

□ Guía metodológica para diseño de SUDS no incluidos en la normativa actual para la ciudad de Bogotá.

□ Modelo estándar para evaluar la madurez de los procesos en pymes de servicios TI de Bogotá, con enfoque en Business Process Management (BPM).

□ Comportamiento frente a la corrosión de un material compuesto híbrido de matriz de aluminio reforzada con Al_2O_3 y grafito, obtenidos a partir de residuos industriales.

□ Estrategias para negocios circulares. Lecciones aprendidas de casos exitosos.

□ Diseño de un freno electromagnético para aplicaciones en bancos de pruebas de micro-MCI.

□ Life cycle of chewing gum.

□ La escucha como punto de encuentro en el barrio La Loma.

Enero-marzo de 2023

ISSN 0121-5132

P.V.P. Colombia \$12.000.00



CONSEJO DIRECTIVO DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

PRESIDENTE RICARDO RINCÓN HERNÁNDEZ

VOCALES GERMÁN EDUARDO ACERO RIVEROS
SANDRA XIMENA CAMPAGNOLI MARTÍNEZ
GONZALO JIMÉNEZ ESCOBAR
MARÍA DEL ROSARIO MONTEJO PERRY
ARMANDO PALOMINO INFANTE
JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS
MARIANA SANDINO ULLOA
JOSÉ CAMILO VÁSQUEZ CARO
(representante de los profesores)
JAVIER STEVEN AROCA TOVAR
(representante de los estudiantes)

RECTOR HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ

SECRETARIA GENERAL CLAUDIA JEANNETH RÍOS REYES

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

DIRECTOR JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS

COMITÉ EDITORIAL GERMÁN ACERO RIVEROS
CLAUDIA JEANNETH RÍOS REYES
PAULA XIMENA RÍOS REYES
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS
EDUARDO SARMIENTO PALACIO

DIRECCIÓN EDITORIAL CRISTINA SALAZAR PERDOMO

EDICIÓN **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**
JORGE CAÑAS SEPÚLVEDA
CORRECCIÓN DE ESTILO
ELKIN RIVERA GÓMEZ
TRADUCCIÓN Y CORRECCIÓN DE ESTILO EN INGLÉS
DAVID PEÑA CITA

DIRECCIÓN COMERCIAL EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

Versión digital disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

AUTOPISTA NORTE AK 45 # 205-59
TEL.: (57-1) 668 3600, EXT. 533
revista@escuelaing.edu.co
BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA

LA ESCUELA Y LA REVISTA NO SON RESPONSABLES DE LAS IDEAS Y CONCEPTOS EMITIDOS POR LOS AUTORES DE LOS TRABAJOS PUBLICADOS. SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE LOS ARTÍCULOS DE LA REVISTA SI SE CITAN LA FUENTE Y EL AUTOR.

5 / EDITORIAL

Una educación sin tiempo para pensar: profesores, estudiantes, pasantías y otros problemas de la educación en la universidad

Felipe Rodríguez Gómez

7-20

Guía metodológica para diseño de SUDS no incluidos en la normativa actual para la ciudad de Bogotá

Juan Manuel Fajardo Gómez - Héctor Matamoros Rodríguez

Con el propósito de aportar a la implementación y diseño de estructuras para lograr sistemas de drenaje pluvial sostenibles en Colombia, se presenta el planteamiento de una guía metodológica para el diseño de tanques de retención y soakaways como sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS), tomando como base la estructuración de la normativa NS-166 planteada por la EAAB, y la aplicación de la guía a un caso de estudio.

21-37

Modelo estándar para evaluar la madurez de los procesos en pymes de servicios TI de Bogotá, con enfoque en *Business Process Management* (BPM)

Jaime Elder Acosta Ramírez - Claudia Yadira Rodríguez Ríos - Diana Carolina Cabra Ballesteros

En este artículo se presenta un modelo estándar para evaluar la madurez de los procesos en pymes de servicios de TI de Bogotá, con enfoque en Business Process Management (BPM), el cual parte de una exhaustiva revisión bibliográfica de los modelos documentados en bases de datos y artículos científicos para determinar el marco referencial y teórico, que permite encontrar y evaluar los modelos existentes y así caracterizar el modelo propuesto.

39-49

Comportamiento frente a la corrosión de un material compuesto híbrido de matriz de aluminio reforzada con Al_2O_3 y grafito, obtenidos a partir de residuos industriales

Carlos Andrés Pino Hernández - Nicolás Ospina Mendoza - Valentina Gutiérrez Zorro - Adriana Esguerra-Arce - Johanna Esguerra-Arce

Las aleaciones de aluminio se usan ampliamente debido a sus propiedades mecánicas y baja densidad. Sin embargo, el impacto ambiental generado por su procesamiento y uso es grande. Este impacto lo producen, en parte, los subproductos que se generan en su manufactura, tales como virutas cortas. Otro residuo industrial importante son los lodos de grafito, que resultan de desechar moldes de fundición semipermanentes.

51-67

Estrategias para negocios circulares. Lecciones aprendidas de casos exitosos

Estefani Rojas Alfonso - Luz Angélica Rodríguez Bello

Este artículo se hizo con el objeto de mostrar la aplicación y los múltiples beneficios que presentan las estrategias de economía circular (EC) que se aplican en los modelos de negocios circulares en el mundo. La EC es una alternativa del ciclo lineal típico, de fabricar, usar y desechar, a favor de un ciclo circular aplicado a todas las etapas del ciclo de vida, como materiales, diseño, fabricación, uso y fin de vida, con el objetivo de alcanzar el mayor uso de los recursos, dado que mientras más tiempo se utilicen los productos, componentes y materiales, más valor se extrae de ellos.

69-76

Diseño de un freno electromagnético para aplicaciones en bancos de pruebas de micro-MCI

Juan Sebastián Caballero Castillo - David Eduardo Gutiérrez Patiño - Diego Fernando Mancipe Celis - David Andrés Ortíz Cornejo - Antonio José Zúñiga Páez - María Paula Benard Benjumea

En este artículo se presentan la corriente y la fuerza magnética necesaria para generar carga sobre el eje y controlar el régimen de giro de este; además de lo anterior, se muestra cómo se comporta la corriente generada por la fuente de corriente en función del ciclo de trabajo. La fuerza mencionada se obtuvo por medio de un circuito de reluctancias mediante un proceso iterativo, en el que se fijó el valor máximo de la corriente y se varió el número de vueltas de las bobinas de 66 a 150.

77-79

Life cycle of chewing gum

Angie Sofía Rubiano Galvis - Yuly Andrea Sánchez Londoño

En este artículo se hablará acerca del ciclo de vida del chicle, su producción, cambios a lo largo de los años y cómo ha logrado posicionarse en el mercado y volverse un producto distribuido en todo el mundo. Además, se explicarán cuáles son los principales impactos ambientales, culturales y económicos que produce. Por último, se darán soluciones que se están empezando a implementar en Europa para que el impacto que produce, disminuya.

81-85

La escucha como punto de encuentro en el barrio La Loma

Felipe Rodríguez Gómez

La escucha es transversal a todo proceso comunitario o grupal. La escucha, antes que la producción sonora, es el entendimiento del otro y de su relación dentro de un entorno común. El sonido que se presenta como resultado del proceso de escuchar es la transformación del espacio público en un espacio cultural, dinámica que, a su turno, es una actitud de resistencia que se presenta al cuestionar los lenguajes hegemónicos de comunicación.

87 / ALCANCE Y POLÍTICAS

Editorial

Una educación sin tiempo para pensar: profesores, estudiantes, pasantías y otros problemas de la educación en la universidad

FELIPE RODRÍGUEZ GÓMEZ

Artista. Profesor asistente de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería.

felipe.rodriguez@escuelaing.edu.co

El siguiente fragmento forma parte de una conversación que no se pudo tener. Ante un silencio despiadado la público, sin mencionar a quiénes fue dirigida inicialmente, como forma de ampliar la discusión o comenzarla, entendiéndola dicha situación como algo que he observado múltiples veces con distintos actores y que responde a un problema sistémico.

Se me hace imposible participar en lo que propones. Principalmente, porque permitir presentar algo fuera de los tiempos establecidos, en mi caso, solo puede responder a procesos amplios y generosos, que entienden el valor colectivo de la individualidad cuando se ejerce autónomamente. Lo propuesto (tal vez inconscientemente) es una apología a la actual premisa que establece que las necesidades de supervivencia individual validan y justifican al individuo cuando, camino a solventar dichas necesidades, deteriora el tejido social.

La honestidad académica no es únicamente el acto de no copiarse en un examen. Constituye la ética y la posición que uno toma frente a la educación en sus múltiples contextos, incluyendo un sinnúmero de decisiones que van más allá de los entes de control institucionales.

Un ejemplo recurrente puede ser estar en clase y no estarlo realmente. Más allá de los (nocivos) títulos académicos y las notas, que legitiman a personas potentes que honran el conocimiento, triste

y simultáneamente legitiman a una serie de individuos corruptos y deshonestos, que han conjurado lo que la persona promedio colombiana definiría como “el mundo real”. Se hace importante reivindicar los procesos de aprendizaje, ya que esto permite escapar a la falacia que es un título universitario (un dispositivo que legitima a quien lo posee por encima de su conocimiento o de su experiencia académica).

Lo anterior siempre me ha generado la siguiente pregunta: ¿será que la profunda deshonestidad académica dentro del proceso formativo universitario tiene alguna relación con la profunda corrupción que precede a la experiencia universitaria? Obviamente, la respuesta no es binaria¹. Sin embargo, yendo de lo general a lo particular, en lo que planteas no solo me siento insultado, sino también traicionado.

Hacer las cosas por hacerlas solo podría significar pactar con el *statu quo* colombiano, el mismo en el que nos encontramos sumidos: el de la trampita, el de todo a última hora, el de la ley del más vivo, el de el que peca y reza empata, el de perder es ganar un poquito (así sea a las malas), el de esta Bogotá que lleva atrasada cien años (entre buses caducos, obras que nunca se cumplen, políticos que mienten sobre sus estudios o negociantes

1. Todos cometemos errores en nuestros procesos académicos y formativos, claramente es parte del proceso; el problema es normalizar nuestros errores hasta legitimarlos, hasta el punto de olvidar su grave impacto.

que sienten que siempre se deben beneficiar por encima de la sociedad misma).

Me parece más relevante la reflexión frente a qué te llevó a este grado de deshonestidad contigo. La razón por la que solicitas esta posibilidad, a mi parecer, es únicamente la nota. Esto, en primer término, no habla muy bien de la consideración que tienes con nosotros ni con el grupo. En segundo lugar, si tú eres autónoma o si decides en algún momento adoptar tal posición y eres consciente de tus acciones, deberías asumir sus consecuencias y no buscar reivindicar lo irrevindicable, únicamente por una nota. Solo en un país como este, alguien que es consciente de su accionar pediría algo así. Y es tal la gravedad del estado de las cosas, que damos por normal algo que ante mis ojos es abrupto y desconsiderado. Esto se debe, en parte, a que el colombiano promedio sabe que siempre está la posibilidad de que algo se tuerza. Parece que tuviéramos la conciencia de que todo debe pasar por procesos turbios y contraproducentes para poder llegar a un feliz término.

Incluso se me hacen valiosas estas preguntas: ¿cómo llegaste a ponerte en una posición tan contraproducente?

¿Por qué ejercer dicha violencia sobre uno mismo? La autonomía requiere, en parte, no depender de otras personas. Recuerda que tanto una oveja blanca como una negra son simple rebaño, que siguen eternamente el *statu quo*. ¿Cuál es el impacto de tu individualidad en el sistema social al que pertenecemos? ¿Tu forma de actuar reafirma el *statu quo*? ¿El hecho de que el valor de la clase recaiga en el compromiso autónomo de cada cual otorga el derecho a tratar la clase de esta manera?

“Mientras yo yacía dormido en el suelo vino una oveja a pacer de la corona de hiedra de mi cabeza, pació y dijo: ‘Zaratustra ha dejado de ser un docto’. Así dijo, y se marchó hinchada y orgullosa. Me lo ha contado un niño. Me gusta estar echado aquí donde los niños juegan, junto al muro agrietado, entre cardos y rojas amapolas. Todavía soy un docto para los niños, y también para los cardos y las rojas amapolas. Son inocentes, incluso en su maldad. Mas para las ovejas he dejado de serlo: así lo quiere mi destino. ¡Bendito sea! Pues esta es la verdad: he salido de la casa de los doctos: y además he dado un portazo a mis espaldas”.

FRIEDRICH NIETZSCHE, *Así habló Zaratustra*

Guía metodológica para diseño de SUDS no incluidos en la normativa actual para la ciudad de Bogotá

Methodological guidelines for SUDS design not included in current regulation for Bogotá

JUAN MANUEL FAJARDO GÓMEZ¹ - HÉCTOR MATAMOROS RODRÍGUEZ²

1. Magíster en Ingeniería Civil de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Ingeniero civil, especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente y magíster en Ingeniería Civil de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

juan.fajardo-g@mail.escuelaing.edu.co - hector.matamoros@escuelaing.edu.co

Recibido: 20/09/2022 Aceptado: 18/10/2022

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

Con el propósito de aportar a la implementación y diseño de estructuras para lograr sistemas de drenaje pluvial sostenibles en Colombia, se presenta el planteamiento de una guía metodológica para el diseño de tanques de retención y *soakaways* como sistemas urbanos de drenaje sostenibles (SUDS), tomando como base la estructuración de la normativa NS-166 planteada por la EAAB, y la aplicación de la guía a un caso de estudio.

Para el planteamiento y la construcción de la guía, se recopilaron una serie de documentación de normas y metodologías de selección y diseño de tanques de retención y *soakaways*, teniendo en cuenta documentos de diseño tanto nacionales como internacionales. Posteriormente, se aplicó la metodología de sistematización de experiencias para cada una de las metodologías seleccionadas, con el fin de elaborar una matriz de comparación, a partir de los siete parámetros de diseño establecidos, tomando como base la estructura y los requerimientos planteados para otros tipos de SUDS en la norma NS-166 de la EAAB-ESP, matriz que facilitó el análisis de los elementos indispensables para la construcción de la propuesta de guía metodológica, para cada una de las dos estructuras en estudio.

Una vez realizadas las dos matrices de comparación y su análisis, se procedió a plasmar la información recopilada en el formato utilizado por la EAAB-ESP con los capítulos y subcapítulos estructurados en

forma similar a los de la normativa de referencia (NS-166). Luego de plantear la guía metodológica, se evaluaron estas por medio de su aplicación a un caso de estudio.

Palabras claves: SUDS, tanques de retención, *soakways*, diseño hidráulico.

Abstract

This document presents the approach of a methodological guide for the design of retention tanks and soakways as SUDS, based on the structuring of the NS-166 regulation proposed by EAAB, and the application to a case study.

In accordance with the above, a systematization of experiences was conducted for each of the selected methodologies to prepare a comparison matrix based on the seven design parameters established for each of the two structures, considering both national and international design documents.

Once the two comparison matrices had been prepared, the information collected was presented in the format used by the EAAB-ESP, with the same chapters and subchapters as in the reference standard (NS-166). After establishing the methodological guide, these were evaluated by means of a case study.

Keywords: SUDS, retention tanks, soakways, hydraulic design.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, Colombia no cuenta con una normativa general para la implementación y el diseño de sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS). La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB-ESP) es la única entidad que tiene una norma en la que se definen los requerimientos para el diseño de algunos tipos de estructuras de SUDS en la capital del país.

En este artículo se presentan los resultados del trabajo realizado para el planteamiento de una guía metodológica para el diseño de tanques de retención y *soakaways* como SUDS, con el propósito de complementar la norma técnica NS-166 de la EAAB, de modo tal que se amplíe el abanico de posibilidades para el planteamiento y diseño de estas estructuras en los sistemas de drenaje pluvial del país y contribuir así al desarrollo sostenible de nuestros espacios urbanos.

METODOLOGÍA

El trabajo se desarrolló tomando como base la estructura del documento de la norma NS-166. De ahí se determinó que se deben cubrir siete aspectos para lograr la selección y el diseño de las estructuras SUDS. Estos aspectos se resumen en la tabla siguiente (tabla 1), en donde se definen los parámetros de análisis comparativo y el enfoque de estos.

Tabla 1
Ejes centrales de la sistematización de experiencias

Ítem	Parámetro	Enfoque
1	Diseño	Descripción general de la estructura; beneficios y elementos que la componen.
2	Operación	Descripción del funcionamiento de la estructura.
3	Criterios de localización	Recomendaciones de ubicación.
4	Restricciones	Elementos para tener en cuenta referentes a nivel freático, tasas de infiltración y distancia con cimientos, entre otros.
5	Pre-dimensionamiento	Diseño de la estructura.
6	Cobertura vegetal asociada	En caso de tener, descripción de las especies y características de la vegetación que se debe usar.
7	Materiales	Descripción de los materiales para cada uno de los elementos que conforman la estructura.

Fuente: Elaboración propia.

La recopilación y análisis de documentos nacionales e internacionales, permitió seleccionar seis documentos base para aplicar sobre ellos la metodología de sistematización de experiencias; A continuación, se enumeran los documentos seleccionados (tabla 2).

Tabla 2
Metodologías seleccionadas para la sistematización

Estructura	Metodología
Tanques de retención	CIRA (2015). <i>The SUDS manual</i>
Tanques de retención	Parra, J. & Villarreal, É. (2018). <i>Diseño e implementación de un tanque de detención de aguas lluvias</i> . XXIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología.
Tanques de retención	Singapore's National Water Agency (2021). <i>On-site Stormwater Detention Tank Systems</i>
Soakaways	Universidad de los Andes (2015). <i>Investigación de las tipologías y/o tecnologías de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá, D.C.</i>
Soakaways	Kent County Council (2000). <i>The Soakaway Design Guide</i>
Soakaways	Waltkins, D. (1991). <i>The Hydraulic Design and Performance of Soakaways</i> . HR Wallingford.

Fuente: Elaboración propia.

Para cada una de ellas, se aplicó el procedimiento; se empezó por las preguntas iniciales, recuperación de procesos, hallazgos, puntos claves y puntos de llegada; con el fin de determinar aspectos relevantes y afines en el diseño de las estructuras, elementos hidrológicos e hidráulicos, para organizarlos y sintetizarlos, de manera tal que se facilite la posterior estructuración de la metodología de diseño sobre siete parámetros establecidos (tabla 1).

Como resultado del proceso, se elaboró una matriz de comparación para las dos estructuras de estudio, con la que se determinó que el contenido de cada documento presenta un aporte para la construcción de la guía metodológica y, por supuesto, para el planteamiento y el diseño de las estructuras, a partir de los siete parámetros establecidos. Así, se identificaron los capítulos y apartados de las metodologías analizadas, de los cuales se extrajo información para organizar la guía con estructura de norma, definiendo los elementos conducentes a un diseño efectivo de los tanques de retención y *soakaways*.

Surtido el paso anterior, se procedió a plasmar la información recopilada en un documento que se tituló

“Normativa para el diseño de tanques de retención y soakaways en formato EAAB-ESP”. En este se organizó la información correspondiente a las dos estructuras de estudio en capítulos y subcapítulos, igual que en la normativa de referencia (NS-166).

Una vez establecida la metodología para las dos estructuras correspondientes al estudio, se procedió a realizar la evaluación de estas por medio de un caso de estudio.

SISTEMATIZACIÓN DE EXPERIENCIAS PARA TANQUES DE RETENCIÓN

Al aplicar la metodología de sistematización de experiencias a los tres documentos relacionados anteriormente para los tanques de retención (tabla 1), se obtuvo la información necesaria para construir la matriz de comparación que se presenta a continuación (tabla 3).

SISTEMATIZACIÓN DE EXPERIENCIAS PARA SOAKAWAYS

La sistematización de experiencias para los *soakways* se realizó para tres metodologías relacionadas en una tabla anterior (tabla 1). en la que se presenta el resumen de la sistematización de experiencias identificando los capítulos de los cuales se extrajeron conceptos para la elaboración de la metodología de diseño.

NORMATIVA EN FORMATO EAAB-ESP

Tomando como base la estructura de organización de la norma técnica de servicio NS-166. EAAB-ESP. Criterios para diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), se procedió a la estructuración y complementación de la normativa para las dos estructuras (tanques de retención y Soakaways), tomando como línea base lo establecido en la NS-166 para el

Tabla 3
Matriz de comparación de tanques de retención

Parámetros	Met. (1)	Met. (2)	Met. (3)
Diseño	(I) Descripción general	–	(II) Sistemas de tanques de retención
Operación	–	–	(II) Sistemas de tanques de retención
Criterios de localización	(II) Selección y ubicación de los sistemas de tanques	–	(IV) Consideraciones sobre el diseño
Restricciones	(II) Selección y ubicación de los sistemas de tanques / EAAB-ESP	–	–
Predimensionamiento	–	(II) Metodología (V) Conclusiones	(III) Diseño de sistemas de tanques
Cobertura vegetal asociada	(I) Descripción general	–	–
Materiales	(VIII) Especificaciones físicas (IX) Materiales	(IV) Instalación	–

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4
Matriz de comparación de soakaways

Parámetros	Met. (1)	Met. (2)	Met. (3)
Diseño	(I) Introducción	(I) Introducción	(I) Introducción
Operación	(I) Introducción	–	–
Criterios de localización	–	(II) Elección y construcción	–
Restricciones	(IV) Consideraciones de diseño	(II) Elección y construcción	–
Predimensionamiento	(III) Diseño	(VI) Evaluación de la capacidad de un pozo de infiltración	(II) Procedimientos existentes de diseño (III) Procesos de flujos (V) Modelación analítica
Cobertura vegetal asociada	–	–	–
Materiales	(VII) Aspectos de construcción	–	–

Fuente: Elaboración propia.

desarrollo del contenido tanto general como particular para las estructuras. El documento “Normativa para el diseño de tanques de retención y soakaways en formato EAAB-ESP” se puede consultar en el repositorio de la Biblioteca Jorge Álvarez Lleras, de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

La estructuración general de la NS-166 presenta los siguientes capítulos:

1. Alcance
2. Documentos relacionados: referentes a los utilizados para las seis metodologías utilizadas.
3. Terminología: términos utilizados en la metodología, y adicionalmente se referenciaron las normas correspondientes por parte de la EAAB-ESP en relación con las terminologías.
4. Requisitos
 - 4.1. Generalidades
 - 4.1.1. Documentación requerida
 - 4.1.2. Aspectos de construcción
 - 4.1.3. Antes de la construcción
 - 4.1.4. Durante la construcción
 - 4.1.5. Después de la construcción
 - 4.2. Condiciones de uso: Se mencionan los lineamientos que debe seguir el diseñador y se especifican las unidades de medida (sistema internacional) en que se deben realizar los cálculos.
 - 4.3. Diseño hidrológico: Se especifican los dos parámetros principales de diseño de las estructuras en estudio, el volumen de retención y el volumen de ingreso.
 - 4.4. Trenes de tratamiento: Se extrajo la estructura de la NS-166.
 - 4.5. Tipologías de SUDS: Se generó el desarrollo de los parámetros establecidos en la sistematización de experiencias.
 - 4.6. Estructuras anexas: Se describieron las estructuras anexas que se aplican en el diseño de las tipologías de estudio.
 - 4.7. Conexión al sistema de alcantarillado convencional: Se tomó como base lo establecido en la normativa de referencia.

CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio seleccionado fue el contrato N.º 939 de 2017 del IDU, el cual tuvo como objeto “Ac-

tualización, complementación, ajuste a la factibilidad y ejecución de los estudios y diseños de la ampliación del portal Tunal del sistema Transmilenio en Bogotá, D.C.”.

El proyecto consistió en la proyección de dos calzadas vehiculares: una para el sistema de articulados *Bus Rapid Transit* (BRT) y otra para el sistema de alimentación. Adicionalmente, se proyectó la construcción de la plataforma para el embarque y desembarque de los usuarios.

Para el caso de estudio, se tomó la solución planteada para el sistema de alcantarillado pluvial, el cual tiene como objetivo recolectar mediante sumideros la escorrentía generada sobre las dos calzadas y por medio de bajantes, la escorrentía generada en la cubierta.

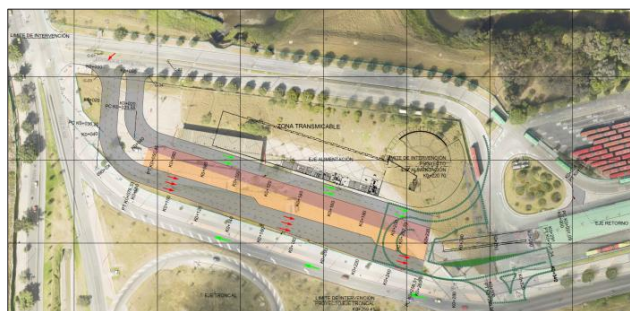


Figura 1. Implantación general. Caso de estudio.

Fuente: Adaptado de Documento APT-EYD-CP6-R3.

Para el estudio de caso se elaboró un modelo para cada una de las dos calzadas, el cual se ejecutó bajo tres escenarios:

- Condición antes del desarrollo.
- Condición después del desarrollo.
- Condición después del desarrollo complementado con SUDS.

El sistema de drenaje pluvial está compuesto por dos sistemas de redes, cada una ubicada en las dos calzadas proyectadas. Así mismo, cada calzada cuenta con sus sumideros para la recolección de la escorrentía generada en las vías proyectadas. Finalmente, el sistema tiene bajantes que se conectan directamente a los pozos, descargando la escorrentía generada en la cubierta.

Ambos sistemas se conectan al sistema de alcantarillado pluvial por medio de una conexión existente al *box culvert* San Carlos, al costado sur de la intervención (figura 2).

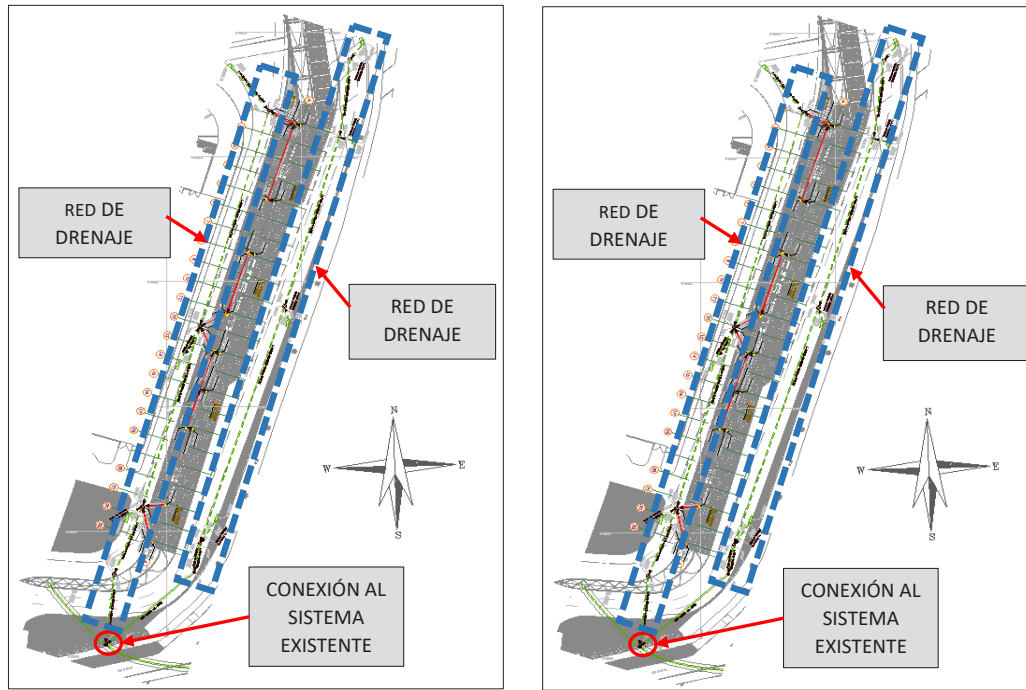


Figura 2. Esquema general de drenaje.
Fuente: Adaptado de plano de diseño DV-SP-AL-02.

El diseño pluvial tiene una longitud total de 554 m, aproximadamente, entre tramos y conexiones de sumideros; los diámetros están entre 0,25 m y 0,45 m. En total, se proyectaron diez pozos de conexión y siete sumideros. Las áreas de drenaje, tanto de las calzadas como de la cubierta de la plataforma, suman un total de 0,96 ha y están distribuidas como se ve a renglón seguido (figura 3).

Predimensionamiento de tanques de retención

A continuación es posible observar las áreas de cubierta utilizadas para el predimensionamiento de los tanques (figura 4).

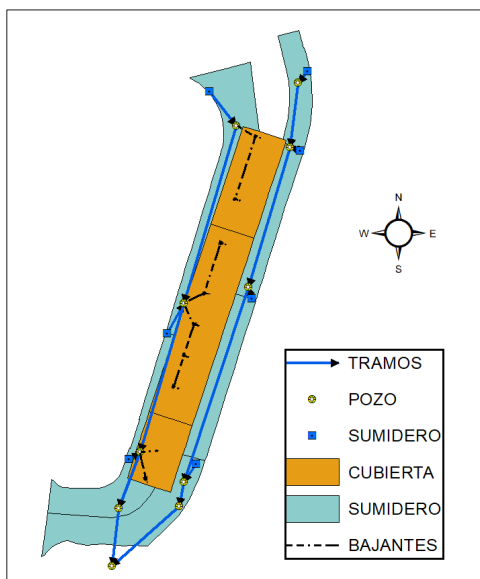


Figura 3. Distribución de elementos de la red de drenaje.
Fuente: Elaboración propia.

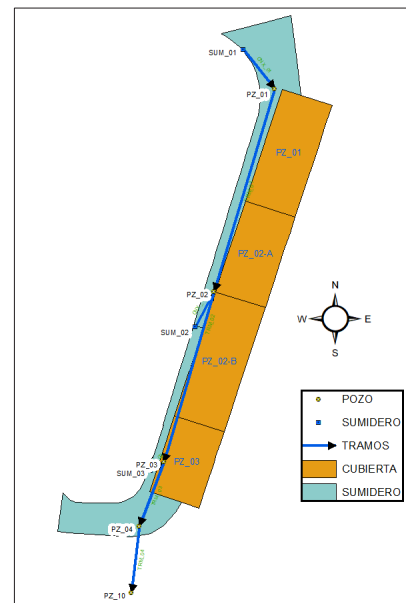


Figura 4. Áreas aferentes de los tanques de retención.
Fuente: Elaboración propia.

El predimensionamiento de los tanques se hizo de acuerdo con la ecuación 1, teniendo en cuenta los parámetros de caudal después del desarrollo (Q_p), caudal antes de desarrollo (Q_a) y volumen de retención (V_t).

$$V_t = 60Q_p T_d - 30Q_a(t_d + t_c) \quad (1)$$

Para el caso de estudio se seleccionaron las celdas AquaCell NG de tráfico bajo, del proveedor Pavco. Esta celda tiene unas dimensiones de 1,2 m de longitud por 0,60 m de ancho y 0,40 m de alto. Según el proveedor, contiene un porcentaje de vacíos del 94 % y está construida con plásticos reciclados.

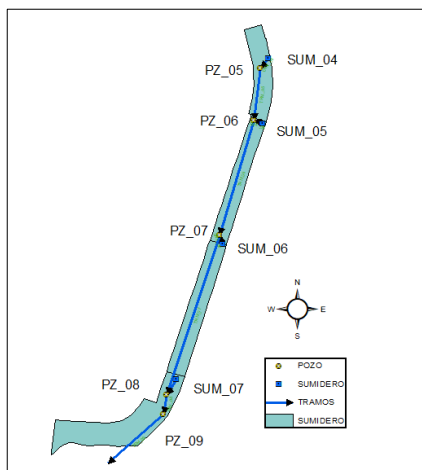
De acuerdo con el volumen del tanque establecido por el proveedor se estimó el número de celdas requeridas para lograr un valor superior o igual al V_t para los cuatro sitios de tanques propuestos, y se realizó la respectiva ubicación en planta y perfil.

Así mismo, se hizo el predimensionamiento de la tubería de salida, como un orificio sumergido, con el caudal antes del desarrollo para conservar la premisa de descargar el caudal antes de que se impermeabilice el suelo.

Predimensionamiento de *soakaways*

En la calzada oriental correspondiente al BRT se plantearon dos *soakaways* en remplazo de los SUM_05 y SUM_06, los cuales se pueden identificar en la figura siguiente (figura 5).

Figura 5.
Implantación general sumideros 6 y 7.
Fuente: Elaboración propia.



El predimensionamiento de los *soakaways* se realizó de acuerdo con la ecuación 2, considerando los parámetros de caudal después del desarrollo (Q_p), el tiempo

total del evento de precipitación (Q_a) y el volumen de ingreso (V_i).

$$V_i = Q_p T_t \quad (2)$$

Una vez determinado el volumen de ingreso para las dos estructuras se procedió a calcular los diámetros de cada uno de los cilindros, teniendo en cuenta que previamente se realizó la implantación en perfil, de la cual se determinó una altura máxima de cilindro correspondiente a 1,10 m.

Para calcular el diámetro de los cilindros se realizó la evaluación para tres tipos de suelos característicos en la ciudad de Bogotá, con la finalidad de determinar la injerencia del k_h (conductividad hidráulica del suelo) en el cálculo del diámetro de estas estructuras.

Para el cálculo del diámetro se utilizó la ecuación 3, en función del volumen de ingreso (V_i), altura del cilindro h , conductividad hidráulica del suelo k_h , tiempo total de duración del evento de precipitación t_d y factor de moderación del suelo U .

$$D = \sqrt{\frac{V_i}{\frac{\pi}{4} \times (h + 120 \times k_h \times t_d \times U)}} \quad (3)$$

Seguidamente, se presenta el resumen de los resultados obtenidos para las dos estructuras de estudio (tabla 5).

Tabla 5
Resultados D para *soakaways*

Estructura	Suelo	D(m)
Soak_1	Arena arcillosa	4,58
	Limo	5,34
	Arcilla	5,48
Soak_2	Arena arcillosa	4,22
	Limo	4,93
	Arcilla	5,06

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se procedió a verificar el tiempo de vaciado por medio de la ecuación 4.

$$T = -\frac{4,6 \times D}{4 \times k_h} \log_{10} \left[\frac{\frac{D}{4}}{h + \frac{D}{4}} \right] \quad (4)$$

Con este parámetro se determinó la funcionalidad de dichas estructuras en diferentes tipos de suelo. A renglón seguido se presentan los resultados obtenidos (tabla 6).

Tabla 6
Tiempo de vaciado

Estructura	Suelo	T (día)
Soak_1	Arena arcillosa	0,18
	Limo	1,24
	Arcilla	1867,04
Soak_2	Arena arcillosa	0,17
	Limo	1,21
	Arcilla	1829,72

Fuente: Elaboración propia.

Del resultado anterior se puede concluir que para suelos más permeables la estructura tiene un comportamiento más eficiente, mientras que para suelos más impermeables el tiempo de vaciado se sale del límite establecido de 1,5 días.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA GUÍA METODOLÓGICA

A continuación, se destacan algunos aspectos de la construcción de la guía metodológica.

