organización se enfrenta al reto de mantener y ampliar sus iniciativas de DEI, para lograr que las personas reflejadas en sus distintos públicos de interés, independientemente de sus diversidades humanas, puedan participar plenamente y contribuir a los objetivos organizacionales, la materialización de la estrategia y el éxito, competitividad y permanencia de la empresa en el tiempo.

Referencias

- Husserl, E. (2005). *Ideas Relativas para una fenomenología pura y una filosofía fenomenológica: Investigaciones fenomenológicas sobre la constitución*. (Vol. 2). Fondo de cultura económica.
- Zuleta, E. (2010). *Educación y Democracia: un campo de combate*. Omegalfa. <https://omegalfa.es/downloadfile.php?file=libros/educacion-y-democracia.pdf>

Cómo citar este artículo:

Correa E. y Giraldo, S. (2024). La diversidad, la equidad y la inclusión evolucionan en EPM. *Revista EPM*, (24), 31-40.



Planta de Biometano San Fernando. Una innovación de proceso amigable con el ambiente y que promueve la economía circular

San Fernando Biomethane Plant. An environmentally friendly
process innovation that promotes the circular economy

Arley
Londoño Restrepo
Unidad planeación Gas, EPM

arley.londono@epm.com.co

Carlos Alberto
Moreno del Valle
Gerencia Soluciones Gas, EPM

carlos.moreno@epm.com.co

Resumen

EPM como empresa líder en la distribución de energéticos de bajas emisiones en Colombia, empezó un plan para el suministro de gas natural renovable a sus clientes actuales y potenciales con el fin de sustituir energéticos de origen fósil y así contribuir a la reducción del calentamiento global.

El primer paso en la consolidación de este plan fue la construcción de la planta de biometano de

San Fernando, para la producción e inyección del energético a la red de distribución de gas natural del Valle de Aburrá. Con dicho proyecto la empresa ha podido avanzar en el conocimiento de la tecnología y aprender lecciones que servirán para hacer más eficientes los proyectos futuros en Colombia de biogás/biometano tanto de EPM como de otras empresas que operen en nuestro país.

Palabras clave:

Biogás, Biometano, Enriquecimiento, PSA, Aprovechamiento

Keywords:

Biogás, Biomethane, Upgrading, PSA, Exploitation

Introducción

Una de las mayores preocupaciones de la humanidad en los últimos años es el calentamiento global, todos los que tienen conciencia sobre la variación en los fenómenos naturales han escuchado a los científicos afirmar que dichos cambios obedecen al calentamiento global, por lo que cada uno se pregunta si el planeta será habitable para las próximas generaciones.

El calentamiento se origina con el uso intensivo de combustibles fósiles, por lo que los líderes mundiales de naciones y de grandes empresas han orientado sus esfuerzos a promover el uso de energías amigables con el ambiente, energías renovables que tienen baja emisión de gases de efecto invernadero, contribuyendo así a no incrementar el calor acumulado sobre el planeta.

Esta revolución positiva expuesta en el párrafo anterior es lo que se conoce como transición energética, en la cual se van incorporando a la economía productiva fuentes de energía más limpias en pro de una reducción porcentual de energías con alto poder de emisión, concepto también llamado descarbonización, debido a que el patrón de medida de los gases de efecto invernadero es el CO_2 y se quiere reducir al máximo.

Uno de las energías limpias que hace un gran aporte a esta tarea es el biogás, el cual sirve tanto para producir electricidad, como para ser usado directamente en la producción de energía térmica permitiendo sustituir de manera directa combustibles de origen fósil con alto grado de emisión de GEI (Gases de Efecto Invernadero).

La transición energética promueve en gran medida la economía circular, la cual consiste en darle uso a los subproductos de cualquier proceso que en el pasado fueron considerados desechos, logrando de esta manera reducir la presión sobre las materias primas y en consecuencia sobre los recursos necesarios para transformar dichas materias. En este campo también el biogás es un digno representante de los productos de economía circular dado que se origina por la descomposición de residuos orgánicos. De esta manera las empresas con aprovechamientos de tipo vegetal y animal, así como las plantas de tratamiento de aguas residuales y los rellenos sanitarios generan biogás como subproducto de desecho, el cual desde hace pocos años ha empezado a adquirir valor.

El biogás es un energético con alto contenido de metano CH_4 y otros componentes no energéticos, algunos de ellos dañinos para los equipos en contacto. En este sentido la industria tiene procesos de limpieza tan simples como el retiro de humedad e hidróxido de azufre H_2S para evitar la corrosión de equipos, como el retiro de CO_2 para llevar dicho gas a condiciones de gas natural, proceso llamado enriquecimiento (upgrading) y el producto obtenido es llamado biometano.

Este artículo tiene como objetivo dar a conocer el proyecto ejecutado por EPM para el aprovechamiento del biogás generado en la Planta de Aguas Residuales San Fernando, de forma que permita al lector entender la innovación del proceso realizado y las lecciones aprendidas en un proyecto del tipo innovación.

1. Antecedentes

La planta de tratamiento de aguas residuales —PTAR San Fernando— está ubicada en el municipio de Itagüí al sur del Valle de Aburrá e inició su operación

en el año 2000 con el objetivo de limpiar las aguas que se disponen en el río Medellín.



Figura 1. Vista aérea PTAR San Fernando.

En el proceso operativo de la planta se separan los lodos del agua residual, los cuales ingresan a dos

digestores en ausencia de oxígeno (anaeróbicos) con el fin de promover la producción de biogás.

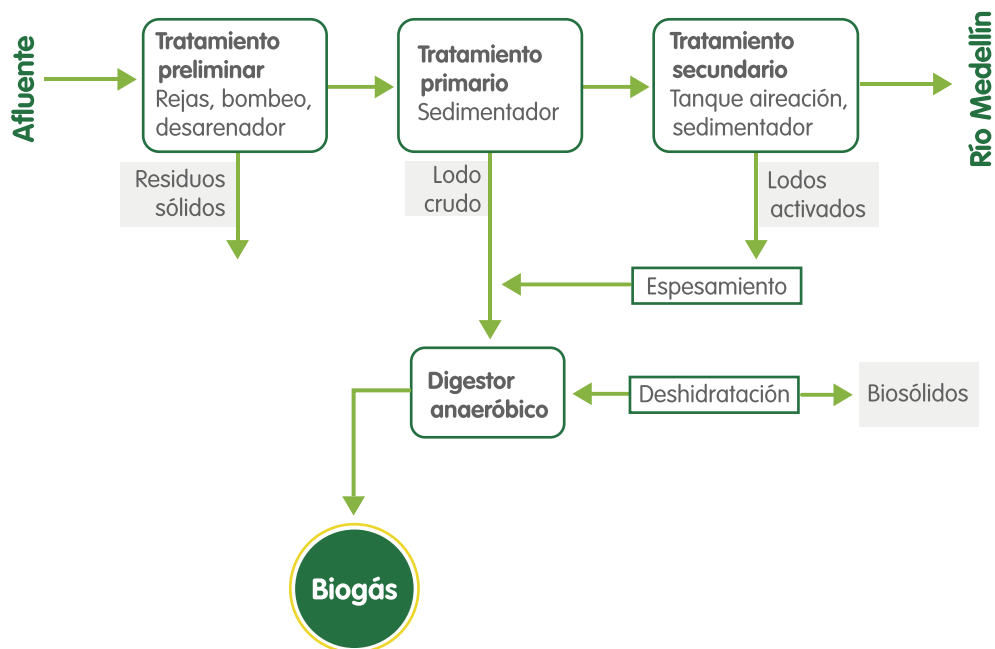


Figura 2. Diagrama de producción de biogás en PTAR.

Desde sus inicios el biogás producido en la planta San Fernando había sido utilizado en la generación de energía eléctrica mediante el uso de dos motores marca Caterpillar, cada uno de 720 KW de potencia nominal, esto representa el 40% de

las necesidades eléctricas. Para ingresar a los motores el biogás debía tener un pretratamiento consistente en el retiro de humedad, de siloxanos y de ácido sulfhídrico H_2S con el objeto de proteger los equipos de fallas por corrosión.



Figura 3. Aprovechamiento de Biogás para electricidad.

El gas de digestión tiene un poder calorífico de aproximadamente $21,5 \text{ MJ/Nm}_3$ ($6,2 \text{ kWh/Nm}_3$), y los motores tienen una eficiencia que oscila entre el 28 y 30%. Los gases calientes de la combustión de los motores son recuperados para calentar los digestores donde se produce el biogás. En las temporadas en que los motores no están operando los digestores son calentados mediante una caldera que consume biogás.

La Comisión de Regulación de Energía y Gas [CREG] (2016) emitió la resolución 240, en donde establece las condiciones que debe cumplir un productor que obtenga biogás en algún proceso agroindustrial o de tratamiento de aguas residuales y/o residuos orgánicos, para que, mediante tecnologías de limpieza pueda llevarlo a calidad

biometano, cumpliendo con una composición química y condiciones de calidad similares a las del gas natural y ser inyectado a redes de distribución local o nacional. Esta resolución ha permitido considerar otros usos del biogás producido en la PTAR San Fernando, convirtiéndose en una nueva fuente potencial de suministro para el negocio de gas natural.

Gracias a la mencionada resolución, la empresa emprendió un proyecto para darle un aprovechamiento diferente al biogás pasando de generar energía eléctrica a tratarlo para convertirlo en biometano mediante la instalación de una planta que enriquece el energético o lo limpia de agentes no deseados, de tal forma que pueda ser inyectado a la red de distribución de gas natural de EPM.



Figura 4. Esquema de inyección de biometano a red de gas natural.

2. Innovación de proceso

Tradicionalmente en Colombia el biogás ha sido utilizado para la producción de electricidad necesitando al menos dos procesos de transformación energética para que su uso final sea en iluminación o fuerza motriz, entre otros.

Este proyecto representa una innovación de proceso, porque, permite la utilización del biogás de una forma más económica y amigable con el medio ambiente dado que se usará directamente como energético de combustión sin pasar antes por transformaciones, debido a esta reducción también se gana en eficiencia energética al reducir un proceso de conversión energético para alcanzar el uso final en equipos.

En la siguiente tabla se puede identificar la eficiencia del uso de la energía contenida en el biogás de la planta San Fernando, identificando en kWh la energía química en el metano del biogás producido, luego transformada a energía eléctrica en motores con eficiencia del 30%, y por último la transformación hacia los equipos finales de uso eléctrico con promedio de eficiencia de 88%, lo que indica una eficiencia total de aprovechamiento del biogás de 26%.

En la misma tabla se puede identificar que la energía perdida en los procesos de transformación genera una emisión de GEI de 6.690 Ton CO₂ eq/año, emisión sobre recursos no utilizados.

Energía	kWh / año	Participación consumo	Eficiencia procesos	kWh perdidos	Ton Co2 emitidas sin uso productivo
Biogás (componente metano)	50.032.214				
Electricidad	15.009.664		30%	35.022.550	6.374
Iluminación	4.457.870	33%	90%	495.319	90
Motriz (bombeo)	4.457.870	33%	90%	495.319	90
Térmico (aire acondicionado)	4.210.211	33%	85%	742.978	135
Total Usado	13.125.950		26%	36.756.166	6.690

Tabla 1. Eficiencia en aprovechamiento eléctrico de biogás San Fernando.

Por otro lado, cuando se usa el biogás para procesos directos de producción de calor se reduce una transformación energética, para el cálculo se utiliza el promedio de eficiencia de los procesos de combustión en Colombia,

referenciado en estudios de la Universidad de Antioquia. Bajo este aprovechamiento la eficiencia total sube al 65% y las emisiones ocasionadas por los kWh perdidos se reduce a 3.529 Ton CO₂ eq/año.

Energía	kWh / año	Eficiencia procesos	kWh perdidos	Ton Co2 emitidas sin uso
Metano	50.032.214			
Producción de calor	32.520.939	65%	17.511.275	3.529
Total Usado	32.520.939	65%	17.511.275	3.529

Tabla 2. Eficiencia en aprovechamiento *inyección a red* de biogás San Fernando.

Las tablas anteriores evidencian que el cambio de proceso le genera al aprovechamiento de biogás un incremento en eficiencia del 39% y una reducción en emisiones de 3.161 Ton CO₂ eq/año.

El proyecto a su vez permite la asimilación en Colombia de tecnología que, aunque existente en el mundo no estaba presente en el país, esto permite a la comunidad técnica Colombiana el aprendizaje de esa tecnología y el desarrollo de conocimiento para su adaptación al territorio.

3. Lecciones aprendidas

El proyecto aquí presentado consiste en la instalación y operación de una planta de producción de biometano conformada por la integración de varios equipos de limpieza que permiten llevar el biogás

de una composición particular con la que sale de los biodigestores, para llevarlo a una condición deseada similar a la del gas natural.

Biogás San Fernando			Biometano		
Parámetro	Unidades	Valor requerido	Parámetro	Unidades	Valor requerido
CH ₄	%V	65,13	CH ₄	%V	>94
CO ₂	%V	33,99	CO ₂	%V	<2
O ₂	%V	0,1	O ₂	%V	<0,1
N ₂	%V	0,2	N ₂	%V	<3
H ₂ S	mg/m3	18	H ₂ S	mg/m3	<6
Siloxanos	mg/m4	8	Siloxanos	mg/m4	<10

Tabla 3. Parámetros registrados antes de proyecto y requerimientos de biometano.



Figura 5. H₂S entregado por la PTAR y foto de filtros.

El biogás tomado pasa por un filtro de carbón activado para reducir el valor de H₂S, luego se eleva la presión del gas para que pase por un filtro

PSA que retira CO₂, nitrógeno N₂ y oxígeno; dicho proceso permite entregar el gas en condiciones de biometano.



Figura 6. Medición de H_2S a la salida de filtros.

Es importante anotar que en el proceso el gas se calienta y debe ser enfriado por medio de un inter-

cambiador de calor impulsado por enfriador eléctrico para un correcto funcionamiento de la planta.



Figura 7. Parámetros medidos a la salida de la unidad PSA.

En relación con el proceso de ejecución del proyecto y en los primeros meses de operación se encontraron complicaciones que permitieron identificar mejoras para la ejecución y operación de proyectos de nuevas tecnologías dentro de la empresa, y que a su vez puede servir a otras empresas interesadas en iniciar proyectos de biometano. A continuación se presentan las dificultades a medida que se explica la componente de ejecución.