La matriz de comparación obtenida para los tanques de retención se presenta en una de las tablas (tabla 4), en la que se puede observar que la metodología 1, The SUDS Manual, fue la que más elementos aportó para la construcción de los siete parámetros para esta estructura; se extrajeron elementos en cinco de los siete parámetros. Cabe anotar que, a pesar de ser una metodología del medio internacional, no tiene especificaciones particulares para una zona geográfica en particular; al ser la CIRA un ente internacional, el enfoque que se le da es más globalizado, lo cual hizo posible adaptar los conceptos plasmados al medio local.

La metodología 2, Diseño e implementación de un tanque de detención de aguas lluvias, es la que menos aporta a los parámetros, pues brinda elementos para solo dos de los siete parámetros; no obstante, al ser un documento del medio nacional, enfocado en el diseño y la evaluación de esta estructura, el parámetro relacionado con el predimensionamiento se construyó con base en lo desarrollado en esta metodología. Adicionalmente, se tomaron valores de referencia para los materiales y procesos constructivos.

Y por último, para los tanques de retención la metodología 3, *On-site Stormwater Detention Tank Systems*, aportó para cuatro de los siete parámetros, sin embargo, esta metodología se utilizó para complementar los conceptos establecidos por las otras dos, debido a que a pesar de ser una metodología con un diagrama de flujo completo y claro para el cálculo de estas estructuras, está muy enfocado en la particularidad de su zona geográfica en Singapur. Por lo anterior, la información extraída fue aquella que se podía aplicar al medio nacional.

En la tabla citada (tabla 4) se presenta la matriz de comparación obtenida para los *soakaways*, en la cual se puede observar que la metodología 1, Investigación de las tipologías y/o tecnologías de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá, D.C., fue aquella que se utilizó como eje central para la construcción de los siete parámetros, debido a que aporta a cinco de los siete parámetros; además, son criterios y elementos específicos para el medio local (Bogotá, D.C.).

Vale la pena destacar que el parámetro de predimensionamiento se estructuró teniendo en cuenta elementos de las tres metodologías, debido a que a pesar de que la metodología 1 es la más alineada con el medio nacional, su estructuración es un enfoque general y no tan específico como se requiere para una metodología de diseño, por lo que se utilizaron las metodologías 2 y 3 para complementar el predimensionamiento.

La metodología 2, *The Soakaway Design Guide*, aportó para cuatro de los siete parámetros; no obstante, era la única metodología que contenía criterios y elementos para el parámetro 3, Criterios de localización. Además de lo anterior, se usó como complemento para la metodología en los otros parámetros. Esta metodología presentaba criterios y parámetros generales para esta estructura, sobre todo en algunos casos tales como ca-

racterísticas físicas e hidráulicas de los suelos muy sesgados y específicos a su zona geográfica correspondiente.

La metodología 3, *The Hydraulic Design and Performance of Soakaways*, a pesar de ser la metodología que tiene menos elementos para los parámetros, aportando únicamente a dos de ellos, contribuye al parámetro de predimensionamiento, y es una contribución que complementó lo establecido en la generalidad de la metodología 1. Adicionalmente, presenta una amplia gama de criterios y metodologías para el cálculo y la evaluación de estas estructuras, y la ventaja que se obtuvo fue que eran elementos generales, pues no estaban localizados por región o alguna característica en particular.

Es importante resaltar que, al observar las matrices de comparación para ambas estructuras, se encontró información para los siete parámetros tanto en el medio nacional como en el internacional; de esta forma se pudieron construir los siete parámetros para las dos estructuras, tomando elementos base y complementándolos con lo encontrado en las otras metodologías.

Aparte de lo anterior fue necesario implementar elementos establecido por la EAAB-ESP, debido a las propias definiciones que maneja esta entidad frente a ciertos conceptos, como por ejemplo el periodo de retorno, el cual se determinó para ambas estructuras siguiendo los lineamientos establecidos por la empresa para este tipo de estructuras, o el tiempo de concentración, para el cual, a pesar de tener valores de referencia en las metodologías, se seleccionó un valor de acuerdo con lo establecido en la Resolución 0330 del 2017, verificando que dicho valor se ajustara a lo establecido por la EAAB - ESP.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO

Para determinar el funcionamiento de las estructuras se realizaron una serie de modelaciones, en tres escenarios principales:

- **Modelo base.** Representaba la solución tradicional propuesta para el caso de estudio.
- **Modelo objetivo.** Representaba la condición antes de la intervención de la zona del proyecto.
- **Modelo SUDS.** Representaba la solución del sistema de alcantarillado tradicional con el complemento de estructuras de estudio como SUDS.

Una vez hechos los tres modelos para cada una de las dos calzadas, se procedió a evaluar los resultados desde dos enfoques: el primero fue verificar el comportamiento de las estructuras, establecer si su predimensionamiento fue el correcto, y el segundo fue determinar el impacto de dichas estructuras en el sistema de alcantarillado.

Comportamiento de las estructuras

A renglón seguido (figura 6) se puede ver un gráfico del volumen de los tanques de retención, en el tiempo de la cual se determinó que el volumen máximo dentro de la estructura no superó su capacidad. Así mismo, se presenta el resumen de los resultados obtenidos (tabla 7).

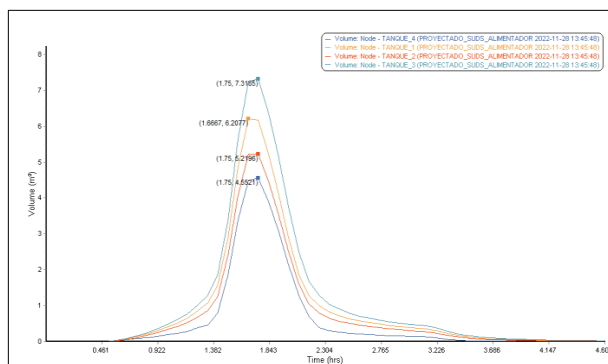


Figura 6. Volumen máximo de tanques de retención.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7
Volumen máximo de tanques de retención

Tanque	V de la estructura (m ³)	V máximo modelación (m ³)
1	6,50	6,20
2	5,41	5,21
3	7,58	7,31
4	4,87	4,55

Fuente: Elaboración propia.

Después de observar los resultados obtenidos para los tanques de retención, se concluye que su predimensionamiento fue acertado y que el funcionamiento de la estructura frente al evento de precipitación es adecuado para el sistema.

Para el análisis de los *soakaways* se emplearon los suelos 2 y 3 como los suelos con mejores condiciones

para realizar la optimización del sistema de alcantarillado tradicional (tabla 8). La modelación se hizo en dos condiciones, para un evento único de lluvia, y dos eventos consecutivos de lluvia, suponiendo que nueve horas después de terminado el evento de diseño se iba a generar una precipitación con el 80 % de la intensidad de diseño.

Para la primera condición y el suelo 1, se obtuvieron tiempos de vaciado similares a los calculados, en la figura siguiente (figura 7). Se puede ver que ambas estructuras se vacían aproximadamente hora y media después del evento de precipitación.

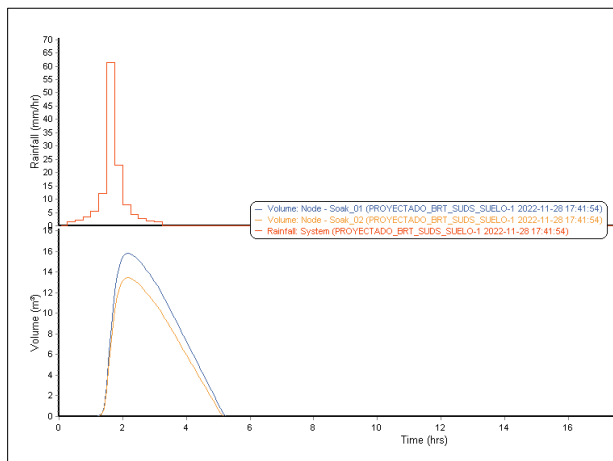


Figura 7. Evento de precipitación y volumen de soakaways del suelo 1.

Fuente: Elaboración propia.

Para el suelo 2 y el evento único de precipitación se concluye que no se supera su capacidad de almacenaje antes de vaciar el tanque (tabla 8).

Tabla 8
Comparativo de volumen para el suelo 2

Estructura	V de la estructura (m³)	V máximo (m³)
Soak_01	24,63	23,32
Soak_02	20,97	19,92

Fuente: Elaboración propia.

Así las cosas, se puede ver que los tiempos de vaciados obtenidos en las simulaciones son similares a los calculados; además, se observa que son ligeramente menores, lo que indica que las estructuras funcionan de acuerdo con su predimensionamiento (tabla 9).

Tabla 9

Tasa de infiltración y tiempo de vaciado para el suelo 2

Estructura	V de la estructura (m³)	V máximo (m³)
Soak_01	24,63	23,32
Soak_02	20,97	19,92

Fuente: Elaboración propia.

En la figura siguiente se observa que ambas estructuras se vacían aproximadamente 27 horas después del evento de precipitación (figura 8).

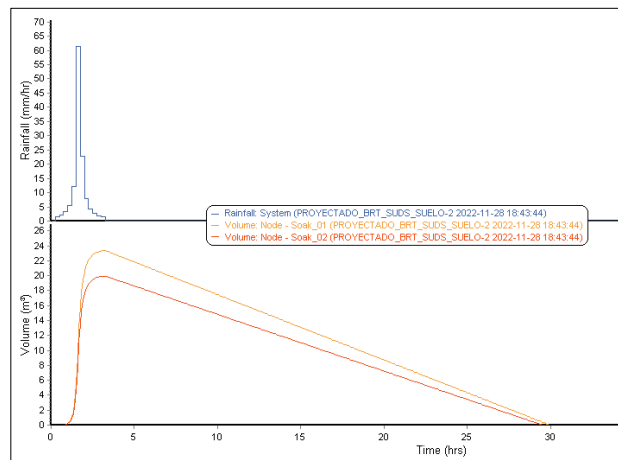


Figura 8. Evento de precipitación y volumen de soakaways del suelo 2.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, para la segunda condición de eventos de precipitación consecutivos se encontró que ambas estructuras para el suelo 1 funcionan de manera adecuada, tal como se evidencia en la figura siguiente (figura 9). Se ve que no superan su volumen, por lo cual se concluye que en un evento de precipitación consecutivo no se supera su capacidad de almacenaje antes de vaciarse. Adicionalmente, se puede apreciar el volumen obtenido para la estructura y los volúmenes obtenidos en la modelación (tabla 10).

Tabla 10
Comparativo de volumen para el suelo 1

Estructura	V de la estructura (m³)	V máximo (m³), evento 1	V máximo (m³), evento 2
Soak_01	18,11	15,82	12,11
Soak_02	15,42	13,40	10,24

Fuente: Elaboración propia.

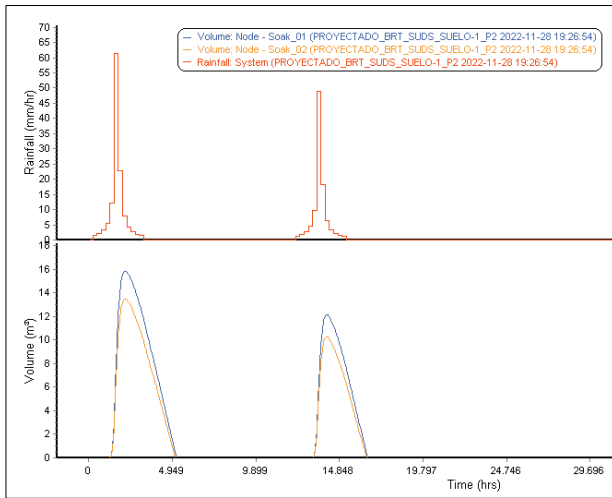


Figura 9. Eventos de precipitación consecutivos y volumen de soakaways en el suelo 1.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los resultados del suelo 2, correspondiente a un limo con eventos de precipitación consecutivos, se encontró que ambas estructuras no tienen un buen funcionamiento en esta condición (figura 10). Se ve que el segundo evento supera el volumen para ambas estructuras, por lo cual se concluye que, en un evento de precipitación consecutivo, no se cuenta con la capacidad de almacenaje antes de vaciar los tanques, debido a que no se logran desocupar antes de que el segundo evento empiece. Los tanques recuperan su capacidad 38 horas después del primer evento, aproximadamente.

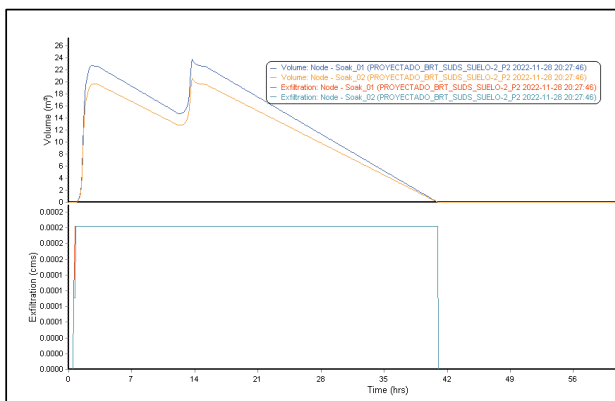


Figura 10. Volumen e infiltración de soakaways en el suelo 2. Eventos consecutivos.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo anterior se puede concluir que este sistema de estructuras, en la condición de eventos de precipitación consecutivos, supera su capacidad, debido nuevamente a la permeabilidad del suelo.

Impacto de estructuras en el sistema

Para los tanques de retención se puede evidenciar un aumento del Q_p en el sistema, entre la condición objetivo y la condición proyectada en aproximadamente $0,04 \text{ m}^3/\text{s}$. No obstante, en la inclusión de los tanques de retención se produce una atenuación del Q_p de aproximadamente el 20 % (figura 11).

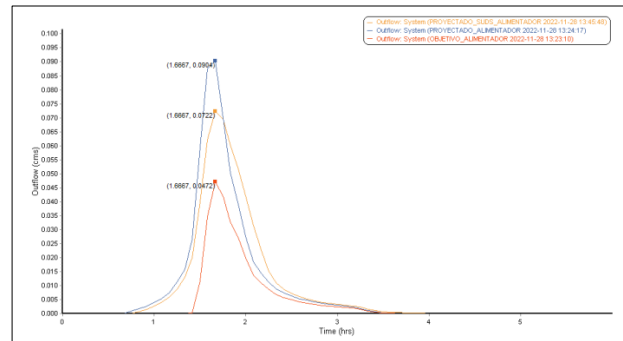


Figura 11. Caudal pico en el escenario objetivo, proyectado con SUD y sin SUD.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, al analizar el sistema en la condición proyectada, con la finalidad de determinar el comportamiento de las tuberías y los pozos en esta condición, se encontró que los tramos identificados con el ID: TRM_01 y TRM_02, se encuentran trabajando bajo presión, superando su relación Y/D (figura 12).

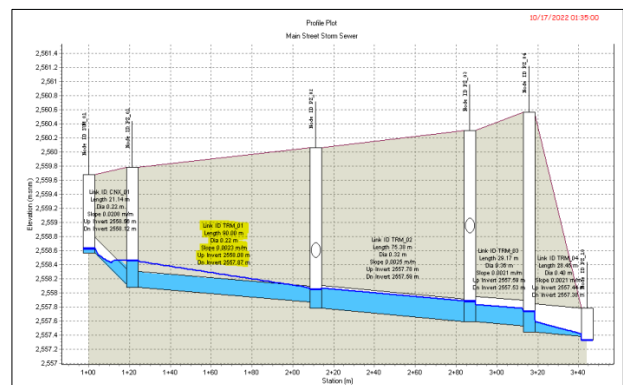


Figura 12. Perfil del sistema de drenaje de la calzada occidental. Sistema tradicional.

Fuente: Elaboración propia.

Al observar la descarga total del sistema, incluyendo los tanques de retención, se puede apreciar una evidente atenuación del caudal pico (hasta de un 20 %), y una descarga al sistema existente más distribuida en el tiempo (figura 13).

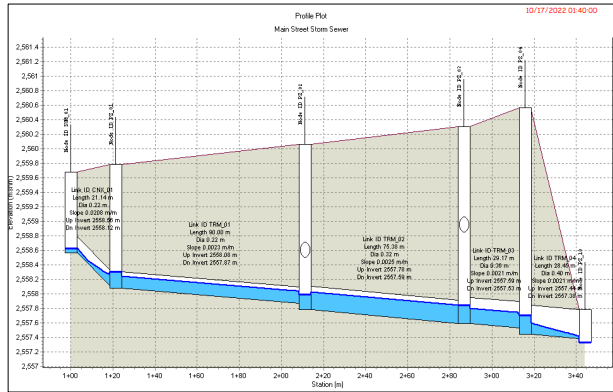


Figura 13. Perfil del sistema de drenaje de la calzada occidental. Sistema tradicional complementado con SUDS.
Fuente: Elaboración propia.

En el caso de los *soakaways*, se hizo el análisis de impacto en el sistema para el suelo 2 y para el evento de precipitación único. Así pues, se pudo evidenciar una disminución del Q_p ($0,02 \text{ m}^3/\text{s}$) entre los modelos correspondientes al caso de estudio y la complementación con SUDS (figura 14).

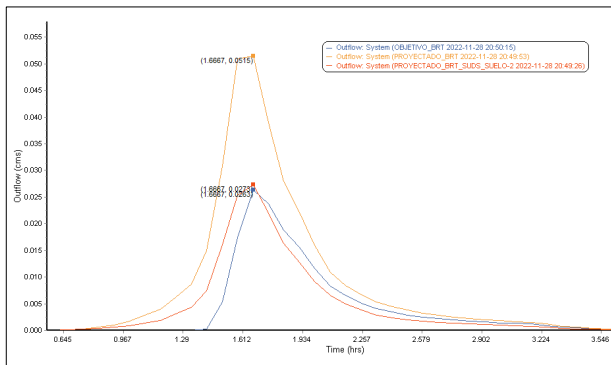


Figura 14. Caudal pico de la calzada oriental.
Fuente: Elaboración propia.

En los perfiles de flujo siguientes se puede evidenciar cómo, en la condición del sistema con SUDS, las relaciones de llenado mejoran notablemente, lo cual indica que se pueden realizar optimizaciones importantes al sistema (figuras 15 y 16).

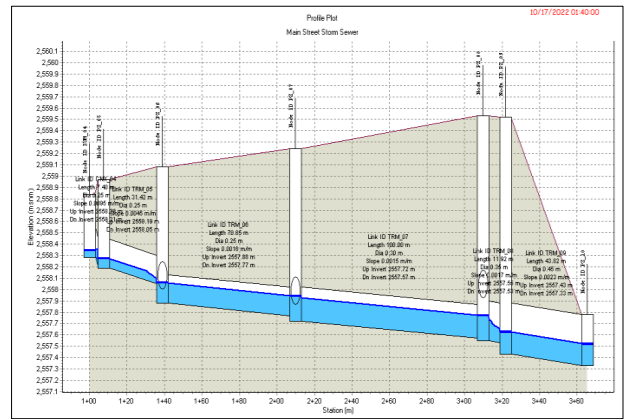


Figura 15. Perfil del sistema de drenaje de la calzada oriental. Sistema tradicional.
Fuente: Elaboración propia.

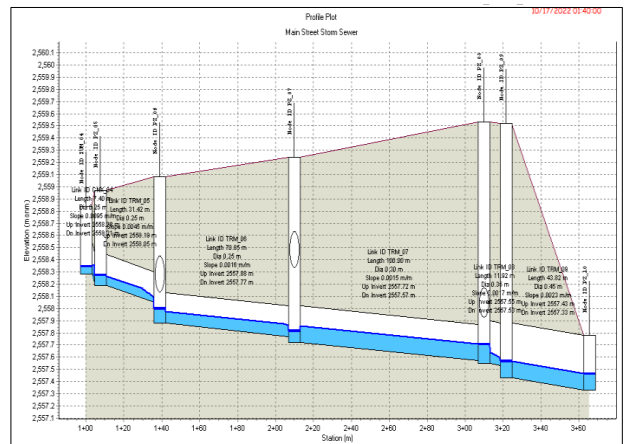


Figura 16. Perfil del sistema de drenaje de la calzada oriental. Sistema tradicional con SUDS.
Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS ECONÓMICO

Adicionalmente, se realizó un análisis económico para las estructuras propuestas. El procedimiento establecido consistió en determinar, con base en los precios unitarios publicados por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) el 22 de agosto del 2022, el costo unitario para cada una de las estructuras propuestas como SUDS (tablas 11 y 3). Posteriormente, se hizo la comparación entre precios de los SUDS y estructuras del sistema tradicional, como sumideros.

Tabla 11

Análisis de precio unitario por estructura para los tanques de retención

Estructura	Costo total (\$)
Tanque 1	9.875.290,47
Tanque 2	8.157.295,76
Tanque 3	11.357.749,17
Tanque 4	7.134.811,94

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12

Análisis de precio unitario por estructura para los *soakaways*

Estructura	Costo total (\$)
Soak_01	5.872.008,49
Soak_02	5.252.263,30

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar, es claro que tanto los tanques de retención como los *soakaways* son considerablemente más costosos que las estructuras de captación tradicionales; sin embargo, es importante resaltar que tanto los tanques como los *soakaways* tienen funciones más allá de la captación y disposición (tabla 13).

Tabla 13

Costo promedio por estructura

Estructura	Costo \$
Tanque de retención por m ³	1.407.963,58
<i>Soakaways</i> por estructura	5.562.135,89
Sumidero lateral SL-100, H=1,25 M	2.168.636,00

Fuente: Elaboración propia.

El segundo procedimiento consistió en establecer el costo de la red de alcantarillado, teniendo en cuenta rellenos, tuberías y excavaciones bajo los dos escenarios: aquel donde el sistema es netamente tradicional y aquel donde se optimizó, debido a la inclusión de estructuras complementarias, como *soakaways* en el sistema de la calzada BRT (calzada oriental) y tanque de retención en el sistema de la calzada correspondiente a los alimentadores (calzada occidental).

Cabe destacar que la optimización del diseño se hizo considerando el impacto de las estructuras en ambas líneas de drenaje. Para los tanques de retención se utilizó el Q_p obtenido en la modelación, mientras que para

los *soakaways* se evaluó el sistema tomando en cuenta la extracción de caudal que se genera en estas estructuras.

En la optimización para calzada oriental se hizo una reducción correspondiente a \$6.192.497,12, y en el caso de la calzada occidental se realizó una reducción correspondiente a \$6.313.409,70.

Tabla 14

Comparación de costos del escenario optimizado y caso de estudio calzada oriental

Escenario	Costo Total \$
Optimización	21.588.548,20
Caso de estudio	27.781.045,33

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15

Comparación de costos del escenario optimizado y caso de estudio calzada occidental

Escenario	Costo total (\$)
Optimización	38.371.939,05
Caso de estudio	44.685.348,75

Fuente: Elaboración propia.

Aunque en ambos casos se logra optimizar los costos y se hacen reducciones al presupuesto, estos valores de optimización no compensan los costos al incluir las estructuras de complementación; sin embargo, la mejora hidráulica en ambos sistemas es notoria y evidente para la inclusión de dichas estructuras.

CONCLUSIONES

- A raíz del proceso elaborado por medio de la sistematización de experiencia se construyeron matrices de comparación entre las metodologías de estudio base, con la finalidad de elaborar la guía metodología para el diseño de las estructuras de estudio. A través de dichas matrices se logró construir la metodología de diseño más alineada con el medio nacional, en particular con la ciudad de Bogotá.
- Una vez determinada la metodología con base en las matrices de *comparación*, se plasmó dicha información teniendo en cuenta lo establecido en la NS-166 de la EAAB. Vale la pena anotar que fue necesario realizar ajustes particulares a los parámetros de diseño, debido a los requerimientos de la entidad

de control, en este caso, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB).

- Una vez determinada la metodología para las estructuras de estudio, se hizo el diseño de estas aplicadas en un caso de estudio, con el cual se pudo determinar la eficiencia de dichas estructuras referente a la atenuación y disminución de caudal pico; adicionalmente, se evaluaron los *soakaways* en diferentes condiciones de suelo y con diferentes eventos de precipitación.
- Del caso de estudio se logra concluir que los tanques de retención tienen un funcionamiento adecuado, referente a la atenuación de caudal. Esto se debe a que se evidenció cómo el sistema mejoro notablemente en términos de capacidad cuando se incluyeron dichas estructuras.
- Se encontró que el hidrograma generado por el evento de precipitación, con la condición de un sistema complementado por tanques de retención, tiene un comportamiento similar al del hidrograma generado con la condición antes del desarrollo; esto indica que dicha estructura cumple sus objetivos como SUDS, debido a que está simulando las condiciones antes del desarrollo.
- En el caso de los *soakaways*, se encontró que son estructuras altamente funcionales, dependiendo del tipo de suelo en el cual se instalen. Se realizó el análisis para tres tipos de suelos característicos de la ciudad de Bogotá y se halló que en dos de ellos la estructura tenía un comportamiento adecuado en un solo evento de precipitación; sin embargo, para el suelo del caso de estudio (un suelo medianamente permeable), se determinó que bajo dos eventos de precipitación la estructura no cuenta con la suficiente capacidad de infiltración debido a sus tiempos de vaciado, los cuales, a pesar de estar dentro de los límites admisibles, no le daban a la estructura el suficiente tiempo para recuperar capacidad antes del segundo evento, haciendo que este último supere la capacidad de almacenamiento antes de la descarga y entregando caudal de excesos al sistema tradicional por medio de la tubería de rebose.
- Se pudo concluir que los *soakaways* son estructuras funcionales como SUDS complementarios al sistema tradicional en la ciudad de Bogotá, debido a que, con las condiciones adecuadas de infiltración, pueden llegar a realizar disminuciones considerables al caudal

pico, tal como se observó en el estudio realizado bajo el tipo de suelo 1 arena arcillosa, analizando un solo evento de precipitación y la condición de eventos consecutivos de precipitación.

- Una vez hechos los cálculos económicos para dichas estructuras se encontró que, al ser estructuras con enfoques adicionales a la captación y descarga, son más costosas en comparación con las estructuras de captación tradicional. Sin embargo, permiten no solo mejorar sistemas existentes sino hacer optimizaciones en diseño.
- Es claro que las optimizaciones no llegan a compensar el costo de la implementación de dichas estructuras, pero la mejora en el comportamiento del sistema cuando se incluyen estas estructuras da pie para que sean válidas en su implementación, toda vez que es necesario buscar herramientas que permitan mejorar el funcionamiento de los sistemas de alcantarillado.

REFERENCIAS

- Philadelphia Water Department (2020). *Stormwater Management Guidance Manual*.
- Romero Novoa, J.A. (2010). Transformación urbana de la ciudad de Bogotá, 1990-2010: efecto espacial de la liberalización del comercio. *Perspectiva Geográfica. Revista del Programa de Estudios de Posgrado en Geografía*.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB-ESP) (2021). Obtenido de https://www.acueducto.com.co/wps/portal/EA_B2/Home/acueducto-y-alcantarillado/la%20infraestructura%20de%20alcantarillado/!ut/p/z1/jZJb4JAEIV_iweO_MuO-yRewNSLU1VYSK2rk02NCViKxBWuK_L1rTiNHFc3me7PvzSwQLI-Cy6CcRUZHILEqr-p3MD9N3sWMhGw_6ox76pu17D3yM3ReERHA2rHRCZ.
- Alcaldía Mayor de Bogotá (2019). Foro de sostenibilidad, promoción de la construcción sostenible.
- Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (Idiger) (2021). Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/rinundacion>.
- Desinventar (2021). Obtenido de <https://www.desinventar.org>.
- Arnbjerg-Nielsen, K., Willems, P., Olsson, J., Beecham, S., Pathirana, A., Bülow Gregersen, I., Nadasen, H., & Nguyen, V. T. V. (2013). Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems: A review. *Water Science and Technology*, 68 (1), pp. 16–28).
- Congreso Nacional del Medio Ambiente (Conama) (2018). Agua y ciudad. Sistemas urbanos de drenaje sostenible.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2017). Resolución 0330 del 2017.
- Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) (2019). Foro de sostenibilidad, promoción de la construcción sostenible.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) (2011). Normativa para el sistema de drenaje pluvial.
- Franco, L. (2015). Elementos convencionales y no convencionales para la captación del drenaje urbano de aguas lluvias.

- Eckart, J. (2012). *Flexible Urban Drainage Systems in the New-Land Use Areas*. South Florida: University of South Florida, Graduate School Theses and Dissertations.
- Butler, D., Digman, C., Makropoulos, C., & Davies, J.W. (2018). *Urban Drainage*. Universidad de los Andes (2015, Producto 1). Facultad de Ingeniería. *Investigación de las tipologías y/o tecnologías de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) que más se adapten a las condiciones de la ciudad de Bogotá, D.C.*
- Abellán, C., & Moya, P. (2012). *Ciudades medias. Formas de expansión urbana*. Observatori del Paisatge de Catalunya.
- Sañudo-Fontaneda, L. A., Rodríguez-Hernández, J., & Castro-Fresno, D. (2012). *Supporting the implementation by NRAs of renewable energy technologies in the road infrastructure*.
- Parra, J. E., & Villarreal, E. L. (2018). *Diseño e implementación de un tanque de detención de aguas lluvias*.
- Qin, Y. (2020). *Urban flooding mitigation techniques: A systematic review and future studies*. In *Water (Switzerland)*.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB - ESP) (2018). NS-166. Criterios para diseño y construcción de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS).
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB - ESP) (2020). NS-085. Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado.
- Ciria (2015). C 753 The SUDS Manual.
- Agencia Nacional del Agua (2021). *On-site Stormwater Detention Tank Systems*. Singapur.
- Kent County Council (2000). *The Soakaway Design Guide*.
- Departamento de Medio Ambiente del Reino Unido (1991). SR 271. The Hydraulic Design and Performance of Soakaways.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB - ESP) (2020). NS-047. Sumideros.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB - ESP) (2020). NS-002. Criterios de diseño estructural.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB - ESP) (2020). NP-027. Tuberías para alcantarillado.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB - ESP) (V-01). NT-003. Terminología de alcantarillado.
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB - ESP) (V-01). NT-005. Terminología sanitaria y ambiental.
- Ven Te Chow (1999). *Hidrología aplicada*.
- Brater, E (1996). *Handbook of Hydraulics*.
- Coduto, D.P (1999). *Geotechnical Engineering: Principles and Practice*.

Modelo estándar para evaluar la madurez de los procesos en pymes de servicios TI de Bogotá, con enfoque en *Business Process Management* (BPM)

Standard model to assess the maturity of processes in IT services SMEs in Bogotá from a Business Process Management (BPM) approach

JAIME ELDER ACOSTA RAMÍREZ¹ - CLAUDIA YADIRA RODRÍGUEZ RÍOS² -
DIANA CAROLINA CABRA BALLESTEROS³

1. Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito.

2. Profesora del Centro de Estudios de Sistemas de Gestión de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

3. Profesora del Centro de Estudios de Gerencia y Transformación Empresarial de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

jaime.acosta@mail.escuelaing.edu.co - claudia.rodriguez@escuelaing.edu.co - diana.cabra@escuelaing.edu.co

Recibido: 24/09/2022 Aceptado: 28/10/2022

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En este artículo se presenta un modelo estándar para evaluar la madurez de los procesos en pymes de servicios de TI de Bogotá, con enfoque en *Business Process Management* (BPM), el cual parte de una exhaustiva revisión bibliográfica de los modelos documentados en bases de datos y artículos científicos para determinar el marco referencial y teórico, que permite encontrar y evaluar los modelos existentes y así caracterizar el modelo propuesto.

El modelo planteado presenta los siguientes atributos, que lo diferencian de otros encontrados en la bibliografía científica: 1) Define un instrumento de aplicación mediante factores, escenarios y niveles que facilitan a las pymes evaluar la madurez de los procesos; 2) Incluye elementos con enfoque en responsabilidad social empresarial; 3) Incluye recomendaciones para mejorar el nivel de madurez en cada factor a través de sus escenarios; 4) Presenta una descripción de las implicaciones de cada factor en los estados de pérdidas y ganancias (PyG) de las pymes, y 5) Permite establecer metas de madurez de procesos, con el objetivo de facilitar un fortalecimiento escalonado.

Palabras claves: BPM, gestión de procesos, procesos de negocio, modelo de madurez, mejora continua, pyme de servicios, *Business Process Management* (BPM).

Abstract

This article presents a standard model for assessing the maturity of processes in SMEs (Small and Medium-sized Enterprises) providing IT services in Bogotá, from a Business Process Management (BPM) approach. The model is built upon an exhaustive literature review of documented models in different databases and scientific articles to establish the referential and theoretical framework. This approach allows for identifying and evaluating existing models and, consequently, characterizing the proposed model.

The proposed model introduces the following attributes that distinguish it from others found in scientific literature: 1) It defines an application instrument using factors, scenarios, and levels that facilitate SMEs in evaluating process maturity. 2) It incorporates elements focusing on corporate social responsibility. 3) It includes recommendations for improving the maturity level for each factor through its scenarios. 4) It presents a description of the implications of each factor on the profit and loss (P&L) statements of SMEs. 5) It enables the establishment of process maturity goals, aiming to facilitate a gradual strengthening process.

Keywords: BPM, process management, business processes maturity model, continuous improvement, service SME.

INTRODUCCIÓN

A partir de la revisión bibliográfica de varios autores que exponen modelos de madurez sobre procesos, se evidencia que dichos modelos aún son de tipo académico y general; por lo anterior, se pretende elaborar un modelo que sea aplicable en pymes de servicios de TI en Bogotá, que permita determinar de manera cualitativa y cuantitativa el nivel de madurez de los procesos. Cabe destacar que estas pymes están debidamente formalizadas.

Dada la literatura científica revisada, se ha encontrado que, a pesar de los abundantes estudios elaborados sobre los modelos de madurez de los procesos, estos solo llegan a una fase de diseño o marco de referencia donde indican factores o dimensiones para analizar dicha madurez, y no presentan criterios precisos ni listas de chequeo que faciliten su aplicación y evaluación en la realidad empresarial de las pymes, dejando inconclusa tal labor. Esto conduce a que no se identifique claramente dónde, cómo y con qué prioridad cambiar para mejorar la madurez de sus procesos.

MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA

Se puede definir el proceso como el conjunto de actividades relacionadas mutuamente que utilizan las entradas para proporcionar un resultado, que puede ser un producto o un servicio (ISO, 2015). En este sentido, se alcanzan resultados coherentes de manera eficaz y eficiente cuando las actividades se gestionan como procesos interrelacionados que funcionan como un sistema (Gutiérrez et al., 2018; ISO, 2015 y 2018); además, los procesos influyen en el potencial de ingresos y dan forma al perfil de costos de una organización, lo cual indica que una buena gestión de procesos influye directamente en la competitividad y la sostenibilidad de las empresas (Dumas, La Rosa, Mendling & Reijers, 2013).

En este mismo sentido, los procesos son específicos para una organización y varían, dependiendo del tipo, el tamaño y el nivel de madurez de esta; por lo anterior, para lograr conocer el nivel de madurez se hace importante utilizar herramientas de medición (Sheps, 2018).

Por su parte, la madurez de los procesos es un factor del contexto interno de las empresas que puede afectar la capacidad de la organización para lograr el éxito sostenido; de esta manera, la madurez es determinante

para asegurar el logro de los objetivos empresariales (Glogovac, Ruso & Maricic, 2020).

Ahora bien, la medición del nivel de madurez de los procesos se debería lograr comparando la situación presente en la organización respecto a criterios de madurez definidos mediante niveles; así, las organizaciones cuentan con un marco de referencia para mejorar el desempeño de sus procesos (ISO, 2018).

El presente estudio se aborda desde el enfoque del *Business Process Management* (BPM), que de acuerdo con Rodríguez (2015), es un sistema integrado de gestión basado en procesos que utiliza sistemas de información especializados y cubre todos los procesos operativos y de negocio de la organización, asegurando un mejoramiento continuo y un mantenimiento permanente de los procesos acorde con la estrategia de la empresa (Rodríguez-Ríos & Roa-Sánchez, 2022; Stroppi et al., 2011).

La implementación de BPM supone beneficios en las empresas para controlar y monitorear sus procesos operacionales, permite alinear las intenciones estratégicas con las actividades operativas y da flexibilidad a las organizaciones para reaccionar oportunamente a los cambios de contexto (Garimella, Lees & Williams, 2008).

Sin embargo, los proyectos de implementación de BPM tienen una tasa de fracaso superior al 50%, debido a que no se aseguran las condiciones óptimas para una correcta adopción de la metodología, lo que por lo general afecta directamente la calidad, plazo y resultados de los proyectos en las organizaciones (Guerrero & Hitpass, 2013).

En este sentido, la implementación adecuada de BPM en las organizaciones está sujeta a que se presenten determinadas condiciones de madurez de los procesos para lograr un resultado óptimo (Castro, Dresch & Veit, 2019), por lo que es pertinente contar con una herramienta que permita determinar el nivel de madurez de procesos para encaminar acciones con miras a asegurar la implementación exitosa de BPM (Bandara & Opsahl, 2017).

Otra limitación relevante tiene que ver con la resistencia al cambio en la implementación de BPM en las pymes, lo cual se relaciona con la incertidumbre generada cuando se toma la decisión de hacer este tipo de implementaciones (Pereira, Maximiano & Bido, 2019) considerando cada fase del BPM, por lo que conocer

el diagnóstico de condiciones de madurez de los procesos, sumado al apoyo de la alta dirección, ayudaría a disminuir la inseguridad y favorecería una mayor participación de los funcionarios en un eventual proyecto de implementación de BPM.

Esta investigación se orienta a las pymes debidamente formalizadas, por lo cual es importante detallar su definición en Colombia. Según la legislación nacional, las medianas empresas son las que tienen entre cincuenta y uno (51) y doscientos (200) trabajadores, o activos totales entre cinco mil uno (5001) y treinta mil (30.000) salarios mínimos mensuales legales vigentes, y las pequeñas empresas son las que tienen entre once (11) y cincuenta (50) trabajadores, o activos entre quinientos uno (501) y menos de cinco mil (5000) salarios mínimos mensuales legales vigentes (Congreso de Colombia, 2004).

De la misma manera, Confecámaras (2018) indica que en el año 2017 el 36,8 % de las empresas colombianas corresponden al sector de servicios, y de estas el 99,6 % corresponden a micro, pequeñas y medianas empresas; además, durante el periodo 2014 - 2017, la creación de empresas de servicios tuvo un crecimiento del 21,3 %. Por otra parte, según la Cámara de Comercio de Bogotá (CCB, 2020), el sector de servicios en Bogotá y la región genera el 78 % del mercado de trabajo, convirtiéndose así en el principal generador de empleo formal, razón por la cual se escoge este sector para la investigación.

En la bibliografía se encuentra una amplia variedad de artículos científicos sobre la importancia de la madurez de procesos para el BPM, lo que demuestra validez del tema tratado, además de que se puede evidenciar el amplio interés en este tema por parte de la comunidad científica (Tarhan, Turetken & Reijers, 2016); no obstante, el tema aún se encuentra en proceso de desarrollo y presenta oportunidades para precisar herramientas, instrumentos y métodos para su aplicación, sobre todo en las pymes (Szelagowski & Berniak-Woźny, 2019).

En varios estudios se encuentra el análisis de cómo abordar esta investigación. Por una parte, está el de Rosemann y de Bruin (2005), que resulta interesante, ya que presenta un modelo holístico en tres dimensiones que contemplan seis factores: alineación estratégica, gobernanza, métodos, información, personas y cultura, y cinco capacidades para cada factor, con cinco estados de madurez para cada capacidad (Rosemann & de Bruin, 2005).

Otro estudio importante es el de Fisher (2004), en el que se plantea la interacción entre cinco dimensiones: estrategia, controles, personas, tecnología y procesos, y cinco niveles de madurez: aislada, integrada tácticamente, impulsada por procesos, empresa optimizada y red operativa inteligente. Sin embargo, el modelo es descriptivo y no presenta una herramienta aplicable para medir con precisión la madurez de procesos, por lo que se queda en un modelo subjetivo y de difícil aplicación.

En otra investigación científica examinada, se encuentra que existen más de 61 estudios sobre BPMM, que se revisaron a fondo para ver cómo apoyaban las hipótesis de investigación, de los cuales apenas siete dan evidencia objetiva sobre su validez y de estos solamente tres tienen un estudio empírico sobre el vínculo entre la madurez de los procesos y el desempeño empresarial. Adicionalmente, once artículos contemplan modelos de madurez de procesos con marcos de referencia; sin embargo, no tienen procedimientos de aplicación, ni factores detallados en las dimensiones propuestas, ni rutas de mejora para la calificación obtenida (Tarhan et al., 2016).

Por otra parte, en una investigación asiática se propone un modelo de madurez de procesos desde las etapas de crecimiento empresarial, mediante cinco variables: objetivos de la organización, producto-variación en el mercado, estructura organizacional, estilo de alta dirección y prioridades de inversión, y presenta cuatro etapas de crecimiento: emprendedor, crecimiento, expansión y colaboración. De acuerdo con los resultados obtenidos, los autores concluyen que cada etapa de crecimiento de las pymes aporta diferentes características y, consecuentemente, un mayor nivel de madurez (Andriani, Samadhi, Siswanto & Suryadi, 2018).

Otro estudio en el ámbito latinoamericano, en el que se evalúan modelos de madurez de la bibliografía científica, indica que los modelos más ajustados para su aplicación en pymes son el de Fisher y el de la ISO 9004, dada su baja complejidad; sin embargo, expone como debilidad que dichos modelos no cuentan con un procedimiento de aplicación ni con un instrumento para evaluar resultados (Páez, Rohvein, Paravie & Jaureguiberry, 2018).

En Centroamérica, se encuentra un estudio que evalúa la aplicabilidad de siete modelos de madurez: ISO 9004, CMMI, modelo Fisher, BPMMM, BPMM del OMG, modelo de Gartner y PEMM. Dichos modelos se evalúan bajo siete criterios: descripción del modelo,

estructura, facilidad de uso, si cuenta con procedimiento de aplicación, si cuenta con herramienta de evaluación, alcance y campo de aplicación. De este estudio se concluye que tres modelos presentan una matriz genérica de aplicación y los otros cuatro carecen de una metodología de aplicación (Pérez-Mergarejo, Pérez-Vergara & Rodríguez-Ruiz, 2014).

Ahora bien, un estudio científico realizado en 61 empresas medianas ubicadas, en Colombia (Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla y Cartagena), sobre madurez de procesos, plantea una metodología de medición de madurez de procesos basadas en el método CMM (Capability Maturity Modelo modelo de madurez de capacidad), y clasifica en cinco niveles de madurez: inicial, manejado, definido, cuantitativamente definido y optimizado; de las 61 empresas, el 57 % corresponde al sector manufacturero, 23 % al comercial y 20 % al de servicios. Según los resultados obtenidos por los autores, se concluye que el nivel de madurez de la muestra obtenida es bajo, resultado que está asociado con la baja cultura de mejoramiento en las organizaciones estudiadas (Aguirre & Córdoba, 2008).

Por otra parte, cobra relevancia documentar procesos bajo la notación internacional de BPMN 2.0 o *Business Process Management Notation* (BPMN) (Díaz Piraquive, 2008), ya que permite estandarizar mediante un lenguaje universal los procesos de cualquier organización; ahora bien, estos se realizan a través de aplicaciones tecnológicas que permiten implementar en línea; dichas herramientas se denominan *Business Process Management Suites* (BPMS) (Barrera-Cámara, Barrientos-Vera, Santiago-Pérez & Canepa-Sáenz, 2018; López, 2016).

En otro estudio científico se plantea una herramienta de decisión para seleccionar el modelo de madurez de BPM más adecuado para las organizaciones, mediante un cuestionario de catorce preguntas, alineado con una tabla de posibles decisiones que pretende guiar al

usuario a seleccionar el modelo que más se ajusta a la organización (Van Looy, De Backer, Poels & Snoeck, 2013). En cuanto a modelos BPM para empresas de servicios, se encuentra una investigación que propone una solución para un *call center*, donde se identifican los elementos organizacionales que se abordan en el diseño: objetivos de la organización, elementos misionales, herramientas tecnológicas e indicadores claves de gestión (Picot & Hess, 2005), con lo que se confirman parte de los factores sugeridos por Rosemann y de Bruin (2005); sin embargo, en el documento no se indica cómo medir la madurez de los procesos.

METODOLOGÍA

Este es un trabajo de investigación descriptiva (porque por medio, del estudio de caso permite hacer una descripción más minuciosa del problema) y exploratoria (ya que encuentra una solución a problemas que no se tomaron en cuenta en el pasado) mediante un estudio de caso; se parte de una exhaustiva revisión bibliográfica de los modelos documentados en artículos científicos para definir el marco teórico, que permite construir el modelo propuesto.

Una vez definido el modelo, se presenta a validación por parte de expertos académicos, empresarios y consultores afines al tema, quienes brindan recomendaciones que permiten consolidarlo y mejorarlo; posteriormente, se implementa en dos pymes del sector seleccionado. Para la validación interna, se convocan pares expertos, profesionales afines al tema, tanto en empresas como en la academia, y se lleva a cabo la reunión; las empresas para aplicar la prueba piloto se seleccionan por muestreo de conveniencia.

A continuación se presenta un esquema para detallar el protocolo del estudio de caso (figura 1) (Yin, 2003).

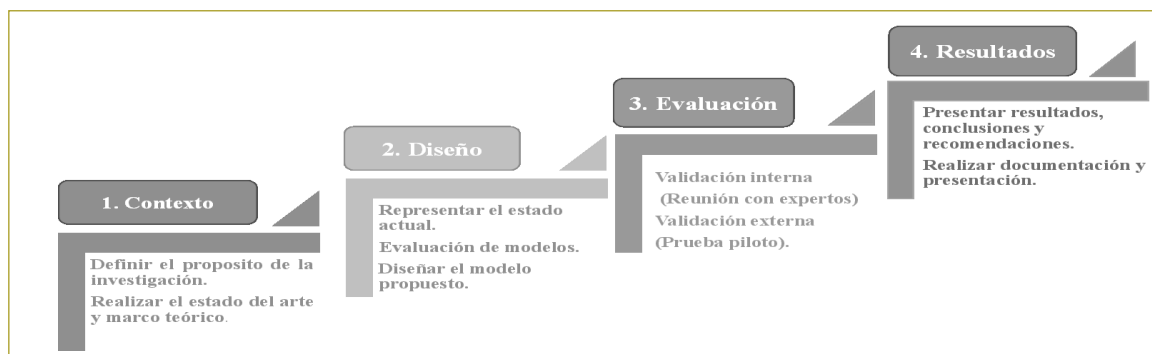


Figura 1. Fases de la metodología.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1
Caracterización de las pymes evaluadas

ÍTEM	PYME A	PYME B
Fecha de fundación	17-04-2006	13-10-2009
Descripción de servicios ofrecidos	Empresa consultora dedicada al modelamiento, diseño e implementación de sistemas de automatización de procesos BPM a la medida del cliente.	Empresa que ofrece servicios de telecomunicaciones como accesos a internet, canales de datos, diseño e instalación de redes, sistemas de seguridad y demás que se contemplan como una integración de tecnología.
Cargo del entrevistado	Director general	Representante legal
Actividad económica	Consultoría informática	Prestador ISP
Código CIU	6202	7110 - 6190
Fecha de entrevista	3 de agosto de 2021	9 de septiembre de 2021

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados cualitativos y cuantitativos de la aplicación del modelo de madurez de procesos con enfoque en BPM, el cual se direccionó a pymes del sector de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en el contexto de Bogotá, así como la discusión de las variables y parámetros del modelo.

La selección de las organizaciones se hizo por conveniencia mediante contacto directo y aceptación por

parte de las pymes, las cuales presentan las características descritas en la tabla anterior (tabla 1). Se invitó a 50 empresas, pero solo aceptaron dos; esto pudo deberse a los problemas de salud pública que se vivieron entre el 2020 y el 2021.

A partir del análisis de la revisión de bibliografía científica se consolida el modelo propuesto, con cinco dimensiones, cada una con cuatro factores y tres escenarios o niveles (figura 2):

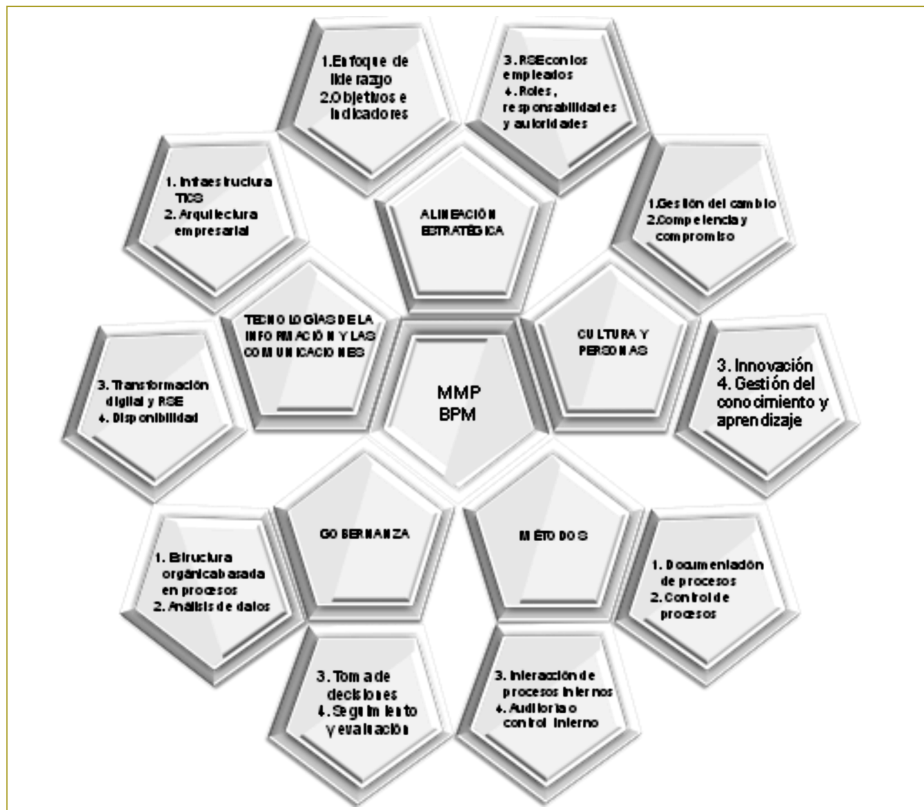


Figura 2. Modelo de madurez de procesos con enfoque BPM.

Fuente: Elaboración propia.

Dada la naturaleza del ejercicio, que implica la evaluación de cada escenario con amplio conocimiento de las pymes, se decide aplicar el instrumento por medio de una entrevista con un miembro de la alta dirección que conoce la organización y su contexto. En la entrevista se hace la evaluación de cada uno de los factores para identificar su escenario (1, el escenario básico; 3, el intermedio, y 5, el mejor escenario), el entrevistado identifica el nivel de madurez actual de acuerdo con la descripción presentada y complementa la información con sus apreciaciones de las razones por las cuales considera que se ubica en cada escenario en particular.

En el instrumento se complementa el análisis cualitativo de los factores con una valoración cuantitativa dada a cada escenario, lo cual permite comparar los resultados entre las organizaciones. A continuación, se presenta el detalle de los resultados de las organizaciones evaluadas, partiendo desde un enfoque general hasta uno particular.

Según el modelo planteado, las dos organizaciones presentan un nivel de madurez similar, ya que el resultado para la pyme A es de 2,9 y para la pyme B es de 3.1; sin embargo, se debe precisar que, a pesar de pertenecer a un mismo sector de servicios, las dos presentan características particulares de madurez en los factores que componen el modelo; en la figura siguiente se aprecia el comportamiento de los resultados generales (figura 3).

En el caso de la primera evaluación, se toma la meta como el máximo posible, que es 5. De acuerdo con los resultados de la primera evaluación, el instrumento permite ajustar la meta para trazar objetivos de madu-

rez a corto plazo. Entonces, si la organización obtiene un nivel de 1 en alguna dimensión durante la primera evaluación, se puede trazar un objetivo de corto plazo a 2 o 3; de esta manera, en una segunda aplicación puede verificar la eficacia de las acciones tomadas para fortalecer sus niveles de madurez en forma escalonada y progresiva, donde la calificación va de 1 a 5, siendo 5 la mejor.

En cuanto al resultado general, se encuentran marcadas diferencias entre las dos pymes en las dimensiones de la cultura y personas y la gobernanza; además, se evidencian altos niveles de madurez en la dimensión de tecnologías de la información y las comunicaciones, lo cual se explica por el hecho de que pertenecen al sector de las TIC.

Dimensión de alineación estratégica

Es la vinculación continua y estrecha de las prioridades de la organización y los procesos empresariales que permiten el logro de los objetivos comerciales; esta dimensión se compone de cuatro factores, los cuales se describen a continuación.

Enfoque de liderazgo

En un estudio de Castro et al. (2019) se concluye que la participación de la alta dirección no puede limitarse al apoyo, ya que esta esfera debe comprometerse y estar dispuesta a cambiar para facilitar la disponibilidad de recursos y coadyuvar a generar menos resistencia por parte de otros funcionarios.

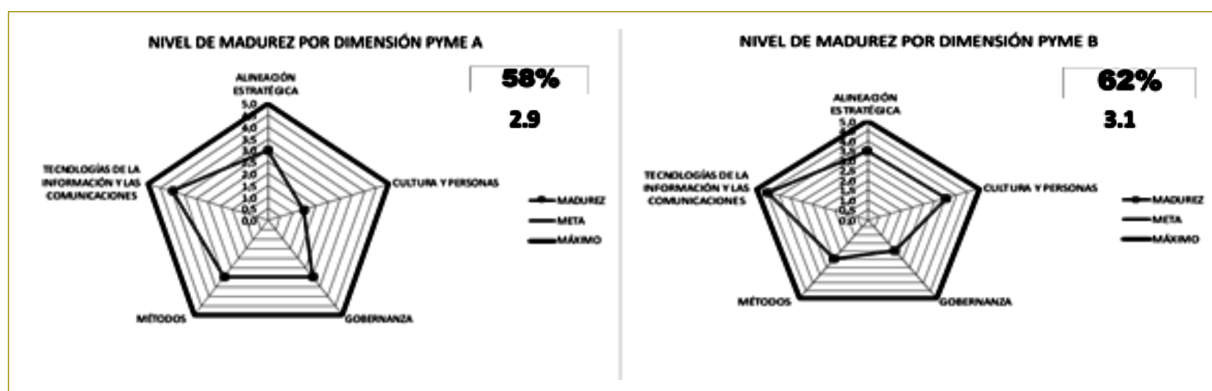


Figura 3. Comparativo de resultados entre pyme A y pyme B.

Fuente: Elaboración propia.

Objetivos e indicadores

De acuerdo con Ceribeli et al. (2013), una de las principales dificultades en la implementación del BPM es la falta de una visión clara que integre la estrategia organizacional y los objetivos en los procesos de negocio de la empresa. Del mismo modo, Buh et al. (2015) plantean que un proyecto BPM debe tener objetivos, propósitos y planes claramente definidos, así como estar alineado con la estrategia de la organización. Por su parte, Costa et al. (2010) indican que los resultados de gestión alineados a la estrategia organizacional combinan los atributos del BPM con los indicadores de los procesos y determinan el aporte real de estos hacia el logro de los objetivos; lo anterior brinda información pertinente para la toma de decisiones y, consecuentemente, para la mejora continua de los procesos de la organización.

Responsabilidad social empresarial con los empleados

En su estudio, Gharleghi et al. (2018) examinan primero que todos los efectos de la responsabilidad social empresarial (RSE) y concluyen que la RSC en las pymes tiene una relación directa con la motivación de sus empleados, lo que conduce a una mayor participación de estos en actividades de mejora e innovación.

Roles, responsabilidades y autoridades

Según las conclusiones de la investigación científica de Hernaus et al. (2016), la estructura de los roles, responsabilidades y autoridades para los procesos en una organización es un factor clave de éxito en la implementación del BPM, ya que esto configura la eficiencia, calidad y agilidad de las iniciativas de BPM, en coherencia con la estrategia empresarial y los resultados previstos para los procesos de negocio. Por lo general, las pymes operan con recursos humanos limitados en número; por lo tanto, cuando se inicia un proyecto de implementación de BPM en una pyme es posible que se carezca de personal suficiente para hacer el respectivo seguimiento y gestionar las iniciativas en forma coherente (Bauwens & Dorpe, 2018).

En la evaluación de esta dimensión se obtuvo un resultado de 3 para la pyme A y de 3,5 para la pyme B; aunque en los promedios totales dan valores cercanos, el

comportamiento de los factores en la pyme A es estable en nivel 3 en todos ellos; en cambio, en la pyme B se encuentran dos factores con el escenario ideal de 5 y uno con el peor escenario de 1, y el otro en 3.

La pyme A, al ofertar servicios y soluciones a la medida de cada cliente, requiere contar con competencias especializadas y una estructura organizacional con enfoque operativo por proyectos, lo que hace que la alineación estratégica sea más compleja en relación con la definición de objetivos, indicadores, roles, responsabilidades y autoridades.

Entretanto, la pyme B, por tener un servicio más estandarizado y específico, como el de instalación de servicios de internet en el departamento de Cundinamarca (Colombia), requiere competencias genéricas; por ende, los colaboradores están en capacidad de hacer su trabajo y cumplir con su misión organizacional. Más adelante (tabla 2), se detallan los factores que componen esta dimensión para precisar las diferencias entre las pymes:

Los resultados presentados en la evaluación permiten sugerir algunas estrategias de fortalecimiento de madurez de procesos en las pymes A y B:

- En la pyme A, es importante determinar, comunicar e implementar los roles, responsabilidades y autoridades que se vienen documentando en su esquema orgánico, para así coordinar los objetivos específicos de cada proceso, alineado con la estrategia de la organización; posteriormente, se deben establecer los indicadores de gestión pertinentes para hacer seguimiento continuo. Finalmente, se recomienda fortalecer el esquema de incentivos alineados con el desempeño obtenido por el colaborador, con base en el manual de funciones que se está haciendo.
- En la pyme B, se requiere plantear objetivos estratégicos a largo plazo e indicadores de desempeño que permitan hacer seguimiento; adicionalmente, es importante fortalecer su programa de responsabilidad social empresarial, que involucre a sus colaboradores en las iniciativas de cambio y mejoras, con el fin de mejorar su desempeño.

Para las dos organizaciones, es recomendable incorporar en sus comités de gerencia los aspectos de control sobre el direccionamiento estratégico y los indicadores de desempeño de los procesos. Esto permitirá detec-

Tabla 2
Resultados de los factores de la dimensión de alineación estratégica

Factor	Pyme		Análisis
	A	B	
Enfoque de liderazgo (Castro et al., 2019).	3	5	En cuanto a la pyme A, se presenta un escenario en el que el liderazgo se centra únicamente en cargos directivos de manera limitada; esto responde a que, al ser una organización adaptada al enfoque por proyectos, las autoridades se perciben ambiguas, aunque se encuentran en proceso de construcción de su manual de funciones. En este factor, la pyme B asegura que todos sus colaboradores están en capacidad de liderar y tienen la autoridad suficiente para gestionar sus procesos; lo anterior se explica por el conocimiento del negocio por parte de todos los colaboradores, lo que facilita la autoridad y el liderazgo de sus empleados.
Objetivos e Indicadores (Ceribeli et al., 2013; Costa et al., 2010; Buh et al., 2015)	3	1	En la pyme A, se identifica un nivel intermedio de madurez en este factor, debido a que se encuentran en la implementación de los OKR (indicadores y objetivos claves). No obstante, están en el proceso de capacitación de los colaboradores, alineando estos objetivos con indicadores que permiten medir el desempeño. En cuanto a la pyme B, se identifica que no se establecen indicadores, si bien se planifican los objetivos a corto plazo, no hay un mecanismo para medir el desempeño.
Responsabilidad social empresarial con los empleados (Gharleghi et al., 2018)	3	3	Con respecto a este factor, se encuentra que las dos pymes se ubican en el mismo escenario; esto indica que existen programas de responsabilidad social con los colaboradores, con un alcance limitado a los resultados de desempeño laboral. Existen algunas iniciativas, pero estas son aisladas. Específicamente, para la pyme A se evidencia mayor gestión en relación con este factor, debido a que el alcance de los programas de beneficios integra a las familias de los colaboradores. Así mismo, cuentan con un plan de carrera estructurado. Frente a la pyme B, se brindan incentivos, beneficios y reconocimientos, pero a diferencia de la pyme A, no integran a las familias de los colaboradores en dichos programas.
Roles, responsabilidades y autoridades (Hernaus et al., 2016)	3	5	La pyme A indica que se está trabajando en el manual de funciones (autoridades, alcances, roles y responsabilidades) para ajustarlas con las escalas salariales, con el objetivo de distribuirlas equitativamente. En la actualidad, para los procesos que manejan existe un dueño de este. Frente a la pyme B, se indica que existen los roles, responsabilidades y autoridades claramente definidos y documentados.

Fuente: Elaboración propia.

tar desviaciones a tiempo, para la toma de decisiones oportunas y hacer los ajustes pertinentes.

Dimensión de cultura y personas

Esta dimensión se refiere a los valores y creencias colectivos que dan forma a las actitudes y comportamientos relacionados con el proceso y la forma como se encuentran estructurados sus equipos de trabajo (Vom Broecke & Schmiedel, 2011). Se compone de cuatro factores:

Gestión del cambio

De acuerdo con Guerrero & Hitpass (2013), un factor determinante en la implementación de proyectos BPM tiene que ver con la cultura del cambio, la cual está relacionada con la planificación de proyectos mediante equipos de trabajo, con comunicación y capacitación permanente, el uso de metodologías de gestión de pro-

yectos y la toma de conciencia, encaminada a romper la resistencia al cambio.

Competencia y compromiso

En un estudio de Kerpedzhiev et al. (2021), complementario al modelo de Rosemann y de Bruin, se señala que, en cuanto a la implementación de BPM, se requieren conocimientos y competencias específicas para el análisis y gestión de los procesos.

Gestión del conocimiento y aprendizaje

En un estudio reciente se concluye que los procesos y el conocimiento están estrechamente relacionados (Martín, Lechuga & Medina, 2021). De esta manera, BPM, como modelo que estandariza los procesos, debe integrar el conocimiento de los participantes como un factor determinante para asegurar el éxito de un pro-

yecto BPM. Así mismo, en una investigación reciente (Linder & Sperber, 2019), se asegura que el aprendizaje en las organizaciones es crucial para la innovación de procesos, y en ese sentido el conocimiento interno es de mayor valor que el mismo conocimiento adquirido.

Innovación

Imanipour et al. (2012) afirman que la cultura de innovación en las organizaciones forma parte de un factor estructural y determinante cuando se pretende implementar una metodología de gestión de procesos BPM, por lo cual se concluye que cuando la innovación de procesos y la adopción de nuevas prácticas son elementos del día a día de la empresa, hay una alta probabilidad de conseguir una adopción de BPM exitosa en las pymes.

En esta dimensión, registraron un nivel de madurez de 1,5 para la pyme A y de 3,5 para la pyme B. La diferencia entre la pyme A y la pyme B radica en la gestión del conocimiento, la innovación y la gestión del cambio, de acuerdo con los resultados de la autoevaluación recolectada durante las entrevistas.

En la pyme A, se identificó que se dificulta el aseguramiento en la gestión del conocimiento por ser una organización enfocada en proyectos de desarrollo de *software* especializados, y dado que el servicio es a la medida del cliente mediante desarrollos específicos, se depende del conocimiento de la gente que ejecuta los contratos, por lo que influye bastante la lógica personal de cada colaborador. Así mismo, se indicó que actualmente los cambios se generan de manera reactiva y la innovación no es sistemática ni una prioridad por ahora en la empresa.

Por el contrario, la pyme B, al ser una organización de tecnología estándar, asegura una innovación constante, pues se mantiene a la vanguardia de los desarrollos del nicho al que pertenece, asegurando una gestión del conocimiento oportuna y la planificación e implementación de cambios en coherencia con las nuevas tecnologías de acceso masivo; en caso contrario, saldría del mercado desplazada por la competencia. Por ejemplo, actualmente están trabajando en proyectos de internet de las cosas (IoT).

En el detalle de los factores que componen la dimensión, se encuentran las particularidades descritas en la tabla siguiente (tabla 3):

Las estrategias de fortalecimiento de madurez con enfoque en BPM, identificadas para las organizaciones, son:

- Para las pymes A y B, es relevante determinar, documentar, implementar y mantener una metodología sistemática de gestión del cambio, que permita adaptarse a las necesidades de su entorno; de esta manera, se disminuye el riesgo de fracaso cuando se enfrente a cambios inesperados o planeados. En cuanto al factor de competencia y compromiso, se hace necesario fortalecer los incentivos y reconocimientos para que los trabajadores participen en iniciativas orientadas a mejorar continuamente los procesos y promover la innovación en la organización. Por otra parte, es importante determinar mecanismos de gestión del conocimiento a través de la implementación de repositorios de lecciones aprendidas y de la documentación de los proyectos (apalancar en herramientas tecnológicas); además, se recomienda establecer programas de comunicación periódicos para compartir el conocimiento tácito y explícito en el interior de los trabajadores, con el propósito de contribuir al éxito de los proyectos y asegurar el conocimiento de las lecciones aprendidas en las vivencias cotidianas de los proyectos ejecutados.
- Adicionalmente, para la pyme B se recomienda establecer un manual de funciones con los perfiles adecuados para cada cargo, asegurando las competencias adecuadas mediante la proyección de los objetivos y las metas particulares que permitan controlar el desempeño organizacional.

Dimensión de gobernanza

Esta dimensión se enfoca en establecer procesos de toma de decisiones y responsabilidad relevantes y transparentes, con el fin de guiar y recompensar las acciones de los participantes en los procesos de negocio. La gobernanza se evalúa mediante los siguientes cuatro factores.

Toma de decisiones

La toma de decisiones en la organización afecta directamente el desempeño de los procesos de negocio. En ese sentido, las decisiones deberían basarse en análisis

Tabla 3
Resultados de los factores de la dimensión cultura y personas

Factor	Pyme		Análisis
	A	B	
Gestión del cambio (Guerrero & Hitpass, 2013)	1	3	La pyme A, en comparación con la pyme B, presenta un desempeño menor, debido a que no cuenta con un procedimiento de cambio formalizado y es más reactiva a las circunstancias, lo que conduce a cambiar mediante un esquema de ensayo y error. La pyme B, al encontrarse en un sector de tecnología masiva, requiere mantenerse a la vanguardia, por lo que la gestión del cambio es sistemática en el interior de la organización; esto se debe a que los desarrollos de su mercado son controlados y facilitan su adopción; otro factor que hay que considerar es que la organización se puede apalancar en la infraestructura de otras empresas para la prestación de sus servicios.
Competencia y compromiso (Kerpedzhiev et al., 2021).	3	3	Con respecto a este factor, se encuentra que las dos pymes se ubican en el mismo escenario; no obstante, la pyme A realiza a final de año evaluaciones de desempeño a sus colaboradores, con base en los resultados de los proyectos comparados con los objetivos planteados inicialmente. La pyme B no hace las evaluaciones de desempeño y sus perfiles son genéricos en relación con las competencias requeridas para sus actividades y la instalación de sus servicios.
Innovación (Imanipour et al., 2012)	1	5	En relación con este factor, la pyme A no presenta una innovación en los procesos debido a los servicios en los que está enfocada, por lo cual se limita a las necesidades de los clientes y no permite un alcance de innovación que diferencie a la empresa. La pyme B tiene un mayor enfoque en este aspecto, lo cual se dinamizó a consecuencia de la pandemia covid-19, ya que demostró su capacidad de adaptación de sus productos y servicios al cambio de contexto, implementando nuevos servicios según las necesidades del mercado; la organización se encuentra trabajando en la implementación de nuevos servicios, acorde con el contexto que se prevé pospandemia.
Gestión del conocimiento y aprendizaje (Linder & Sperber, 2019)	1	3	La pyme A obtuvo una baja valoración debido a que se le dificulta llevar a cabo procesos relacionados con la gestión del conocimiento, sumado a esto, los equipos de trabajo conocen cada proyecto, pero no existe un mecanismo de documentación que convierta esa información en aprendizaje organizacional. Por su parte, la pyme B, por ser una organización departamental que ofrece servicios masivos y estandarizados, asegura que la gestión del conocimiento se promueve de manera más eficaz; esto indica que todos los colaboradores tienen acceso a la información de sus servicios, lo que les da la competencia necesaria para resolver cualquier novedad en la ejecución de los procesos de negocio.

Fuente: Elaboración propia.

de datos objetivos, confiables, verídicos y en tiempo real; así mismo, deben estar claramente definidas las autoridades en el esquema de toma de decisiones en las pymes (Dharmawan, Divinagracia, Woods & Kwong, 2019).

Seguimiento y evaluación

Con estas actividades de gobernanza en la implementación de BPM se busca monitorear los cambios y resultados de desempeño para asegurar que los procesos de negocio respondan a las necesidades y expectativas de las partes interesadas de la pyme (Santana, Alves, Santos & De Lima Cavalcanti Felix, 2011).

Estructura orgánica basada en procesos

La estructura orgánica debería establecerse con base en los procesos y en la identificación de las funciones

relacionadas con BPM en la pyme, para garantizar la alineación de la dirección con la estrategia, facilitar el monitoreo, la supervisión y la ejecución de las actividades relacionadas con los procesos (Rahimi, Møller & Hvam, 2016).

Análisis de datos

En un estudio de Käppel et al. (2021) se indica que el uso de los datos y su análisis es un criterio al que normalmente no se le da relevancia en las organizaciones, lo cual impacta negativamente las posibilidades de mejoramiento con fuentes objetivas para los procesos; por tal razón, es importante que las pymes hagan un análisis de datos sistemático, que les permita reaccionar oportunamente a situaciones que pueden afectar el funcionamiento de la empresa.