- **Licencia ambiental:** el proyecto realizado en San Fernando requirió modificación de la licencia ambiental existente de la planta de aguas residuales, procedimiento que retrasó la ejecución más de un semestre. Al igual que en este

proyecto, la mayoría de los diseños de aprovechamiento de biogás se ubican en plantas o rellenos que tienen una licencia ambiental, lo que puede implicar una modificación a dicha licencia y retrasos en los cronogramas de ejecución por lo tanto se recomienda iniciar dicho trámite desde la etapa de formulación.

- **Automatización:** en el estudio de mercado y comunicaciones con los proveedores de la tecnología de la planta no se identificaron los mecanismos necesarios de automatización, lo que conllevó a gastos adicionales de dicho tipo para garantizar una operación óptima de la planta.

- Teniendo en cuenta que las tecnologías utilizadas para obtener biometano no son estándar, sino que son propias de cada proveedor, se recomienda indagar profundamente con los proveedores las necesidades específicas de automatización para una operación óptima.
 - **Dimensión de planta:** de acuerdo con las expectativas de tratamiento de aguas, la Unidad Gestión Aguas Residuales consideró un incremento en la generación de biogás hasta una capacidad de 1.200 m₃/h, sin embargo, luego de haber definido el proyecto dicha proyección se redujo hasta una capacidad de 900 m₃/h, afectando la rentabilidad del mismo y dejando capacidad ociosa. Una recomendación importante es que la empresa que aproveche el biogás, revise y analice las cifras de proyección del productor con el fin de identificar falencias a tiempo y poder dimensionar la infraestructura adecuada.
 - **Equipos de pretratamiento:** la composición del biogás entregado a la planta de tratamiento contenía un mayor porcentaje de H₂S que el presente en la cromatografía utilizada para la formulación del proyecto, dicha situación se presentó porque los equipos de pretratamiento instalados en la planta de aguas residuales estaban fallando, lo que ocasionó un incremento en inversión de la planta de biometano al requerir la instalación de nuevos filtros de carbón activado. Se recomienda para proyectos de este tipo verificar el estado de los equipos de pretratamiento de propiedad del productor de biogás con el fin de determinar desde la etapa de formulación si se requieren inversiones mayores.
 - **Negociación de condiciones con dueño del biogás:** de acuerdo con la forma de operación de la planta de aguas residuales y el mantenimiento de los equipos de la PTAR, se posibilita la reducción de la cantidad prometida de biogás por parte del productor y también el posible cambio en la caracterización de dicho biogás, conteniendo mayores valores de H₂S entre otros. Para corregir dicha situación se deben poner cláusulas que compensen el impacto generado por la no producción proyectada de biogás y por el cambio en la cromatografía de este.
 - **Integración de equipos y procesos:** para el entendimiento de como los equipos se deben combinar dependiendo de sus marcas y tamaños, es de vital importancia la visita de personal de formulación y de operación a plantas que se encuentren en funcionamiento.
 - **Permisos de importación:** el enfriador de gases para ingresar al país debió cumplir con la entrega de certificados especificando que tenía sustancias que protegieran la capa de ozono, dicho certificado debía venir con una traducción oficial del país de origen. Al no tener conocimiento de dicha situación el proceso de importación se demoró ya que los equipos permanecieron en la aduana, generando retraso en la ejecución del proyecto. Se recomienda verificar con anterioridad el tipo de equipos a importar y las restricciones de ingreso al país para que se pueda gestionar con anterioridad la documentación requerida de forma que no se impacte la ruta crítica.
 - **Entendimiento de la planta:** en el proceso de integración de equipos se encontró que faltaron algunos.
- Durante la etapa de operación se han identificado las siguientes dificultades:
- La producción de biogás no tiene una rata de flujo constante, lo que ha llevado a parar la planta en varias ocasiones y a tener diferentes eficiencias en el proceso de limpieza de componentes. Se debe organizar desde el principio con el proveedor de la PSA como se realiza la calibración continua para diferentes niveles de producción.
 - La planta es automática pero no autónoma; fue diseñada para arrancar y parar en una secuencia de interoperabilidad entre todos los subsistemas, pero no es completamente autónoma. (Depende de una fuente que no es estable en cantidad (Biogás) y depende de un consumo que es muy dinámico (Red distribución gas natural)
 - Manejo inadecuado del carbón activado en la actividad de cambio del mismo, incluye el procedimiento.

Conclusiones

Los proyectos de aprovechamiento de biogás son una excelente fuente de energía renovable que permite hacer un aporte a la descarbonización de la región, donde se aprovechan al tiempo que reducen el impacto sobre el planeta que ejercen las empresas productoras de materias primas, ya que es producido mediante el aprovechamiento los residuos de otro proceso, fomentando así la economía circular.

Sin embargo, es de anotar que, al ser tecnología nueva para el país, se requiere prestar mayor atención en su formulación y ejecución para lograr obtener sus beneficios y disminuir al máximo los impactos económicos y de todo tipo de recursos en la instalación y operación.

Referencias

- Resolución 240 de 2016 [Comisión de Regulación de Energía y Gas]. Por la cual se adoptan las normas aplicables al servicio público domiciliario de gas combustible con biogás y biometano. 6 de diciembre del 2016.

Cómo citar este artículo:

Londoño, A. y Moreno, C. (2024). Planta de Biometano San Fernando. Una innovación de proceso amigable con el ambiente y que promueve la economía circular. *Revista EPM*, (24), 41-50.



Trabajos subacuáticos con equipos hidromecánicos para rehabilitación y mantenimiento de túneles y estructuras de captación en proyectos de aprovechamiento hidráulico

Underwater works with hydromechanical equipments for rehabilitation and maintenance of tunnels and intakes in hydraulic projects

**Frank
Ortiz**

Dirección Desarrollo
Proyecto Ituango, EPM

frank.ortiz@epm.com.co

**Ricardo
Osorio**

Dirección Desarrollo
Proyecto Ituango, EPM

ricardo.osorio@epm.com.co

Resumen

Este artículo analiza la implementación de trabajos subacuáticos en proyectos de aprovechamiento hidráulico, centrándose en el uso de mamparos mecánicos como solución para el taponamiento de estructuras sumergidas. Se presentan las principales alternativas de taponamiento, destacando las capacidades y ventajas de los mamparos mecánicos frente a otras opciones menos robustas, como los tapones inflables o de hielo. A través de los casos del Proyecto Hidroeléctrico Ituango en Colombia y la Presa St. Mary en Canadá,

se examinan los desafíos técnicos y logísticos asociados al diseño, fabricación e instalación de mamparos mecánicos, adaptados a las condiciones específicas de cada proyecto. El estudio resalta la importancia del diseño, la planificación y el uso de técnicas avanzadas como el buceo de saturación para garantizar intervenciones seguras y eficientes. Finalmente, se presentan recomendaciones prácticas aplicables a futuras intervenciones de esta tipología en aprovechamientos hidráulicos y las conclusiones asociadas.

Palabras clave:

ROV (Vehículo operado a distancia), SAT (Sistema de Saturación), PHI (Proyecto Hidroeléctrico Ituango), Presa, Túneles de conducción, Estructura de captación, Embalse, Mamparo mecánico, Equipos hidromecánicos, Boyancia, Cámara hiperbárica, FAT (Prueba de aceptación de fábrica), Buceo de saturación

Keywords:

ROV (Remotely Operated Vehicle), SAT (Saturation System), PHI (Ituango Hydroelectric Project), dam, tunnels, Intake structure, Reservoir, Mechanical bulkhead, Hydromechanical equipment, Buoyancy, Hyperbaric chamber, FAT (Factory Acceptance Test), Saturation diving

Introducción

En muchos proyectos de aprovechamiento hidráulico, existen estructuras que, debido a su configuración y función, están permanentemente conectadas al embalse o a sistemas presurizados, lo que hace inviable su despresurización completa para realizar intervenciones. Estas condiciones generan la necesidad de soluciones especializadas, como el uso de mamparos mecánicos y el requerimiento de la ejecución de trabajos subacuáticos para su instalación, de tal manera que se puedan aislar las estructuras o zonas a intervenir. Este requerimiento técnico surge principalmente en algunos túneles de conducción, estructuras de captación y descargas de fondo, donde no se cuenta con los dispositivos o elementos requeridos para aislar y despresurizar las zonas a intervenir, haciendo las intervenciones en seco imposibles sin el uso de elementos que aislen y protejan las estructuras en un entorno controlado y la ejecución de trabajos subacuáticos. La implementación de estas soluciones es fundamental para garantizar la continuidad operativa de las infraestructuras hidráulicas, minimizando los riesgos asociados a las intervenciones.

Los trabajos subacuáticos y uso de mamparos mecánicos en aprovechamientos hidráulicos representan un desafío técnico que requiere soluciones adaptadas a las condiciones específicas de cada proyecto. Este artículo explora diferentes tipos de taponamiento, destacando las capacidades y ventajas de los mamparos mecánicos frente a otras opciones menos robustas, como los tapones inflables o de hielo.

A través del análisis de casos reales, como el Proyecto Hidroeléctrico Ituango en Colombia y la Presa St. Mary en Canadá, se examinan las decisiones técnicas detrás de la selección de las soluciones de taponamiento. En Ituango, los mamparos mecánicos instalados mediante buceo de saturación se destacaron como la opción más viable para condiciones de presión significativas y dimensiones mayores, mientras que, en Canadá, los ROVs permitieron una instalación efectiva en condiciones menos exigentes. La implementación del buceo de saturación, una técnica avanzada que garantiza operaciones continuas a grandes profundidades, resultó fundamental para completar los trabajos en los tiempos previstos, maximizando la eficiencia y minimizando riesgos.

El artículo está organizado en cuatro partes principales. Primero, se presenta una visión general de las alternativas de taponamiento y su relevancia en proyectos de aprovechamiento hidráulico que requieren de intervención y no cuentan con los dispositivos requeridos para acceder a todas las zonas en seco de manera controlada. A continuación, se desarrollan estudios de caso que ilustran la implementación de estas soluciones en escenarios reales. En la tercera sección, se exponen algunas consideraciones para futuras implementaciones de mamparos mecánicos, mientras que la última parte ofrece las conclusiones asociadas.

1. Alternativas de taponamiento

El taponamiento de estructuras hidráulicas en proyectos de aprovechamiento hidráulico es un componente crítico que requiere soluciones técnicas innovadoras para garantizar la seguridad y la continuidad de las operaciones. En este artículo, se hace especial énfasis en el uso de mamparos mecánicos, dado que estos representan el tipo de taponamiento utilizado y

probado en los casos analizados. Aunque existen otras alternativas importantes, su tratamiento es más general, ya que no constituyen el foco del análisis posterior presentado en este artículo. La organización del numeral responde, por tanto, a la necesidad de profundizar en el método que se aborda en las experiencias prácticas descritas más adelante.

1.1 Tapones o mamparos mecánicos

Los mamparos mecánicos son estructuras diseñadas para bloquear o regular el flujo de agua en conductos, túneles o tomas de agua. Están fabricados con materiales resistentes, como acero estructural, y suelen incluir sistemas de anclaje y refuerzo que garantizan su estabilidad frente a altas presiones hidráulicas. Su diseño permite que sean instalados, operados y eventualmente removidos con el apoyo de equipos especializados, como vehículos operados remotamente (ROVs) o buzos, lo que facilita su uso en ambientes subacuáticos. Estos mamparos se utilizan comúnmente para aislar secciones de infraestructura durante trabajos de mantenimiento, reparación o construcción, permitiendo realizar operaciones en un entorno controlado sin necesidad de desviar grandes volúmenes de agua (DCN Diving BV, 2021; Bagnérès et al., 2024; Calderón et al., 2023).

Una de las principales ventajas de los mamparos mecánicos es su adaptabilidad y versatilidad a las necesidades de la infraestructura a intervenir, ya que pueden ser diseñados para ajustarse a diversas configuraciones y geometrías de conductos, lo que los hace útiles en una amplia variedad de proyectos. Además, su instalación y remoción son procesos relativamente rápidos, los cuales pueden realizarse sin interrumpir completamente el funcionamiento de la infraestructura, minimizando el impacto operativo. Estos mamparos proporcionan una seguridad estructural significativa, creando un sellado eficaz que permite realizar trabajos aguas abajo sin riesgo de inundaciones o filtraciones significativas; lo anterior, siempre y cuando la infraestructura donde estos dispositivos se instalaran cuente con las capacidades estructurales para apoyar el mamparo, estructurales para resistir el posible diferencial de presión generado al vaciar el conducto e hidráulicas para minimizar las filtraciones durante el proceso de despresurización y trabajos en seco. Otra ventaja importante es su capacidad de reutilización, ya que adicional a la primera intervención de la infraestructura con este tipo de elementos, el diseño y configuración puede considerar la posibilidad de múltiples usos, bajo las mismas condiciones de trabajo (geometría, presión, condiciones de frontera); las especificaciones técnicas deben precisar este requerimiento, acotando claramente las condiciones de operación, así como los recubrimientos y cuidados en el tiempo

que se le debe dar a los elementos, para garantizar una vida útil adecuada. Lo anterior ayuda a reducir los costos en intervenciones subsecuentes (DCN Diving BV, 2021; Calderón et al., 2023; Klohn Crippen Berger, 2022).

Sin embargo, también existen algunas desventajas asociadas a los mamparos mecánicos. Uno de los principales desafíos es que su instalación requiere equipos especializados y personal altamente capacitado, lo que puede aumentar la complejidad del proyecto y costo de los trabajos. Además, la efectividad del mamparo depende de factores como la presión del agua, la calidad del sellado y las condiciones del entorno, lo que podría limitar su uso en ciertos escenarios. Los costos asociados con los materiales, la fabricación y la instalación de los mamparos son significativos, especialmente si las condiciones del proyecto requieren diseños personalizados. Durante su operación, es recomendable realizar un monitoreo constante del estado del mamparo para evitar filtraciones o fallos estructurales, lo que implica una inversión adicional en términos de recursos y tiempo. Para algunas configuraciones es requerido dejar de forma permanente elementos del mamparo dentro del conducto; elementos que pueden afectar la eficiencia hidráulica y generar perturbaciones al flujo no deseadas en casos específicos. Finalmente, aunque los mamparos mecánicos están diseñados para ser eficientes, existe el riesgo de falla si no se instalan correctamente o si enfrentan condiciones más severas de lo esperado, lo que podría resultar en filtraciones y poner en riesgo las actividades planificadas aguas abajo (DCN Diving BV, 2021; Calderón et al., 2023).