Los resultados de la evaluación de esta dimensión indicaron que la pyme A se encuentra en un nivel de 3,0 y la pyme B, en 1,5; la pyme A presentó un escenario intermedio en todos los factores, toda vez que empodera a sus colaboradores y asegura así la toma de decisiones oportuna; sin embargo, esto tiene un alcance ambiguo, a pesar del seguimiento y la evaluación de los criterios de desempeño, dado que aún hace falta fortalecer aspectos como el análisis de los datos, que todavía son empíricos.

Por su parte, la pyme B evidencia debilidad en cuanto a la toma de decisiones estratégicas, debido a que los colaboradores demuestran inseguridad y temor a la hora de tomar decisiones para la mejora de los procesos; igualmente, dada la naturaleza de sus servicios, sus colaboradores son polifuncionales, lo que lleva a que la estructura orgánica no cuente con una articulación directa con los procesos; de la misma manera, los procesos se encuentran en un estado básico de documentación y no se hace análisis de los datos en

lo referente a indicadores de desempeño de todos los procesos. Más adelante, se presentan los resultados de cada factor (tabla 4).

Teniendo en cuenta el contexto de las organizaciones evaluadas con respecto a la gobernanza, es posible identificar las siguientes oportunidades de fortalecimiento de su madurez:

- Para la pyme A, es importante conseguir las fuentes de los datos e información primaria en línea. Para esto se puede apoyar en tecnologías de recolección y análisis de datos como una *big data*, que le permita obtener la información pertinente para la toma de decisiones, así como también capacitar a los líderes en la organización para que, por medio de su autonomía, tomen las decisiones basadas en datos de manera oportuna; finalmente, es relevante implementar comités de gerencia para hacer el seguimiento continuo del desempeño de la organización con

Tabla 4
Resultados de los factores de la dimensión de gobernanza

Factor	Pyme		Análisis
	A	B	
Toma de decisiones (Dharmawan et al., 2019)	3	1	Para la pyme A, se encuentra fortalecido el esquema en cuanto a la toma de decisiones mediante los niveles de autorización; sin embargo, se evidencia la falta de datos en tiempo real para soportar dichas decisiones, lo que impide lograr el escenario ideal. La pyme B presenta un nivel bajo de madurez en relación con este factor, toda vez que en el ámbito operativo se toman decisiones de manera oportuna y eficaz, pero las decisiones tácticas y estratégicas de los procesos dependen únicamente del máximo ente jerárquico, lo que retrasa los procesos de mejora.
Seguimiento y evaluación (Santana et al., 2011)	3	3	Por parte de la pyme A, hace seguimiento y evaluación, moderadamente, a los criterios de desempeño y a la información de clientes y proveedores de manera limitada. La pyme B, aunque presenta un escenario favorable de seguimiento y evaluación, en la medida en que constantemente evalúan las tendencias de la demanda de servicios y controlan la evolución e implementación de estos, mediante fuentes primarias de información, no cuentan con un sistema de indicadores que permitan evaluar el desempeño de los procesos en el interior de la organización.
Estructura orgánica basada en procesos (Rahimi et al., 2016; ISO, 2015)	3	1	En la pyme A se encuentra establecida la articulación de los procesos con su estructura orgánica; sin embargo, se encuentra en proceso de alineación de los OKR, lo que le permitirá avanzar hacia el escenario ideal en este factor. Por su parte, la pyme B no cuenta con avances significativos en la documentación de sus procesos alineados con su estructura orgánica, ya que su modelo de operación se orienta a colaboradores con múltiples funciones no especializadas.
Análisis de datos (Käppel et al., 2021).	3	1	En este caso, la pyme A cuenta con cuadros de mando mediante la herramienta PowerBI, pero se evidencia una debilidad en cuanto al análisis de estos datos para la toma de decisiones estratégicas y de procesos. La pyme B informa no realizar análisis de datos del desempeño de sus procesos, ubicándose en un escenario desfavorable para la toma de decisiones orientadas a la mejora; de esta manera, se ve la interacción con la dimensión de alineación estratégica, toda vez que no se establecen indicadores para medir el desempeño.

Fuente: Elaboración propia.

respecto a sus contextos interno y externo a partir de los datos e información recolectados.

- Para la pyme B, se debe definir la articulación de los cargos con los procesos de negocio, con el fin de alinear las funciones en coherencia con los procesos; posteriormente, hay que definir las métricas referentes al desempeño y las fuentes de obtención de los datos en tiempo real para su posterior análisis; por último, se han de definir, documentar e implementar los alcances precisos de autoridad para la toma de decisiones oportunas y eficaces.

Dimensión de métodos

La dimensión de métodos se refiere a los enfoques y técnicas que respaldan y permiten acciones y resultados de procesos consistentes a través de sus procesos de negocio; en esta dimensión se contemplan los siguientes cuatro factores.

Documentación de procesos

Tocto (2013) afirma en un estudio que el modelado de procesos mediante BPMN permite conocer el flujo adecuado de actividades, información, roles, responsabilidades, reglas e interacciones; esta documentación indicará el nivel de estandarización y gestión de procesos, entendido desde la perspectiva de modelarlos, promulgarlos y mantenerlos (Froger, Bénaben, Truptil & Boissel-Dallier, 2019).

Control de procesos

Los controles operacionales en los procesos permiten a las organizaciones identificar y gestionar los elementos claves que hay que asegurar para obtener los resultados óptimos esperados; sin embargo, en las pymes el control del rendimiento del proceso se percibe como un método opcional y no como la base de aseguramiento (Gazova, Papulova & Papula, 2016).

Auditoría interna

El rendimiento de calidad desde el enfoque de BPM se debe revisar periódicamente, mediante procesos de auditoría, para detectar anomalías y desviaciones de los

factores críticos; lo anterior permite identificar brechas entre el desempeño real de los procesos y los resultados esperados, para orientar acciones que permitan la mejora continua del desempeño de los procesos (Saab, Helms & Zoet, 2018).

Interacción de procesos

En el estudio de Schmiedel et al. (2020), relacionado con la gestión de los métodos en BPM, se concluye que parte del éxito en la gestión de los procesos de negocio está en entender los clientes internos como una parte interesada que requiere satisfacer determinadas necesidades del proceso.

Con respecto a esta dimensión, se evidenció que la pyme A tiene avances significativos en la documentación de sus procesos de negocio; así como también que hay planificación y desarrollo de auditorías fiscales. Las anteriores características le permiten ubicarse en un nivel de madurez de 3 en esta dimensión.

Por su parte, la pyme B, por el enfoque empírico de sus servicios, carece de documentación de sus procesos de negocio; por lo anterior, se limita al conocimiento de sus trabajadores para la gestión de sus procesos; Adicionalmente, no se planifican ni ejecutan auditorías a sus procesos de negocio, por lo cual obtiene un nivel de 2,5.

Al profundizar en la evaluación de los factores que componen la dimensión de métodos en las pymes evaluadas, se presentan los hallazgos descritos más adelante (tabla 5).

En cuanto a esta dimensión, la mejora se debe enfocar en determinar el mapa de procesos en primera instancia, identificando los alcances e interacciones; seguidamente, se han de identificar los procesos críticos de negocio y documentar los procedimientos, en lo posible con notación BPMN2.0, y establecer los puntos de control pertinentes para asegurar los resultados previstos.

Finalmente, hay que determinar, documentar e implementar un programa de auditorías a los procesos críticos del negocio, que permita obtener los insumos necesarios para establecer las acciones correctivas pertinentes, con el fin de incrementar el desempeño de sus procesos de negocio.

Tabla 5
Resultados de los factores de la dimensión de métodos

Factor	Pyme		Análisis
	A	B	
Documentación de procesos (Tocto, 2013; Froger et al., 2019).	3	3	En este factor, se presenta un escenario similar para las dos pymes; no obstante, la pyme A resulta un poco más estructurada, gracias a que se manejan algunos procesos bajo la notación BPMN 2.0. La pyme B cuenta con procesos críticos documentados, sin embargo, carece de profundidad en sus procedimientos, lo cual dificulta la estandarización de sus procesos y su comprensión en el interior de la empresa.
Control de procesos (Gazova et al., 2016)	3	3	En este factor, las pymes A y B se identifican con el mismo escenario, dado que pese a que se cuenta con controles operacionales, estos generan cargas adicionales de trabajo sin un objetivo claramente establecido; de la misma manera, faltaría documentarlos y alinearlos con la estructura de procesos de las empresas que se establezca en un futuro.
Auditoría o control interno (Saab et al., 2018)	3	1	La pyme A realiza periódicamente revisorías fiscales (contable y control interno) como medida de aseguramiento legal, pero las auditorías no tienen enfoque en procesos. La pyme B presenta menos madurez en relación con este factor, puesto que se informa que no se planifican ni ejecutan ningún tipo de auditorías. Esta situación reduce la posibilidad de generar mejoramiento continuo desde esta herramienta de evaluación de desempeño para las dos empresas.
Interacción de procesos internos (Schmiedel et al., 2020)	3	3	En relación con este factor, se presenta que las dos organizaciones se ubican en el mismo escenario, debido a que se evidencian debilidades en la integración de los procesos internos y el seguimiento a los planes y objetivos para la mejora continua de cada organización a través del trabajo interdisciplinar de los procesos.

Fuente: Elaboración propia.

Dimensión de tecnologías de la información y la comunicación

La dimensión de las TIC se refiere al *software*, el *hardware* y los sistemas de administración de información que permiten y apoyan las actividades del proceso; en esta dimensión se consideran cuatro factores, que son los siguientes:

Infraestructura de las TIC

Según Nurmawati & Mahendrawathi (2019), las necesidades de infraestructura de sistemas de información y de las telecomunicaciones son claves para apoyar la implementación de BPM. Su relevancia se fundamenta en el registro de información, trazabilidad, facilidad de interconexión y reducción de tiempos de respuesta. Del mismo modo, hay que adecuar los proyectos de TI en las organizaciones para gestionar los procesos con miras a cumplir los objetivos estratégicos de la empresa (Maciá et al., 2021).

Estructura empresarial

A juicio de Malta & Sousa (2016), la construcción de una adecuada estructura empresarial se consti-

tuye en un factor clave de éxito en el BPM; esto se debe a que la estructura empresarial permite tener organizaciones ágiles que satisfacen las necesidades y expectativas de las partes interesadas mediante la alineación de los sistemas de información, los procesos, la tecnología, la estructura funcional y la misión de la organización.

Transformación digital y responsabilidad social corporativa - social

En el estudio de Van Looy (2021) se señala que la adopción de tecnologías modernas de la información potencian los beneficios del BPM; en ese orden de ideas, las organizaciones que pretenden mantenerse en el mercado tienden a implementar nuevas tecnologías de manera integrada con los procesos en BPM. Adicionalmente, la transformación digital conlleva un cambio en la forma de comunicación entre la empresa y la sociedad, es decir, no se reduce a implementar herramientas informáticas, sino que tiene que simplificar las interacciones y reducir los impactos ambientales (Orbik & Zozul'aková, 2019).

Disponibilidad

En un estudio de Gómez (2019), se precisa que la capacidad y el uso de las tecnologías de la información con las que cuentan las pymes influyen directamente en los resultados de la implementación de BPM; así las cosas, se proponen las fases de componentes tecnológicos: comunicaciones y tecnología informática básica y avanzada.

En tal sentido, tanto la pyme A como la pyme B, al encontrarse en el sector de las TIC, se destacan en esta dimensión. Si bien la pyme B presta servicios de internet, su oportunidad radica en el aprovechamiento del internet de las cosas; así mismo, la pyme A fortalece sus procesos en el uso de robótica para la optimización de procesos.

No obstante, se evidenció que durante el tiempo de pandemia los equipos tecnológicos escasearon y subieron de precio, lo que afectó específicamente a la pyme B; para esta dimensión, la pyme A obtuvo un resultado de 4 frente a un 4,5 de la pyme B. En la tabla siguiente se presentan los resultados particulares de cada factor de la dimensión de TIC (tabla 6):

Esta última dimensión presenta un desempeño satisfactorio, puesto que las dos pymes se encuentran en un sector económico relacionado; sin embargo, es importante implementar estrategias que permitan mantener esta madurez debido a que la tecnología está en constante evolución, para lo cual se requiere estar a la

vanguardia con el fin de mantener su competitividad; por otra parte, se debe fortalecer la alineación entre los procesos, los cargos y la tecnología con la que cuentan, para asegurar la estructura empresarial.

CONCLUSIONES

- Si bien existe una amplia bibliografía sobre madurez de procesos con enfoque BPM, durante el desarrollo de la investigación no se halló bibliografía que definiera instrumentos precisos y aplicables a pymes; sobre el particular, el presente trabajo hace un aporte valioso que radica en que este modelo no es solo un simple marco teórico, sino que contiene entregables que permiten su aplicación inmediata en las organizaciones de una manera fácil y sencilla, además de comprensible y útil.
- La bibliografía científica coincide en que la madurez de procesos tiene una relación directa con el desempeño en la implementación de BPM en las organizaciones, de la cual depende el éxito o fracaso de los objetivos esperados con estas iniciativas; el modelo presentado valora el estado de madurez de los procesos que pueden servir como punto de diagnóstico para implementar BPM en las pymes.
- El modelo se ajusta al contexto de las pymes, pues al ser sencillo, cinco dimensiones con cuatro factores

Tabla 6
Resultados de los factores de la dimensión de tecnologías de la información y la comunicación

Factor	Pyme		Análisis
	A	B	
Infraestructura TICS (Nurmadewi & Mahendrawathi, 2019; Maciá et al., 2021)	5	5	Frente a este factor, se evidencia claramente que las pymes A y B tienen una adecuada infraestructura tecnológica que soportan los procesos y el <i>Core business</i> de cada una de estas organizaciones.
Arquitectura empresarial (Malta & Sousa, 2016)	3	3	En cuanto a la estructura de las pymes A y B, se comprueba que el escenario para las dos es el mismo, gracias a que su segmento de mercado son las TIC; no obstante, hay que reforzar los factores como la optimización y la gestión de la tecnología para controlar los procesos y optimizar las actividades.
Transformación digital y responsabilidad social empresarial-social (Van Looy, 2021; Orbik & Zozul'aková, 2019)	3	5	La pyme A, por su estructura organizacional y los servicios que presta, aún se encuentra en la alineación de sus estrategias de transformación digital. Por el contrario, la pyme B se posiciona con servicios más específicos, lo que le facilita alinear con mayor facilidad las estrategias de transformación.
Disponibilidad (Gómez, 2019)	5	5	Finalmente, la pyme A y la pyme B se destacan en relación con este factor, ya que las herramientas informáticas proveen a estas organizaciones la sistematización, fortaleciendo la presentación del servicio en relación con la cobertura de la demanda.

Fuente: Elaboración propia.

cada una con solo tres escenarios que se califican con su nivel de 1 a 5; está diseñado en su grado de complejidad y número de variables justo para ser ágil, completo y muy intuitivo de aplicar, aspecto que se ajustó con la retroalimentación de los expertos.

- Los autores de este estudio consideran que este modelo propuesto no está diseñado para ser implementado en famiempresas, dada la informalidad que presentan en sus procesos, en sus estructuras, etc., pues en general no cuentan con libros contables registrados ante la Cámara de Comercio ni ante la DIAN; sin embargo, “generan empleos directos e indirectos, y que por razones diversas, entre ellas la financiación de sus actividades económicas, no están consideradas en términos de políticas públicas y además impactan los recursos fiscales de la nación en términos de costo de oportunidad” (Anónimo, 2023).
- Los resultados de la aplicación del modelo en las
- pymes permite identificar que, aunque pertenecen a un mismo sector de la economía, solo en la dimensión de tecnología comparten resultados similares; además, en un futuro se podría ampliar la aplicación del modelo para obtener resultados de madurez comunes que llevarían a generalizar recomendaciones útiles para el sector.
- A partir del modelo se obtiene un insumo importante para diagnosticar el estado de madurez de las pymes, que permitirá a la gerencia tener un *roadmap* para establecer un plan de mejora continua.
- De acuerdo con los resultados de la aplicación del modelo y la situación actual de las pymes, se encuentra coherencia con estos, lo cual corrobora el contexto y la estructura del modelo diseñado.
- Ahora bien, como una crítica constructiva, el modelo presentado podría tener para algunos autores muchas variables, las cuales podrían no reflejar de manera efectiva los escenarios a los cuales están sujetos los empresarios, dadas la dinámica económica nacional e internacional, las reglas de juego, las normas existentes, las nuevas tendencias de hacer negocios, entre otras, lo cual conllevaría un riesgo de que, a pesar de tener un nivel de madurez adecuado, no sea suficiente para cubrir los ítems mencionados anteriormente y, por tanto, no se minimicen los peligros.
- Los costos de implementación de estos modelos en las empresas, y la disponibilidad o propensión

de los empresarios a invertir en tales herramientas gerenciales. La relación costo/beneficio se debe demostrar de manera clara, amplia y suficiente, dando a conocer las bondades de los modelos, pero también las limitaciones o restricciones de estos. Si se está realizando una pseudotransferencia de tecnología o transferencia real, hay que demostrar su impacto en términos de estados financieros básicos.

- Es importante destacar que se requiere tener una documentación sobre las lecciones aprendidas del proceso de implementación del presente modelo en las pymes, desde la planeación y la ejecución y cuando ya esté en operación, de tal forma que permitan minimizar los riesgos y evitar cometer los mismos errores durante el proceso.

REFERENCIAS

- Aguirre, S., & Córdoba, N. (2008). Diagnóstico de la madurez de los procesos en empresas medianas colombianas. *Ingeniería y Universidad*, 12(2), 245–267. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/25542>
- Andriani, M., Samadhi, T. M. A. A., Siswanto, J., & Suryadi, K. (2018). Aligning business process maturity level with SMEs growth in Indonesian fashion industry. *International Journal of Organizational Analysis*, 26(4), 709–727. <https://doi.org/10.1108/IJOA-08-2017-1215>.
- Bandara, W., & Opsahl, H. (2017). Developing organization-wide BPM capabilities in an SME: The approaches used, challenges and outcomes. *Journal of Information Technology Teaching Cases*, 7(2), 92–113. <https://doi.org/10.1057/s41266-016-0014-y>.
- Barrera-Cámara, R. A., Barrientos-Vera, V., Santiago-Pérez, J. del C., & Canepa-Sáenz, A. (2018). Gestión de procesos de negocio. *Inventio*, 14(32), 43–48. <https://doi.org/10.30973/inventio/2018.14.32/8>.
- Bauwens, C., & Dorpe, T. Van (2018). *Business Process Management In SMEs Case Study In Three Belgian SMEs* (Universiteit Gent). Recuperado de https://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/481/122/RUG01-002481122_2018_0001_AC.pdf.
- Buh, B., Kovačič, A., & Štemberger, M. I. (2015). Critical success factors for different stages of business process management adoption. A case study. *Economic Research-Ekonomska Istrazivanja*, 28(1), 243–258. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2015.1041776>.
- Castro, B. K. do A., Dresch, A., & Veit, D. R. (2019). Key critical success factors of BPM implementation: a theoretical and practical view. *Business Process Management Journal*, 26(1), 239–256. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-09-2018-0272>.
- Cámara de Comercio de Bogotá (2020). *Balance de la economía de la región Bogotá-Cundinamarca 2019*. Bogotá.
- Ceribeli, H. B., De Pádua, S. I. D., & Merlo, E. M. (2013). BPM: Um estudo de caso dos fatores críticos de sucesso. *Journal Globalization, Competitiveness and Governability*, 7(2), 106–117. <https://doi.org/10.3232/GCG.2013.V7.N2.07>.
- Confecámaras (2018). Nuevos hallazgos de la supervivencia y crecimiento de las empresas en Colombia. *Confecámaras, Red de Cámaras de Comercio. Enero-septiembre de 2019*, 25(1), 217–236. Recuperado de <http://revistas.sena.edu.co/index.php/>

- finn/article/download/565/631%0Ahttp://www.confecamaras.org.co/phocadownload/2018/Cuadernos_Análisis_Económico/Cuaderno_demografia_empresarial/Cartilla17.pdf%0Ahttp://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15003161%5Cnhttp://cid.Congreso de Colombia, A. *Ley 905 de 2004*.
- Costa, C. A., Castilhos, J. T., Bizotto, B. L. S., Zappas, G., & Costa, M. A. (2010). Organizational processes alignment and company strategy within a process management approach: An assessment tool. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* (Vol. 43). <https://doi.org/10.3182/20100908-3-pt-3007.00040>.
- Dharmawan, Y. S., Divinagracia, G. G., Woods, E., & Kwong, B. (2019). Inter-dependencies on BPM maturity model capability factors in deriving BPM roadmap. *Procedia Computer Science*, 161, 1089–1097. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.220>.
- Díaz, F. (2008). Gestión de procesos de negocio BPM (Business Process Management), TIC y crecimiento empresarial: ¿qué es BPM y cómo se articula con el crecimiento empresarial? *Universidad & Empresa*, 10(15), 151–176.
- Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., & Reijers, H. A. (2013). *Fundamentals of Business Process Management* (First). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33143-5>.
- Fisher, D. M. (2004). The business process maturity model: a practical approach for identifying opportunities for optimization. *Business Process Trends*, 9(4), 11–15.
- Froger, M., Bénaben, F., Truptil, S., & Boissel-Dallier, N. (2019). A non-linear business process management maturity framework to apprehend future challenges. *International Journal of Information Management*, 49(May), 290–300. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.013>.
- Garimella, K., Lees, M., & Williams, B. (2008). *Introducción a BPM para dummies*. Recuperado de <http://www.it-docs.net/ddata/138.pdf>.
- Gazova, A., Papulova, Z., & Papula, J. (2016). The application of concepts and methods based on process approach to increase business process efficiency. *Procedia Economics and Finance*, 39(November 2015), 197–205. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(16\)30284-2](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(16)30284-2).
- Gharlegghi, B., Jahanshahi, A. A., & Nawaser, K. (2018). The outcomes of corporate social responsibility to employees: empirical evidence from a developing country. *Sustainability (Switzerland)*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/su10030698>.
- Glogovac, M., Ruso, J., & Maricic, M. (2020). ISO 9004 maturity model for quality in industry 4.0. *Total Quality Management & Business Excellence*, 1–19. <https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1865793>.
- Guerrero, M. T., & Hitpass, B. (2013). Diseño de una guía para la planificación de proyectos BPM operacionales basada en la selección de factores críticos de éxito. *Chilean Workshop on Business Process Management*, (2001), 1–9. Recuperado de [http://jcc2013.inf.uct.cl/wp-content/proceedings/WBPM/Dise%F1o de una Guía para la Planificación de Proyectos BPM Operacionales basada en la Selección de Factores Críticos de éxito.pdf](http://jcc2013.inf.uct.cl/wp-content/proceedings/WBPM/Dise%F1o%20de%20una%20Gu%F1a%20para%20la%20Planificaci%F3n%20de%20Proyectos%20BPM%20Operacionales%20basada%20en%20la%20Selecci%F3n%20de%20Factores%20Cr%F3ticos%20de%20Exito.pdf).
- Gutiérrez, A., Rodríguez, C. Y., & Santos, A. F. (2018). Factores críticos de éxito para la implementación de *Business Process Management* (BPM): estudio de caso para la cadena de suministro de una empresa del sector floricultor. *Revista Escuela de Administración de Negocios, edición especial*, 1(1), 85–108. Recuperado de <https://doi.org/10.21158/01208160.n0.2018.2019>.
- Hernaus, T., Bosilj Vuksic, V., & Indihar Štemberger, M. (2016). How to go from strategy to results? Institutionalising BPM governance within organisations. *Business Process Management Journal*, 22(1), 173–195. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-03-2015-0031>.
- Imanipour, N., Talebi, K., & Rezazadeh, S. (2012). Obstacles in Business Process Management (BPM). Implementation and Adoption in SMEs. *SSRN Electronic Journal*, 1–18. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1990609>.
- ISO (2015). ISO 9000-2015.pdf. *Sistema de Gestión de la Calidad. Fundamentos y vocabulario*, p. 60. Recuperado de [http://www.sgc.uagro.mx/Descargas/ISO 9000-2015.pdf](http://www.sgc.uagro.mx/Descargas/ISO%209000-2015.pdf).
- ISO (2018). *GTC-ISO 9004 Gestión de la calidad - Calidad de una organización - Orientación para lograr el éxito sostenido* (p. 63).
- Käppel, M., Schöning, S., & Jablonski, S. (2021). Leveraging small sample learning for Business Process Management. *Information and Software Technology*, 132(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106472>.
- López, K. (2016). Modelo de automatización de procesos para un sistema de gestión a partir de un esquema de documentación basado en *Business Process Management* (BPM). *Universidad & Empresa*, 17(29), 131–155. <https://doi.org/10.12804/rev.univ.empresa.29.2015.06>.
- Maciá, F. P., Berna, M. J. V., & Lorenzo, F. I. (2021). Strategic IT alignment projects. Towards good governance. *Computer Standards and Interfaces*, 76(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.csi.2021.103514>.
- Malta, P., & Sousa, R. D. (2016). Process oriented approaches in enterprise architecture for business-IT alignment. *Procedia Computer Science*, 100, 888–893. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.239>.
- Martín, N. A., Lechuga, S. M. P., & Medina-Garrido J.A. (2021). Testing an instrument to measure the BPMS-KM Support Model. *Expert Systems with Applications*, 178(April), 115005. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115005>.
- Nurmadewi, D., & Mahendrawathi, E. R. (2019). Analyzing linkage between business process management (BPM) capability and information technology: A case study in garment SMEs. *Procedia Computer Science*, 161, 935–942. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.202>.
- Orbik, Z., & Zozul'aková, V. (2019). Corporate social and digital responsibility. *Management Systems in Production Engineering*, 27(2), 79–83. <https://doi.org/10.1515/mspe-2019-0013>.
- Páez, G., Rohvein, C., Paravie, D., & Jaureguiberry, M. (2018). Revisión de modelos de madurez en la gestión de los procesos de negocios. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 26(4), 685–698. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052018000400685>.
- Pereira, V. R., Maximiano, A. C. A., & Bido, D. de S. (2019). Resistance to change in BPM implementation. *Business Process Management Journal*, 25(7), 1564–1586. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-07-2018-0184>.
- Pérez-Mergarejo, E., Pérez-Vergara, I., & Rodríguez-Ruiz, Y. (2014). Modelos de madurez y su idoneidad para aplicar en pequeñas y medianas empresas / Maturity models and the suitability of its application in small and medium enterprises. *Ingeniería Industrial*, 35(4), 149–160.
- Picot, A., & Hess, T. (2005). Business process management in real-time companies. *The Practical Real-Time Enterprise: Facts and Perspectives*, 14(3), 29–44. https://doi.org/10.1007/3-540-27367-0_3.
- Rahimi, F., Møller, C., & Hvam, L. (2016). Business process management and IT management: The missing integration. *International Journal of Information Management*, 36(1), 142–154. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2015.10.004>.
- Rodríguez-Ríos, C. Y., & Roa-Sánchez, J. E. (2022). Model to measure the effect of the integration of information in business processes. Example: bidding process for an industry. *Business Process Management Journal*, 28(1), 81–112. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-09-2020-0432>.

- Rodríguez, C. Y. (2015). Qué es *Business Process Management* (BPM). Definiciones y conceptos. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, 25(98), 23–29. <https://doi.org/ISSN 0121-5132>.
- Rosemann, M., & De Bruin, T. (2005). Towards a business process management maturity model. *Proceedings of the 13th European Conference on Information Systems, Information Systems in a Rapidly Changing Economy, ECIS 2005*. Recuperado de https://eprints.qut.edu.au/25194/1/25194_rosemann_2006001488.pdf.
- Saab, N., Helms, R., & Zoet, M. (2018). Predictive quality performance control in BPM: Proposing a framework for predicting quality anomalies. *Procedia Computer Science*, 138, 714–723. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.094>.
- Santana, A. F. L., Alves, C. F., Santos, H. R. M., & De Lima Cavalcanti Felix, A. (2011). BPM governance: An exploratory study in public organizations. *Lecture Notes in Business Information Processing*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21759-3_4.
- Schmiedel, T., Recker, J., & Vom Brocke, J. (2020). The relation between BPM culture, BPM methods, and process performance: Evidence from quantitative field studies. *Information and Management*, 57(2), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.im.2019.103175>.
- Sheps, I. (2018). Organizational Quality – Guidance to achieve Sustained Success. The New ISO 9004:2018. *Asigurareacalitatii. Ro*. Retrieved from <http://www.asigurareacalitatii.ro/wp-content/uploads/94-00.pdf#page=16>.
- Stroppi, L. J. R., Chiotti, O., & Villarreal, P. D. (2011). A BPMN 2.0 extension to define the resource perspective of business process models. *14th Ibero-American Conference on Software Engineering and 14th Workshop on Requirements Engineering, CibSE 2011*, 25–38.
- Szelagowski, M., & Berniak-Wony, J. (2019). The adaptation of business process management maturity models to the context of the knowledge economy. *Business Process Management Journal*, 26(1), 212–238. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-11-2018-0328>.
- Tarhan, A., Turetken, O., & Reijers, H. A. (2016). Business process maturity models: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 75, 122–134. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2016.01.010>.
- Tocto, E. (2013). Optimización y cuantificación de procesos utilizando BPM - Process Optimization and Quantification using BPM. *Apuntes Universitarios*, (1). <https://doi.org/10.17162/au.v0i1.310>.
- Van Looy, A. (2021). A quantitative and qualitative study of the link between business process management and digital innovation. *Information and Management*, 58(2), 103413. <https://doi.org/10.1016/j.im.2020.103413>.
- Van Looy, A., De Backer, M., Poels, G., & Snoeck, M. (2013). Choosing the right business process maturity model. *Information and Management*, 50(7), 466–488. <https://doi.org/10.1016/j.im.2013.06.002>.
- Vom Brocke, J., & Schmiedel, T. (2011). Culture in business process management: A literature review. *Business Process Management Journal*, 17(2), 357–378. <https://doi.org/10.1108/14637151111122383>.
- Yin, R. K. (2003). *Case study Research Design and Methods* (3rd ed.). *Applied Social Research Methods Series, Vol. 5, 2002.pdf* (pp. 1–181).

Comportamiento frente a la corrosión de un material compuesto híbrido de matriz de aluminio reforzada con Al_2O_3 y grafito, obtenidos a partir de residuos industriales

Response to corrosion by a hybrid compound material of aluminum matrix reinforced with Al_2O_3 and graphite obtained from industrial by-products

CARLOS ANDRÉS PINO HERNÁNDEZ - NICOLÁS OSPINA MENDOZA -
VALENTINA GUTIÉRREZ ZORRO - ADRIANA ESGUERRA-ARCE -
JOHANNA ESGUERRA-ARCE

Centro de Estudios de Gestión de Tecnología e Innovación de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

carlos.pino@mail.escuelaing.edu.co - nicolas.ospina@mail.escuelaing.edu.co -
valentina.gutierrez@mail.escuelaing.edu.co - adriana.esguerra@escuelaing.edu.co -
johanna.esguerra@escuelaing.edu.co

Recibido: 28/09/2022 Aceptado: 29/10/2022

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

Las aleaciones de aluminio se usan ampliamente debido a sus propiedades mecánicas y baja densidad. Sin embargo, el impacto ambiental generado por su procesamiento y uso es grande. Este impacto lo producen, en parte, los subproductos que se generan en su manufactura, tales como virutas cortas. Otro residuo industrial importante son los lodos de grafito, que resultan de desechar moldes de fundición semi-permanentes. Con el fin de disminuir el impacto ambiental causado por estos residuos sólidos, en este trabajo se investigó el efecto de adicionar polvo de lodo de grafito a polvo de aluminio-óxido de aluminio producido por molienda de viruta corta. Esta mezcla de polvos se procesó por compactación y sinterización. Los porcentajes de polvo de lodo de grafito evaluados fueron 0 %, 0,5 %, 1,0 % y 2,0 %. Las muestras sinterizadas se caracterizaron por medio de espectroscopia de impedancia electroquímica y polarización potenciodinámica. Los resultados mostraron que la adición de polvo de lodo de grafito conlleva un incremento en la porosidad de las muestras, así como una disminución en la corriente de corrosión hasta una adición de 1 %. Con un 2 % de polvo de lodo de grafito, la mayor densidad de poros hace que la densidad de corriente vuelva a incrementarse.

Palabras claves: residuos industriales, economía circular, corrosión, pulvimetalurgia, grafito.

Abstract

Aluminum alloys are widely used due to their mechanical properties and low density. However, the environmental impact generated by its processing and use is high. This impact is generated, in part, by the by-products that are generated in its manufacture, such as short machining chips. Another important industrial waste is graphite sludge, which results from discarding semi-permanent casting molds. To reduce the environmental impact caused by these solid wastes, this article investigated the effect of adding graphite sludge powder to aluminum-alumina powder produced by short chip grinding. This powder mixture was processed by compaction and sintering. The percentages of graphite sludge powder evaluated were 0%, 0.5%, 1.0% and 2.0%. The sintered samples were characterized by electrochemical impedance spectroscopy and potentiodynamic polarization. The results showed that the addition of graphite sludge powder leads to an increase in the porosity of the samples, as well as up to 1% decrease in the corrosion current of graphite sludge powder. With 2% graphite sludge powder the higher pore density causes the current density to increase again.

Keywords: industrial by-products, circular economy, corrosion, powder metallurgy, graphite.

INTRODUCCIÓN

Las aleaciones de aluminio se utilizan ampliamente en la industria por su adecuada relación entre resistencia mecánica y peso, además de su ductilidad, durabilidad y resistencia a la corrosión [1]. Las aplicaciones son muchas: como bienes de consumo, en la industria de la construcción, en aplicaciones eléctricas y en la industria del transporte. Debido a su uso masivo, la producción y el uso del aluminio tienen un impacto ambiental grande, relacionado con emisiones gaseosas y con subproductos industriales o residuos sólidos. A pesar de esto, los materiales metálicos tienen la ventaja de su reciclabilidad, ya que se reprocesan fácilmente por fundición [2].

Sin embargo, hay un tipo de residuo industrial metálico que puede ser un poco complejo: las virutas cortas de mecanizado. Estas virutas se producen en procesos como el fresado o el aserrado, y al ser tan pequeñas –de 1 mm de longitud, aproximadamente–, no es conveniente reprocesarlas por fundición debido al alto contenido de óxido de aluminio en su superficie, por su alta área superficial. Así, al ser reprocesadas por fundición, una gran cantidad en masa del material se pierde en la ganga [3].

Una alternativa de reprocesado, propuesta por los autores, es la molienda mecánica de esta viruta para producir polvo de aluminio y, posteriormente, producir partes por técnicas pulvimetalúrgicas, de prensado y sinterización. En los trabajos realizados previamente se ha encontrado que es posible producir piezas sólidas a partir de este procesamiento con durezas de un 95 % de la dureza del material original, a partir de virutas de aleación de Al-Mg-Si. También se ha hallado que el tiempo de molienda es una variable importante, ya que define la morfología y el tamaño de las partículas. Sin embargo, un mayor tiempo de molienda no siempre implica disminución en el tamaño de las partículas, debido a fenómenos de microsoldaduras causados por incrementos de la temperatura durante la molienda [1].

Otra variable de proceso importante durante la molienda para la obtención del polvo de aluminio es la relación en volumen de cuerpos molidores a carga, que tiende a ser grande debido a la naturaleza del material, y puede variar del orden de 6:1 a 12:1. Debido a fenómenos de deformación plástica en frío y recristalización dinámica, se ha encontrado que la densidad de dislocaciones en el material en polvo, en este caso de una aleación 7075, se ve afectada por esta relación de

cuerpos molidores a carga y que, en últimas, el tamaño de las partículas depende de esta: una mayor densidad de dislocaciones conlleva un menor tamaño de partícula. Con esta aleación se encontró que es posible obtener durezas más altas que las halladas en el material original en estado de envejecido. Esto se atribuyó, además, a la presencia de alúmina cristalina, que pudo evidenciarse con difracción de rayos X [4]. En este caso, el óxido de aluminio presente entra a ser parte del material como un agente reforzante, quedando bien disperso en la matriz metálica rica en aluminio. De hecho, la adición de partículas reforzantes a las aleaciones de aluminio es un foco de estudio importante (*Aluminium Metal Matrix Composites*, AMMC), buscando la mejora en las propiedades tribológicas, mecánicas y químicas del material [5, 6]. Así, además de alúmina, se han propuesto otras partículas reforzantes, como SiC [7-9], B₄C [10] y grafito [7, 11, 12].

Este último, el grafito, también se puede encontrar como un residuo sólido industrial proveniente de moldes de fundición semipermanente. El bajo coeficiente de expansión térmica del grafito hace de este material un recurso fundamental para aplicaciones a elevadas temperaturas, como la fundición de metales [13]. Los moldes de grafito empleados correctamente pueden tener una duración mayor de cien horas continuas y dentro de su vida útil se pueden someter a procesos de mecanizado para controlar la rugosidad y ser reutilizados [14].

Este es el caso de Corona, empresa con gran historia en Colombia, que comercializa productos cerámicos, como sanitarios y pisos, al igual que productos metálicos, como griferías de aleaciones de cobre [15]. Estas griferías se fabrican por fundición, utilizando los mencionados moldes de grafito. El grafito empleado en la fabricación de moldes se usa mezclado con otras sustancias, como brea y cemento carbonoso. Esta mezcla, junto con agua, se compacta y posteriormente se cuece, para producir un molde funcional. Después de muchos usos, el molde se desecha. Por eso se le denomina molde semipermanente, porque no tiene la desechabilidad de un molde de arena convencional, pero tampoco es permanente, como un molde de acero. Este grafito se desecha en forma de lodo.

En razón de que Corona está comprometida con el desarrollo sostenible, está aunando esfuerzos con grupos de investigación de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito para evaluar

potenciales usos de sus subproductos industriales, en este caso, el grafito, debido a la evidencia existente de las excelentes propiedades mecánicas, térmicas y de baja fricción que exhibe este material [16, 17]. De acuerdo con el Conpes 3874 y las normas de manejo de residuos sólidos, se busca, a través del aprovechamiento de este residuo industrial, generar una economía circular para la empresa y el mundo [18].

Para su reaprovechamiento, deben tenerse en cuenta las condiciones de este grafito como subproducto industrial, es decir, la presencia de contaminantes, como sales de metales pesados, incrustaciones no metálicas o contaminación por metales no ferrosos. Actualmente, la comunidad científica está investigando el uso de grafito virgen como agente reforzante del aluminio, con el propósito de incrementar su resistencia al desgaste, empleando bajas cantidades. A este respecto, se ha encontrado que la resistencia al desgaste tribológico en seco puede incrementarse usando un 5 % de grafito, y que el coeficiente de fricción disminuye gradualmente con el aumento de este elemento [19]. La adición de grafito también puede incrementar la dureza de aleaciones de aluminio, como pudo verse con una aleación 6061, cuya dureza se aumentó en un 5 % con la adición de este material. Sin embargo, al seguir incrementando el contenido de grafito esta propiedad disminuye grandemente, debido a la presencia de porosidades y aglomeraciones [11]. La porosidad relacionada con la adición de grafito, sumada a la porosidad típica causada por los procesamiento pulvimetalúrgicos convencionales [20], también es una preocupación con respecto a la resistencia a la corrosión.

Así las cosas, el presente trabajo se enfocó en evaluar la influencia del contenido de polvo de lodo grafito de la empresa Corona en un material compuesto de matriz metálica y alúmina como reforzante en las propiedades electroquímicas, llevando a cabo una caracterización por espectroscopía de impedancia electroquímica (*electrochemical impedance spectroscopy*, EIS), y polarización potenciodinámica en solución de cloruro de sodio (NaCl) al 3,5 %.

MATERIALES Y MÉTODOS

La viruta de aluminio se obtuvo como subproducto de un proceso de mecanizado por sierra de una aleación de la serie 6XXX en el Laboratorio de Producción de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería

Julio Garavito. Esta se acondicionó mediante lavado con detergente para eliminar el líquido refrigerante, y posteriormente se secó a 100 °C por 24 horas. Luego se sometió a un proceso de molienda en un molino de bolas herméticos de cinco litros de capacidad, utilizando una velocidad de 55 rpm durante 56 horas con cuerpos molidores cilíndricos de circonia. La relación volumétrica de cuerpos molidores a carga de viruta se fijó en 10:1, teniendo en cuenta una investigación previa [21]. La atmósfera de la molienda fue aire. Los polvos obtenidos se caracterizaron mediante composición química elemental por espectroscopia de energía dispersiva (*energy dispersive spectroscopy*, EDS) en un equipo JEOL JSM-649 OLV; difracción de rayos X (DRX) en un equipo Bruker D8 Discover, para conocer las fases cristalinas presentes; microscopia electrónica de barrido (*scanning electron microscopy*, SEM), en un equipo JEOL JSM-649 OLV, para conocer su morfología, y granulometría láser en un equipo Hydro 2000MU, para conocer el tamaño de las partículas y su distribución.

El lodo de grafito proveniente de moldes de fundición de la empresa Corona se sometió a un proceso de secado por 24 horas a 100 °C para eliminar humedad. Luego se caracterizó mediante EDS en un equipo JEOL JSM-649 OLV, para conocer su composición química elemental; DRX en un equipo Rigaku SmartLab, para conocer las fases cristalinas presentes; SEM, en un equipo JEOL JSM-649 OLV, para conocer su morfología, y granulometría láser, para conocer el tamaño de las partículas y la distribución del tamaño de las partículas. El grado de grafitización (*degree of graphitization*, DOG) se calculó con la ecuación 1, teniendo en cuenta las características del pico (200) del patrón de difracción de rayos X, y de acuerdo con lo publicado por Li et al [22], donde d_{200} es la distancia interplanar entre capas aromáticas. Con la ecuación 2 se calculó el número de capas aromáticas por partícula [22].

$$\text{DOG} = \frac{3,440 - d_{200}}{3,440 - 3,354} \quad (1)$$

$$N = L_c / d_{200} \quad (2)$$

Una vez caracterizado el lodo de grafito, se mezcló con los polvos de la aleación de aluminio adicionando 0,5 %, 1,0 % y 2 % en peso. La mezcla se hizo por 30 minutos a bajas revoluciones. Después de la homo-

geneización de los polvos, estos se compactaron en muestras de aproximadamente 6 mm de altura y 0,5 pulgadas de diámetro, aplicando una fuerza de 19.000 libras sosteniendo por 30 minutos. También se compactaron muestras con 0 % de lodo de grafito con fines comparativos. Luego se procedió a hacer la sinterización de las muestras en atmósfera inerte (Ar) utilizando una tasa de calentamiento de 5 °C/min y una temperatura de sinterización de 620 °C por una hora [21].

Las probetas sinterizadas se caracterizaron mediante microscopía óptica y electrónica de barrido, después de pulido con lijas y paños, y evaluación de propiedades electroquímicas tales como espectroscopia de impedancia electroquímica y curvas de polarización Taffel. La caracterización electroquímica se hizo con un potenciostato Gamry con electrodo de referencia Ag/AgCl, contraelectrodo de grafito y cloruro de sodio (NaCl) al 3,5 % p/p como electrolito, estabilizando las probetas por 25 minutos. La espectroscopia de impedancia electroquímica se realizó en un rango de frecuencias de 100 kHz - 100 mHz, con un área de exposición de 0,785 cm². La polarización se hizo entre -1,0 V y 1,5 V respecto al OCP (potencial de circuito abierto) a una velocidad de 5 mV/s. Estos ensayos electroquímicos se efectuaron por triplicado y las corrientes de corrosión se calcularon por el método de pendientes Taffel.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Polvo de aluminio

En la figura siguiente se muestra cómo luce la viruta de la sierra mecánica de la aleación de aluminio después del lavado y el secado (figura 1a), y se puede ver también

la curva de distribución granulométrica del polvo de aluminio (figura 1b)); posteriormente, se resumen los tamaños de partícula característicos (tabla 1). El análisis SEM del material se hace previamente, y puede consultarse en el trabajo realizado por Rojas-Díaz et al [21]. A modo de resumen, la morfología de las partículas es tipo redondeada y aglomerada. En el análisis EDS pudo observarse que la muestra consta principalmente de aluminio y oxígeno (figura 2).

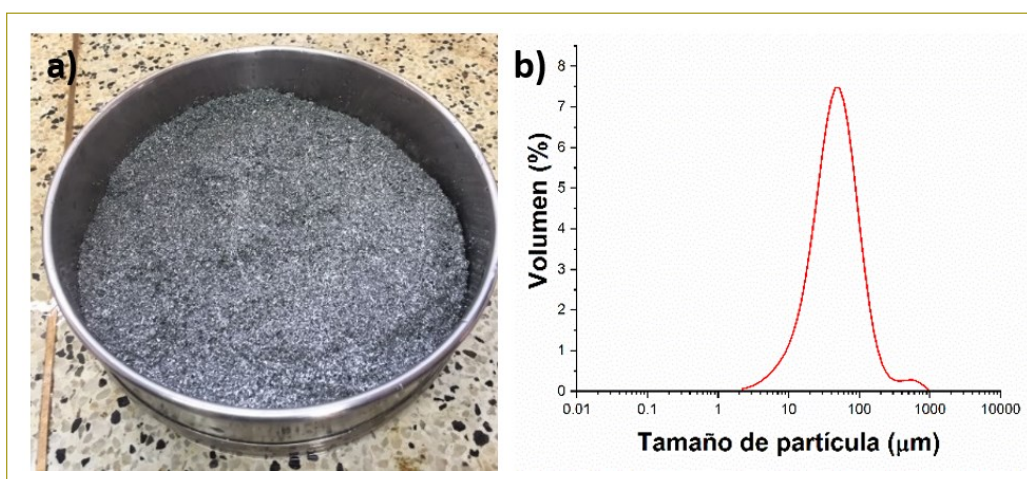
Como ya se mencionó, el polvo de aluminio con estas características puede usarse satisfactoriamente para la fabricación de piezas por técnicas pulvimetalúrgicas convencionales.

Tabla 1
Tamaños de partícula representativos del polvo de aluminio

Polvo de aluminio	d(0,1) μm	d(0,5) μm	d(0,9) μm	D(3,4) μm
	14,663	42,985	109,610	60,807

Más adelante se muestra el patrón de difracción de rayos X del polvo de aluminio (figura 3). Como puede verse, este consta de una fase metálica rica en aluminio y de alúmina cristalina en pequeña proporción. Así, es posible observar que el oxígeno que se evidenció en las medidas de EDS está formando alúmina cristalina. Es de esperarse que los polvos metálicos estén rodeados de una capa de óxido amorfa de su metal en la parte superficial. Sin embargo, debido al modo de obtención de estos polvos (molienda mecánica), podría también esperarse una dispersión de esta alúmina en el interior de las partículas (figura 3).

Figura 1. a) Viruta de la sierra mecánica de la aleación de la serie 6XXX; b) distribución granulométrica del polvo de aluminio obtenido después de la molienda.



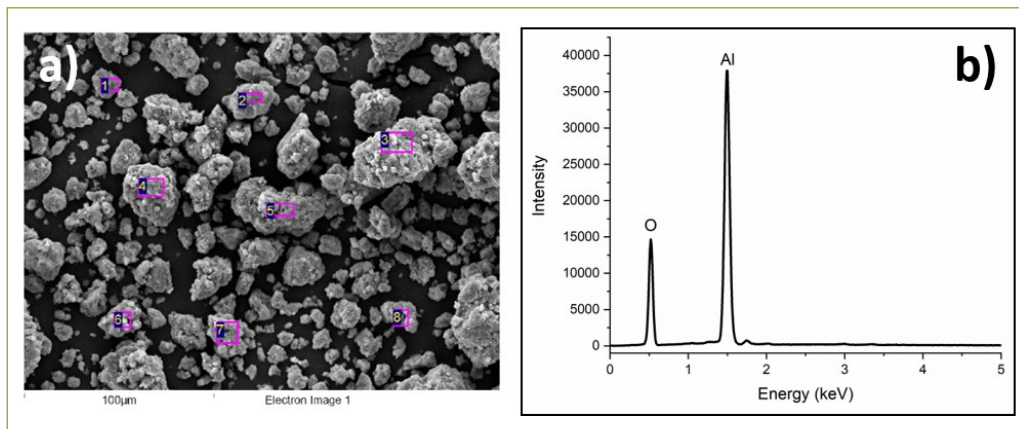


Figura 2. Medidas EDS del polvo de aluminio; a) zonas de la medida; b) espectro EDS.

Polvo de lodo de grafito

Así mismo, se pueden observar los lodos de grafito de la empresa Corona, así como los moldes de fundición de donde salen. Como se puede apreciar, no hay un aislamiento apropiado de los residuos, por lo que se espera encontrar contaminantes de otra naturaleza.

Posteriormente, se puede ver la distribución granulométrica del polvo del lodo de grafito después de secado (figura 5a)), así como el resumen de los tamaños de partícula característicos, donde se observa un tamaño de partícula promedio de 22,385 μm , menor que el reportado por Li-Fu Yi et al. [23] y mayor que el reportado por Ramesh et al. [24], quienes reforzaron matrices de aluminio con grafito, lo que da un indicativo de que el lodo de grafito de este estudio puede ser apropiado para la misma tarea (tabla 2). La morfología mostrada por las



Figura 4. Lodos de grafito en la empresa Corona

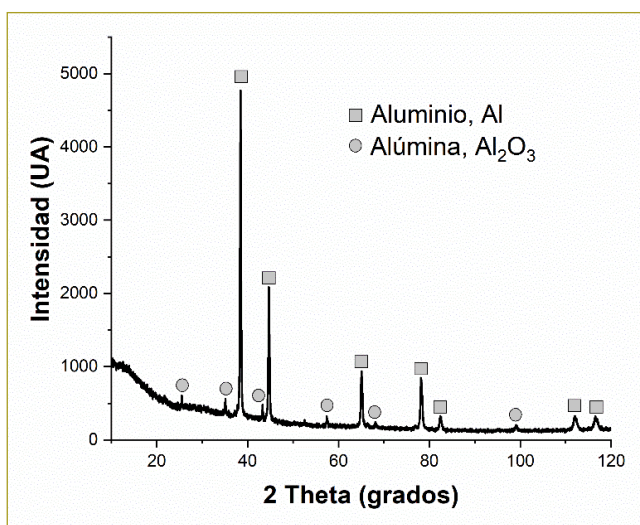


Figura 3. Patrón de difracción de rayos X del polvo de aluminio.

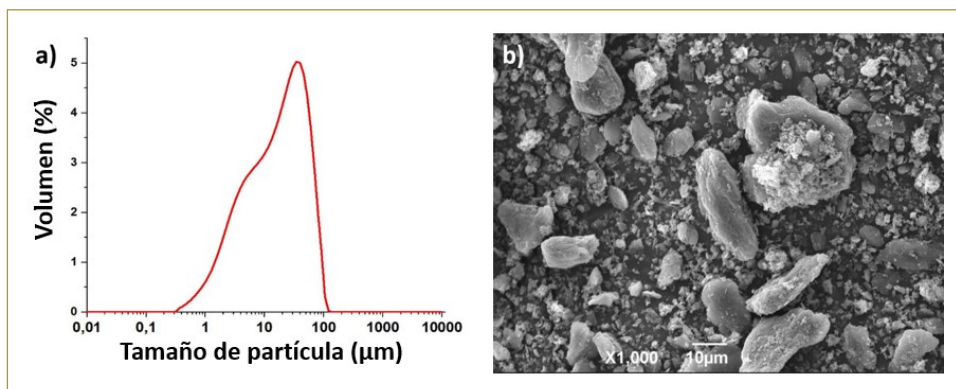
partículas, por su parte, es tipo hojuela, característica de este tipo de partículas (figura 5b)) [23].

Tabla 2
Tamaños de partícula representativos del polvo del lodo de grafito

Residuo de grafito de crisol	d(0,1) μm	d(0,5) μm	d(0,9) μm	D(3,4) μm
	2,337	15,930	52,861	22,385

La composición química elemental (figura 6) muestra un alto contenido de carbono, propio del grafito, pero también aparecen oxígeno, zinc, hierro, silicio y aluminio, como contaminantes.

Figura 5. a) Distribución granulométrica; b) micrografía SEM de los polvos de lodo de grafito.



En el patrón de difracción de rayos X del material se pueden apreciar los picos característicos del grafito, correspondientes a los planos (200), (100) y (101), que aparecen aumentados en los insertos (figura 7). Los tres picos coinciden con lo reportado por Li et al. [22] para grafito obtenido a partir de antracita. Los dos picos mostrados para el plano (200) indican la presencia de grafito amorfo (pico rojo) y grafito cristalino (pico verde). Por otro lado, la presencia de los picos (100), (101) y (004) indica que hay carbono cristalino tridimensional [22]. El grado de grafitización encontrado fue de DOG = 0,88 y el número de capas de N = 80, lo que sugiere la presencia de grafito natural. Por otro lado, pueden verse los compuestos formados por los átomos de oxígeno, zinc, hierro, silicio y aluminio que mostró la caracterización por EDS, a saber: alúmina, sílice, óxido de zinc y algo de zinc metálico. La presencia de dichos contaminantes se puede explicar por el uso de este grafito en moldes para fundición de metales no ferrosos, así como por el almacenamiento de los residuos con otros de distinta naturaleza.

Compuestos sinterizados

Las micrografías ópticas de los compuestos sinterizados se pueden ver más adelante (figura 8). La microestructura de la muestra con 0 % de grafito muestra una buena unión química entre las partículas de Al, es decir, estas se unen para producir una estructura sólida. En general, las partículas de grafito se distribuyeron uniformemente dentro de la matriz de aluminio (figura 8, partes b y d). Además, el polvo de Al y las partículas de grafito se unieron para crear un buen enlace químico entre ellas durante el proceso de sinterización, similar a lo reportado por Latief et al. [25].

Posteriormente, se evidencia un aumento de la porosidad con el incremento en la cantidad de lodo de grafito (figura 9). Se ha reportado que estos poros aparecen en las interfaces entre el aluminio y el grafito, dado que la energía de activación para romper los enlaces covalentes del grafito y producir una correcta difusión en la matriz metálica es muy alta; esto lleva a que un incremento del contenido de grafito genere un aumento de la densidad de poros [17].

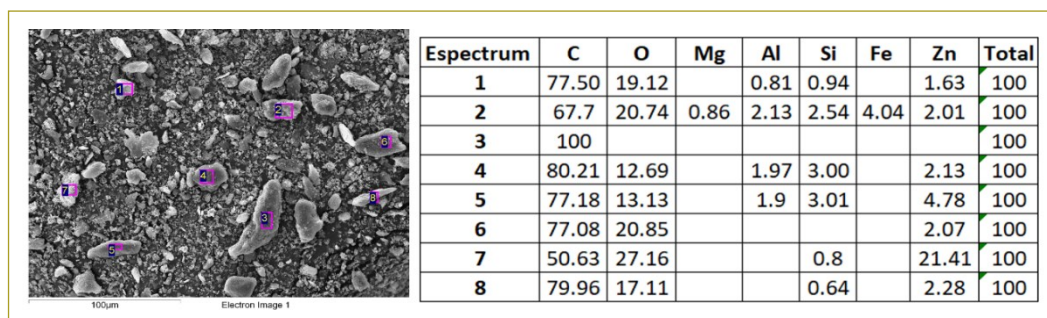


Figura 6. Composición química elemental mediante EDS del lodo de grafito.

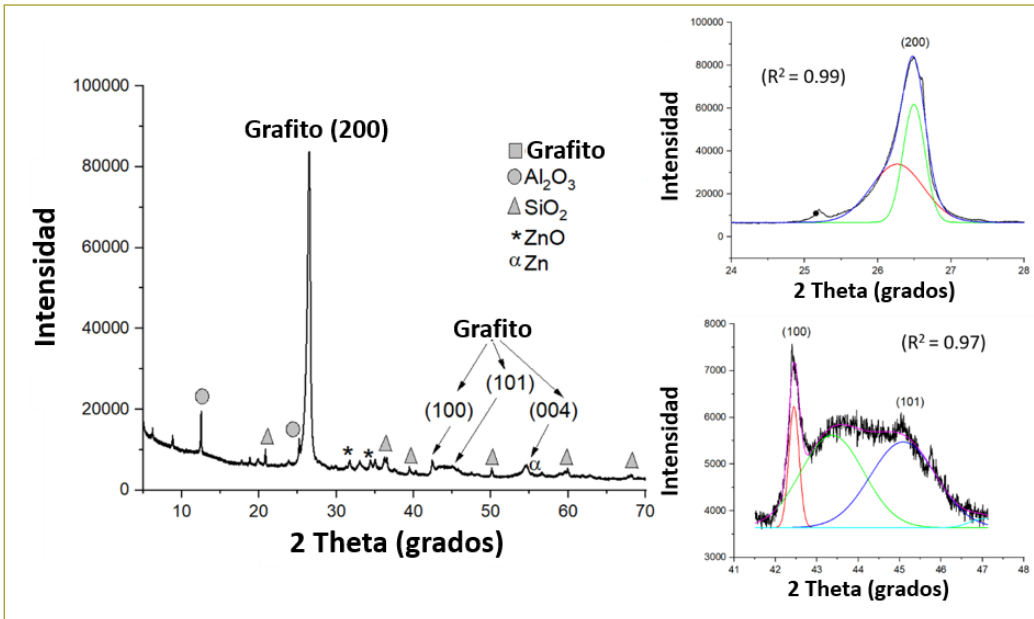


Figura 7. Patrón de difracción de rayos X del polvo de lodo de grafito. Los insertos muestran los picos (200), (100) y (101) para efectos explicativos.

Figura 8. Microscopías ópticas a 500X para a) 0 % Gr; b) 0,5 % Gr; c) 1 % Gr, y d) 2 % Gr.

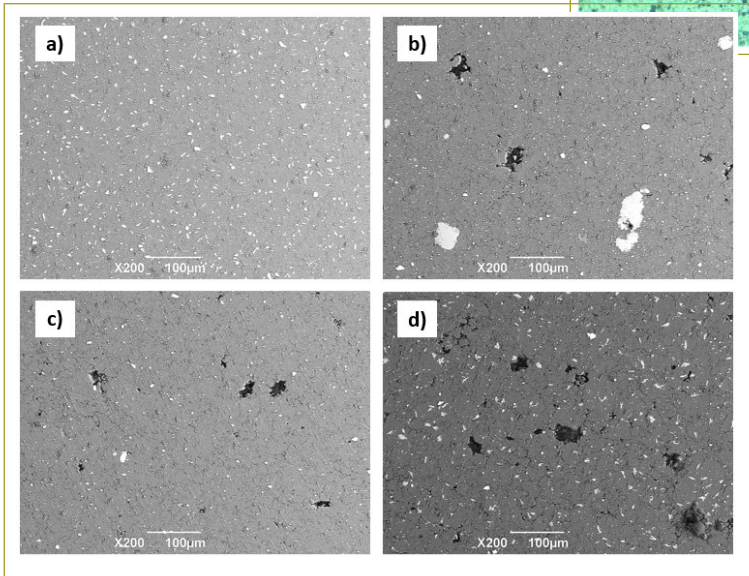
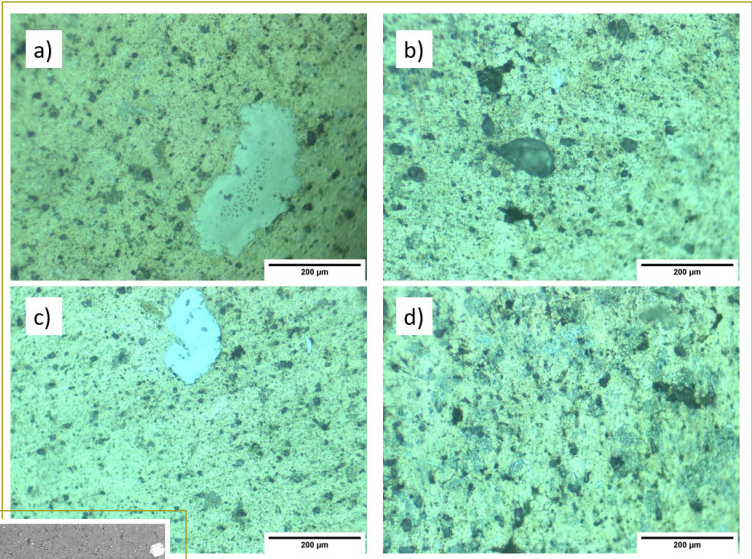


Figura 9. Microscopías SEM a 200X para a) 0 % Gr; b) 0,5 % Gr; c) 1 % Gr, y d) 2 % Gr.

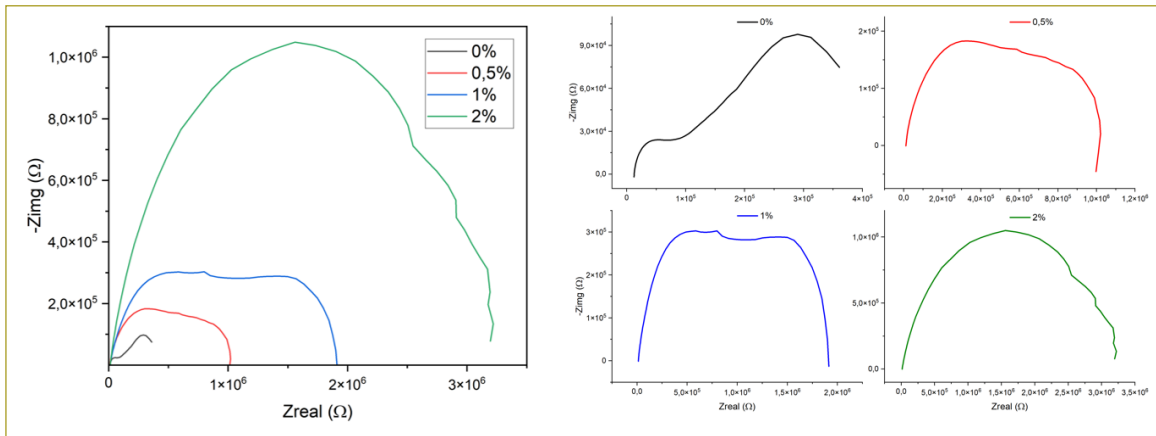


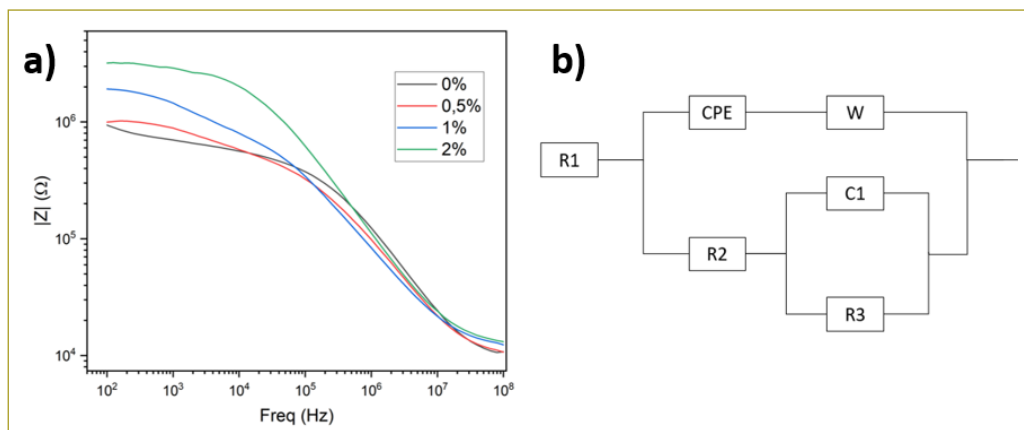
Figura 10. Diagramas Nyquist de EIS para las muestras con 0 % Gr, 0,5% Gr, 1 % Gr y 2 % Gr.

Con respecto a la caracterización electroquímica, el diagrama de Nyquist relaciona la resistencia real (Z_{real}) y la resistencia imaginaria ($-Z_{img}$), donde la primera hace referencia a la resistividad del sistema, mientras que la segunda corresponde a la capacitancia. Como se puede observar (figura 10), tanto para la muestra sin grafito como para las concentraciones de 0,5 % y 1 % existe la formación de dos semicírculos, comportamiento característico de materiales con recubrimiento protector. En este caso, el aluminio desarrolla la capa pasiva mediante las reacciones de oxidorreducción. Ese comportamiento va disminuyendo con el incremento de grafito en el material compuesto, lo que indica una incapacidad de pasivación. Sin embargo, cuando se relacionan en la misma escala, a pesar de que se pierde la formación completa de la capa pasiva, aumentan significativamente la resistividad y la capacitancia del sistema en función de la concentración de grafito.

Este aumento de la resistividad se aprecia en el diagrama de Bode (figura 11a) a bajas frecuencias, donde comienzan los fenómenos de corrosión. Inicialmente, la respuesta del material frente al medio cambia con el contenido de grafito, mientras que, a altas frecuencias, el módulo $|Z|$ converge. El circuito equivalente al sistema conocido como circuito de Mikhailovskii [26], adiciona un elemento de difusión de Warburg asociado con la resistencia por transferencia de carga y una capacitancia adicional por doble capa (figura 11b)) [27].

Este circuito explica el primer semicírculo a altas frecuencias y una segunda etapa, donde ocurre el proceso de corrosión una vez disuelta la capa pasiva, que se representa en la gráfica como el segundo semicírculo. El proceso de disolución antes mencionado se relaciona con la recta comprendida entre ambos semicírculos, donde la doble capa interactúa en el transporte de materia de la capa pasiva al medio acuoso [26]. R1 re-

Figura 11a) Diagramas Bode de EIS para las muestras con 0 % Gr, 0,5 % Gr, 1 % Gr y 2 % Gr; b) Circuito equivalente del sistema.



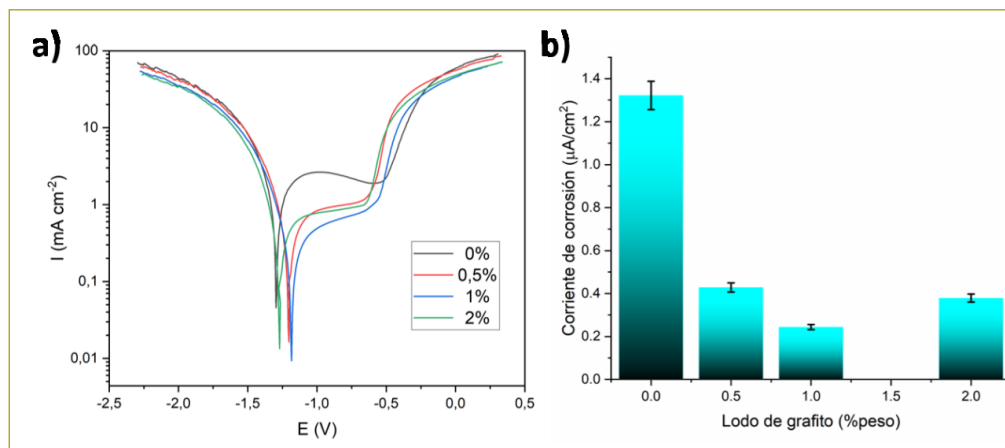


Figura 12. a) Curvas Tafel de polarización para 0 %, 0,5 %, 1 % y 2 % Gr, y b) comportamiento de la corriente de corrosión con la adición del lodo de grafito.

presenta la resistencia de la solución entre el electrodo de trabajo y el contraelectrodo, CPE es el elemento de fase constante, C1 es la capacitancia de la doble capa y R2 es una segunda resistencia a la polarización correspondiente a la transferencia de carga en la interfase capa/electrolito [28].

En las curvas de Tafel (figura 12a)) se presentan desplazamientos positivos del potencial de corrosión y una disminución de la densidad de corriente, en concordancia con la alta resistividad que se observó en los ensayos de EIS. Ya en la región anódica, la muestra de aluminio sin grafito tiene un pico de corriente en -1 V para comenzar la región pasiva hasta $-0,5$ V, donde inicia la transpasivación. En este mismo rango de potencial se observa que para las demás muestras no hay un hombro de pasivación, pero sí una disminución de la densidad de corriente a lo largo del barrido de potencial. Este comportamiento tiene una relación directa con las curvas de EIS, donde se evidencia la disminución de la capacidad de formar la capa pasiva en presencia del grafito; aun así, una vez que el material sin grafito alcanza el potencial de transpasivación, todas las curvas siguen el mismo comportamiento anódico sin diferencias significativas, a pesar del contenido de grafito.

Lo más destacable aquí es la disminución en la corriente de corrosión (figura 12b)), disminución que también han reportado otros autores, usando otras partículas de refuerzo. A. Shivaramakrishna et al. [29] evaluaron las características de corrosión de compuestos de Al con partículas de Fe_3O_4 en 3,5 % en peso de NaCl, y hallaron que la corriente de corrosión disminuye con la adición de estas.

J. Fayomi et al. [30] encontraron el mismo comportamiento al agregar Si_3N_4 , comportamiento que se explica

teniendo en cuenta que las partículas de refuerzo actúan como aislantes y permanecen inertes en el medio de corrosión durante el ensayo. Esto significa que la presencia de las partículas reforzantes en los compuestos disminuye la velocidad de corrosión, reduciendo el área de exposición de la aleación. Sin embargo, con la adición del 2 % de grafito, la corriente de corrosión se incrementa con respecto a las otras dos muestras adicionadas. Esto se explica por el aumento en porosidad evidenciado en las micrografías SEM (figura 9).

Por otro lado, Latief et al. [25] encontraron que la corriente de corrosión de un aluminio de la serie 1XXX aumenta con la adición de grafito virgen, lo cual explican por una activación del Al por parte del grafito. En la presente investigación, sin embargo, cabe destacar que la matriz de aluminio contiene un alto contenido de alúmina y que el grafito utilizado viene acompañado de compuestos cerámicos, tales como sílice y alúmina, lo cual cambia la dinámica de interacción grafito-matriz metálica.