1.2 Otros tipos de taponamiento

Además de los mamparos mecánicos, existen otras alternativas que se adaptan a distintas condiciones técnicas y operativas en proyectos de aprovechamiento hidráulico que no cuenten con los dispositivos de cierre requeridos para aislar y despresurizar zonas a intervenir.

Entre estas opciones destacan las ataguías temporales, estructuras diseñadas para crear un entorno seco alrededor del área de trabajo. Estas pueden construirse con materiales como perfiles de acero, membranas impermeables o tierra compactada, siendo útiles principalmente en aguas superficiales

o poco profundas. Sin embargo, su implementación en mayores profundidades puede ser costosa y compleja debido a las altas presiones hidrostáticas (Calderón et al., 2023; Klohn Crippen Berger, 2022).

Los tapones de hielo son una alternativa que utiliza la congelación controlada del agua dentro de una conducción para formar una barrera sólida. Este método es particularmente útil en climas fríos, donde las bajas temperaturas facilitan su formación. Su aplicación se limita a estructuras de tamaño pequeño a mediano y a presiones moderadas, ya que el hielo puede no ser capaz de soportar columnas de agua significativas (Calderón et al., 2023; Klohn Crippen Berger, 2022).

Entre sus ventajas se encuentra su bajo impacto ambiental, ya que no requiere materiales adicionales, y su capacidad para generar un sellado eficaz en condiciones específicas. Sin embargo, su efectividad depende de la calidad del agua, porque la presencia de impurezas puede dificultar la formación y estabilidad del hielo. En climas cálidos, el alto consumo energético necesario para mantener la congelación representa un desafío operativo importante (Calderón et al., 2023; Klohn Crippen Berger, 2022).

Los tapones inflables representan una solución práctica y versátil, ya que se adaptan a diversas geometrías internas. Estos dispositivos, que se expanden mediante aire o agua, ofrecen un sellado rápido y temporal, aunque su capacidad para soportar presiones elevadas limita su uso a conductos de tamaño moderado (DCN Diving, 2021; Klohn Crippen Berger, 2022).

Finalmente, en escenarios donde el sellado completo no es esencial, se han empleado sistemas de drenaje y alivio de presión. Estos permiten manejar flujos residuales mediante bombeo continuo y estructuras de anclaje, garantizando condiciones controladas mientras se trabaja en seco aguas abajo (Klohn Crippen Berger, 2022).

1.3 Relevancia de las alternativas

Uno de los mayores dilemas y preocupaciones que enfrentan los proyectos de aprovechamiento hidráulico que han operado durante un tiempo significativo es la necesidad de realizar intervenciones, rehabili-

taciones y mantenimiento en sistemas de conducciones, estructuras de captación y descargas de fondo que se encuentran sumergidas y que no cuentan con los dispositivos de cierre o aislamiento requeridos. Este tipo de intervenciones es crucial debido a la importancia de garantizar la operatividad del proyecto y mitigar los riesgos asociados al deterioro de las estructuras y equipos.

Estas intervenciones o actividades presentan retos significativos, principalmente el impacto económico derivado del lucro cesante y el impacto financiero ocasionado por la suspensión operativa puede ser un factor relevante. Además, estas intervenciones suelen implicar riesgos importantes tanto para la infraestructura como para los activos de cada proyecto. La modernización de equipos hidromecánicos y el mantenimiento de las estructuras civiles que permiten el paso de agua los sistemas de aprovechamiento de agua (energía, consumo, riego) o hacia las descargas alternativas, como las descargas de fondo y los vertederos sumergidos, son tareas críticas para asegurar la eficiencia operativa y la seguridad de cada proyecto.

En este contexto, el análisis de las diferentes alternativas de taponamiento resulta esencial para determinar cuál es la solución más adecuada según las características específicas del proyecto. Si bien existen diversas alternativas técnicas, como las ataguías, los tapones inflables y los tapones de hielo, la experiencia práctica ha demostrado que los mamparos mecánicos son una de las opciones más versátiles y confiables en proyectos que involucran presiones elevadas, geometrías complejas y requerimientos de sellado hermético. En los casos analizados en los numerales siguientes, los mamparos mecánicos se eligieron por su capacidad para adaptarse a condiciones críticas y garantizar la seguridad estructural, minimizando los riesgos operativos y financieros. Estas experiencias prácticas no solo optimizan los procesos actuales, sino que también ofrecen una base para la planificación y ejecución de futuros proyectos de aprovechamiento hidráulico.

2. Casos de aplicación

Las alternativas de taponamiento presentadas en el numeral anterior adquieren mayor relevancia cuando se analizan en el contexto de casos reales. En esta sección, se presentan dos ejemplos que ilustran la versatilidad y aplicabilidad de los mamparos mecánicos en proyectos de aprovechamiento hidráulico.

El primer caso, un proyecto en Canadá, se utiliza como referencia técnica que demuestra el éxito de la instalación de mamparos mecánicos mediante vehículos operados remotamente (ROVs) en condiciones exigentes. Por su parte, el segundo caso, correspondiente al Proyecto Ituango, incluye la instalación de tres mamparos en conducciones diferentes mediante procedimientos uniformes que permitieron rehabilitar el sistema de conducción de agua abajo en condiciones controladas. Este caso, además, tuvo un nivel de acompañamiento y gerenciamiento directo por Empresas Públicas de Medellín EPM, lo que permitió observar de cerca tanto los desafíos como las innovaciones implementadas.

Además de permitir una comparación técnica entre ambos métodos de instalación, estos casos destacan las capacidades de los mamparos mecánicos para atender necesidades diversas en proyectos de aprovechamiento hidráulicos. Las experiencias en Ituango, en particular, ofrecen lecciones aprendidas e innovaciones que serán presentadas más adelante.

2.1 Estudio de caso No. 1: Presa St. Mary – AB, Canadá

La presa St. Mary, ubicada en el sur de Alberta, Canadá, forma parte del sistema hidráulico Waterton-St. Mary y fue construida en 1951. Esta infraestructura desempeña un papel crucial en el suministro de agua y la seguridad estructural de la región. Sin embargo, surgió la necesidad de reemplazar dos válvulas deterioradas que se encuentran en un aprovechamiento hidráulico a partir del túnel de descarga de fondo. La descarga de fondo presenta un diámetro 6,1 m y 646 m de longitud, donde a partir de un tapón de concreto ubicado 220 m aguas abajo de la entrada al túnel, se deriva una tubería de conducción de 1,8 m de diámetro y una tubería auxiliar de 0,3 m. Debido a los altos costos operativos y al impacto en los usuarios del recurso hídrico,

no era factible desaguar el embalse para llevar a cabo las intervenciones (Bagnérès et al., 2024).

Tras evaluar diversas opciones, se optó por instalar tapones mecánicos en los extremos aguas arriba de los conductos, diámetros de 1,8 m y 0,3 m. Antes de la instalación, se realizaron inspecciones subacuáticas mediante vehículos operados remotamente (ROV), enfrentando desafíos significativos, como discrepancias en los planos originales. Los datos recolectados permitieron el diseño de tapones personalizados, los cuales fueron probados a presiones superiores a las de diseño, asegurando su funcionalidad y resistencia (Bagnérès et al., 2024).

El proceso de instalación incluyó la limpieza de sedimentos, el uso de herramientas especializadas para cortar rejas de entrada y la inserción de los tapones mediante ROV. A pesar de dificultades iniciales, como ajustes en las herramientas y la eliminación de incrustaciones internas, los tapones lograron un sellado eficaz que redujo las filtraciones a niveles mínimos. Por ejemplo, el tapón de menor diámetro (0,3 m) presentó interferencias con la curvatura del túnel y depósitos internos de óxido, requiriendo múltiples intentos antes de lograr el asentamiento adecuado. Este proyecto destacó la importancia de realizar pruebas previas y de diseñar soluciones adaptadas a las condiciones específicas del sitio (Bagnérès et al., 2024).

A pesar de estos inconvenientes, los tapones mecánicos demostraron ser una solución efectiva, permitiendo realizar reemplazos críticos de las válvulas sin interrumpir significativamente las operaciones del embalse. Sin embargo, este caso evidencia las limitaciones del uso de ROVs en proyectos de mayor escala o complejidad, donde la necesidad de maniobras precisas y el tiempo adicional requerido para las adaptaciones pueden generar retrasos significativos. Estas experiencias sugieren que los ROVs son una herramienta útil principalmente en proyectos pequeños a medianos, donde las dimensiones y las presiones involucradas son más manejables, y las distancias entre el punto de acceso y el sitio de instalación son considerables. En proyectos de mayores dimensiones, el uso de buzos puede ofrecer una mayor flexibilidad operativa y precisión, a pesar de los riesgos

asociados; esto siempre y cuando el equipo de buceo cuente con el alcance requerido. Este análisis resalta la importancia de seleccionar cuidadosamente la metodología de instalación según las características específicas del proyecto.

2.2 Estudio de caso No. 2: Rehabilitación de los túneles de conducción superiores 2, 3 y 4 del Proyecto Hidroeléctrico Ituango PHI, Colombia

El Proyecto Hidroeléctrico Ituango, ubicado en el río Cauca en Colombia, es actualmente la mayor central hidroeléctrica en construcción en el país. Con una capacidad instalada de 2,400 MW y un embalse de 900 millones de metros cúbicos, esta infraestructura está diseñada para regular el caudal del río y generar energía de manera eficiente. Sin embargo, en abril de 2018, una contingencia crítica relacionada con el colapso de la Galería Auxiliar de Desviación causó el ascenso no planificado del embalse, afectando la estabilidad de varias estructuras principales, incluidas las conducciones superiores y las captaciones principales.

2.2.1 Antecedentes del proyecto

El diseño del proyecto incluye ocho unidades de generación tipo Francis, una casa de máquinas subterránea y un sistema de túneles de conducción que dirige el flujo de agua hacia las turbinas. La contingencia de 2018 presurizó estas estructuras y comprometió su funcionalidad, exigiendo intervenciones innovadoras como la instalación de mamparos mecánicos subacuáticos y trabajos con buzos especializados. Estas medidas mitigaron riesgos y garantizaron la continuidad de las obras bajo condiciones desafiantes.

Entre los elementos afectados se encontraban las conducciones superiores N°2, N°3 y N°4, que requirieron intervenciones específicas. Estas estructuras desempeñan un papel crucial en la conducción del agua desde el embalse hacia las turbinas, y su rehabilitación fue prioritaria para restaurar la operatividad del proyecto.

2.2.2 Problema

El impacto de la contingencia en las conducciones superiores generó el requerimiento de:

- **Conducción N°2:** finalizar un tramo de 28 metros sin revestimiento en concreto hidráulico, que quedó pendiente de ejecución al generarse la contingencia.
- **Conducciones N°3 y N°4:** realizar la demolición de tapones de concreto de 8,0 m de longitud aproximadamente, dispuestos aguas abajo de las estructuras de captación, al inicio de los túneles de conducción 3 y 4 como protección temporal.

Considerando que las anteriores actividades a realizar se encontraban en un tramo aguas arriba de los pozos de compuertas, se debía implementar el uso de trabajos subacuáticos, ya que las zonas de intervención se encontraban en zonas de permanente contacto y presurización con el embalse. Se presenta en la figura 1 la configuración típica y niveles del tramo típico inicial de cada conducción. El nivel del embalse durante la ejecución de los trabajos estuvo alrededor de la cota 407,00.

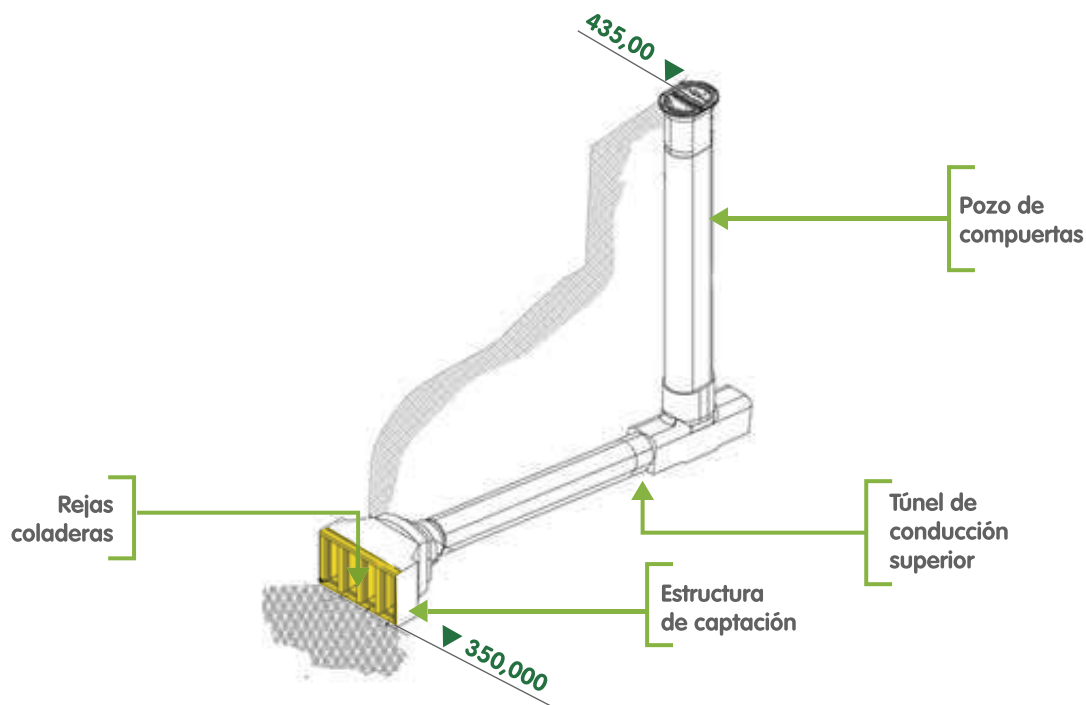


Figura 1. Sistema de conducciones. Tramo típico inicial.