CONCLUSIONES

En este trabajo se logró reincorporar de manera exitosa un subproducto industrial y un residuo de la industria, evaluando su uso en la fabricación de un material compuesto híbrido por vías pulvimetalúrgicas, llevando a cabo la adecuación y caracterización de los mismos. Se destacan las siguientes conclusiones:

- En los lodos de grafito se encontró presencia de grafito cristalino y amorfo, con un grado de grafitización de 0,88 y un número de capas de 80. Se encontró, además, presencia de alúmina, sílice y óxido de zinc.

- Al aumentar el contenido de polvo de lodo de grafito en los compuestos se evidenció un aumento en la porosidad, lo que se explica por la baja difusividad del grafito en la matriz de aluminio.
- El contenido de grafito ocasiona un aumento en la porosidad del material por la baja difusión entre este y el aluminio, produciendo zonas donde no se genera pasividad, lo que impide la formación completa y uniforme de la capa pasiva. No obstante, el contenido de grafito cumple un papel importante en la impedancia, aumentando la resistividad del material.
- Se evidenció una disminución en la densidad de corriente al adicionar polvo de lodo de grafito hasta 1 %. Sin embargo, esta densidad de corriente se incrementa con el aumento en la porosidad.
- Aunque no se desarrolla completamente la capa pasiva como en el aluminio sin grafito, la resistividad ofrecida por el grafito ofrece una protección semejante.

REFERENCIAS

- [1] Krishnan, P. K. et al. (2019, mayo). Production of aluminum alloy-based metal matrix composites using scrap aluminum alloy and waste materials: Influence on microstructure and mechanical properties. *J. Alloys Compd.*, vol. 784, pp. 1047-1061. doi: 10.1016/j.jallcom.2019.01.115.
- [2] Brough, D. y Jouhara, H. (2020). The aluminium industry: A review on state-of-the-art technologies, environmental impacts and possibilities for waste heat recovery. *Int. J. Thermofluids*, vol. 1-2, p. 100007. doi: 10.1016/j.ijft.2019.100007.
- [3] Gronostajski, J.Z., Kaczmar, J.W., Marciniak, H. y Matuszak, A. (1997, febrero). Direct recycling of aluminium chips into extruded products. *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 64, n.º 1, pp. 149-156. doi: 10.1016/S0924-0136(96)02563-0.
- [4] Pulido-Suárez, P.A., Uñate-González, K.S., Tirado-González, J.G., Esguerra-Arce, A. y Esguerra-Arce, J. (2020, septiembre). The evolution of the microstructure and properties of ageable Al-Si-Zn-Mg alloy during the recycling of milling chips through powder metallurgy. *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, n.º 5, pp. 11769-11777. doi: 10.1016/j.jmrt.2020.08.045.
- [5] Sharath, B.N. et al. (2021, enero). Multi Ceramic Particles Inclusion in the Aluminium Matrix and Wear Characterization through Experimental and Response Surface-Artificial Neural Networks. *Materials*, vol. 14, n.º 11, Art. n.º 11. doi: 10.3390/ma14112895.
- [6] Choi, N., Lim, K.R., Na, Y.S., Glatzel, U. y Park, J.H. (2018, septiembre). Characterization of non-metallic inclusions and their influence on the mechanical properties of a FCC single-phase high-entropy alloy. *J. Alloys Compd.*, vol. 763, pp. 546-557. doi: 10.1016/j.jallcom.2018.05.339.
- [7] Siddharthan, B., Kumaravel, A. y Praveen, J. (2022, enero). Mechanical and electrical characterization of aluminium alloy metal matrix composites reinforced with graphite. *Mater. Today Proc.*, vol. 66, pp. 1413-1418. doi: 10.1016/j.matpr.2022.05.228.
- [8] Lv, Z., Sha, J., Lin, G., Wang, J., Guo, J. y Dong, S. (2023, junio). Mechanical and thermal expansion behavior of hybrid aluminum matrix composites reinforced with SiC particles and short carbon fibers. *J. Alloys Compd.*, vol. 947, p. 169550. doi: 10.1016/j.jallcom.2023.169550.
- [9] Ferraris, M. et al. (2022, abril). SiC particle reinforced Al matrix composites brazed on aluminum body for lightweight wear resistant brakes. *Ceram. Int.*, vol. 48, n.º 8, pp. 10941-10951. doi: 10.1016/j.ceramint.2021.12.313.
- [10] Sangamaeswaran, R., Muhilan, S., Navin, J., Austin Manuelraj, P. y Palaniappan, M. (2023, mayo). Mechanical and wear properties of friction stir processing AA 6082-T6/B4C aluminium matrix composites. *Mater. Today Proc.* doi: 10.1016/j.matpr.2023.05.112.
- [11] Ramesh, M., Kumar, D. y Kumar, A. (2023, febrero). Investigation of the effect of age hardening on the mechanical properties of aluminium metal matrix composites reinforced with graphite particulate. *Mater. Today Proc.* doi: 10.1016/j.matpr.2023.02.163.
- [12] Zeng, F., Meng, Z. y Guo, W. (2022, enero). Thermal properties of graphite flakes/aluminum composites: Anisotropy and isotropy. *Mater. Lett.*, vol. 306, p. 130807. doi: 10.1016/j.matlet.2021.130807.
- [13] Graphite Molds and Continuous Casting - Graphite Products. <https://www.semccarbon.com/blog/graphite-molds-and-continuous-casting> (accedido el 22 de mayo de 2022).
- [14] Permanent mold casting. *Custom metal castings*. <https://www.deecometals.com/custom-metal-castings/permanent-mold-castings> (accedido el 22 de mayo de 2022).
- [15] Corona | Materiales para la Remodelaci&oaacute;n de tu hogar», *corona-co*. <https://corona.co/> (accedido el 22 de junio de 2023).
- [16] Latief, F.H. y Sherif, E.-S. M. (2012, noviembre). Effects of sintering temperature and graphite addition on the mechanical properties of aluminum. *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 18, n.º 6, pp. 2129-2134. doi: 10.1016/j.jiec.2012.06.007.
- [17] Chen, J.K. y Huang, I.S. (2013, enero). Thermal properties of aluminum-graphite composites by powder metallurgy. *Compos. Part B Eng.*, vol. 44, n.º 1, pp. 698-703. doi: 10.1016/j.compositesb.2012.01.083.
- [18] Cárdenas, L. y Esguerra, A. (2021). Propuesta de reutilización y reciclaje de residuo sólido industrial de grafito. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Accedido: 22 de mayo de 2022 [en línea]. Disponible en: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1644>.
- [19] Liu, Y.B., Lim, S.C., Ray, S. y Rohatgi, P.K. (1992, diciembre). Friction and wear of aluminium-graphite composites: the smearing process of graphite during sliding. *Wear*, vol. 159, n.º 2, pp. 201-205. doi: 10.1016/0043-1648(92)90303-P.
- [20] Baradeswaran, A. y Elaya Perumal, A. (2015, enero). Effect of Graphite on Tribological and Mechanical Properties of AA7075 Composites. *Tribol. Trans.*, vol. 58, n.º 1, pp. 1-6. doi: 10.1080/10402004.2014.947663.
- [21] Rojas-Díaz, L.M., Verano-Jiménez, L.E., Muñoz-García, E., Esguerra-Arce, J. y Esguerra-Arce, A. (2020, enero). Production and characterization of aluminum powder derived from mechanical saw chips and its processing through powder metallurgy. *Powder Technol.*, vol. 360, pp. 301-311. doi: 10.1016/j.powtec.2019.10.028.
- [22] Li, K., Liu, Q., Cheng, H., Hu, M. y Zhang, S. (2021, marzo). Classification and carbon structural transformation from anthracite to natural coaly graphite by XRD, Raman spectroscopy, and HRTEM. *Spectrochim. Acta. A. Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 249, p. 119286. doi: 10.1016/j.saa.2020.119286.
- [23] Yi, L.-F., Noguchi, K., Liu, L., Otsu, A., Onda, T. y Chen, Z.-C. (2023, febrero). Deformation behavior of graphite and its effect

- on microstructure and thermal properties of aluminum/graphite composites. *J. Alloys Compd.*, vol. 933, p. 167752. doi: 10.1016/j.jallcom.2022.167752.
- [24] Ramesh, M., Kumar, D. y Kumar, A. (2023, marzo). Experimental study on the effect of age hardening and graphite particulate on the microstructure of aluminium metal matrix composites. *Mater. Today Proc.* doi: 10.1016/j.matpr.2023.02.383.
- [25] Latief, F. H., Sherif, E.-S. M., Almajid, A. A. y Junaedi, H. (2011, noviembre). Fabrication of exfoliated graphite nanoplatelets-reinforced aluminum composites and evaluating their mechanical properties and corrosion behavior. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 92, n.º 2, pp. 485-492. doi: 10.1016/j.jaap.2011.09.003.
- [26] Criado, M., Fajardo, S., Valdez Salas, B. y Bastidas, J. (2013). Aspectos cinéticos de la corrosión y fenómenos de pasividad, pp. 11-32. doi: 10.3926/oms.141.
- [27] Suárez Herrera, M. F. (2011). *Electroquímica física e interfacial: una aproximación teórica*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Accedido: 21 de mayo de 2022 [en línea]. Disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/81234>.
- [28] Sherif, E.-S., Almajid, A., Hamdan Latief, F. y Junaedi, H. (2011, abril). Effects of Graphite on the Corrosion Behavior of Aluminum-Graphite Composite in Sodium Chloride Solutions. *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 6, pp. 1085-1099.
- [29] Basavaraj, S. A, Y. y Subramanya, R. (2022, mayo). Synthesis of Fe₃O₄-aluminium matrix composites: mechanical and corrosion characteristics. *Int. J. Cast Met. Res.*, vol. 35, n.º 1-3, pp. 51-59. doi: 10.1080/13640461.2022.2078551.
- [30] Fayomi, J., Popoola, A. P. I., Popoola, O. M. y Fayomi, O. S. I. (2019, diciembre). Silicon Nitride-based Ceramic Material as a Reinforcement with Corrosion Resistance Properties in High Grade Aluminium (AA8011) Metal Matrix Composites. *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1378, n.º 4, p. 042054. doi: 10.1088/1742-6596/1378/4/042054.

Estrategias para negocios circulares. Lecciones aprendidas de casos exitosos

Strategies for circular businesses: Lessons learned from successful cases

ESTEFANI ROJAS ALFONSO¹ - LUZ ANGÉLICA RODRÍGUEZ BELLO²

1. Estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

2. Profesora de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

xxxxxxxxx@mail.escuelaing.edu.co - angelica.rodriguez@escuelaing.edu.co

Recibido: 29/09/2022 Aceptado: 01/11/2022

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

Este artículo se hizo con el objeto de mostrar la aplicación y los múltiples beneficios que presentan las estrategias de economía circular (EC) que se aplican en los modelos de negocios circulares en el mundo. La EC es una alternativa del ciclo lineal típico, de fabricar, usar y desechar, a favor de un ciclo circular aplicado a todas las etapas del ciclo de vida, como materiales, diseño, fabricación, uso y fin de vida, con el objetivo de alcanzar el mayor uso de los recursos, dado que mientras más tiempo se utilicen los productos, componentes y materiales, más valor se extrae de ellos.

Existen muchas estrategias para la aplicación de la EC en las empresas, y en este artículo se mencionan desde cuatro perspectivas diferentes. Para reconocer la aplicación que tienen dichas estrategias se analizaron 32 casos de éxito de modelos de negocios circulares y se determinaron aquellas que son las más implementadas y, por lo tanto, las más exitosas. Se destacan estrategias basadas en la funcionalidad del valor, lo cual implica responder a las necesidades del cliente con un diseño circular, generando innovación desde el inicio de la cadena de valor, es decir, desde la etapa de materiales y diseño; innovación en tecnología, lo cual implica incorporación de tecnología en las actividades específicas de la cadena de valor, buscando una diferenciación en el mercado, apalancado en un mayor trabajo colaborativo entre todos los involucrados, mediante la eliminación de materiales peligrosos y contaminantes, y la selección de procesos eficientes en uso de energía y agua. Todas las estrategias acercan a la circularidad, pero su aplicación combinada produce mayores resultados.

Palabras claves: negocios circulares, economía circular, estrategias, innovación.

Abstract

To show the application and the multiple benefits of the different Circular Economy - CE strategies that are applied in circular business models in the world, this research article is conducted. CE is an alternative to the typical linear cycle, of manufacturing, using and discarding, in favor of a circular cycle applied to all stages of the life cycle such as: materials, design, manufacturing, use and end of life, with the objective to achieve the highest use of resources, given that the longer products, components and materials are used, the more value is extracted from them. There are many strategies for the application of CE in companies and in this article, they are mentioned from four different perspectives. To recognize the application that has these strategies, 32 different success stories in circular business models were analyzed and those that are the most implemented and therefore the most successful were determined. Strategies based on value functionality were highlighted, which implies responding to customer needs with a circular design, generating innovation from the beginning of the value chain, that is, from the materials and design stage. Innovation in technology, which implies the incorporation of technology in the specific activities of the value chain, seeking a differentiation in the market, leveraged by greater collaborative work among all those involved. Eliminating hazardous and polluting materials, selecting efficient processes in the use of energy and water. Where all the strategies approach circularity, but the combined application of the same generates greater results.

Keywords: circular business, circular economy, strategies, innovation.

INTRODUCCIÓN

La economía circular (EC) se ha implementado en varios países. China adoptó un modelo circular en 1990, y en 2008 promulgó una ley de EC que se apoya en cuatro componentes: producción circular, sistemas circulares, industria de reciclaje y consumo verde (Barros et al., 2021). Así mismo, la Unión Europea creó en 2014 un programa de cero residuos y en 2015 lo convirtió en un plan de acción con 54 medidas, que renovó en 2022 con el propósito de garantizar una economía competitiva, climáticamente neutra, y un consumidor empoderado (Comisión Europea, 2020). Para Colombia, desde 2019 es una estrategia nacional orientada a generar un nuevo modelo de desarrollo económico (MADS, 2019), por lo que muchas empresas quieren conocer estrategias para su implementación y, sobre todo, para volverlas parte de su modelo de negocio, reconociendo que un modelo de negocio es una representación de la lógica del corazón del negocio y de las opciones estratégicas para crear y captar valor en una red de valor (Scott et al., 2005). Y ante las múltiples tendencias o clasificaciones de estrategias de negocios y EC a los que se ven enfrentados quieren conocer cuáles son las más exitosas para empezar a explorar sobre estas, con el objeto de alcanzar resultados más acertados.

ESTRATEGIAS DE ECONOMÍA CIRCULAR

Las raíces del concepto de flujos circulares de materiales se remontan a varias décadas atrás, cuando Boulding lo propuso en su libro *The economics of the coming spaceship Earth*. Él afirmaba que los sistemas circulares de la economía mundial son inevitables para garantizar la vida humana en la Tierra a largo plazo (Boulding, 1966). Basándose en las ideas de Boulding, otros pioneros como Pearce y Turner estuvieron de acuerdo en que la economía lineal tradicional sin elementos de reciclaje no puede ser sostenible y, en consecuencia, debe ser sustituida por un sistema circular (Pearce & Turner, 1989). Para su razonamiento, se refirieron a la segunda ley de la termodinámica (Georgescu-Roegen, 1986), que establece que la entropía de un sistema aislado aumentará con el tiempo y, por tanto, desvalorizará la energía o el material de orden superior.

Por otro lado, la política de gestión de residuos europea, cuyas raíces se remontan a Alemania en 1972, estableció una ley de eliminación de residuos (Geisen-

dorf & Pietrulla, 2018) que impulsó el desarrollo de la responsabilidad extendida del productor, por lo que se considera que dicha política fue el inicio de la EC (Campbell-Johnston et al., 2021).

La EC se refiere a una “economía de bucle cerrado” que “no genera residuos excesivos y por la que cualquier residuo se convierte en un recurso” (Wysokinska, 2016; Geisendorf & Pietrulla, 2018). En una economía circular el valor de los productos y materiales se mantiene estable durante el mayor tiempo posible, los residuos y el uso de recursos son minimizados, y los recursos se mantienen dentro de la economía cuando un producto ha llegado al final de su vida, para ser utilizados una y otra vez con el fin de crear más valor (European Union, 2020; Geisendorf & Pietrulla, 2018).

En la economía actual, tomamos materiales de la Tierra, fabricamos productos a partir de ellos y finalmente los tiramos como residuos: el proceso es lineal. En una EC, en cambio, dejamos de producir residuos en primer lugar (Ellen MacArthur Foundation, 2022). La EC se basa en tres principios, impulsados por el diseño: eliminar los residuos y la contaminación, hacer circular los productos y materiales (a su máximo valor) y, finalmente, regenerar la naturaleza. Todo esto con base en una transición hacia la energía y los materiales renovables. Una EC desvincula la actividad económica del consumo de recursos finitos. Es un sistema resistente, bueno para las empresas, las personas y el medio ambiente.

Existen varias estrategias para implementar negocios circulares, las cuales buscan integrar las actividades que debería realizar la organización y la asignación de recursos, con el fin de lograr la circularidad y las metas asociadas a estas. Para encontrar las estrategias exitosas se analizarán las expuestas por cuatro entidades:

- Agencia Europea de Medio Ambiente (European Environment Agency), European Environment Information and Observation Network (Eionet) (Eionet 2021).
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (WBCSD, 2017).
- National Zero Council Vancouver (NZWC) (NZWC, 2021).
- Ecocanvas (Ecolobing, 2015).

Eionet determina estrategias en las etapas del ciclo de vida del producto, las cuales se explican brevemente a continuación.

Tabla 1
Estrategias de los materiales en el ciclo de vida

Fase ciclo de vida	Estrategias	Definición
MATERIALES	Nuevas cadenas de valor	Herramienta de análisis en la cual una organización se descompone en actividades, buscando identificar fuentes de ventaja competitiva en aquellas que generan valor a los clientes.
	Innovación en cadenas de suministro	Función estratégica y logística que involucra todas las operaciones que son indispensables para que una mercancía logre llegar al cliente final en óptimas condiciones.
	Mayor sustitución de materiales	Cambio o reemplazo de materiales o insumos necesarios, por otros con las mismas características y propiedades, pero con un menor nivel de impacto y contaminación sobre el medio ambiente.
	Asociación clave: empresas de recogida y tratamiento de residuos	Minimización en origen, reducir la cantidad de residuos generados para aprovechar la materia prima de forma más eficiente y se contratan empresas especializadas en el tratamiento de sus residuos.
	Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor	Basar los precios en lo que los clientes están dispuestos a pagar. Decisión tomada por el interés de los consumidores y otros datos.
	Tecnologías para procesar materiales secundarios	Tecnologías de recuperación de materiales al final de vida que implica reprocesamientos.
	Incentivos para reducir el costo de materiales y desechos	Beneficios para las empresas que se traducen en un ahorro de dinero por llevar a cabo prácticas que protegen el medio ambiente.
	Tecnologías para mejorar la eficiencia o reintegrar los residuos.	Tecnologías limpias de cualquier producto, servicio o proceso que genere valor y a la vez elimine o reduzca el uso de recursos naturales.

Fuente: Adaptada de Eionet, 2021.

1. Materiales

En esta fase se proporcionan las materias primas básicas para la industria. Puede provenir de fuentes vírgenes (minería/agricultura) o de fuentes secundarias (reciclaje, recuperación de materiales biológicos). Existen dos caminos para lograr aumentar la circularidad en esta fase: el primero es disminuir el uso de recursos de apoyo y reducir la producción de residuos, y el segundo es integrar el reciclaje de materiales de desecho, determinando la calidad con los nuevos materiales resultantes. Se determinaron ocho estrategias con su respectiva definición para comprender el concepto y la importancia de estos en esta fase (tabla 1).

2. Diseño del producto

Decisiones como qué materiales, cuánto o cómo se combinan, afectan la vida útil de este, debido a que son factores determinantes para la capacidad de mantener los materiales y productos en la economía durante el mayor tiempo posible. Esta es la fase más crítica para las empresas al querer implementar el ciclo de vida circular, porque necesitan innovación y una acción habilitadora

para respaldar sus ideas en sus procesos, así como garantizar el logro de los objetivos asociados a reducir, utilizar, remanufacturar o reciclar materiales. El objetivo principal es lograr crear y determinar la identidad del producto, para así llegar a todo el mercado y destacarse frente a la competencia. Para esta fase, se determinaron cinco estrategias (tabla 2).

3. Producción y distribución

El objetivo de esta fase es perseguir la reducción del uso de recursos. Factores como transporte, almacenamiento y venta minorista generan problemas medioambientales, como las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación del agua, por lo que a través de un diseño técnico y algunos avances tecnológicos se puede lograr una reducción en el uso de los procesos de producción y distribución. Hay que poner especial atención en el sistema de embalaje para la distribución de mercancías y la innovación incremental. Para esta fase se determinaron seis estrategias (tabla 3).

Tabla 2
Estrategias del diseño del producto en el ciclo de vida

Fase ciclo de vida	Estrategias	Definición
DISEÑO DEL PRODUCTO	Tecnologías de fabricación digital	Uso de un sistema integrado y asistido por computador, compuesto por herramientas de simulación y visualización en 3D.
	Conexiones de materiales reversibles	Materiales reversibles que pueden variar su estado de deformación y tensión por la acción de ciertas fuerzas y volver a su estado inicial.
	Adoptar modelos de negocios que capten el valor creado por el diseño circular	Negocios que permitan crear valor en cualquiera de las etapas del ciclo de producto y concebirse desde el diseño de este.
	Redefinir el papel de los productos en la sociedad	Redefinir como el producto satisface las necesidades o deseos del cliente, para así adquirir productos de buena calidad y a buen precio en general.
	Conectar productores con usuarios	Mantener relaciones con los sectores de interés que forman parte tanto del ambiente interno como del externo, a través de una adecuada estrategia de comunicación bidireccional para tener una clara definición de identidad.

Fuente: Adaptada de Eionet, 2021.

Tabla 3
Estrategias de producción y distribución en el ciclo de vida

Fase ciclo de vida	Estrategias	Definición
PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN	Modelos de producto-servicio	Estrategia de innovación, que cambia el enfoque del negocio, del diseño y la venta física de productos, hacia la venta de un sistema de productos y servicios capaces de cumplir con los requerimientos del cliente con un alto valor agregado.
	Embalaje como modelo de servicio	Proceso de acondicionar los productos para protegerlos o agruparlos de manera temporal, pensando en su manipulación, transporte y almacenamiento.
	Acuerdos de devolución	Aplica para la devolución del producto o envase. Involucra generalmente un sistema de depósito, devolución y retorno.
	Tecnologías de fabricación aditiva	Método de manufactura para producir artículos al momento con un modelo digital y sin necesidad de moldes físicos.
	Tecnologías limpias	Tecnología que, en su funcionamiento, no genera o reduce el impacto negativo continuo sobre el ambiente.
	Modularidad	Estrategia de innovación que promueve la competitividad, la productividad y el desarrollo de una mayor variedad y diversidad de productos.

Fuente: Adaptada de Eionet, 2021.

4. Uso

Es la fase durante la cual se consume o utiliza un producto. Esto implica el primer uso o reutilización de los productos, al igual que todas las acciones necesarias para mantener los productos en uso, como mantenimiento, reparación, reventa para reutilización, etc. Se determinan el tiempo de mantenimiento y las reparaciones que podría necesitar el producto, se generan estrategias de reutilización con los envases y otras partes de sus productos para ahorrarse costos de creación e invertir en limpieza y desinfección de los ya existentes. El comportamiento y la comunicación con los usuarios

cumplen un papel esencial a la hora de determinar cómo se gestionan los productos durante la fase al final de esta. No obstante, la existencia de tiendas de segunda mano aporta una nueva idea en esta fase, especialmente de ropa y muebles; así se demuestran la reutilización y la disposición que pueden escoger los usuarios. Sin embargo, la reutilización o reparación de productos está lejos de ser una corriente de gran importancia, puesto que falta conciencia ambiental y cultural para generar una fuerza impulsora que forje ese cambio de actuación en las personas (Eionet, 2021). Para esta fase, se determinaron seis estrategias (tabla 4).

Tabla 4
Estrategias de uso en el ciclo de vida

Fase Ciclo de Vida	Estrategias	Definición
USO	Diagnóstico para reparación	Análisis de funcionamiento de un equipo para determinar si es posible su reparación y así evitar la compra de uno nuevo.
	Utilizar tecnología de seguimiento y monitorización	<i>Software online</i> que permite conocer, en todo momento, el estatus de una mercancía que se está transportando, el cual puede monitorear la fecha y hora de salida, de llegada, la ubicación en tiempo real durante el trayecto, las dificultades que pueda tener el transportista, entre otras variables asociadas a los distintos tipos de trazabilidad.
	Modelos de plataforma para compartir productos	Modelo de negocio apoyado en plataformas digitales que aprovecha además las redes sociales. Se conoce también como economía compartida.
	Reintegrar la reutilización y la reparación en la vida social	Reutilizar lo que aparentemente es basura, convertirlo en algo con un nuevo uso. El grado de reutilización de las cosas depende de su forma, tamaño, material y, en algunos casos, del costo. En cambio, reparar es hacer los cambios necesarios a una cosa que está estropeada, rota o en mal estado para que deje de estarlo.
	Nuevos modelos organizativos en la cadena de valor	Forma en la que se distribuyen los departamentos, actividades, grupos y profesionales en una empresa, para así generar estrategias y crear valor adicional a la compañía.
	Acceso a los productos como práctica social	Reconocer que la persona que hace la práctica social es un ser socializado, o sea, que cuando interactuamos con alguien, ese alguien es de por sí, y por herencia social, un sujeto con un complejo entramado sociohistórico, el cual influye en una práctica social.

Fuente: Adaptada de Eionet, 2021.

5. Fin de vida

En esta fase, el producto ya no se utiliza como tal, sino que se desmantela en componentes para su remanufactura, se envía a reciclaje o valorización energética, o se elimina por incineración o en vertedero. Uno de los objetivos principales de esa fase es lograr reciclar los componentes para reutilizarlos o manufacturarlos y crear así un nuevo valor con estos. Aunque en la actualidad las tecnologías de clasificación y separación de

desechos han evolucionado, evitar la mezcla de fracciones de desechos es más eficaz que separarlas después de su recolección, pese a que su transporte es mayor. Para los usuarios, se necesita crear incentivos adecuados que permitan garantizar la recuperación eficiente de los productos, para que su reutilización pueda ser correcta. El cambio de comportamiento se debe desencadenar mediante la información y el fácil acceso a esta, buscando el beneficio de todos los involucrados.

Tabla 5
Estrategias del fin de uso en el ciclo de vida

Fase ciclo de vida	Estrategias	Definición
FIN DE USO	Maquinaria de producción a pequeña escala	Mecanización de producción en empresas pequeñas y medianas o familiares. Esto permite mayor productividad, además de que evita el exceso de manipulación y transporte en zonas rurales.
	Aumentar la calidad de la separación de la fuente	Seleccionar y almacenar los residuos en su lugar de origen, para facilitar su posterior manejo y aprovechamiento.
	Incentivos para que los clientes devuelvan los productos	Estrategia de devolución de productos al final de su ciclo de vida, para garantizar su devolución por canales formales.
	Tecnologías de clasificación y separación	Uso de tecnologías que funcionan en estaciones especializadas y garantizan mayor eficiencia y pureza de los materiales.
	Manipulación adecuada del transporte de mercancías para su reutilización	Parte de la gestión de la cadena de suministro o de logística inversa que se encarga de planificar, implementar y controlar el flujo y almacenamiento eficiente de las mercancías.

Fuente: Adaptada de Eionet, 2021.

Para la investigación de esta fase, se determinaron cinco estrategias con su respectiva definición para comprender el concepto y la importancia de estos en esta fase (tabla 5).

El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, por su sigla en inglés) define estrategias asociadas al crecimiento, competitividad y riesgo. Específicamente, define ocho estrategias en total, así:

1. Acelerar el crecimiento

- **Gener8:** Crear ingresos adicionales a partir de los productos y servicios existentes. Las empresas pueden GENERAR ingresos a partir de los productos existentes, adoptando una perspectiva de EC en sus productos, servicios y operaciones. Específicamente, las empresas pueden mostrar resultados mediante la remanufactura, el reacondicionamiento y la conversión de productos en servicios.
- **Innov8:** Estimular la innovación de nuevos productos y servicios. Las empresas pueden INNOVAR en productos y servicios, estableciendo flujos de ingresos complementarios o adoptando nuevos modelos de negocio. Para esto, hay que impulsar el crecimiento mediante empresas conjuntas, revaluando el diseño o la función de los productos y las tecnologías disruptivas.
- **Moder8:** Reducir los costos de funcionamiento. Las empresas pueden MODERAR los recursos que utilizan para ahorrar dinero y generar beneficios económicos. La reutilización de recursos, la remanufactura, el reciclaje, el intercambio de subproductos, la compra circular y la venta de servicios en lugar de productos son algunas de las estrategias que han adoptado las empresas.

2. Mejorar la competitividad

- **Captiv8:** Mejorar las relaciones con los clientes y los empleados. Las empresas pueden CAPACITAR a los clientes y a los empleados trabajando por una EC. Las empresas pueden descubrir que la mejora de la fidelidad de los clientes y la contratación de mejores talentos son el resultado de los modelos y objetivos empresariales circulares, lo que aumenta su ventaja competitiva.
- **Differenti8:** Distinguirse de la competencia. Las empresas están utilizando enfoques circulares para

DIFERENCIARSE de su competencia, basándose en el precio, la calidad, la durabilidad o la conveniencia. Estas estrategias les permiten mejorar su ventaja competitiva captando más cuota de mercado, expandiéndose a nuevos mercados, asegurando nichos de mercado o siendo las primeras en actuar.

- **Integr8:** Alinear la estrategia corporativa con la misión. La aplicación de la EC puede INTEGRAR la estrategia de una empresa con su misión. En este escenario, la empresa puede descubrir que su ética le proporciona una ventaja sobre su competencia.

3. Mitigar el riesgo

- **Acclim8:** Adaptar los modelos de negocio y las relaciones de la cadena de valor. Las empresas pueden utilizar una perspectiva para ADAPTAR sus modelos de negocio y las relaciones de la cadena de valor, abordando los cambios económicos. Los consumidores, los precios de las materias primas y la tecnología están en constante cambio, lo que exige que las empresas evalúen constantemente sus relaciones con la cadena de valor y la competencia. Las empresas pueden adaptarse mediante la integración vertical, la expansión a nuevos segmentos del mercado de consumo o las asociaciones estratégicas. Adicionalmente, pueden gestionar el riesgo lineal incorporando flexibilidad y diversidad en su planificación estratégica.
- **Insul8:** Mitigar la exposición al riesgo lineal. Las empresas pueden PROTEGERSE contra los riesgos lineales comprando suministros circulares, recuperando recursos al final de su vida útil o asociándose con el sector público. A medida que cuestiones como la escasez de recursos, la contaminación y la volatilidad de los precios de las materias primas se vuelven cada vez más importantes para las empresas, el liderazgo tiene la oportunidad de abordar estos desafíos a través de la EC.

Así mismo, la National Zero Waste Council (NZWC), por medio de la *Circular Economy Business Toolkit*, ha definido tres estrategias, las cuales son:

1. **Estrategia de negocios:** Desarrollar una estrategia comercial circular, examinando los riesgos asociados a permanecer en una economía lineal y las oportuni-

dades de la cadena de valor, creación de valor para el cliente, innovación tecnológica e industrial y el beneficio empresarial.

2. **Innovación del diseño:** Pasos para incluir conceptos circulares en el proceso de innovación. Esto implica diferentes criterios de diseño de acuerdo con el uso previo, durante el uso y el posuso: durabilidad, apego y confianza del cliente, estandarización y compatibilidad, facilidad de mantenimiento y reparación, adaptabilidad y capacidad de actualización, desmontaje y montaje, reutilización, remanufactura, recomercialización y reciclabilidad.
3. **Participación de partes interesadas:** Cómo participan las principales partes interesadas en la iniciativa circular. En esta parte se contempla la jerarquía típica del compromiso de las partes interesadas, la cual implica lo siguiente:
 - Informar: Compromiso unidireccional para informar o educar a las partes interesadas.
 - Consultar: Compromiso bidireccional modesto para obtener información, opiniones y comentarios.
 - Involucrar: Compromiso bidireccional o multidireccional donde trabaja directamente con las partes interesadas para asegurarse de que sus preocupaciones informan la toma de decisiones y acciones.
 - Colaborar: Compromiso bidireccional o múltiple para el aprendizaje y la acción conjunta.

Las estrategias planteadas por Ecocanvas son cinco, las cuales se mencionan a continuación:

1. **Diseña (D).** Entre sus estrategias están las siguientes: “De la cuna a la cuna: pensar en metabolismos”, “Biomimética: inspirado en la naturaleza”, “Química verde/productos químicos más seguros”, “Sustituir metales de tierras raras”, “Sustituir materias primas críticas”.
2. **Produce (P).** Entre sus estrategias sobresalen “Análisis en tiempo real para la prevención de la contaminación”, “Manufactura aditiva”, “Kanban (*just-in-time*), sin almacén”, “Prefabricación. Reacondicionado y remanufactura”.
3. **Venta (V).** Entre sus estrategias están “Minimización de envases”, “Servicios de marca compartida”, “Digitalización y virtualización”, “Arrendamiento y servitización”, “Plataformas colaborativas”.

4. **Uso (U).** Entre sus estrategias se destacan “Fácil de mantener y reparar”, “Informar sobre cómo disponer”, “Fácil de usar/inclusivo”, “No obsolescencia programada”, “Sensorización/recopilación de datos”.
5. **Revalorización (R).** Entre sus estrategias sobresalen “Seguro para ser biodegradado”, “Valor en cascada o reciclaje”, “*Marketplace* de material secundario”, “Extracción selectiva”, “Compostaje”.

METODOLOGÍA

Se hace una revisión sistemática de bibliografía con la ecuación de búsqueda: estrategias de negocios circulares, buscando que las fuentes sean de varios continentes. De igual manera, se buscaron casos de estudio representativos en la implementación de prácticas asociadas a la EC, y se hallaron 32. Después se realizó el reconocimiento de las estrategias aplicadas en los 32 casos de estudio, con el fin de precisar las estrategias más comunes de acuerdo con cada perspectiva de estrategias. Posteriormente, se determinó la afinidad entre dos pares de perspectivas para establecer su equivalencia y congruencia, específicamente NZWC, junto con las estrategias Eionet por etapa del ciclo de vida y las estrategias WBCSD, al lado de las estrategias Ecocanvas, para determinar las estrategias más usadas después de hacer un análisis cruzado.

CASOS DE ESTUDIO

Varias empresas se han convertido en casos de éxito al implementar diversas estrategias para lograr acercamiento a la EC o convertirse en verdaderos ejemplos de circularidad. Se nombran de manera resumida los propósitos logrados en los 32 casos de empresas a escala mundial, en los cuales se relaciona la referencia para ampliar la información.