2.2.3 Solución

Debido a las restricciones del proyecto, se descartaron alternativas como el descenso del embalse o la construcción de ataguías aguas arriba. Ante los retos presentados, se adoptó una solución técnica basada en un sistema mixto que combinó trabajos subacuáticos y en seco. Este enfoque permitió abordar la rehabilitación de las conducciones superiores bajo condiciones controladas, mitigando riesgos y asegurando la estabilidad estructural durante las intervenciones. La solución implementada consistió en:

- **Operaciones subacuáticas:** instalación de mamparos mecánicos sobre las estructuras de captación para sellar las estructuras.
- **Trabajos en seco:** intervenciones internas tras la despresurización de las conducciones.

El elemento central de esta solución fue la instalación de mamparos mecánicos diseñados específicamente para las conducciones N°2, N°3 y N°4. Estos mamparos fueron fabricados para

soportar las presiones del embalse y proporcionar un sello hermético, asegurando la estabilidad de las estructuras durante las intervenciones. Entre sus ventajas destacan:

- **Adaptabilidad:** diseñados y fabricados para ajustarse a las dimensiones específicas de cada conducción, garantizando un ajuste perfecto y seguro.
- **Configuración modular:** permitió el transporte eficiente por vía aérea, reduciendo tiempos de entrega, así como una instalación y remoción facilitada mediante maniobras subacuáticas realizadas por buzos. (DCN Diving BV, 2021).

El concepto técnico de los mamparos mecánicos se ilustra en la figura 2. Este diseño consistió en un plato (o compuerta) a instalar subacuáticamente sobre un anillo metálico previamente fijado a la estructura de captación. El anillo fue empotrado a la estructura mediante un concreto plástico o grouting seleccionado específicamente para las condiciones del embalse del Proyecto Hidroeléctrico Ituango (PHI).

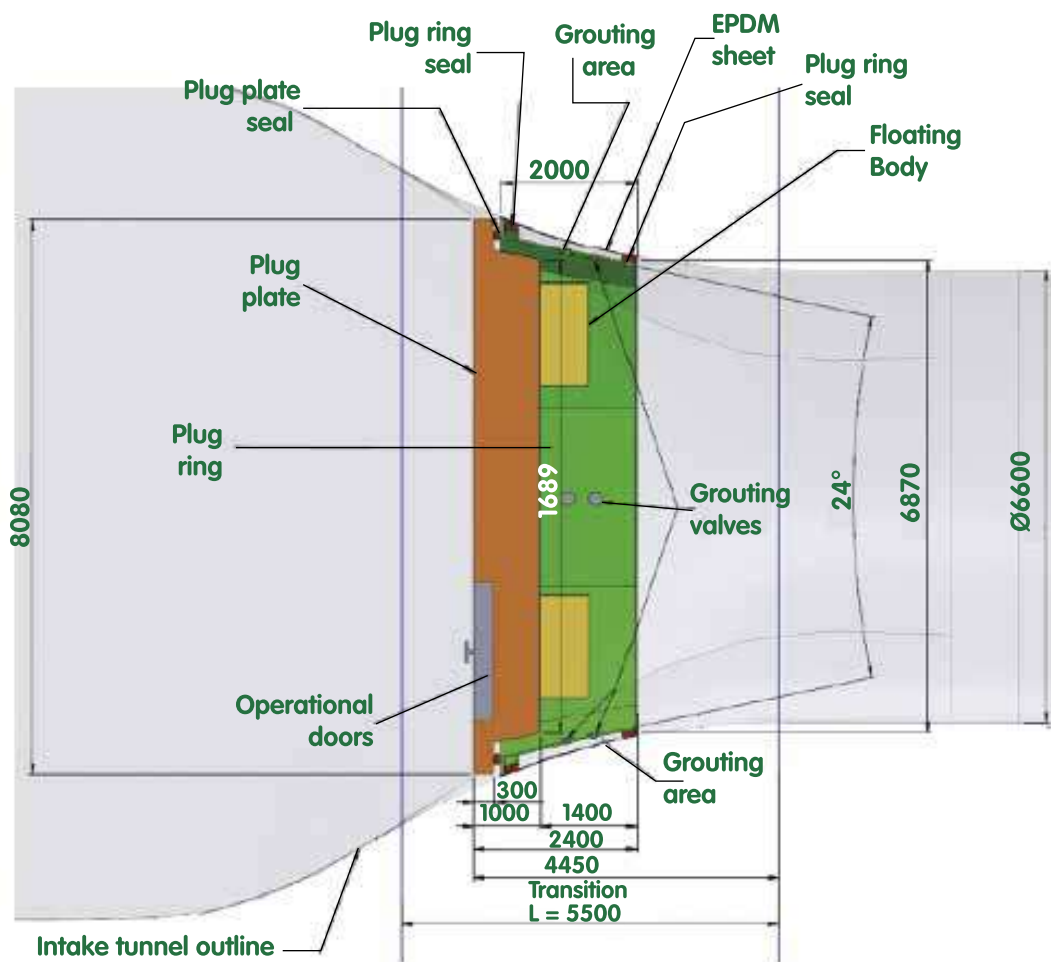


Figura 2. Esquema Mamparo mecánico propuesto por DCN (elevación longitudinal, medidas en mm). Recuperado de: (DCN Diving BV, 2021)

El buceo de saturación, como técnica principal para las intervenciones subacuáticas, ofreció ventajas significativas en este proyecto. Permitió a los buzos trabajar de manera continua a grandes profundidades, minimizando los tiempos de descompresión y maximizando la eficiencia operativa. Entre sus beneficios se destacan:

- **Acceso prolongado:** los buzos podían permanecer más tiempo en las áreas críticas, optimizando tareas como inspección, corte y manipulación de elementos.
- **Seguridad mejorada:** la operación en cámaras presurizadas controladas redujo significativamente los riesgos asociados a la descompresión rápida.

- **Eficiencia operativa:** permitió realizar actividades consecutivas sin interrupciones prolongadas para cambios de equipo o descompresión completa.

Esta combinación de técnicas y tecnologías avanzadas resultó fundamental para superar los retos técnicos asociados a las profundidades extremas y las condiciones de presión del embalse.

2.2.4 Actividades ejecutadas

La rehabilitación de las conducciones superiores N°2, N°3 y N°4 en el Proyecto Hidroeléctrico Ituango involucró una serie de actividades subacuáticas y en seco, organizadas en diferentes fases clave:

Planificación y contratación

Empresas Públicas de Medellín (EPM), en conjunto con el consultor Klohn Crippen Berger (KCB), definió las especificaciones técnicas y lideró el proceso de selección del contratista. Este proceso incluyó:

- Una solicitud de ofertas no vinculantes dirigida a cinco empresas internacionales con experiencia en trabajos subacuáticos.
- La evaluación técnica y económica de las propuestas, en la que DCN Diving B.V. fue seleccionada por su amplia experiencia en buceo hiperbárico y en la fabricación de mamparos mecánicos. Esta firma contaba con más de 63 años de experiencia y un portafolio de 11 proyectos similares exitosos.

Diseño y fabricación

El diseño de los mamparos mecánicos estuvo basado en criterios específicos para soportar las condiciones del embalse del PHI. Este proceso, que tomó aproximadamente 36 semanas, incluyó:

- **Levantamiento de información:** levantamiento de información geométrica requerida de cada estructura de captación mediante ROVs.
- **Modelación y validación del diseño:** validaciones técnicas mediante simulaciones computacionales y talleres técnicos en Alemania, en colaboración con el fabricante y el equipo de supervisión. La interacción entre los materiales y las estructuras existentes es vital para un comportamiento adecuado de los elementos. Considerando las condiciones de

instalación del mamparo, es recomendable realizar análisis de sensibilidad de variables sensibles al diseño, como lo es el coeficiente de fricción entre el mamparo mecánico y la estructura de soporte. Así mismo, el comportamiento del grouting de empotramiento del anillo jugó un papel relevante en el diseño de la solución; este elemento es encargado de la transferencia de cargas entre el anillo de soporte y la estructura de captación; además garantiza la estanqueidad del arreglo.

- **Pruebas de validación:** fabricación en Croacia, donde se realizaron pruebas FAT (Factory Acceptance Test) para garantizar la calidad de los componentes, y una verificación dimensional con escaneos digitales de alta precisión. Ver figura 3.
- **Diseño modular:** los mamparos, con un peso total de aproximadamente 100 toneladas por conjunto y un diámetro mayor de 8,0 m, fueron definidos de manera modular, de tal manera que pudieran transportarse mediante equipos convencionales, desde su lugar de fabricación hasta el proyecto.
- **Transporte especializado:** considerando los tiempos requeridos de intervención en las conducciones para su rehabilitación y las fechas límites en el proyecto para el inicio de operación de las unidades a intervenir, los mamparos de las conducciones 3 y 4 se trasladaron en un avión de carga ANTONOV 124 (1 avión por mamparo) para garantizar su llegada en un plazo de tres días, en lugar de los 60 a 70 días que habría requerido el transporte vía marítima. Para el mamparo de la conducción 2 se realizó transporte vía marítima. Lo anterior, se definió posterior a la realización de análisis técnicos, económicos y de riesgos asociados.



Figura 3. Mamparo mecánico 3. Armado y verificación alineamiento. Conjunto general.

Instalación y ejecución

Las actividades subacuáticas se llevaron a cabo en varias etapas clave:

- **Movilización y preparación de equipos:** se movilizaron al sitio los equipos especializados del contratista, incluyendo pontones para ensamblar barcasas, una grúa de oruga de 300 toneladas con sistemas satelitales y de georreferenciación, equipos de dragado como almejas y bombas de succión, herramientas hidráulicas y neumáticas, winches, sistemas de potencia oleo hidráulicos, cámaras hiperbáricas SAT y hidrolavadoras de alta presión de 400 bares. Esta etapa aseguró la disponibilidad de los recursos necesarios para las actividades subacuáticas e instalativas.
- **Ensamblaje y preparación de los mamparos:** una vez las piezas de los mamparos llegaron a Colombia, se ensamblaron de inmediato en el embarcadero del Proyecto Hidroeléctrico Ituango (PHI). Este proceso incluyó la unión de las piezas del anillo, el plato, los sellos mecánicos y los sellos inflables. Para facilitar su manipulación subacuática, se añadieron elementos de boyancia diseñados específicamente mediante cálculos de flotabilidad, reduciendo el peso efectivo del mamparo de 100 toneladas en superficie a solo 4 toneladas en el agua. Este ensamblaje permitió a los buzos manipular los mamparos con precisión y facilitó su instalación utilizando un sistema de monorraíles. Ver figura 4.



Figura 4. Ensamble de anillos de tapón.

- **Limpieza de estructuras:** incluyó la remoción de sedimentos, biomasa y escombros mediante dragado y el uso de herramientas hidráulicas. Los paneles de rejillas coladeras, colmatados hasta un 70% de su capacidad, también fueron limpiados y reparados.
- **Pruebas de grouting a escala:** para garantizar la efectividad del empotramiento y estanqueidad de los mamparos mecánicos, EPM y DCN desarrolló una prueba a escala para una sección del mamparo. Estas pruebas simplificadas, realizadas en Branenburg, Alemania, validaron el proceso de vaciado, curado y resistencia del grouting bajo condiciones de desbalance de presiones. La cámara de prueba contaba con manómetros aguas arriba y aguas abajo para monitorear posibles fugas, y se realizaron pruebas de resistencia a intervalos de 8, 16, 24 horas y 3 días. Estas pruebas, desarrolladas con el apoyo de expertos de las Universidades de Múnich y Hanover, demostraron la efectividad del vaciado y disposición del grouting, logrando resultados exitosos que permitieron avanzar con confianza en las actividades de campo.

- **Instalación de los mamparos:** actividad que incluye la instalación previa de unos elementos de soporte y guía al interior de las estructuras de captación, seguido esto del descenso y posi-

cionamiento de los mamparos mecánicos (plato y anillo), para posteriormente realizar el vaciado del grouting de empotramiento entre los anillos y las estructuras de captación. Ver figura 5.

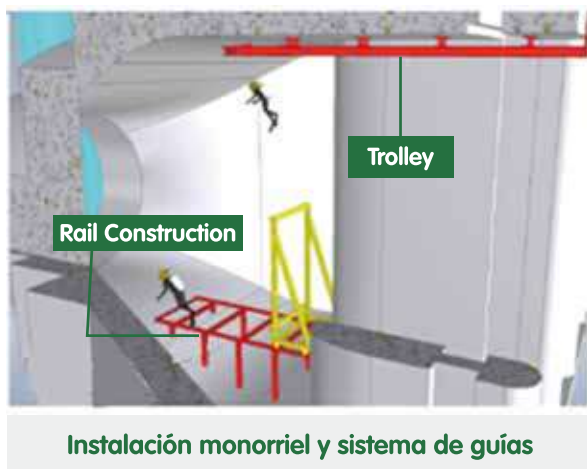


Figura 5. Instalación subacuática mamparo mecánico. Recuperado de: (DCN Diving BV, 2021)

- **Trabajos en seco:** una vez instalados los mamparos y despresurizadas las conducciones, se ejecutaron las obras civiles necesarias, incluyendo el revestimiento en concreto del tramo de 28 metros faltante en la conducción N°2 y la reparación de las conducciones N°3 y N°4.
- **Presurización y desmonte mamparos:** posterior a la ejecución de los trabajos en seco se procedió a presurizar nuevamente las conducciones para proceder a desmontar los mamparos mecánicos, quedando los anillos instalados de manera permanente sobre las estructuras de captación.

3. Consideraciones para futuras implementaciones de mamparos mecánicos

El análisis de los trabajos subacuáticos realizados en el Proyecto Hidroeléctrico Ituango, complementado con las referencias obtenidas de la Presa St. Mary, permitió identificar una serie de consideraciones clave para futuras implementaciones de este tipo de elementos; entre estas, se destacan los siguientes aspectos relevantes:

- **Importancia del análisis del contexto técnico y operativo:** las condiciones específicas del proyecto, incluidas las profundidades de instalación, las presiones hidrostáticas, la geometría y las capacidades de las estructuras de emplazamiento de estos elementos, son determinantes para seleccionar tecnologías como el buceo de saturación y los mamparos mecánicos. Esto subraya la necesidad de realizar estudios prelimi-

nares exhaustivos que permitan anticipar desafíos y adaptar soluciones a las condiciones locales.

- **Validación rigurosa mediante pruebas y modelación:** las pruebas FAT, el levantamiento tridimensional de las estructuras y las pruebas de grouting a escala son esenciales para garantizar la efectividad de los mamparos mecánicos. Estas validaciones no solo minimizan riesgos, sino que también optimizan el tiempo y los recursos durante la ejecución.

Condiciones relevantes, como las cargas hidrostáticas (permanentes, transitorias y accidentales) que deben soportar los equipos hidromecánicos, deben definirse conforme a normas internacionales aplicables, como DIN, ASTM, USACE

o ASME. La selección de la norma define los factores de seguridad aplicables al diseño mecánico y estructural. Sin embargo, algunos requisitos críticos, como los criterios de presión externa, no están necesariamente cubiertos por estas normas y deben ser incluidos en las especificaciones técnicas proporcionadas por el cliente.

- **Planificación logística y coordinación interdisciplinaria:** la movilización de los equipos y la importación de los mamparos desde el lugar de fabricación hasta el sitio de implementación debe estudiarse y definirse en profundidad. Para lo anterior es requerido realizar análisis técnicos, económicos, programáticos y de riesgos, con el objeto de contar con la información y soporte suficiente para su definición. Adicionalmente los límites entre contratista y cliente deben definirse adecuadamente. Esto refuerza la importancia de integrar estrategias logísticas desde las etapas iniciales de diseño y planificación.

- **Uso innovador de tecnologías avanzadas:** el empleo del buceo de saturación y los ROVs como tecnologías complementarias permitió superar los retos técnicos del proyecto. Si bien los ROVs demostraron ser útiles para inspecciones y levantamientos iniciales, el buceo de saturación fue fundamental para ejecutar tareas críticas, destacando su relevancia en proyectos de gran envergadura.

- **Acompañamiento técnico especializado:** la colaboración con firmas internacionales, como Klohn Crippen Berger (KCB) y DCN Diving B.V., así como el Consorcio Generación Ituango, empresa asesora durante construcción del proyecto, fue determinante para superar los retos asociados a los trabajos subacuáticos, asegurando soluciones innovadoras y técnicamente viables.

Conclusiones

Los trabajos subacuáticos, como los realizados en los trabajos subacuáticos, como los realizados en la Presa St. Mary y el Proyecto Hidroeléctrico Ituango, han demostrado ser una solución efectiva para superar desafíos técnicos asociados a profundidades significativas y presiones elevadas. El uso combinado de tecnologías avanzadas, como el buceo de saturación y los ROVs, en el proyecto Ituango, permitió abordar intervenciones complejas mientras se garantizaba la seguridad operativa y se optimizaban recursos.

La selección del tipo de tapón es un aspecto crucial en proyectos de rehabilitación de aprovechamientos hidráulicos. En Ituango, los mamparos mecánicos demostraron ser la solución más adecuada debido a las condiciones de presión, dimensiones de las conducciones y la necesidad de un sello hermético. Aunque otras alternativas, como los tapones inflables o de hielo, son viables en condiciones específicas, su aplicabilidad es limitada frente a las exigencias de proyectos de gran envergadura.

La comparación entre los casos de Alberta, Canadá, e Ituango evidencia cómo las condiciones específicas de cada proyecto determinan la elección de

tecnologías y métodos de instalación. En Canadá, el uso de ROVs permitió realizar maniobras en condiciones de visibilidad limitada y manejar diámetros más pequeños, así como acceder al sitio de instalación requerido. Sin embargo, las restricciones inherentes a la capacidad de maniobra de los ROVs pudieron ser generadores de los tiempos de instalación mayores, lo que contrastó con la eficiencia alcanzada en Ituango mediante el buceo de saturación. En Ituango, las mayores dimensiones de las conducciones y las presiones hidrostáticas más altas hicieron necesario un enfoque más robusto, con mamparos mecánicos diseñados para condiciones específicas y la implementación de técnicas avanzadas de buceo; no obstante, el alcance de instalación de mamparos mediante ROVs puede ser significativamente mayor al permisible por medio de la técnica de buceo. Esta comparación subraya la importancia de ajustar las soluciones técnicas a las características operativas y logísticas de cada proyecto.

La innovación tecnológica desempeñó un papel fundamental en el éxito del proyecto Ituango. El diseño modular de los mamparos mecánicos, el desarrollo de grouting especializado y las validaciones técnicas rigurosas, como las pruebas FAT y

las pruebas a escala, destacaron la importancia de invertir en el desarrollo de soluciones adaptadas a las condiciones específicas del proyecto.

La planificación logística, incluida la movilización de equipos y el transporte de mamparos y los límites de responsabilidades entre cliente y contratista, deben ser claramente definidas y especificadas en los términos del contrato a realizar entre las partes.

La colaboración interdisciplinaria y el acompañamiento técnico especializado, proporcionado por consultores internacionales como Klohn Crippen Berger (KCB) y DCN Diving B.V., así como el acompañamiento permanente de la empresa contratista asesora del

proyecto, Consorcio Generación Ituango, fueron determinantes para garantizar el éxito de los trabajos subacuáticos en el Proyecto Hidroeléctrico Ituango. Este enfoque no solo fortaleció el equipo técnico, sino que también permitió la transferencia de conocimientos, consolidando capacidades para futuros desarrollos en la industria hidroeléctrica.

Las soluciones implementadas en Ituango, aunque diseñadas para condiciones específicas, tienen un alto grado de aplicabilidad a nivel mundial. Este proyecto establece un precedente técnico y operativo que puede servir como referencia para la ejecución de trabajos subacuáticos y de rehabilitación en infraestructuras hidroeléctricas similares.

Referencias

- Bagnérès, B., McLachlan, R., Clarke, B., Ortiz, F. y Osorio, R. (22-25 September 2024). *Underwater applications of prefabricated plugs used for the maintenance and repairs of intakes and water conveyance*. CDA 2024 Annual Conference, Niagara Falls, Canada.
- Calderón, D., Oosterhout, V. y Pennen, A. (16-18 October 2023). *Underwater works and design engineering for the rehabilitation of intake structures and headrace tunnels of a large*
- *Hydropower project- A case study in Colombia*. HYDRO 2023 Newideasfor Proven Resources, Edinburgh, Scotland, UK.
- DCN Diving BV. (2021). *Introduction Letter and Attachments: Mechanical plugging solutions*. DCN Diving BV.
- Klohn Crippen Berger. (2022). *Ituango Underwater Works. KCB Review of FAPCO Ice Plug Proposals*. Klohn Crippen Berger.

Cómo citar este artículo:

Ortiz, F. y Osorio, R. (2024). Trabajos subacuáticos con equipos hidromecánicos para rehabilitación y mantenimiento de túneles y estructuras de captación en proyectos de aprovechamiento hidráulico. *Revista EPM*, (24), 51-64.



Reservados todos los derechos. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad.

Con el tiempo la vida cambia. Las cosas se van olvidando. Pero el amor y la amistad son cosas que nunca se olvidan. Y eso es lo que importa.

En la vida, a veces, lo que importa es el momento. Y eso es lo que importa.

AccesBot: electrónica educativa para personas con discapacidad visual

AccessBot: educational electronics for visually impaired individuals

Jessica
Betancourt Puerta
Biblioteca EPM, Fundación EPM

jessica.betancourt@fundacionepm.org.co

Resumen

La electrónica y la programación tienen gran potencial para el desarrollo tecnológico de la sociedad. Sin embargo, las personas con discapacidad visual enfrentan dificultades en actividades prácticas debido al predominio de elementos visuales, como identificar polaridades, pines o códigos de colores en circuitos. Este proyecto desarrolló un kit de electrónica educativa, replicable y económico, para faci-

litar el montaje de circuitos electrónicos a personas con discapacidad visual. Incluye bases impresas en 3D, marcación en braille, una Protoboard adaptada con marcación táctil y material didáctico en braille y audio. Tras pruebas con personas con ceguera total y baja visión, se comprobó que las adaptaciones fueron efectivas.

Palabras clave:

Electrónica, Inclusión, Discapacidad visual, Diseño 3D

Keywords:

Electronics, inclusion, Visual impairment, 3D design

Introducción

Dentro de la ingeniería, temas como la electrónica y la programación representan algunas de las tendencias en la sociedad actual, atrayendo a jóvenes y adultos interesados en adentrarse en el mundo de la tecnología. Sin embargo, las personas con discapacidad visual encuentran obstáculos significativos para participar en estas áreas, debido a la necesidad de manipular elementos circuitales pequeños, que requieren una conexión específica para que funcionen correctamente. Por ejemplo, la identificación de componentes electrónicos o la determinación de la polaridad de los circuitos a menudo depende del color, lo que limita la accesibilidad y excluye a las personas ciegas, restringiendo su acceso a la educación y al desarrollo profesional en este campo del conocimiento.

Para abordar esta problemática, es fundamental desarrollar componentes electrónicos accesibles, con diseño y conexión modular o con marcación táctil, que faciliten el aprendizaje de la electrónica para personas con discapacidad visual, promoviendo una educación más inclusiva.

En este proyecto se propuso desarrollar un kit de electrónica educativa que sea replicable y económico, utilizando impresión 3D, para la realización de bases con marcación en braille que permitan identificar el nombre del componente, la polaridad, el color, entre otros, y se diseñó una Protoboard adaptada con marcación táctil permitiendo a las personas con discapacidad visual realizar conexiones entre componentes de forma autónoma. Adicionalmente, se realizó material didáctico educativo en lenguaje braille y formato audio que le facilite a este grupo de personas hacer uso del kit.

Para poner a prueba el funcionamiento de este se implementó un curso de electrónica básica en la Biblioteca EPM para personas ciegas y con baja visión, es decir, han perdido su capacidad visual por diversas situaciones de salud, también se realizó una experiencia del curso en una fundación para personas con discapacidad visual.

Antecedentes

El desarrollo de actividades de electrónica para personas con discapacidad visual ha sido un tema de interés para la inclusión de invidentes en el aprendizaje de esta área, sin embargo, se han implementado pocas adaptaciones que faciliten la conexión de componentes electrónicos y se ha optado por utilizar kits de robótica educativa ya existentes como los LEGO. La investigación realizada por Oliveira et al. es un hallazgo importante en la enseñanza de la electrónica, ya que muestra diferentes metodologías de enseñanza basadas en talleres y tutoriales específicamente diseñados para personas con discapacidad visual, en este trabajo, se usaron kits de robótica de LEGO Mindstorms NXT, que, por su forma, es de fácil identificación táctil.

Además, crearon una guía detallada para la preparación, ejecución y evaluación de talleres de programación de robots. Entre las adaptaciones utilizadas se destacan la formación de instructores para trabajar con personas con discapacidades visuales,

la preparación de materiales de apoyo concretos y digitales, la implementación de dinámicas de trabajo adaptadas para la enseñanza de programación, y la provisión de retroalimentación multimodal para facilitar la comprensión y corrección de códigos, sin embargo, en este proyecto no realizaron adaptaciones propias y se enfocaron más en la formación a los docentes.

En el trabajo realizado por el BASAER Team et al., se llevó a cabo un estudio pionero en el que se exploró cómo los estudiantes con discapacidad visual podían participar en la construcción y programación de robots educativos en programas STEAM (por sus siglas en inglés: Science, Technology, Engineering, Art and Math). Para facilitar la participación de estos estudiantes, se realizó una comparación entre diferentes kits de robótica como el Arduino Robot Car Kit, Makeblock Mbot, Makeblock robot build kit, LEGO Mindstorm NXT, LEGO Mindstorm RCX, LEGO Mindstorm EV3 y Lego Education Wedo.

Como hallazgo importante se observó que los estudiantes con discapacidad visual necesitaron menos intervención de sus compañeros sin discapacidad visual al utilizar los kits de LEGO, lo que sugiere que estos kits son más accesibles y fáciles de usar para este grupo de estudiantes en particular.

Durante este trabajo se encontró que los estudiantes disfrutaron del proceso de construcción

y programación de robots, lo que les motivó a explorar más en este campo y a considerar futuros estudios y carreras en áreas relacionadas, alternativas y soluciones como estas permiten disminuir brechas educativas y laborales para las personas invidentes y haciendo los programas STEAM mucho más inclusivos.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un kit de herramientas de electrónica educativa adaptado para personas con discapacidad visual que favorezcan el aprendizaje y la implementación de circuitos eléctricos.

Objetivos específicos

- Diseñar e implementar elementos táctiles y/o sonoros para la identificación de componentes electrónicos básicos usados en electrónica.

- Evaluar la usabilidad y la accesibilidad del kit de herramientas de electrónica educativa con un grupo de personas con discapacidad visual, mediante pruebas de usuario y entrevistas.
- Diseñar material didáctico en lenguaje braille y formato de audio para la validación del funcionamiento del kit de herramientas para electrónica.

Metodología

Para el desarrollo de este proyecto se siguió la metodología presentada en los siguientes bloques, en la figura 1 se muestra el proceso planteado para dar solución al primer objetivo específico, en este punto se realizó la búsqueda de material bibliográfico que pudiese dar luces sobre cómo desarrollar las adaptaciones que se proponían, además, se revisó los materiales más utilizados en la Biblioteca EPM para los cursos de electrónica básica y robótica, para seleccionar los que se debían adaptar, luego de ambas revisiones se diseñó en software

CAD los componentes básicos para realizar las pruebas preliminares.

Se realizó la impresión en 3D de los primeros prototipos y se ensamblaron los componentes para con estos hacer pruebas de conexión, continuidad y funcionamiento, para posteriormente incorporar mejoras de acuerdo con estas, en este punto se realizó también el diseño de la Protoboard adaptada para probar su funcionamiento con la población objetivo.

Diseñar e implementar elementos táctiles y/o sonoros para identificar componentes electrónicos básicos usados en electrónica.

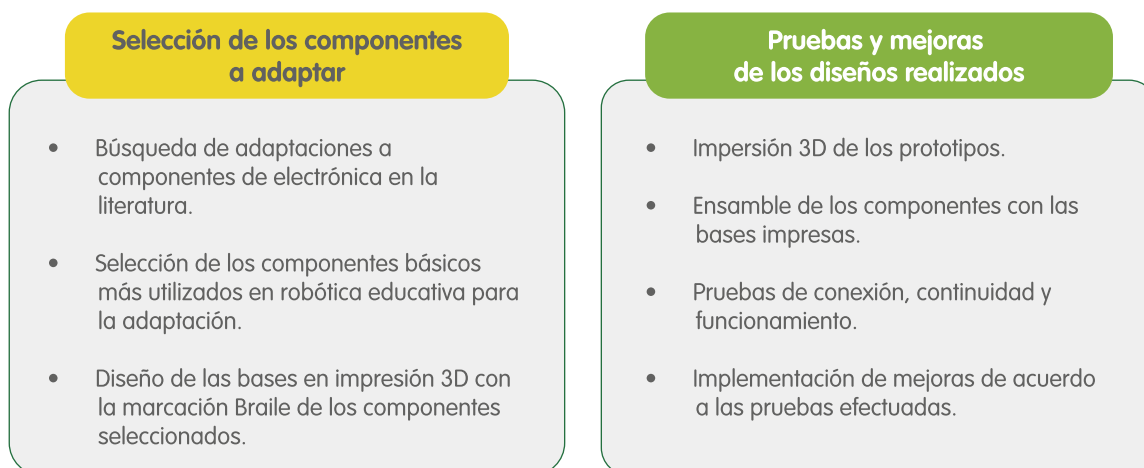


Figura 1. Primera parte de la metodología.