1. La empresa **Canon** ofrece a sus clientes productos remanufacturados y reacondicionados, así como dispositivos multifunción; además, la compañía tiene un programa de recogida de sus equipos usados, para su posterior remanufactura y venta de productos de alta calidad y con certificación de garantía como si fueren nuevos, aparte de ofrecer un precio competitivo. Al realizar este proceso se disminuye al menos el 80 %

- de los materiales usados, lo que permite la reducción de gases de efecto invernadero producidos al crear los productos (WBCSD, 2017).
2. La empresa **Tata Motors Limited** emplea estrategias pioneras de soporte de productos posventa para sus clientes por medio de la reutilización de componentes, asegurando un rendimiento similar al de un equipo original del vehículo, después del primer ciclo de vida. Dicho reacondicionamiento lo hace en las plantas de Lucknow y Coimbatore. El objetivo final de la empresa es minimizar el costo del ciclo de vida del producto, para así ofrecer sus productos con buena calidad y a precios reducidos (WBCSD, 2017).
 3. La empresa internacional **Suez** dedica sus actividades a la gestión de residuos sólidos y agua. Su estrategia se basa en dos pilares: las actividades a través de soluciones innovadoras orientadas a la EC para abrir nuevos mercados y segmentos de nuevos clientes en el resto del mundo. La empresa pretende duplicar el volumen de plásticos reciclados y aumentar la producción de energías renovables. Además, se ha asociado con dos empresas con el fin de captar líneas de negocio complementarias: innovadoras soluciones de reciclaje con TerraCycle y nueva instalación de reciclaje de polímeros con Chemelot Ventures (WBCSD, 2017).
 4. La plataforma de viajes **Lyft** implementó economía colaborativa al convertir productos en servicios para los activos infrautilizados. En 2014, lanzó un servicio adicional llamado Lyft Line, que utiliza un modelo de viaje compartido bajo demanda en tiempo real para maximizar cada asiento del coche, creando así más valor para los clientes, además de ofrecer descuentos en tarifas de hasta 60 % si estos están en la disposición de compartir su paseo (WBCSD, 2017).
 5. La empresa **Renault** ha implementado estrategias circulares en todas las etapas del ciclo de vida del vehículo, incluida la desmaterialización mediante el diseño, la recogida y el desmontaje final de su vida útil, la reutilización de vehículos, remanufactura y reciclaje. En 2008, se asoció con Suez con el objetivo de recuperar el 95 % de todos los vehículos al final de su vida útil en Francia. La empresa también apoyó el desarrollo de Indra para abastecer su planta y fundiciones, así como piezas de segunda mano y servicios *premium* para reparaciones en concesionarios.
 6. La empresa **Philips** está transformando su modelo de negocio, buscando gestionar directamente la actualización de equipos mediante el reacondicionamiento de sistemas, reutilización de repuestos y materiales reciclados. Esto le permite reducir los costos totales de ciclo de vida de sus equipos y extender su vida útil. Con este nuevo modelo, la empresa ha logrado aumentar su porcentaje de reúso de material entre 50-90 %, a través de su restauración y reutilización. En el 2016, los ingresos totales circulares fueron del 9 % y en 2020 esperaban el 15 % (WBCSD, 2017).
 7. La empresa **Michelin Solutions** ofrece una línea de negocios llamada Fleet Tire Solutions, la cual permite que los clientes paguen una tarifa mensual por los kilómetros recorridos, en lugar de comprar llantas. Actualmente, más de 320.000 vehículos cuentan con este contrato. Este modelo convierte a los clientes en socios a largo plazo, mejorando así la eficiencia, productividad e impacto al medio ambiente, debido a que la solución maximiza el empleo de neumáticos y su vida útil (WBCSD, 2017).
 8. El grupo de envasado **Dow Chemical** observó que aproximadamente el 80 % de los nuevos empleados se vincularon a la empresa teniendo compromiso con la sostenibilidad, generando estrategias para alcanzar sus objetivos de sostenibilidad trazados a 2025, los cuales consisten en avanzar hacia la EC a través de soluciones de circuito cerrado. En un estudio llevado a cabo entre Yale Center for Business y WBCSD se encontró que el 84 % de los estudiantes prefiere hacer sus prácticas para una empresa con un manejo del medio ambiente óptimo y 44 % está dispuesto a aceptar un salario más bajo para hacerlo. Eso influye en que los empleados puedan contribuir a la sostenibilidad y crear cambios positivos, asegurando mejores talentos (WBCSD, 2017).
 9. La empresa **TerraCycle** es reconocida como aquella compañía que puede reciclar cualquier cosa, incluidos el chicle y las colillas de cigarrillo. Su estrategia ha sido trabajar con varios municipios y empresas en programas de reciclaje, desviando así más de 75 millones de toneladas de residuos de cigarrillos del vertedero. Una vez recogidos, estos se usan en la

fabricación de productos industriales, como paletas de plástico, y la ceniza sirve para realizar compostaje. Su modelo de negocio es innovador, pero también impulsa a resolver problemas a través de la EC (WBCSD, 2017).

10. La empresa **DSM**, en colaboración con Niaga, rediseñó la fabricación de alfombras, teniendo en cuenta las características del fin de su vida útil; para esto eligió materiales limpios y puros, utilizó tecnologías que permitieron obtener una alfombra 100 % reciclable sin compuestos orgánicos volátiles, sin PVC, betún ni látex. Este producto es diferenciable con respecto a los demás porque permite separar fácilmente la fibra de la alfombra, sin comprometer la calidad del producto original. En su fabricación no se utiliza agua y la reducción de la energía es del 85 % (WBCSD, 2017).
11. La empresa **Servicios de Mjunction Limitada** se ha convertido en el mercado electrónico de acero más grande, pero también ofrece servicios de financiamiento y consultoría. Su misión es crear cadenas de suministro sostenibles con más eficiencia y transparencia para las partes interesadas. Además, vende productos peligrosos, como baterías, desechos electrónicos, carbón y productos químicos. La empresa ayuda a muchas industrias a encontrar compradores adecuados para estos materiales peligrosos, contribuyendo así a la protección del ambiente (WBCSD, 2017).
12. La empresa **Veolia** ofrece servicios de consultoría en gestión del agua, residuos y energía. En su plan estratégico se centra en el crecimiento continuo y en mejorar su eficiencia operacional, con el objetivo principal de recuperar el 70 % de todos los residuos tratados para sus clientes en todo el mundo, mientras que en su proceso de fabricación esperan reutilizar el agua y sustituir la producción de combustible. Con respecto a la EC, Veolia se compromete con la gestión sostenible de los recursos, generando al menos 3800 millones de euros (WBCSD, 2018).
13. La empresa **Novelis**, líder mundial en productos de aluminio laminado, colabora con sus clientes al proporcionar productos reciclables para el transporte, embalaje, arquitectura y otros sectores. En 2014, la empresa creó en Alemania el centro de reciclaje de aluminio más grande y avanzado del mundo, con una capacidad para reciclar hasta 400.000 toneladas métricas de chatarra anualmente, ahorrando 3,7 millones de toneladas de emisiones de CO₂. De acuerdo con la alta intensidad energética en la producción, la empresa diseñó una estrategia que consiste en dejar de depender de la materia prima para lograr aumentar su productividad y disminuir el consumo de energía (WBCSD, 2017).
14. La empresa brasileña **Copersucar S.A.** está dedicada a la comercialización y exportación de azúcar y etanol. Posee un sistema de molinos cuya función es reutilizar al 100 % sus subproductos y generar electricidad suficiente para la temporada de cosecha. Igualmente, con el fin de reducir las emisiones de efecto invernadero con respecto a los combustibles fósiles y aprovechar económicamente sus subproductos, creó Eco-Energy Global Biofuels LL, convirtiéndose así en la plataforma más grande de biocombustibles (WBCSD, 2017).
15. La empresa de energía **Enel** desmanteló 23 de sus antiguas centrales térmicas por intermedio de la empresa Futur-E, la cual estudia licitaciones públicas y concursos de ideas que logren dar soluciones sostenibles de reurbanización para las viejas plantas, con el propósito de desviar las cenizas generadas del relleno sanitario, las cuales son enviadas a fabricantes de materiales de construcción (WBCSD, 2017).
16. La empresa **Stora Enso** es uno de los más grandes consumidores de papel reciclado en Europa, que constituye el 26 % de todas las fibras utilizadas en sus molinos. El papel reciclado mejora la eficiencia del material y contribuye a la sostenibilidad corporativa. Su abastecimiento requiere recogida, clasificación y destintados rentables. Además, hace uso del 97 % de los residuos generados y desechos; por ejemplo, los residuos de producción se han destinado a la agricultura (WBCSD, 2017).
17. La empresa **Ecoalf** colabora en el proyecto “Up-cycling the Oceans”, cuyo objetivo principal es fabricar la primera generación de productos de moda realizados con materiales reciclados de la misma calidad, diseño y propiedades técnicas que los mejores productos no reciclados, logrando así comprobar que existen varias opciones para crear productos y dejar de abusar de los recursos del planeta. En el año 2016 recuperaron más de 180 toneladas de residuos con la colaboración de más de 450 barcos en el Mediterráneo, luego estos pasan al proceso de

polimeración, creando un filamento continuo; posteriormente, este es utilizado para producir telas con propiedades y diseños de buena calidad. También Ecoembes fomenta la recuperación de materiales como el acero y aluminio, transformándolos en todo tipo de materias primas. Su éxito ha sido tan grande que ha tenido colaboradores como Swatch, Apple, Barneys NY (Ecocircular, 2019).

18. El **Parque Ecoindustrial de Kalundborg**, ubicado en Dinamarca, controla la complejidad de las actividades industriales de la región y ordena las empresas en una estructura similar a la de una cadena alimenticia, vista como una unidad compuesta por relaciones orgánicas. Su funcionamiento consta de dos eslabones: el primero es el de productores y el segundo es el de consumidores primarios. Así permiten que los subproductos de unas empresas sean materia prima de otras, por lo que se están optimizando los recursos y procesos constantemente, además de que los costos se han reducido y los beneficios ambientales y económicos son mayores (Ecocircular, 2019).
19. La empresa **Vigga** ha creado una innovadora solución respecto al gasto que hacen los padres en la ropa de los bebés, puesto que al ritmo que crecen, esta se les va quedando pequeña. Su propuesta es diseñar ropa orgánica que los padres puedan comprar, y en el momento en el que ya no les quede a sus hijos, deben llevar una bolsa con esta ropa y a cambio obtendrán otra bolsa de ropa de tallas más grandes; una vez entregadas las prendas a la empresa, se les hace una inspección de calidad y lavandería para poder enviarlas a otra nueva familia, hasta un total de cinco familias. Al realizar este proceso se está reduciendo el consumo de agua y de CO₂ en un 80 % (Ecocircular, 2019).
20. El **Centro para la Investigación Interactiva sobre Sostenibilidad**, de la Universidad de Columbia aplica innovadores conceptos de diseño regenerativo y ha hecho de un edificio un ecosistema en el que se autoalimentan todos los materiales entre sí. Dicho edificio está construido de madera de pino desechada y se alimenta con agua de lluvia tratada, que cubre al 100 % las necesidades del edificio. Posee una cubierta vegetal que proporciona sombra y alberga a diferentes especies de pájaros, insectos y otros animales, y dispone además de paneles fotovoltaicos en las fachadas que permiten cubrir parte de la demanda de energía del lugar. El edificio evita la emisión de 600 toneladas de CO₂, purifica 2300 litros de agua y se calcula que desde el 2013 ha recolectado 100.000 litros de aguas lluvias (Ecocircular, 2019).
21. La multinacional española **PharmaMar**, cuyo objetivo es la investigación contra el cáncer de ovario, se inspira en el mar para el descubrimiento de moléculas de actividad antitumoral. Investigar y emular los organismos del mar y sus procesos ofrece innumerables oportunidades para desarrollar fármacos. La empresa desarrolló el antitumoral Yondelis, obtenido de la especie marina de los urocordados. Este se aprobó en Europa para dos indicaciones de cáncer: sarcoma de tejidos blandos y cáncer de ovario. Se encuentra disponible ya en 80 países (Ecocircular, 2019).
22. La empresa **Saica** fabrica 2,5 millones de toneladas de papel anuales, con el objetivo principal de desarrollar y producir soluciones sostenibles para el embalaje de papel y el cartón ondulado y su posterior recuperación. La organización, mediante la innovación tecnológica, ha logrado optimizar y valorizar los recursos, así como reducir el uso de agua. Su estrategia es recuperar el papel, plástico y cartón, y luego reciclar este material, reduciendo la cantidad de materia prima necesitada. También instala equipos que facilitan la segregación y disposición de los productos para trasladarlos mediante su propio servicio de transporte a un lugar donde reciben el tratamiento adecuado. Uno de sus proyectos más destacados es Natur Cycle Plus, debido a que cuenta con una financiación de once millones de euros y busca reciclar al máximo el polietileno de baja densidad (Ecocircular, 2019).
23. La agencia de viajes **Mint** nace con la filosofía de explorar las bellezas naturales y culturales del planeta, mientras realiza acciones concretas para minimizar el impacto de nuestra presencia en la naturaleza y devolverle, en la medida de lo posible, lo que esta nos regala. Actualmente, financia un proyecto para instalar placas solares en España invirtiendo diez euros por cada viajero, y también fomenta el turismo de la naturaleza mediante actividades con bajo impacto ambiental y trabaja con empresas de los lugares donde envían a los turistas, garantizando que los ingresos generados por los viajeros sean

reinvertidos en las economías locales y no en las multinacionales (Ecocircular, 2019).

24. La empresa **Bagó**, originaria de Chile, dedicada a la elaboración y comercialización de productos medicinales Andreu, implementa acciones de género para erradicar todo tipo de violencia y discriminación en la empresa. Así, se están generando buenas prácticas laborales, que van más allá de la normativa, y se está promocionando la igualdad de oportunidades para hombres y mujeres. Así mismo, se asume el compromiso de establecer de manera permanente una cultura organizacional libre de discriminación, hostigamiento, acoso sexual y de género, al igual que implementar acciones afirmativas a favor de todo el personal, que faciliten la igualdad de condiciones y oportunidades entre mujeres y hombres (Fundación EU-LAC, 2018).
25. La empresa mexicana **Femsa** trabaja a favor del acceso al agua potable y asequible, así como de la protección de los ecosistemas relacionados con el uso eficiente y conservación de este recurso. Para esto, la Fundación Femsa participa en la Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua. Como parte de este compromiso, Coca-Cola Femsa tiene la meta de reducir su consumo de agua y de regresar al ambiente y sus comunidades la misma cantidad de agua utilizada en bebidas para el 2020. A través de estrategias de conservación y reforestación, entre otras, se ha impactado a más de 200.000 hectáreas en fuentes de agua (Fundación EU-LAC, 2018).
26. La empresa **Iskraemeco, d.d.**, cuyo origen es esloveno, creó en América Latina el concepto de Medidor Justo. El proyecto aborda los problemas principales a los que se enfrenta la industria electrónica hoy en día: condiciones de trabajo, uso de materiales de conflicto (3TG), escasez de materiales, desechos electrónicos y eficiencia energética. Iskraemeco ha reducido los tres indicadores en aproximadamente un 25 % a 2016. En 2017, la estructura de la producción evolucionó en productos más complejos, el consumo de electricidad disminuyó y la huella de CO₂ se mantuvo. La empresa alcanzó un 85 % de transparencia en la cadena de suministro. Los medidores se pueden reciclar después de 20 años de vida útil y son actualizables para satisfacer futuras necesidades de las compañías eléctricas. Actualmente, se están investigando las posibilidades para introducir
- plásticos 100 % reciclados en la cubierta del medidor (Fundación EU-LAC, 2018).
27. **Las Tacuaras S.A.** es una empresa paraguaya que desde el año 2015 ha buscado desarrollar estrategias de valor compartido que permitan reconocer las oportunidades de innovación y crecimiento que existen al resolver problemas sociales con foco en los negocios. Para esto se lanzó a la microfranquicia Nutrihuevos y creó un modelo que incluye siete etapas:
1. Identificar oportunidades de creación de valor analizando la cadena de procesos de la empresa.
 2. Construir el caso modelo de negocios de microfranquicia Nutrihuevos con el apoyo de tesis de la Universidad Nacional.
 3. Medir los resultados.
 4. Generar compromiso de la alta gerencia.
 5. Adaptar la organización al nuevo modelo de negocios.
 6. Buscar un aliado estratégico para diseñar e implementar el modelo, que es la Fundación Paraguaya, experta en el tema.
 7. Implementar el modelo en quince días.
- Según informe de resultados se beneficiaron 12 franquicias que pasaron a ser clientes mayoristas, 77 personas superaron la línea de pobreza y lograron 77 microfranquicias activas a la fecha (Fundación EU-LAC, 2018).
28. La empresa **Lipor**, originaria de Portugal, es responsable de la gestión, recuperación y tratamiento de residuos municipales generados en ocho municipios asociados. Esta planteó la estrategia 3M, “Menos residuos, menos carbono, más clima”. Lipor, voluntariamente, se comprometió a reducir sus emisiones de GEI en un 20 % en comparación con 2006. Para el final de 2017, la empresa consiguió una reducción del 19,4 %, evitando así la emisión de 7173 toneladas de CO₂eq, manteniendo los mismos niveles de productividad y eficiencia. De acuerdo con la Estrategia 3M, se introdujo el programa de compras de bajas emisiones de carbono mediante la compra de energía generada por fuentes 100 % renovable (Fundación EU-LAC, 2018).
29. La empresa ecuatoriana **Pacari Chocolates** permite que sus colaboradores en la cadena de provisión de materia prima e ingredientes tengan acceso a programas y proyectos que fortalezcan y mejoren sus

procesos productivos, sociales y organizativos. Los impactos alcanzados son la revaloración de prácticas ancestrales para cuidar los cultivos, libres de químicos, pero fuertes ante posibles plagas; incentivar y brindar capacitaciones periódicas a los agricultores, realización de prácticas de diversificación de cultivos orgánicos, mejora de la autoestima y concepción del sector agrícola, lo cual ha permitido el crecimiento y reconocimiento internacional de la compañía, generando recursos que se invierten en proyectos sociales y en la conservación de la vida silvestre, dado el acuerdo con World Wildlife Fund (WWF). Además, han obtenido financiamiento para que los pequeños productores puedan formar asociaciones, comprar tecnología para la mejora productiva y cubrir los gastos para obtener certificaciones internacionales (Fundación EU-LAC, 2018).

30. El **Banco de la Producción (Produbanco)**, ubicado en Ecuador, tiene un programa llamado Líneas Verdes, cuyo objetivo es promover la producción amigable con el ambiente a través de fondos de financiamiento para proyectos de eficiencia energética o cambios de maquinaria, con el objetivo de mejorar la infraestructura e incentivar el desarrollo de la industria dentro de un marco de sostenibilidad. Se exige que los proyectos reduzcan en un 20 % su impacto al ambiente. Al cierre del año 2016, se registró la colocación del 92 % de la línea distribuida en tres sectores: industria, 54 %; agroindustria, 35 %; alimentos y bebidas, 11 %. Se han colocado 50,4 millones de dólares. El número de operaciones entregadas durante el periodo suman 74, distribuidas así según segmentos: pyme, 40; empresarial, 26, y corporativo, 8 (Fundación EU-LAC, 2018).
31. La empresa española **Telefónica** opera en América Latina y ha creado una iniciativa de inversión en innovación sostenible (ISS) para financiar e impulsar proyectos que tengan un impacto social o ambiental positivo, además de crear valor para la empresa. Esto lo hace por medio de nuevos productos y servicios, modificación de productos ya existentes, mejoramiento de procesos internos o incluso iniciativas de *marketing* o comerciales, que deben estar alineados con el proceso de transformación estratégica de Telefónica. Por esto deben ser disruptivos, innovadores y hacer frente a problemas reales con mercado potencial (Fundación EU-LAC, 2018).

32. La empresa argentina **Unilever** tiene definido un plan de vida sostenible, el cual busca reducir el impacto ambiental en la fabricación y consumo de sus productos. Cif, una de las 22 marcas sostenibles de la compañía, reformuló el ciclo de vida de sus detergentes, buscando generar un impacto positivo, asociado a reducir el consumo de agua al ser una fórmula concentrada, que rinde 2,5 veces más que los lavavajillas regulares. Garantizar que todos los envases plásticos sean totalmente reutilizables, reciclables o aptos para compostaje para 2025: el envase utiliza 40 % menos de plástico que un envase tradicional de este material, es 100 % reciclable y cuenta con 50 % de PET reciclado posconsumo. Y acelerar los esfuerzos para construir una EC, especialmente en el consumo y posconsumo del producto (Fundación EU-LAC, 2018).

ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE EC APLICADAS

Se establecieron las estrategias aplicadas en cada una de las categorías de las cuatro perspectivas estudiadas, para explicar las estrategias más aplicadas en los casos de éxito.

Como resultado del estudio detallado de los 32 casos de éxitos, de acuerdo con las estrategias de los cuatro tipos de perspectivas: etapas del ciclo de vida Eionet, estrategias WBCSD (Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible), estrategias NZWC (National Zero Waste Council, *Circular Economy Business Toolkit*) y estrategias Ecocavas, se obtuvo lo siguiente:

Según las etapas del ciclo de vida se encontró que las estrategias más usadas están en dos fases: materiales y diseño. En la fase de materiales la estrategia más frecuente consiste en aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor, es decir, basar los cambios de materiales en lo que los clientes están dispuestos a pagar, y en la fase de diseño se opta por adoptar modelos de negocios que capten el valor creado por el diseño circular y conectar a productores con usuarios, lo cual es un llamado a crear valor desde el diseño y a incrementar la comunicación bidireccional.

De conformidad con las estrategias WBCSD, se halló que las más usadas son Diferreni8 (“Diferenciarse de la competencia”), Acclim8 (“Adaptar modelos de negocio y relaciones de la cadena de valor”) e Innov8 (“Estimular la innovación de nuevos productos y servicios”). Al diferenciarse de la competencia, aumentan su compe-

Tabla 6
Casos de éxito clasificados según estrategias

No	Empresa	Estrategia por etapa del ciclo de vida	Estrategias WBCSD	Estrategias NZWC	Estrategias Eco-canvas
1	Canon	U: Reintegrar la reutilización y la reparación en la vida social F: Incentivos para que los clientes devuelvan los productos	Gener 8- Acclim 8	Creación de valor para el cliente Innovación del diseño Recuperación y reciclaje	D: Apertura, modularidad y estandarización D: Habilitar la reutilización para usuarios. V: Programas de devolución.
2	Tata Motors Limited	M: Innovación en cadenas de suministro. F: Manipulación adecuada del transporte de mercancías para su reutilización	Gener 8- Acclim 8	Innovación del diseño Cadena de suministro circular Recuperación y reciclaje	D: Habilitar la reutilización para usuarios P: Reacondicionamiento y refabricación
3	Suez	M: Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. D: Adoptar modelos de negocios que capturen el valor creado por el diseño circular. D: Conectar productores con usuarios	Captive 8- Acclim 8	Oportunidades de la cadena de valor Diseño para la circularidad Priorizar a stakeholders	D: Promover el uso eficiente de energía y agua. P: Políticas de eficiencia de recursos U: Uso responsable
4	Lyft	M: Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. D: Redefinir el papel de los productos en la sociedad	Innov 8- Different 8	Oportunidades de la cadena de valor Creación de valor para el cliente Compartir plataformas	D: Servitización V: Plataformas colaborativas. V: Trazabilidad e información
5	Renault	M: Asociación clave: Empresas de recogida y tratamiento de residuos. D: Adoptar modelos de negocios que capturen el valor creado por el diseño circular	Gener 8- Different 8	Innovación del diseño Diseño para circularidad	D: Desmaterialización D: Habilitar la reutilización para usuarios D: Priorizar los recursos reciclables como input D: Limitar o eliminar materiales peligrosos y la contaminación R: Valor en cascada o reciclaje
6	Philips	M: Tecnologías para procesar materiales secundarios. D: Tecnologías de fabricación digital P: Tecnologías Limpias	Innov 8- Moder 8	Innovación en tecnología e industria Extensión de la vida útil del producto Cadenas de suministro circular	D: Apertura, modularidad y estandarización. P: Políticas de eficiencia de recursos V: Digitalización y virtualización.
7	Michelin Solutions	M: Incentivos para reducir el costo de materiales y desechos. D: Conectar productores con usuarios	Innov 8 - Captive 8	Creación de valor para el cliente Priorizar las partes interesadas	P: Políticas de eficiencia de recursos. V: Marketing verde U: Informar sobre como disponer
8	Dow Chemical	M: Nuevas cadenas de valor D: Redefinir el papel de los productos en la sociedad U: Nuevos modelos organizativos en la cadena de valor	Captive 8- Integr 8	Comprender la importancia de involucrar a los stakeholders Oportunidades de la cadena de valor	D: Servitización V: Plataformas colaborativas U: Sensorización
9	TerraCycle	M: Mayor sustitución de materiales. M: Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. D: Conexiones de materiales reversibles	Innov 8- Different 8	Oportunidades de cadena de valor Innovación del diseño Cadenas de suministro circular	D: Priorizar los recursos reciclables como input D: Limitar o eliminar materiales peligrosos y la contaminación
10	DSM	M: Nuevas cadenas de valor M: Mayor sustitución de materiales. D: Conexiones de materiales reversibles P: Tecnologías Limpias	Insul 8-Innov 8	Innovación en tecnología e industria Extensión de la vida útil de un producto Cadena de suministro circular	D: Biomimética D: Sustituir materias primas críticas D: Seleccionar materiales de menor huella hídrica y energética
11	Servicios de Mjunction Limitada	M: Innovación en cadenas de suministro. M: Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor.	Different 8- Integr 8	Cadenas de suministro circular Priorizar partes interesadas Oportunidades de cadena de valor	D: Sustituir materias primas críticas. D: Limitar o eliminar materiales peligrosos y la contaminación V: Marketing verde
12	Veolia	M: Nuevas cadenas de valor. F: Tecnologías de clasificación y separación F: Manipulación adecuada del transporte de mercancías para su reutilización	Innov 8- Acclim 8	Creación de valor para el cliente Producto como servicio Recuperación y reciclaje	D: Seleccionar procesos/tecnologías libres de residuos D: Fácil de superclicar R: Valor en cascada o reciclaje
13	Novelis	M: Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. D: Conectar productores con usuarios U: Nuevos modelos organizativos en la cadena de valor	Captive 8- Acclim 8	Innovación en tecnología e industria Beneficio empresarial Comprender la importancia de los stakeholders	D: Elegir procesos eficientes de energía y agua D: Limitar o eliminar materiales peligrosos y la contaminación
14	Copersucar S.A	M: Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. M: Tecnologías para mejorar la eficiencia o reintegrar los residuos.	Moder 8- Acclim 8	Oportunidades de la cadena de valor Beneficio empresarial	D: Seleccionar procesos / tecnologías libres de residuos D: Elegir procesos eficientes de energía y agua
15	Enel	M: Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. D: Adoptar modelos de negocios que capturen el valor creado por el diseño circular	Integr 8- Acclim 8- Insul 8	Diseño para circularidad Métodos de diseño de próxima generación Riesgo circular	D: Priorizar los recursos reciclables como input D: Limitar o eliminar materiales peligrosos y la contaminación
16	Stora Enso	M: Innovación en cadenas de suministro. M: Tecnologías para procesar materiales secundarios. P: Tecnologías Limpias	Different 8- Integr 8	Recuperación y reciclaje Innovación en tecnología e industria Cadenas de suministro circular	D: Seleccionar procesos / tecnologías libres de residuos D: Limitar o eliminar materiales peligrosos y la contaminación. P: Reacondicionado y refabricación P: Políticas de eficiencia de recursos
17	Ecoalf	M: Innovación en cadenas de suministro. M: Tecnologías para procesar materiales secundarios D: Conexiones de materiales reversibles U: Reintegrar la reutilización y la reparación en la vida social	Innov 8- Different 8	Métodos de diseño de próxima generación Recuperación y reciclaje Cadena de suministro circular Innovación en tecnología e industria	D: Sustituir materias primas críticas D: Pensamiento del ciclo de vida P: Reacondicionado y refabricación U: Uso Responsable / Consumo
18	Parque eco industrial Kalundborg	M: Asociación clave: Empresas de recogida y tratamiento de residuos. D: Conectar productores con usuarios	Moder 8- Acclim 8	Beneficio empresarial Priorizar a stakeholders Involucrar a stakeholders	D: Apertura, modularidad y estandarización. P: Políticas de eficiencia de recursos V: Arrendamiento y Servitización

Tabla 6 (cont.)
Casos de éxito clasificados según estrategias

No	Empresa	Estrategia por etapa del ciclo de vida	Estrategias WBCSD	Estrategias NZWC	Estrategias Eco-canvas
19	Vigga	M:Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. M:Tecnologías para procesar materiales secundarios. D:Conectar productores con usuarios U:Modelos de plataforma para compartir productos	Gener 8- Moder 8- Different 8	Innovación en tecnología e industria Recuperación y reciclaje Priorizar a stakeholders	M:Sustituir materias primas críticas D:Servitización D:Habilitar la reutilización para usuarios P:Reacondicionado y refabricación U:Informar sobre cómo disponer
20	Centro de investigación interactiva	M:Mayor sustitución de materiales. M:Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. D:Tecnologías de fabricación digital	Innov 8	Innovación en tecnología e industria Métodos de diseño de próxima generación Producto como servicio	D:Sustituir materias primas críticas D:Promover el consumo eficiente de energía y agua D:Priorizar los recursos reciclables como input P:Políticas de eficiencia de recursos
21	PharmeMar	M:Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. D:Adoptar modelos de negocios que capturen el valor creado por el diseño D:Conectar productores con usuarios	Innov 8- Different 8- Acclim 8	Innovación en tecnología e industria Producto como servicio Métodos de diseño de próxima generación Involucrar stakeholders.	D:Biomimética D:Seleccionar procesos / tecnologías libres de residuos D:Diseñar un producto atemporal V:Trazabilidad e información
22	SAICA	M:Tecnologías para mejorar la eficiencia o reintegrar los residuos. D:Adoptar modelos de negocios que capturen el valor creado por el diseño circular P:Modularidad	Innov 8-Acclim 8	Beneficio empresarial Innovación en tecnología e industria Recuperación y reciclaje Cadena de suministro circular	D:Seleccionar procesos / tecnologías libres de residuos D:Apertura, modularidad y estandarización P:Reacondicionado y refabricación
23	Mint	M:Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor D:Conectar productores con usuarios D:Redefinir el papel de los productos en la sociedad	Different 8- Captive 8	Creación de valor para el cliente Producto como servicio Involucrar stakeholders	D:De la cuna a la cuna D:Habilitar la reutilización para usuarios D: Diseñar un producto atemporal U:Informar sobre cómo disponer U:Fácil de usar / inclusivo
24	Bagó	M:Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. U:Nuevos modelos organizativos en la cadena de valor	Integr8-Captive 8	Involucrar a empleados, clientes, proveedores y socios de la industria Priorizar partes interesadas	D:Educar e informar
25	Femsa	M:Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. M:Incentivos para reducir el costo de materiales y desechos. D:Adoptar modelos de negocios que capturen el valor creado por el diseño circular U:Nuevos modelos organizativos en la cadena de valor	Acclim 8- Captive 8- Different 8	Oportunidades de la cadena de valor Creación de valor para el cliente Diseño para circularidad Comprender la importancia de involucrar a los stakeholders	D:Biomimética D:Elegir procesos eficientes de energía y agua D:Seleccionar materiales de menor huella hídrica y energética D:Limitar o eliminar materiales peligrosos y la contaminación U:Educar e informar
26	Ishkraemeco d.d	M:Nuevas cadenas de valor. M:Innovación en cadenas de suministro. D:Adoptar modelos de negocios que capturen el valor creado por el diseño circular	Integr 8-Moder 8-Innov 8	Cadenas de suministro circular- Oportunidades de cadena de valor	D:Elegir procesos eficientes de energía y agua D:Seleccionar materiales de menor huella hídrica y energética
27	Tacuaras S.A	M:Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. D:Adoptar modelos de negocios que capturen el valor creado por el diseño circular U:Nuevos modelos organizativos en la cadena de valor	Acclim 8- Different 8	Creación de valor para el cliente Innovación en tecnología e industria Involucrar a stakeholders	D:Apertura, modularidad y estandarización. P:Políticas de eficiencia de recursos
28	Lipor	M:Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. M:Tecnologías para mejorar la eficiencia o reintegrar los residuos. D:Adoptar modelos de negocios que capturen el valor creado por el diseño circular	Different 8- Moder 8	Oportunidades de cadena de valor Recuperación y reciclaje Innovación en tecnología e industria	D:Elegir procesos eficientes de energía y agua D:Seleccionar materiales de menor huella hídrica y energética D:Limitar o eliminar materiales peligrosos y la contaminación.
29	Pacari chocolates	M:Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. D:Adoptar modelos de negocios que capturen el valor creado por el diseño circular	Captive 8- Different 8	Oportunidades de la cadena de valor Priorizar partes interesadas	D:Química verde / productos químicos más seguros D:Elegir procesos eficientes de energía y agua D:Seleccionar materiales de menor huella hídrica y energética
30	Produbanco	M:Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. D:Adoptar modelos de negocios que capturen el valor creado por el diseño circular	Acclim 8- Different 8	Beneficio empresarial Oportunidades de cadena de valor Innovación en tecnología e industria	D:Química verde / productos químicos más seguros D:Elegir procesos eficientes de energía y agua D:Seleccionar materiales de menor huella hídrica y energética
31	Telefónica	M:Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. M:Nuevas cadenas de valor D:Tecnologías de fabricación digital U:Tecnologías de fabricación aditiva	Acclim 8- Captive 8- Different 8	Oportunidades de la cadena de valor Creación de valor para el cliente Diseño para circularidad	D:Servitización D:Elegir procesos eficientes de energía y agua D:Promover el consumo eficiente de energía y agua U:Uso Responsable / Consumo U:Educar e informar
32	Unilever	M:Mayor sustitución de materiales. M:Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor. M:Nuevas cadenas de valor P:Tecnologías limpias U:Nuevos modelos organizativos en la cadena de valor	Innov 8-Acclim 8-Different 8	Oportunidades de la cadena de valor Creación de valor para el cliente Diseño para circularidad Beneficio empresarial Innovación del diseño	D: Elegir procesos eficientes de energía y agua D:Seleccionar materiales de menor huella hídrica y energética D:Desmaterialización D:Promover el consumo eficiente de energía y agua V:Minimización de envases R:Seguro para ser biodegradable

tividad, participación y expansión en el mercado, así como su consolidación en un nicho de mercado. Las empresas se adaptan constantemente a los cambios del cliente, materias primas y tecnología. Así mismo, la innovación genera oportunidades de crear diseños

disruptivos, así como nuevas alianzas que permiten generar nuevos ingresos y crecimientos del negocio.