Posteriormente, para poner a prueba las adaptaciones y dar solución al objetivo específico dos, se siguió la metodología mostrada en la figura 2, inicialmente, se realizaron pruebas con un pequeño grupo voluntario, quienes evaluaron las adaptaciones en términos hápticos y de braille, con las observaciones realizadas por ellos se realizaron mejoras, para posteriormente implementar el

curso diseñado de electrónica básica con personas con discapacidad visual, estas personas no eran exclusivamente ciegas totales sino también con baja visión. Al finalizar las actividades se realizaron entrevistas para llevar un registro sobre la efectividad y aceptación de las adaptaciones realizadas por parte de esta población.

Evaluar la usabilidad y la accesibilidad del kit de herramientas de electrónica educativa con un grupo de personas con discapacidad visual, mediante pruebas de usuario y entrevistas.

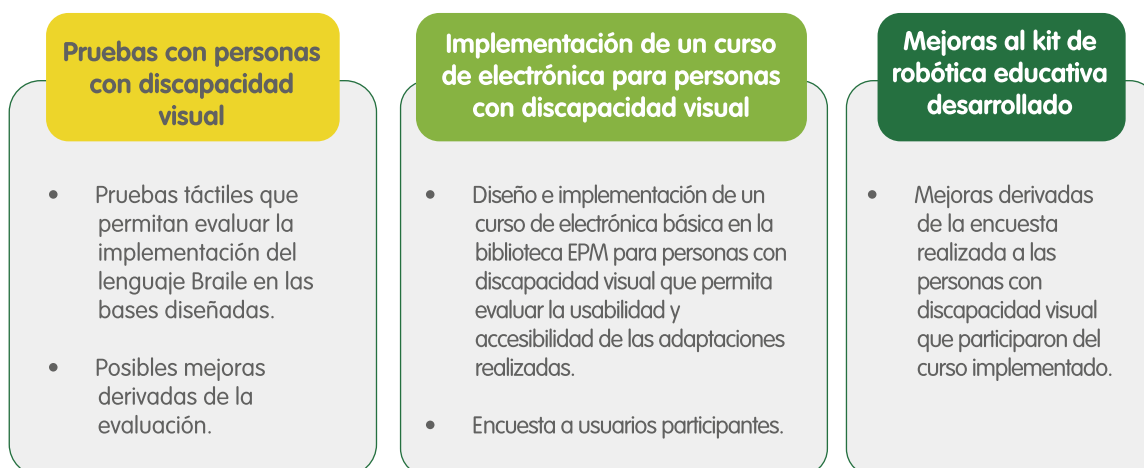


Figura 2. Segunda parte de la metodología.

Finalmente, para abordar el tercer objetivo específico, en la figura 3 se muestra el bloque con la metodología seguida, en este punto se desarrolló material en formato audiovisual, ya que no todas las personas con discapacidad visual manejan en lenguaje braille, sin embargo, también se realizó el mismo material en un software de braille para la posible impresión de este material y que las personas interesadas puedan acceder al kit desarrollado.

Por otro lado, finalizando este proyecto, se notó un gran interés de las personas por seguir aprendiendo de robótica, por esto se desarrolló también un prototipo que permita a las personas con discapacidad visual realizar programación básica de un robot, para esto se realizó el diseño 3D de un teclado que permita programar las instrucciones fácilmente, y que se conecta por medio de Bluetooth al robot para que este ejecute los comandos programados, para esto se usó Arduino y Python.

Diseñar material didáctico educativo en lenguaje Braille y formato de audio para validar el funcionamiento del kit de herramientas para electrónica.

Material didáctico para el kit de electrónica educativa para personas con discapacidad visual

- Construcción de material didáctico para personas que deseen implementar las adaptaciones y que puedan replicar este trabajo.
- Implementación de material complementario en lenguaje Braille y audios descriptivos.

Figura 3. Tercera parte de la metodología.

Resultados y discusión

En el aprendizaje de la robótica y la electrónica existen diversos componentes que son ampliamente utilizados, en una revisión de las diferentes actividades que se realizan en la Biblioteca EPM, se encuentra que para los cursos de electrónica básica los componentes que más se implementan son el LED, el buzzer, las resistencias, los capacitores, transistores y circuitos integrados como el 555.

En estos componentes se evidencian varias dificultades para las personas con discapacidad visual,

puesto que son muy pequeños y en general la forma de reconocer su valor o polaridad está determinada por colores o características visuales.

Para mejorar la accesibilidad de las personas con discapacidad visual a estos cursos de electrónica, se plantea la propuesta de realizar bases impresas en 3D para cada uno de estos componentes con marcación braille de modo que las personas puedan identificar con sus manos los nombres, valores y polaridad de los componentes utilizados.

Bases impresas en 3D

Inicialmente utilizando el software Tinkercad, el cual está disponible en línea y sin necesidad de licencia, se realiza el diseño de las bases de algunos de los componentes, primero, se realizó el diseño de la base para el LED que se puede observar en la figura 5, el cual, a pesar de su característica netamente visual, puede ser utilizado con personas con baja visión, además de ser uno de los componentes más utilizados en la electrónica.

La base consta de dos niveles, uno donde se inserta el led y otro donde está la marcación braille, en la parte derecha dice led, tiene dos canales por los que se llevan las terminales del LED y con cable se realiza la conexión a dos tornillos, al lado de cada tornillo se encuentra escrito en braille los símbolos + y - respectivamente para que el usuario pueda identificar la polaridad de este, en la figura 4 se muestran estos dos símbolos en braille, ya que serán utilizados a lo largo de este trabajo.



Figura 4. Símbolos en braille de negativo y positivo.

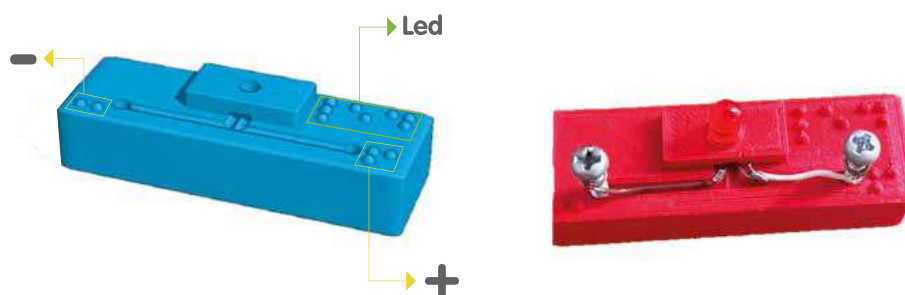


Figura 5. Base con marcación braille para LED

Para realizar el montaje de un circuito básico y comprobar el funcionamiento correcto de las bases se realizó el diseño de la base para una resistencia de 330Ω y una batería de 9V, poniendo en cada una el nombre en braille, el valor y la polaridad para la batería. Además, para la resistencia, procurando mantener el código de colores se buscó

una alternativa para ser utilizada de forma que la persona con discapacidad visual no tenga que depender de otra persona que le indique el valor y tampoco tener el valor marcado numéricamente, esto con el fin de poder conocer la referencia de color sin la necesidad de ayudas externas.

En la búsqueda realizada se encontró un código de colores gráfico, llamado ColorADD mostrado en la figura 6, que se utiliza para las personas que tienen daltonismo, lo que se hizo fue utilizar este código y adaptarlo a la impresión 3D, de modo que quede en relieve y la persona con discapacidad

visual pueda identificar por sí misma el valor de la resistencia, se imprimió una cartilla en relieve con el código y con el nombre en braille, para enseñar a las personas este código, el diseño se puede observar en la figura 7.



Figura 6. Sistema de identificación de colores para daltónicos. (Color ADD, s.f.)

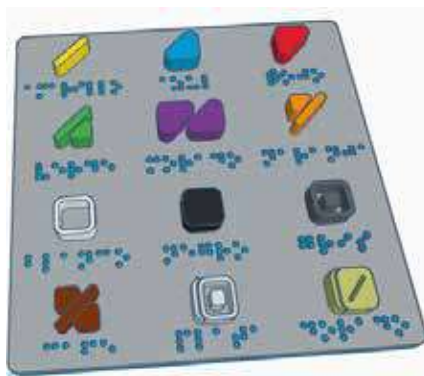


Figura 7. Cartilla con el código de colores en 3D.

La base de la resistencia, la cual se puede observar en la figura 8, posee un canal por el cual se pone la resistencia, la marcación con el código ColorADD y el nombre, en las terminales al no poseer polaridad se marcó como #1 y #2, para la

base de la batería 9V, que se puede observar en la figura 9, se realiza un agujero en el cual se pone el portabaterías, se pone el nombre en braille y el valor de la batería, además, cada terminal se marcó con los símbolos + y -.

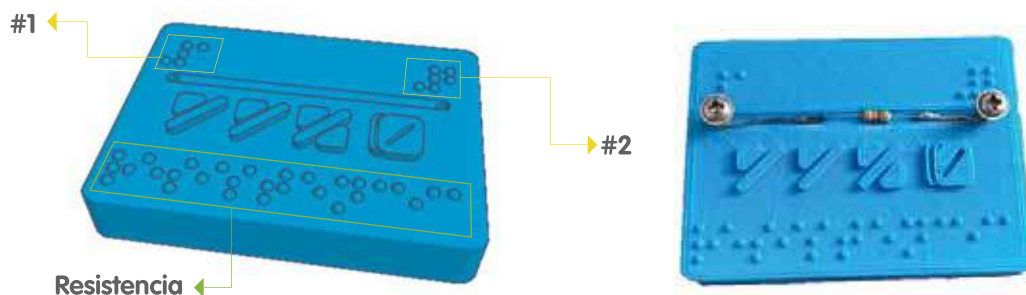


Figura 8. Base con marcación braille para resistencia de 330 ohm.



Figura 9. Base con marcación braille par batería 9V.

La prueba inicial con estos tres componentes fue satisfactoria, al conectarlos por medio de cables tipo caimán el LED funcionó como se esperaba, en la figura 10 se puede observar el circuito, en esta prueba no se evaluó la accesibilidad con personas con discapacidad visual, solo el funcionamiento y

continuidad en los componentes. Para reemplazar el LED para la población con ceguera total, se diseñó una base para el buzzer y para un potenciómetro, mostrados en las figuras 11 y 12, de forma que la persona que lo use pueda usarlo como perilla de volumen.

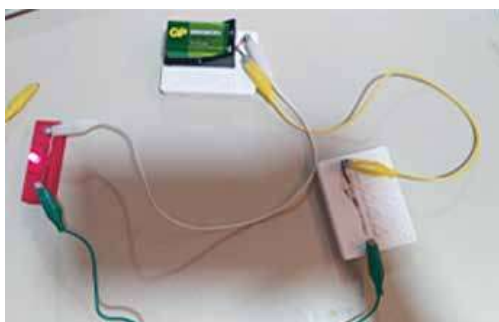


Figura 10. Circuito de prueba con LED.



Figura 11. Base con marcación braille para buzzer.



Figura 12. Base con marcación braille para potenciómetro.

Para poner a prueba las adaptaciones desarrolladas se realizó una búsqueda de un circuito con una complejidad media, en una revisión de ideas se encontró uno que implementa el amplificador operacional LM386 con capacitores, resistencias

y potenciómetro. El listado de componentes se muestra en la tabla 1, y el esquemático del circuito se presenta en la figura 13, los diseños en Tinkercad de cada una de las bases desarrolladas se encuentran en el anexo A.

Componente	Valor
Capacitor electrónico	10 μ F
	220 μ F
Resistencia	10 Ω
Capacitor cerámico	0,1 μ F
Potenciómetro	10K Ω
Batería	19V
Bocina	8 Ω
Jack 3.5	--

Tabla 1. Lista de componentes para circuito amplificador.

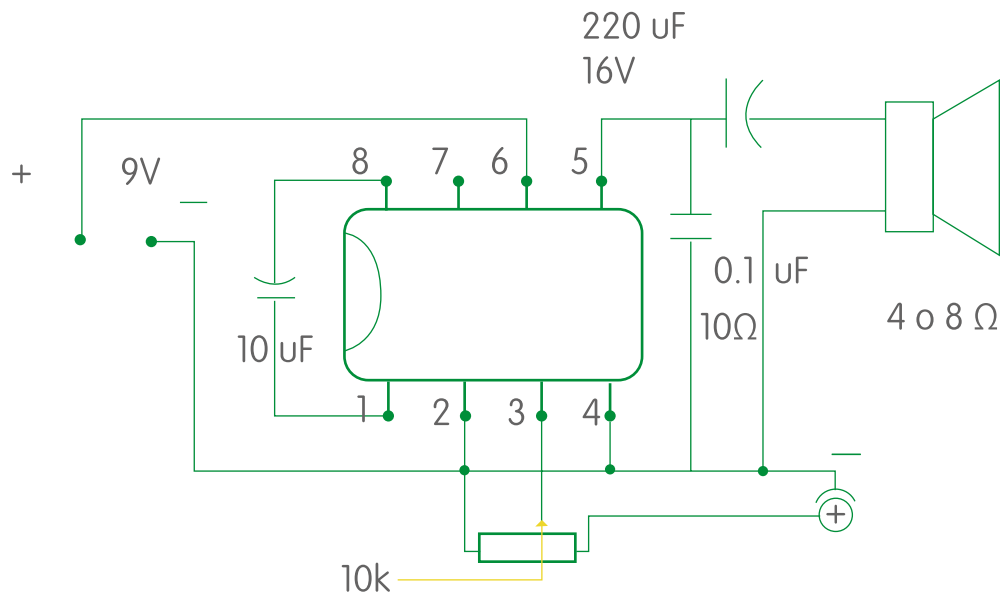


Figura 13. Esquemático circuito amplificador de audio.
Recuperado de: (La Constante Universal, 2019)

Para la implementación de este circuito con la solución propuesta en este proyecto se diseñaron e imprimieron en 3D las diferentes bases de los componentes siguiendo la estructura ya establecida, donde cada base tiene marcado el nombre del

componente en braille y la polaridad en los casos donde sea necesario, en las figuras 14, 15, 16, 17, 18 y 19 se puede observar las bases de la resistencia, capacitores y bocina.

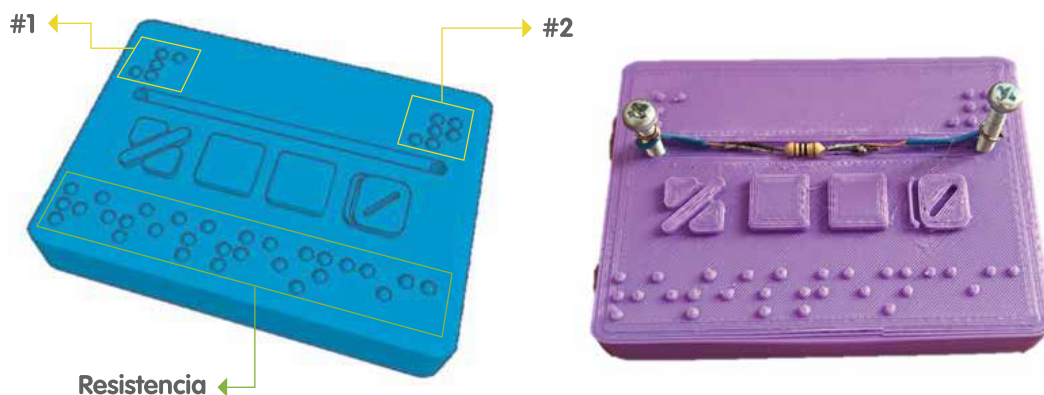


Figura 14. Base con marcación braille para resistencia de 10 ohm.



Figura 15. Base con marcación braille para capacitor de 0.1uF.



Figura 16. Base con marcación braille para capacitor electrolítico de 10uF.



Figura 17. Base con marcación braille para capacitor electrolítico de 220uF.



Figura 18. Base con marcación braille para bocina.

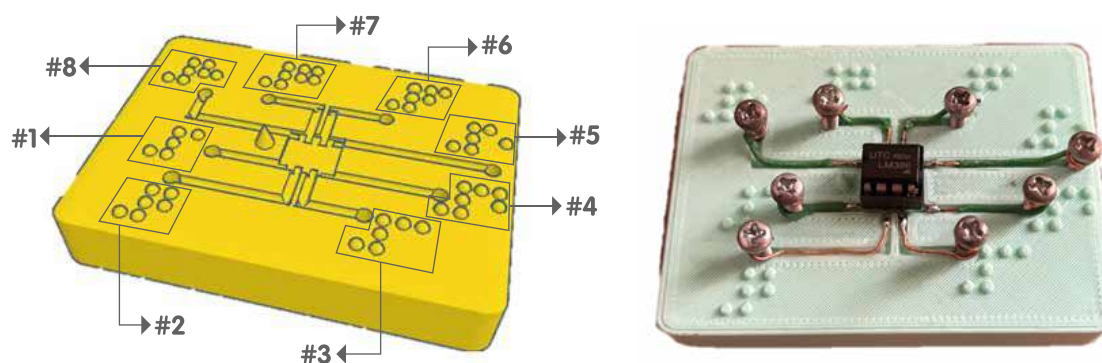


Figura 19. Base con marcación braille para amplificador operacional.

Con las bases impresas y los componentes ensamblados, se realizó la construcción del circuito propuesto, al realizar el montaje completo se encuentra que este tiene problemas de funcionamiento, ya que no se escucha nada o en ocasiones solo hay un ruido, pero no se amplifica el sonido como se esperaba, al realizar una

revisión de los componentes en la continuidad y su funcionamiento en circuitos más simples, se llegó a la conclusión de que al tener tantos cables y tornillos, estos aumentan mucho la impedancia y no permiten el correcto funcionamiento de este circuito.

Protoboard pequeña con marcación táctil

Para solucionar el problema encontrado con las bases desarrolladas, se buscó la forma de hacer que la Protoboard o placa de pruebas fuese más accesible, ya que en experiencias previas con la población ciega se encontró que esta es difícil de manipular para ellos, ya que los agujeros están muy cerca unos de otros y se les dificulta identificar los nodos, a pesar de que los agujeros se identifican de forma háptica, después de tener diferentes componentes conectados las personas con discapacidad no logran diferenciar una línea de agujeros (nodo) de otra que esté muy cercana y esto lleva a problemas de conexión y continuidad.

De acuerdo con lo anterior, se realizó la adaptación de una Protoboard pequeña, buscando el archivo STL en línea y gratuito para realizar las modificaciones necesarias, inicialmente, se utilizó Tinkercad como en el caso de las bases; sin embargo, esta herramienta presenta muchas limitaciones. Por este motivo, se empleó el programa Fusion 360, también de la empresa Autodesk, al cual se tiene acceso gratuito mediante la licencia de estudiante vinculada al correo de la Universidad de Antioquia.

Las modificaciones realizadas a la Protoboard se muestran en la figura 20 y el enlace al diseño en formato STL se encuentra en el anexo A. Estas modificaciones consistieron en realizar un relleno a los agujeros que trae la Protoboard de manera alternada y reemplazarlos por puntos en relieve, es decir, al lado de cada línea de agujeros o nodo se encuentra una línea de puntos táctiles, lo que permite a las personas con discapacidad visual usar estos puntos como guía en la Protoboard y

reconocer que al lado de cada punto encuentra un agujero donde podrá realizar conexiones, esto se puede observar en el recuadro negro, donde las x de color rojo corresponden a agujeros.

Para permitir el uso de esta Protoboard con amplificadores operacionales o circuitos integrados, en las ocho líneas centrales, los agujeros no se rellenaron de la misma manera, se dejaron los ocho agujeros de la línea central de cada lado disponibles, mientras que en los demás nodos se taparon agujeros de manera alternada (ver recuadro amarillo), dejando solo tres agujeros disponibles por nodo. Para las líneas de tensión, se conservó solo una en la parte inferior y otra en la superior, estas se marcaron con los símbolos en braille de positivo y negativo, mostrados anteriormente.

Finalmente, para realizar las conexiones internas, la Protoboard tiene en la parte inferior canales diseñados para introducir las placas metálicas que traen estas de fábrica, para esto se reutilizaron algunas Protoboard desechadas de la Biblioteca EPM, a las cuales se les extrajeron las placas y se insertaron en las desarrolladas. Durante este proceso, se observó que el uso de diferentes impresoras 3D generaba acabados variables y diferentes tolerancias. En las primeras versiones impresas, los agujeros resultaron demasiado estrechos y con detalles que impedían una buena conexión. Este problema se solucionó ajustando los parámetros en el software de segmentación, mejorando la calidad de impresión a pesar de aumentar el tiempo de producción.

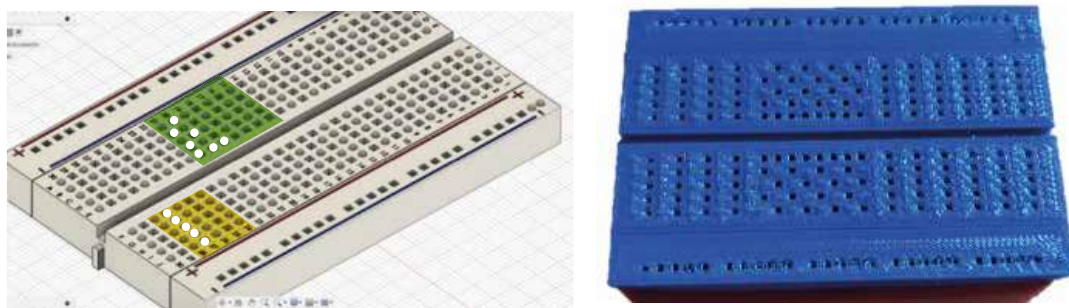


Figura 20. Protoboard pequeña adaptada.

Una vez se ensambló la Protoboard se realizaron pruebas de conexión y continuidad con circuitos simples y multímetro. Los resultados de las pruebas fueron satisfactorios y la Protoboard desarrollada

funcionó como se esperaba, sin embargo, las pruebas con el circuito amplificador que se esperaba montar no fueron satisfactorias.

Curso en la Biblioteca EPM con personas ciegas y muestra en una fundación

Para poner a prueba las adaptaciones desarrolladas se evalúa la usabilidad y accesibilidad con dos grupos de personas con discapacidad visual, el primer grupo perteneciente a la Fundación Ángel de Luz, los cuales participaron de una muestra de los elementos desarrollados, en esta actividad se evaluó el braille y la facilidad con la cual personas, sin ningún conocimiento previo de electrónica, pudieran construir un circuito básico usando las bases desarrolladas.

Inicialmente, participó una persona que ya había estado en un curso de electrónica básica con la Biblioteca EPM, se realizó un análisis de los conocimientos de ese curso y se le pidió realizar dos circuitos, uno utilizando el LED, la batería y la resistencia de 330Ω , en este caso, como la persona no conoce el código de ColorADD utilizado, se le enseña primero pidiéndole que toque la placa e identifique los cuatro símbolos que corresponden a los colores, la persona participante expresa que es claro y realiza la conexión de los tres componentes sin problema utilizando cables tipo caimán, el otro circuito fue utilizando el buzzer y el potenciómetro como control de volumen, en la figura 21 se puede observar a la participante armando el circuito.



Figura 21. Participante de la muestra con los componentes adaptados.

Posteriormente, se realizó la actividad con dos personas que no habían tenido nunca contacto con la electrónica. Ellas fueron las encargadas de evaluar el braille en cada una de las bases desarrolladas. Ambas informaron que el braille estaba bien escrito en todas las bases, que los símbolos de positivo y negativo eran claros y el código de colores de las resistencias resultaba fácil de comprender tras una breve explicación, sin embargo, hicieron una recomendación base del buzzer, ya que el símbolo negativo en braille está muy cerca de la palabra, lo que hace que podría generar confusión, especialmente si no hay una persona que pueda realizar la explicación de lo que se encuentra en la base.



Figura 22. Dos participantes con las bases desarrolladas.

De las tres personas que participaron una tenía baja visión y tenía conocimientos básicos en braille, ya que no es una persona ciega de nacimiento sino que por una enfermedad ha ido perdiendo la visión, las otras dos personas era ciegas totales, con amplios conocimientos en braille y por esto fueron quienes realizaron la evaluación del braille en las bases, estos dos últimos también realizaron el montaje del circuito básico con el buzzer, el potenciómetro y la batería usando cables tipo caimán, de acuerdo con ellos esta fue una adaptación muy interesante, pues les permitió manipular de una mejor forma los

componentes, en la figura 22 se muestra a los dos participantes ciegos interactuando con las bases desarrolladas.

El segundo grupo, fueron personas con discapacidad visual que se inscribieron por medio de convocatoria al público de la Biblioteca EPM, el curso se ejecutó con aproximadamente 4 personas, los participantes llenaron un consentimiento informado que se encuentra en el anexo B y el diseño metodológico del curso se presenta en el anexo C.

El curso se realizó siguiendo el diseño metodológico, en la primera sesión se realizó una actividad de presentación para conocer a los participantes, su nivel de discapacidad y se preguntó por qué se interesaron en el curso, en esta parte de la actividad, algunos de ellos manifestaron tener baja visión y no tenían conocimientos en braille, ellos estaban más familiarizados con el alfabeto en español y los símbolos utilizados por las personas sin discapacidad visual. Ante esta situación, se les explicó los dos símbolos para positivo y negativos que están en todas las bases, los nombres y valores de los componentes fueron explicados de forma verbal, la parte final de esta sesión consistió en familiarizarse con los componentes, pero sin realizar conexiones aún.

En el siguiente encuentro, se realiza el montaje de dos circuitos básicos utilizando el LED, el buzzer, la resistencia, la batería y el potenciómetro, uno de los participantes que si maneja el braille logra

leer e identificar cada uno de los componentes, a los demás se les explica que dice en cada uno y a que corresponde cada componente, cada uno realiza el montaje de los dos circuitos básicos que se han realizado.

Para la tercera sesión, se introduce la Protoboard desarrollada, se explica el concepto de nodo y cómo funciona la placa, se realiza el montaje de estos dos circuitos que se han venido trabajando, pero utilizando los componentes comerciales, es decir, sin adaptar, y la Protoboard diseñada, en esta prueba se nota una correcta implementación de la Protoboard, todos los participantes montan el circuito sin ayuda y todos funcionaron. Se finaliza la sesión hablando sobre el amplificador operacional y mostrando la base desarrollada para este.

En el último encuentro con las personas con discapacidad visual, se imprimió una constancia de asistencia dada por la Biblioteca EPM como reconocimiento a las personas por su participación. Para la actividad se realizó el montaje de un circuito que implementa un transistor 2N2222A, con dos resistencias y un buzzer, el circuito es un sensor de nivel, mostrado en la figura 23, una versión casera de un dispositivo que se comercializa para las personas con discapacidad visual para que puedan servirse sus propias bebidas, cuando el agua o el líquido entra en contacto con las dos terminales cierra el circuito y emite un sonido.

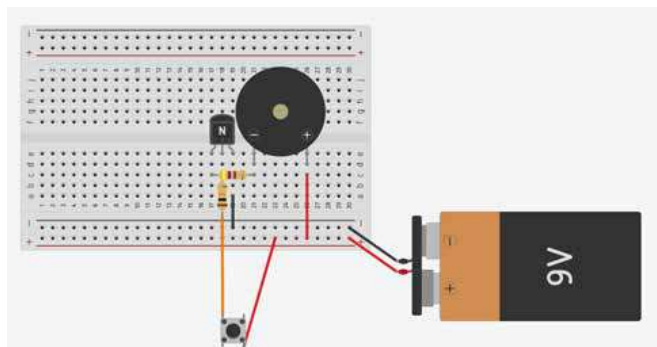


Figura 23. Circuito detector de nivel.

Todos los participantes lograron realizar el montaje del circuito en la Protoboard desarrollada de manera

exitosa, en la figura 24 se muestran algunas fotografías del desarrollo del curso.



Figura 24. Fotos de los participantes del curso en la Biblioteca EPM.

Material didáctico educativo

Para facilitar el uso del kit desarrollado, se elaboró material didáctico que permita a las personas utilizarlo y validar su funcionamiento, una parte del material está en braille, el cual se encuentra en el anexo D y se muestra en la figura 25, siendo este formato el que menos interés generó debido a lo encontrado con el grupo de trabajo donde se descu-

bió que no todas las personas con discapacidad visual usan el braille. Por otro lado, el material más robusto está en formato audiovisual presentado en el anexo E y mostrado en la figura 26, de forma que permita a las personas interesadas con o sin discapacidad visual utilizar el kit desarrollado.

En el proyecto electrónica educ discapacidad vis kit de electróni adaptaciones par electrónica para gran importancia conocimiento en adaptaciones est lenguaje.
Este kit conti marcación brail



Figura 25. Material didáctico en braille.



Figura 26. AccessBot: electrónica educativa para personas con discapacidad visual. Recuperado de: (Betancourt, 2024).

Programación con personas con discapacidad visual.

Finalizando el proyecto, surgió la idea de realizar una prueba de programación accesible, donde las personas con discapacidad visual puedan adentrarse en el campo de la programación, de esta manera poder abrir más las posibilidades educativas y laborales de esta población.

Para esto se comenzó el desarrollo de una interfaz física con Arduino para programar los movimientos de un robot, esta funciona como un teclado externo el cual posee seis botones, cuatro que corresponden a las direcciones: adelante, atrás, izquierda y derecha, uno de espera y otro de ejecutar, la función de este teclado es mandar las instrucciones de movimiento o espera que la persona ciega desee que el robot realice, estas instrucciones se envían

a través de módulos Bluetooth HC-05 configurados como maestro y esclavo, los códigos de funcionamiento de los dos Arduino se encuentran en el anexo F, en pantalla se va mostrando lo que la persona va programando y se reproduce el sonido correspondiente al botón, esto a través de una interfaz gráfica en Python la cual se muestra en la figura 28, el código se encuentra en el anexo G, al presionar el botón ejecutar se manda este código al Arduino del robot y este realiza los movimientos programados. La interfaz física se diseñó en 3D utilizando marcación braille y flechas en relieve en cada una de las direcciones para que de esta manera las personas con baja visión o ciegas totales puedan utilizarlo, en la figura 27 se muestra el diseño.

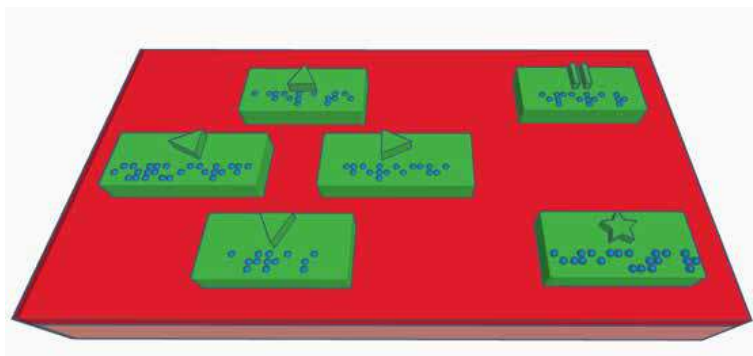


Figura 27. Diseño del teclado para programación con personas ciegas.

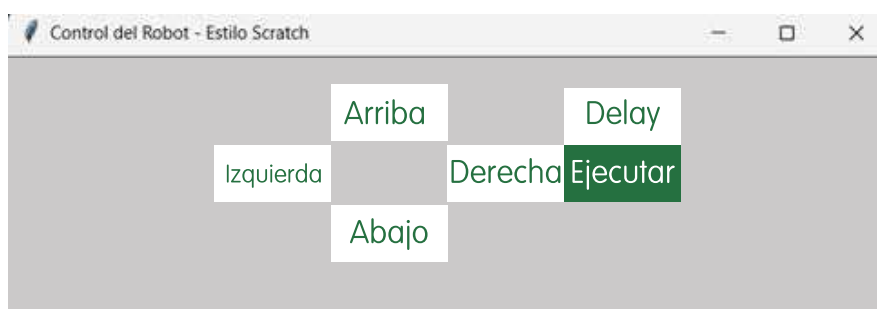


Figura 28. Interfaz gráfica con Python.

Los resultados obtenidos muestran claramente que el proyecto fue apropiado y pertinente tanto para la Fundación EPM y la Universidad de Antioquia, puesto que ambas instituciones se encuentran alineados con la Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible, además, las dos buscan ampliar cada vez más el público que impactan, buscando reducir las brechas siendo más accesibles.

De acuerdo con lo realizado en este proyecto, el diseño de las bases para los componentes fue satisfactorio, es importante tener en cuenta los parámetros que se establezcan para la impresión, pues el braille marcado en ellas debe tener un buen acabado para que sea legible, por otro lado, estas bases son una muy buena alternativa para un acercamiento inicial a los componentes y conocer de forma teórica su funcionamiento, también funcionan muy bien para circuitos iniciales o básicos que se realicen en el aprendizaje de la electrónica ya que cuando se usan muchos componentes, especialmente los circuitos integrados o amplificadores operacionales, los tornillos y cables tipo caimán que se deben utilizar introducen una gran cantidad de ruido, impidiendo su correcto funcionamiento.

El desarrollo de la Protoboard fue muy apropiado, puesto que es uno de los componentes que más se utilizan en la electrónica y es importante comprender su uso y funcionamiento cuando se empieza a trabajar en esta área.

Para la impresión de la Protoboard es importante tener en cuenta la tolerancia de la impresora 3D para evitar errores, además, es vital que la impresión sea en la mejor calidad posible para que las marcas táctiles sean fácilmente apreciables.

El uso de todos los componentes por parte de las personas con discapacidad visual fue fácil y se garantizó la accesibilidad, el braille fue adecuadamente implementado así como el código de colores y las demás marcas usadas para que las personas usaron el kit, durante el curso realizado en la Biblioteca EPM y en la muestra que se realizó en la Fundación Ángel del Luz, las personas manifestaron que les parecieron adecuadas las adaptaciones, que fue claro el contenido y se sintieron cómodas con este kit.

Las personas con discapacidad visual que participaron fueron de diversas edades, sorprendió incluso que hubo personas adultas que estaban muy interesadas en estos temas, a pesar de que algunas de las personas con discapacidad visual tenían baja visión y por ende no conocían ampliamente el braille pudieron utilizar las bases y la Protoboard sin problemas, sin embargo, sería muy interesante incluir en las bases las palabras en español, de esta manera, tanto las personas con baja visión como las personas ciegas con conocimientos en braille podrán utilizar el kit sin problemas.

El material didáctico en formato audiovisual se puso a prueba durante los encuentros del curso con las personas con discapacidad visual, mostró ser un recurso muy útil, ya que contiene la información sobre el kit necesaria para su uso e implementación, al utilizar los dos formatos, tanto el braille como el audiovisual se garantiza una mayor accesibilidad y permite la replicabilidad de lo realizado en este proyecto para que las personas con discapacidad visual puedan acceder cada vez más a temas relacionados con la tecnología, electrónica y robótica.

Finalmente, aunque no estaba contemplado dentro de los objetivos originales de este proyecto, en la Biblioteca EPM, se está en la constante búsqueda de incluir a las personas con discapacidad en las diferentes actividades que se desarrollan, por esto, se propuso implementar una adaptación que permita a las personas con discapacidad visual acceder a la programación. Se desarrolló una alternativa para la programación con Arduino, realizando la conexión Bluetooth entre dos de estos dispositivos, donde

uno actúa como robot y el otro hace las veces de teclado para programar, al presionar alguna de las teclas se envía el comando al computador y el robot realiza los movimientos programados cuando se presione el botón ejecutar, esta parte del proyecto no pudo ser probada con personas con discapacidad visual, sin embargo, sienta un precedente para que se sigan desarrollando soluciones de accesibilidad en este ámbito.

Conclusiones

Este proyecto tuvo como objetivo desarrollar un kit de electrónica educativa que permita a las personas con discapacidad visual acceder a cursos de este tema, haciendo que los materiales y componentes sean más accesibles y les dé mayor autonomía, se puede decir que en este sentido, el trabajo fue exitoso, ya que el kit pudo ser desarrollado y las personas que participaron en el curso de electrónica lograron realizar todas las actividades de forma autónoma siguiendo las instrucciones, además, se logró el objetivo de aprendizaje del diseño metodológico el cual era *Entender y aplicar los conceptos básicos de la electrónica, construyendo circuitos simples y comprendiendo el funcionamiento de componentes electrónicos clave*. Lo cual de acuerdo con los resultados finales se cumplió de forma satisfactoria.

De acuerdo con los testimonios de las personas que participaron de este proyecto, las soluciones aportadas fueron de gran ayuda y permitieron que cada uno pudiera desarrollar las actividades propuestas, valoraron especialmente las adaptaciones táctiles que permitieron que ellos comprendieran y pudieran manipular los componentes, así como la forma de conexión por medio de cables tipo caimán, los cuales facilitaron esta tarea.

Es importante resaltar que para el uso de las bases que componen el kit las personas deben conocer el lenguaje braille, ya que este es la base de la

adaptación realizada, además, para bases como las de las resistencias que contienen el código de colores adaptado de ColorADD es importante primero hacer un acercamiento a este por medio de la cartilla diseñada donde se encuentran los colores con su respectivo equivalente del código.

El material didáctico desarrollado es una herramienta complementaria que permitirá que las personas que se encuentren interesadas en utilizar o replicar este kit puedan hacer con mayor facilidad, garantizando, además, que las personas con discapacidad visual puedan acceder a esta información al estar en lenguaje braille y en formato audiovisual.

Finalmente, la posibilidad de desarrollar soluciones para el aprendizaje de la programación para este tipo de población ofrece una gran oportunidad tanto para ellos como para instituciones como la Universidad de Antioquia o la Fundación EPM, quienes están en la búsqueda constante de ofrecer educación de calidad y accesible para todos, en este sentido, lo que se logró avanzar en este proyecto para incluir a las personas con discapacidad visual en este ámbito puede sentar un precedente para continuar por este camino buscando derribar las barreras existentes para las personas con discapacidad visual.

Recomendaciones

Para un posible trabajo a futuro se recomienda implementar bases con marcación braille para otros componentes de electrónica no incluidos en este trabajo, así como la posible implementación de la Protoboard grande con la adaptación táctil diseñada, por otro lado, para esta sería interesante poder fabricarla con otro método, por ejemplo, desarrollando una placa para inyección que permita producir la Protoboard de forma masiva lo cual posiblemente disminuya costos de producción, garantice homogeneidad en estas, reduciendo

errores, además, permitiría la comercialización de esta para las personas con discapacidad visual que estén interesadas en estudiar carreras o hacer cursos relacionados con la electrónica.

En cuanto a la programación para personas con discapacidad visual, en este proyecto se plantea un precedente, el cual se puede mejorar a futuro y realizar pruebas con personas ciegas para evaluar su usabilidad y accesibilidad.

Referencias

- Al Omoush, M. y Mehigan, T. (08-10 de junio de 2023). *Leveraging Robotics to Enhance Accessibility and Engagement in Mathematics Education for Vision-Impaired Students*. 2023 5th International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), Estambul, Turquía. <https://doi.org/10.1109/HORA58378.2023.10156748>
- Aldana, D., Arias, P. y Angarita, F. (2022). Prototipo electrónico BlindTI como herramienta de aprendizaje para niños en condición de discapacidad visual. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*, (48), 5-22. <https://doi.org/10.17013/risti.48.5-22>
- Betancourt, J. (4 de octubre de 2024). AccessBot: *Electrónica educativa para personas con discapacidad visual* [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=XvQJgE5AcY8>
- Color ADD. (s.f.). *El código color ADD*. ColorADD. <https://www.coloradd.net/es/el-codigo-coloradd/>
- Damasio, J., de Borba, M., de Morais, A. y Harb, I. (9-14 de julio de 2017). *Teaching Robot Programming Activities for Visually Impaired Students: A Systematic Review*. 11th International Conference, UAHCI 2017, Vancouver, Canadá. <https://rebrand.ly/xjusdu4>
- Davis, J., Wu, T., Shi, B., Lu, H., Panotopoulou, A., Whiting, E. y Yang, X. (2020). TangibleCircuits: An Interactive 3D Printed Circuit Education Tool for People with Visual Impairments. En: *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-13). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376513>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2022). *Estado actual de la medición de la discapacidad en Colombia*. DANE. <https://rebrand.ly/v1nbnu4>
- Hamash, M. y Mohamed, H. (2021). BASAER Team: The First Arabic Robot Team for Building the Capacities of Visually Impaired Students to Build and Program Robots. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 16(24), 91-107. <https://doi.org/10.3991/ijet.v16i24.27465>
- La Constante Universal. (23 de septiembre de 2019). *Amplificador de audio LM386 fácil de hacer. Trucado y mejorado* [Archivo de video]. Youtube. <https://rebrand.ly/658aad>
- Lombardo, F. y Severino, S. (2021). Atividades experimentais de eletrodinâmica construídas por alunos com deficiência visual. *Revista Prática Docente*, 6(1), e010. <https://doi.org/10.23926/RPD.2021.v6.n1.e010.id906>

- Organización Mundial de la Salud. (10 de agosto de 2023). *Ceguera y discapacidad visual*. OMS. <https://rebrand.ly/bhi7yj7>
- Rojas, L., Arboleda, N. y Pinzón, L. (2018). Caracterización de población con discapacidad visual, auditiva, de habla y motora para su vinculación a programas de pregrado a distancia de una universidad de Colombia. *Revista Electrónica Educare*, 22(1), 1-28.
- Stehling, V., Schuster, K., Richert, A. y Jeschke, S. (2016). Access All Areas: Designing a Hands-On Robotics Course for Visually Impaired High School Students. En: Jeschke, S., Isenhardt, I., Hees, F., Henning, K. (Eds.) *Automation, Communication and Cybernetics in Science and Engineering 2015/2016* (pp. 455-461). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42620-4_36

Cómo citar este artículo:

Betancourt, J. (2024). AccessBot: electrónica educativa para personas con discapacidad. *Revista EPM*, (24), 65-86.



Estamos ahí.

www.epm.com.co