De acuerdo con las estrategias NZWC, se encontró que las más empleadas son innovación en tecnología e industria, oportunidades de cadena de valor, cadena de

Tabla 7
Relación de estrategias CNRC vs. Etapas del ciclo de vida

Estrategias NZWC	Estrategias etapas del ciclo de vida
Innovación en tecnología e industria	Tecnologías de fabricación digital (2)
	Tecnologías limpias (3)
	Tecnologías para mejorar la eficiencia o reintegrar residuos (2)
	Tecnologías para procesar materiales secundarios (4)
Oportunidades de cadena de valor	Adoptar modelos de negocios que capten el valor creado por el diseño circular (10)
	Nuevas cadenas de valor (4)
	Nuevos modelos organizativos en la cadena de valor (3)
Cadena de suministro circular	Conexiones de materiales reversibles (3)
	Innovación en cadenas de suministro (5)
	Mayor sustitución de materiales (2)
Creación de valor para el cliente	Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor (4)
	Conectar productores con usuarios (2)
	Redefinir el papel de los productos en la sociedad (2)
	Reintegrar la reutilización y reparación en la vida social (1)
Recuperación y reciclaje	Incentivos para que los clientes devuelvan los productos (1)
	Manipulación adecuada del transporte de mercancías para su reutilización (2)
	Tecnologías de clasificación y separación (1)

suministro circular y creación del valor para el cliente y recuperación y reciclaje.

De acuerdo con las estrategias Ecocanvas se encontró que las más usadas son “Diseña” (limitar o eliminar materiales peligrosos y la contaminación, elegir procesos eficientes de energía y agua), “Produce” (políticas de eficiencia de recursos) y “Diseña” (seleccionar materiales de menor huella hídrica y energética), concentrándose igualmente en acciones de las primeras opciones en la cadena de valor.

Se puede evidenciar que en todos los casos de estudio se aplican varias estrategias, en promedio tres y esto sucede en todas las perspectivas estudiadas, por lo que cualquier estrategia aplicada genera valor y acercamiento a gestionar la circularidad. Es así como se hace más imperativo conocer cuál o cuáles estrategias tienen mayor relevancia, por lo que se realiza análisis de afinidad por parejas de perspectivas de estrategias.

Al relacionar las estrategias NZWC junto con las estrategias de etapa del ciclo de vida, buscando evidenciar su relación y congruencia, ya que las últimas son acciones más específicas, resulta la correspondencia que se mostró anteriormente (tabla 7). Además, se muestra la frecuencia con que estas son aplicadas en los casos de

estudio. Se puede determinar que la primera está enfocada hacia aspectos como oportunidades de cadena de valor, con un puntaje de repetición de 17 veces, siendo las subestrategias con mayor frecuencia las de adoptar modelos de negocios que capten el valor creado por el diseño circular y nuevas cadenas de valor. Así mismo, la segunda estrategia más frecuente es innovación en tecnología e industria, con un puntaje de repetición de 11, siendo la subestrategía más destacada las de tecnologías para procesar materiales secundarios y tecnologías limpias.

De igual manera, se determinó si hay relación directa entre las estrategias WBCSD junto con las estrategias Ecocanvas (tabla 8). Se determinó que la primera está enfocada hacia aspectos de adaptación - Acclim 8 (Relaciones de cadena de valor), con un puntaje de repetición de 34 veces, siendo las más relevantes: Elegir procesos eficientes de energía y agua, junto con Seleccionar procesos/tecnologías libres de residuos. Además, Innovación - Innov 8 (Nuevos diseños, nuevos modelos de negocio), con un puntaje de repetición de 29, dirigidas específicamente a limitar o eliminar materiales peligrosos y Apertura, modularidad y estandarización.

Tabla 8
Relación de estrategias WBCSD vs. Ecocanvas

Estrategias WBCSD	Estrategias Ecocanvas
Differenti 8	Educación e información (1)
	Marketing verde (2)
	Reacondicionamiento y refabricación (3)
	Trazabilidad e información (1)
	Uso responsable/consumo (2)
	Plataformas colaborativas (1)
Acclim 8	Informar sobre cómo disponer (1)
	Política de eficiencia de recursos (5)
	Priorizar los recursos reciclables como <i>input</i> (3)
	Química verde (2)
	Seleccionar procesos/tecnologías libres de residuos (7)
	Valor en cascada o reciclaje (1)
	Elegir procesos eficientes de energía y agua (9)
	Promover el uso eficiente de energía y agua (3)
Seleccionar materiales de menor huella hídrica y energética (3)	

CONCLUSIONES

El análisis de casos de éxito de EC es conveniente para incentivar y motivar a las empresas, empresarios e incluso gobiernos de hacer uso de las estrategias de EC, logrando potenciar al máximo todos los beneficios y eficacia que traería consigo la aplicación correcta de estas. Se evidencia que en todos los casos de estudio se aplican diferentes estrategias, en promedio tres, y esto sucede en todas las perspectivas estudiadas, por lo que cualquier estrategia aplicada genera valor y acercamiento a gestionar la circularidad. Sin embargo, se destaca la alta frecuencia de algunas estrategias y se asocia el alto impacto que puede generar su implementación.

Estrategias Etapa del ciclo de vida: Aplicar estrategias basadas en funcionalidad de valor, lo cual implica responder a las necesidades del cliente, en las cuales está dispuesto a pagar mayor valor. Adoptar modelos de negocio que capturen el valor creado por el diseño circular, para así generar un diseño más funcional. E Innovación en cadena, de suministro, lo cual implica trabajar en la cadena especialmente en la parte de materiales, para generar innovación desde el inicio de la cadena de valor.

Estrategias NZWC: Innovación en tecnología e industria. Oportunidades de cadena de valor. Cadena de suministro circular. Esto implica incorporación de tecnología, discriminación de actividades en la cadena

para encontrar oportunidades de generación de valor y circularidad en el suministro de materiales.

Estrategias WBCSD: Diferenciación - Differenti 8. Se garantizan cambios que respondan a un mercado específico; Adaptación - Acclim 8, logrado a través de un mayor trabajo colaborativo con las partes involucradas e interesadas; Innovación- Innov 8, así como innovación para sustituir materiales peligrosos y contaminantes.

Estrategia Ecocanvas: Limitar o eliminar materiales peligrosos y la contaminación. Elegir procesos eficientes de energía y agua. Apertura, modularidad y estandarización. Acciones dirigidas a los materiales, el diseño y los procesos productivos.

Después de analizar las estrategias de manera cruzada, las que obtuvieron mayor frecuencia de aplicación por las empresas son Oportunidades de cadena de valor junto con Adaptación-Acclim 8, lo cual implica adoptar modelos de negocios que capturen el valor creado por el diseño circular y desglosar las actividades de la cadena de valor para consolidar oportunidades que generen valor agregado.

Otra estrategia que cabe destacar es la innovación en tecnología e industria junto con Innovación - Innov 8, lo cual implica nuevos diseños, nuevos modelos de negocio, siendo estas estrategias las que garantizarían el éxito de implementación de los negocios circulares para las empresas que deseen aplicarlas y que permiten

abordar la EC con mayor precisión, garantizando la generación de resultados, los cuales serán similares a los obtenidos por los casos de empresas estudiadas.

En conclusión, todas las estrategias contribuyen a lograr un acercamiento a la circularidad, siendo las de mayor impacto aquellas que intervienen en las primeras etapas del ciclo de vida, promueven la innovación, son preventivas en la generación de residuos y permiten realizar el cierre del ciclo, convirtiéndose así en facilitadores en la implementación de los negocios circulares y en la exhortación de la innovación.

REFERENCIAS

- Barros, M. V., Salvador, R., do Prado, G. F., de Francisco, A. C., & Piekarski, C. M. (2021). Circular economy as a driver to sustainable businesses. *Cleaner Environmental Systems*, 2, 100006. doi:10.1016/j.cesys.2020.100006
- Comisión Europea (2020). Nuevo plan de acción para la economía circular. Modificar nuestras pautas de producción y consumo. Recuperado en 2021 de https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_20_420
- MADS (2019). Estrategia Nacional de Economía Circular. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Recuperado el 9 de septiembre de 2021 de http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf
- Shafer, M., Smith, J. & Linder, J. (2005). The power of business models, 48(3), 0–207. doi:10.1016/j.bushor.2004.10.014.
- Boulding, K. E. (1966). The economics of the coming spaceship Earth. In H. Jarrett (ed.), *Environmental quality issues in a growing economy* (pp. 3–14). Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Pearce, D. W., & Turner R. K. (1989). *Economics of natural resources and the environment*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Georgescu-Roegen, N. (1986). The entropy law and the economic process in retrospect. *Eastern Economic Journal*, 12(1), 3–25.
- Wysokinska, Z. (2016). The “new” environmental policy of the European Union: A path to development of a circular economy and mitigation of the negative effects of climate change. *Comparative Economic Research*, 19(2), 57–73.
- Geisendorf, S., & Pietrulla, F. (2017). The circular economy and circular economic concepts—a literature analysis and redefinition. *Thunderbird International Business Review*, 60(5), 771–782. doi:10.1002/tie.21924.
- Campbell Johnston, K., Munck, M., Vermeulen, W. J. V., & Backes, C. (2021). *Future perspectives on the role of extended producer responsibility within a circular economy: A Delphi study using the case of the Netherlands*. *Business Strategy and the Environment*. doi:10.1002/bse.2856.
- Ellen MacArthur Foundation (s. f.). What is a circular economy? Recuperado el 8 de febrero de 2022, de <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview#:~:text=A%20circular%20economy%20decouple%20economic,loss%2C%20waste%2C%20and%20pollution>.
- European Union, 2020. Circular Economy action plan. Available: https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_en.
- Eionet (2021). Business Models in a Circular Economy. European Environment Agency, the European Topic Centre on Waste and Materials in a Green Economy. Recuperado el 2021 de <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-wmge-reports/business-models-in-a-circular-economy>.
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (2017). WBCSD. 8 business case studies. Recuperado el 2021 de http://docs.wbcsd.org/2017/07/8business_case_studies.pdf.
- National Zero Waste Council (NZWC) (2021). National Zero Waste Council. *Circular Economy Business Toolkit*. Recuperado de 2021 de <http://www.nzwc.ca/documents/circulareconomybusinessstoolkit.pdf>.
- Ecolobing 2015. Ecocanvas. Recuperado de 2021 de <https://ecologing.es/ecocanvas/#:~:text=La%20metodolog%C3%ADa%20Ecocanvas%2C%20se%20basa,paradigma%20de%20la%20Econom%C3%ADa%20Circular>.
- Ecocircular (2019). Siete casos de éxito de la economía circular. Recuperado el 20 de noviembre de 2021 de <https://eco-circular.com/2019/11/26/siete-casos-de-exito-de-la-economia-circular/>.
- Fundación EU-LAC (2018). Estudios de caso sobre modelos de economía circular e integración de los objetivos de desarrollo sostenible en estrategias empresariales en la UE y ALC. Recuperado 2021 de https://eulacfoundation.org/es/system/files/economia_circular_ods.pdf.

Diseño de un freno electromagnético para aplicaciones en bancos de pruebas de micro-MCI

Design of an electromagnetic brake for applications in test labs for micro-ICE

JUAN SEBASTIÁN CABALLERO CASTILLO¹ - DAVID EDUARDO GUTIÉRREZ PATIÑO¹ -
DIEGO FERNANDO MANCIPE CELIS¹ - DAVID ANDRÉS ORTIZ CORNEJO¹ -
ANTONIO JOSÉ ZÚÑIGA PÁEZ¹ - MARÍA PAULA BENARD BENJUMEA²

1. Centro de Estudios de Sistemas Térmicos y Mecánicos del Programa de Ingeniería Mecánica de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Profesora de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

juan.caballero-c@mail.escuelaing.edu.co - david.gutierrez-p@mail.escuelaing.edu.co -
diego.mancipe@mail.escuelaing.edu.co - david.ortiz-c@mail.escuelaing.edu.co -
antonio.zuniga@mail.escuelaing.edu.co - maria.benard@escuelaing.edu.co

Recibido: 02/10/2022 Aceptado: 10/11/2022

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En este artículo se presentan la corriente y la fuerza magnética necesaria para generar carga sobre el eje y controlar el régimen de giro de este; además de lo anterior, se muestra cómo se comporta la corriente generada por la fuente de corriente en función del ciclo de trabajo. La fuerza mencionada se obtuvo por medio de un circuito de reluctancias mediante un proceso iterativo, en el que se fijó el valor máximo de la corriente y se varió el número de vueltas de las bobinas de 66 a 150. Al fijar la corriente del sistema en 2032 y aumentar el número de vueltas de las bobinas de 66 a 150, se logró un aumento del 127 % en la fuerza magnética generada, mientras que al variar el ciclo de trabajo de 100 a 10 % se obtuvo una disminución en la corriente del 10,48 %.

Palabras claves: banco de pruebas, ciclo de trabajo, dinamómetro electromagnético, torque, régimen de giro, potencia, bancada, sensor, micro-MCI.

Abstract

This article presents the current flow and magnetic force necessary to generate load on the axis and control its rotation speed. Additionally, it demonstrates the behavior of the current generated by the current source based on the duty cycle.

The mentioned force was obtained through a reluctance circuit using an iterative process, where the maximum value of the current was fixed, and the number of turns of the coils was varied from 66 to 150. By fixing the system's current at 2,032 and increasing the number of turns of the coils from 66 to 150, there was a 127% increase in the generated magnetic force. Conversely, by varying the duty cycle from 100% to 10%, there was a 10.48% decrease in the current.

Keywords: test lab, work cycle, dynamometer, electromagnetic, torque, turning regimen, potence, banking, sensor, micro-ICE.

INTRODUCCIÓN

Los bancos de pruebas para motores de acople directo son equipos utilizados para caracterizar motores de combustión interna al obtener y graficar las curvas características de estos. El buen diseño, dimensionamiento y selección de los elementos de medición de estos bancos garantizan un óptimo funcionamiento y una alta precisión para la caracterización de los motores. Actualmente existen varios bancos de pruebas de este tipo, entre los cuales se destaca el banco de pruebas con dinamómetro electromagnético debido a las ventajas que tiene respecto a los demás. Por tal razón, en este artículo, dividido en seis secciones, se presentan el diseño y la implementación de un banco de pruebas con dinamómetro electromagnético.

En la segunda sección se encuentra la recopilación teórica acerca de un banco de pruebas con dinamómetro electromagnético, con el fin de identificar las variables que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar el banco. En la tercera sección se muestran los sensores utilizados para la implementación y el diseño de un banco de pruebas con dinamómetro electromagnético. En la cuarta sección se presenta la metodología realizada para el diseño, dimensionamiento y selección de componentes del banco. En la quinta sección se muestran el análisis de los resultados obtenidos a partir de la experimentación con el banco de pruebas desarrollado.

BANCO DE PRUEBA PARA MOTORES CON DINAMÓMETRO ELECTROMAGNÉTICO

Los bancos de pruebas para motores con dinamómetro electromagnético se clasifican como bancos de prueba de acople directo, ya que el dinamómetro se acopla directamente al eje del motor.

Los dinamómetros electromagnéticos utilizan las fuerzas magnéticas para controlar el régimen de giro del motor de prueba. Dicho dinamómetro cuenta con un disco o rotor, el cual se acopla al eje del motor de prueba, y un estator, que contiene una o varias bobinas. Las bobinas alojadas en el estator se excitan por medio de una corriente, la cual permite que las bobinas generen un campo magnético que fluye sobre uno o varios núcleos y es paralelo al eje del motor, lo que produce la fuerza magnética necesaria para regular el régimen de giro del motor. La magnitud de la fuerza magnética es controlada por medio de la cantidad de corriente

suministrada a las bobinas, con lo que se consigue una rápida variación del torque resistente [1, 2]. Para la implementación de estos bancos se ha de considerar que el rotor debe ser de un material de alta permeabilidad magnética para que todo el flujo magnético generado por las bobinas se pueda aprovechar.

Una de las ventajas que presenta este tipo de dinamómetros es que son simples, robustos y se pueden automatizar con gran variedad de sistemas de control relativamente simples; además de esto, son capaces de desarrollar un torque de frenado elevado a velocidades relativamente bajas [1, 2].

Para calcular el torque y la fuerza mecánica máxima y mínima que el motor de prueba va a generar, se utilizan las ecuaciones (1) y (2), respectivamente.

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (1)$$

$$F_{\text{mecánica}} = \frac{T}{r_{\text{disco}}} \quad (2)$$

Para calcular la fuerza magnética necesaria que controla el régimen de giro máximo y mínimo del motor se utiliza la ecuación (3), donde N es el número de vueltas de la bobina e i es la corriente que fluye a través de la bobina.

$$F_{\text{magnética}} = N \times i \quad (3)$$

Por último, para calcular el flujo magnético generado por las bobinas que fluye a través de los núcleos se utiliza la ecuación (4), donde R_t es la reluctancia total del sistema, y se calcula por medio de la ecuación (5), donde L es la longitud por donde fluye el campo magnético, μ_0 es la permeabilidad del aire, la cual tiene un valor de $1,257 \times 10^{-6}$ H/m, μ_r es la permeabilidad relativa del material respecto a la permeabilidad del aire y A_t es el área transversal por donde el flujo magnético fluye.

$$\Phi = \frac{F_{\text{magnética}}}{R} \quad (4)$$

$$R_{\text{material}} + R_{\text{aire}} = \frac{L}{\mu_0 \times \mu_r \times A_t} + \frac{L}{\mu_0 \times A_t} \quad (5)$$

BANCO DE PRUEBAS

Se diseñó y construyó un banco de pruebas estáticas para motores de bajo cilindraje, que permita caracterizar el motor. A renglón seguido se muestra el diseño del banco de pruebas para micromotores de combustión interna (micro-MCI) con el freno electromagnético.

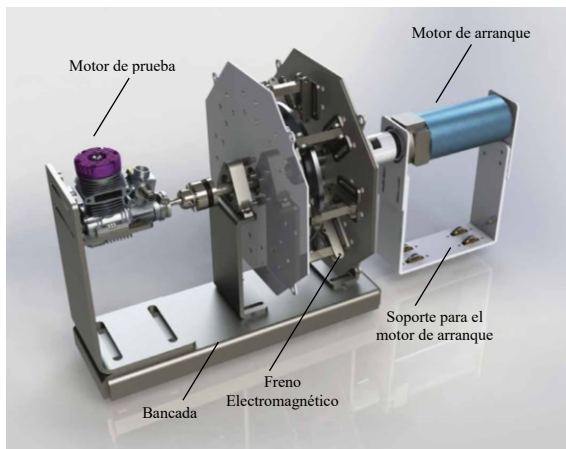


Figura 1. Diseño del banco de pruebas para motores.

SENSORES

Un sensor es un elemento capaz de variar una propiedad ante fenómenos físicos, con el fin de enviar un impulso para obtener una señal o medición deseada, el régimen de giro y la potencia.

Medición del torque

La medición del torque de un motor mediante un banco de pruebas de acople directo se hace por medio de un elemento que absorbe y disipa la energía desarrollada por el motor. Los elementos que absorben la energía del motor son los frenos o dinamómetros mencionados anteriormente, donde el estator que se encuentra balanceado con el rotor se conecta a una célula de carga que mide la fuerza debido al vuelco del estator. Esto significa que las células de carga en banco de pruebas de acople directo son las encargadas de medir el torque del motor de prueba.

Medición de régimen de giro

El sensor de velocidad permite medir la velocidad de giro del eje de salida del motor, con sensores de efecto

Hall. Se conoce como efecto Hall la aparición de un campo eléctrico por una separación de cargas en el interior de un conductor por el que circula una corriente, en presencia de un campo magnético con componente perpendicular al movimiento de las cargas.

Medición del gasto másico de combustible

Por medio del gasto másico de combustible es posible obtener el consumo de combustible del motor. Para calcular dicho gasto másico, se emplea el método gravimétrico o el método volumétrico; así, utilizando una celda de carga se puede medir la masa consumida por el motor en un tiempo determinado.

Medición de temperatura

La temperatura se debe medir para prevenir daños en caso de que esta suba a niveles en los cuales el motor no pueda operar. Con el propósito de evitar dichas fallas generalmente se utilizan termómetros eléctricos, los cuales determinan el momento en que se deben encender los ventiladores para refrigerar el sistema.

METODOLOGÍA

A partir de la identificación de los subsistemas que componen el banco, como los sistemas de control, sistemas mecánicos, sistemas electromecánicos y estructurales, se hicieron la selección y el diseño de los elementos que componen el banco.

Los sistemas electrónicos son los que permiten hacer las mediciones de los datos deseados, antes de pasar al sistema de control, que es donde se encuentran la interfaz con el usuario, la adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos, que permitirán caracterizar el motor en el banco.

Los sistemas mecánicos cuentan con la sujeción del motor al freno, la alimentación de combustible al motor, entre otros, mientras que en los sistemas estructurales se toman en cuenta el acople del motor al banco, los elementos de seguridad y la bancada.

Finalmente, el sistema eléctrico está compuesto por una fuente de corriente y el sistema de freno.

Para medir la temperatura en el freno se utiliza un sensor que funciona con infrarrojo, en principio como una cámara termográfica; dicho control de tempera-

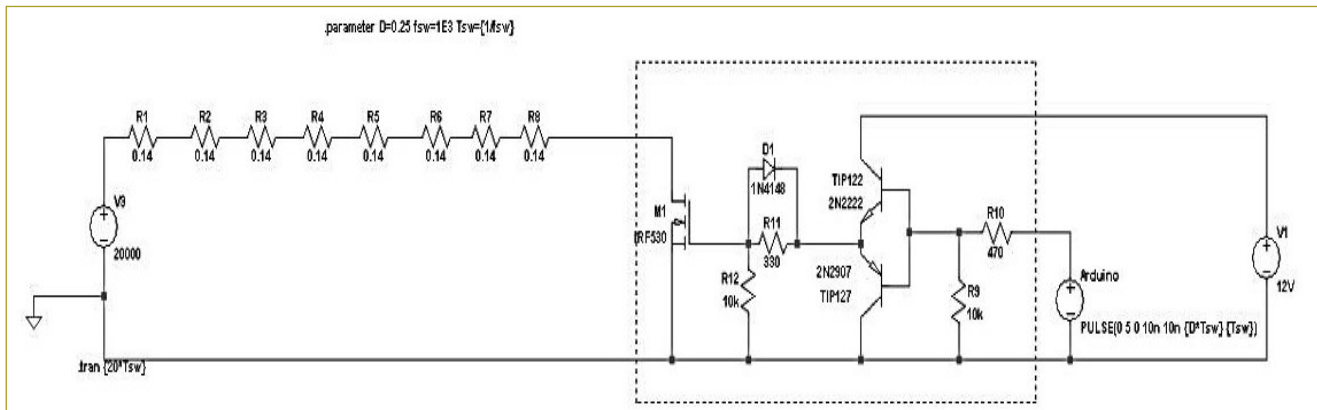


Figura 2. Sistema de freno electromagnético.

tura se hace porque al generar campo magnético en las bobinas, estas se calentarán por la histéresis del material. Adicionalmente, para el control del freno se implementará una fuente de corriente; en la figura anterior se muestra el circuito que componen estos dos elementos (figura 2).

Con el fin de calcular la fuerza que deben ejercer las bobinas sobre el disco, inicialmente se calcula el torque máximo con base en la potencia máxima generada por el motor y la velocidad mínima de este por medio de la ecuación 1, donde la potencia máxima del motor es de 2,5 HP y el régimen de giro mínimo tiene un valor de 2000 rpm.

$$T_{\text{máx}} = \frac{P_{\text{máx}}}{\omega_{\text{mín}}} = \frac{2 \times 1000}{\frac{2 \times \pi \times 2000}{60}} = 9,55 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (6)$$

Una vez obtenido el torque máximo, se calcula la fuerza mecánica máxima necesaria para frenar el motor. Dicha fuerza se calcula por medio de la ecuación (7), donde el diámetro del disco es de 15 cm.

$$F_{\text{máx}} = \frac{T_{\text{máx}}}{r} = \frac{9,55}{\frac{0,15}{2}} = 63,66 \text{ N} \quad (7)$$

Para obtener el flujo magnético, inicialmente se calcula la reluctancia del disco por medio de la ecuación (8), donde el espesor de este es de 4,76 mm, el área por donde va a fluir el flujo magnético es de 0,0001 m², la permeabilidad absoluta o del aire es de 4π*10⁻⁷ H/m y la permeabilidad relativa del aluminio respecto a la del

aire es de 1,0005 H/m. Una vez obtenida la reluctancia, se asume que la fuerza magnética es igual a la fuerza mecánica ya calculada, y con base en estos valores se calcula el flujo magnético que fluye por el disco por medio de la ecuación (9).

$$R_D = \frac{L_D}{\mu_R \times \mu_o \times A_d} = \frac{0,00476}{(4\pi \times 10^{-7}) \times (1,0005) \times (0,0001)} = 37879830,91 \frac{\text{A} \times \text{t}}{\text{W}_b} \quad (8)$$

$$\phi = \frac{F_{\text{mag}}}{R_D} = \frac{9,55}{37879830,91} = 0,0000017 \text{ W}_b \quad (9)$$

Ahora, con el propósito de calcular la fuerza magnética que va a producir el flujo magnético calculado anteriormente, en principio se calcula la reluctancia del núcleo de hierro y el aire; dichas reluctancias se calculan por medio de las ecuaciones (5) y (6), respectivamente, donde la permeabilidad absoluta del núcleo es la misma que la del aire, la cual tiene un valor de 4π*10⁻⁷ H/m. La permeabilidad relativa del núcleo de hierro en relación con la del aire es de 5000 H/m y las dimensiones del núcleo se muestran más adelante (figura 3). Para el cálculo de la reluctancia del aire y del núcleo de hierro se debe tener en que cuenta la longitud donde actúa el aire es de 0,005238 m y el área transversal por donde fluye el flujo magnético sobre el núcleo y sobre el aire es de 0,0001 m². Una vez calculada la reluctancia del núcleo, del aire y del disco, por medio de la ecuación (10) se calcula la fuerza magnética necesaria para frenar completamente el motor de prueba [3].

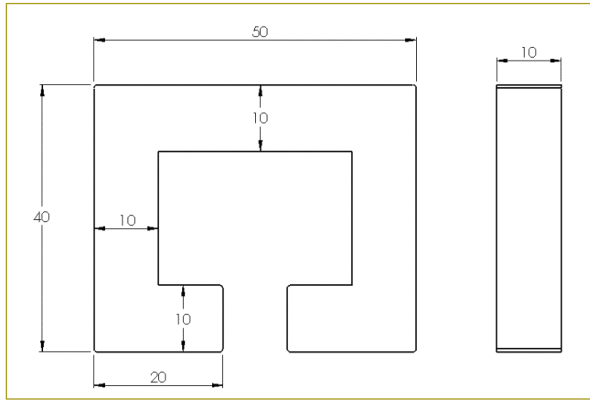


Figura 3. Dimensiones del núcleo.

$$R_N = \frac{L_N}{\mu_{RN} \times \mu_o \times A_{dN}} = \frac{(0,04 + 0,03 \times 2 + 0,015 \times 2)}{(4\pi \times 10^{-7}) \times (5000) \times (0,0001)}$$

$$= 206901,426 \frac{A \times t}{W_b} \quad (10)$$

$$R_a = \frac{L_a}{\mu_{Ra} \times \mu_o \times A_{da}} = \frac{0,005238 \times 2}{(4\pi \times 10^{-7}) \times (0,0001)}$$

$$= 41678700,72 \frac{A \times t}{W_b}$$

$$F_{mag,m\acute{a}x} = \frac{\emptyset}{R_T} = \frac{0,0000017}{37879830,9 + 206901,4 + 41678700,7} \quad (12)$$

Con el propósito de generar la fuerza magnética necesaria para frenar completamente el motor de prueba, se calculó la corriente que requiere el sistema por medio de la ecuación (13) mediante un proceso iterativo, donde se varió el número de vueltas de las ocho bobinas con el fin de obtener una corriente aproximada de 2,1 A. Con base en lo anterior, se encontró que cada bobina debe tener 66 vueltas para alcanzar una corriente aproximada de 2,1 A [3].

$$I = \frac{F_{mag,m\acute{a}x}}{\#Vuel\acute{t}as\ bobina} = \frac{134,056}{66} = 2,03\ A \quad (13)$$

Debido a que el régimen de giro de los motores de prueba varía de 2000 a 18.000 rpm, el procedimiento mostrado anteriormente se realiza para cada régimen de giro de estos.

A continuación, se presentan los sensores seleccionados para hacer las mediciones del sistema (tabla 1).

Tabla 1
Sensores implementados en el banco

Sensor	Medición	Descripción
Sensor de efecto Hall	Velocidad	Con este sensor se mide la velocidad del eje mediante impulsos magnéticos generados por un imán.
LM35	Temperatura en el motor	Este sensor de contacto mide la temperatura a la que se encuentra el motor.
Sensor infrarrojo	Temperatura en el freno	Este sensor se utiliza para medir la temperatura a la que se encuentra el freno.
Celda de carga 10 kg	Torque	El torque se medirá con la celda de carga, que permitirá medir la carga a la que estará sometido el estator.
Celda de carga 1 kg	Consumo de combustible	A medida que se pierde masa de combustible, se medirá el flujo másico de combustible para calcular el consumo específico.

Seguidamente, se muestran los elementos utilizados para los sistemas de procesamiento de datos, además de los elementos para el control del banco.

Tabla 2
Elementos de control y procesamiento de datos

Sistema de control o procesamiento	Descripción
Arduino	Mediante la tarjeta de arduino se hará el procesamiento de las mediciones realizadas. Además, se utilizará para graficar en tiempo real las mediciones en función del tiempo.
Fuente de corriente	Con la fuente se va a variar la corriente que entra a las bobinas del freno, con el fin de variar el campo magnético generado y así poder frenar el motor a diferentes regímenes de giro.
Ventiladores de 5 V	Para evitar que el motor se caliente más de lo deseado, se refrigerará con cuatro ventiladores de 5v cuando el sistema esté en operación.
Ventilador centrífugo	Para evitar que el freno se caliente más de lo deseado, se refrigerará un ventilador centrífugo cuando el sistema esté en operación y el sensor infrarrojo envíe la señal si la temperatura sube demasiado.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Corriente en función del régimen de giro.

En la figura siguiente se muestra el comportamiento de la corriente que fluye a través de las ocho bobinas, en función del régimen de giro. Las velocidades de giro mínima y máxima son 2000 y 18.000, respectivamente (figura 4).

Se debe tener en cuenta que el número de vueltas de la bobina sobre el núcleo está limitado por la geometría de este. Para el núcleo, se obtuvo que el número de vueltas para un cable calibre 18 es 66.

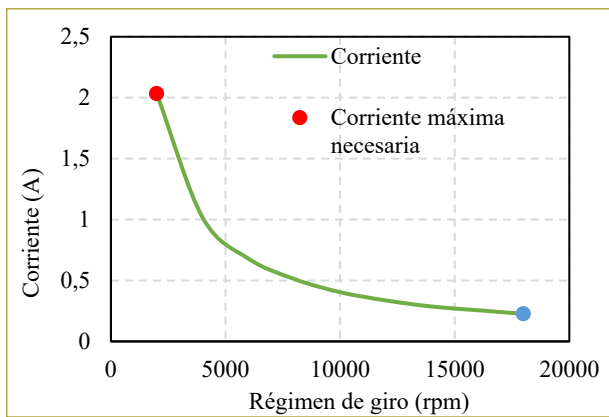


Figura 4. Corriente en función del régimen de giro del motor.

Fuerza magnética generada por las bobinas del núcleo

Los resultados de la corriente, el flujo magnético y la fuerza magnética generada por las ocho bobinas se muestran cuando el número de vueltas de estas sobre el núcleo es de 66, en función del régimen de giro del motor (tabla 3), así como el comportamiento de la corriente y del flujo magnético que fluye a través del núcleo en función del régimen de giro del motor, en su orden (figuras 4 y 5).

Con base en los resultados anteriores, se observa que la corriente y el flujo magnético disminuyen al aumentar el régimen de giro del motor; esto se debe a que al aumentar dicho régimen la fuerza mecánica generada por el motor disminuye, ocasionando que la fuerza magnética también lo haga. Esto significa que para que la fuerza magnética iguale a la fuerza mecánica a medida que el régimen de giro aumenta, se requieren una corriente y un flujo magnético cada vez más pequeño, ya que la fuerza magnética es directamente proporcional a la corriente y al flujo magnético que fluye a través de las bobinas. En la figura anterior se muestra cómo varía

la fuerza magnética a medida que aumenta la corriente. Se puede observar que estas dos variables tienen una relación lineal y que la fuerza máxima se va a dar con la corriente máxima, lo que significa que la fuerza máxima para frenar el motor se necesitará cuando este tenga su régimen de giro más bajo (figura 4).

Tabla 3

Corriente, flujo magnético y fuerza magnética en función del régimen de giro del motor

Régimen de giro (rpm)	Corriente (A)	Flujo magnético (Wb)	Fuerza magnética generada (A*t)
2000	2,032	1,68063E-06	134,112
4000	1,016	8,40315E-07	67,056
6000	0,679	5,6021E-07	44,814
8000	0,512	4,20157E-07	33,792
10.000	0,404	3,36126E-07	26,664
12.000	0,336	2,80105E-07	22,176
14.000	0,286	2,4009E-07	18,876
16.000	0,256	2,10079E-07	16,896
18.000	0,226	1,86737E-07	14,916

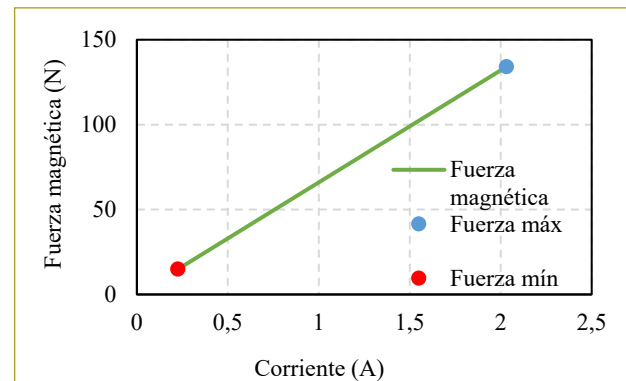


Figura 5. Fuerza magnética en función del régimen de giro del motor.

De acuerdo con lo anterior, se aumentó el número de vueltas de cada bobina de 66 a 150. Así mismo, se muestran nuevamente la corriente y la fuerza magnética en función del régimen de giro del motor para 150 vueltas de cada bobina. Al aumentar el número de vueltas de las bobinas de 66 a 150, se observa que la fuerza magnética se incrementa en forma considerable, debido a que dicha fuerza es directamente proporcional a la corriente que fluye por el sistema y al número de vueltas de las bobinas (tabla 4).

Tabla 4

Corriente y fuerza magnética en función del régimen de giro del motor para 150 vueltas de las bobinas

Régimen de giro (rpm)	Corriente (A)	Fuerza magnética generada (N)
2000	2,032	304,8
4000	1,016	152,4
6000	0,679	101,85
8000	0,512	76,8
10000	0,404	60,6
12000	0,336	50,4
14000	0,286	42,9
16000	0,256	38,4
18000	0,226	33,9

Además de lo anterior, se redimensionaron los núcleos de las bobinas con el fin de reducir el espacio entre el disco del rotor del freno y los núcleos. Dicha modificación disminuye la reluctancia del aire, lo cual aumenta la fuerza magnética y el flujo magnético que se transfiere al disco del rotor. La modificación hecha al núcleo se presenta a continuación (figura 6).

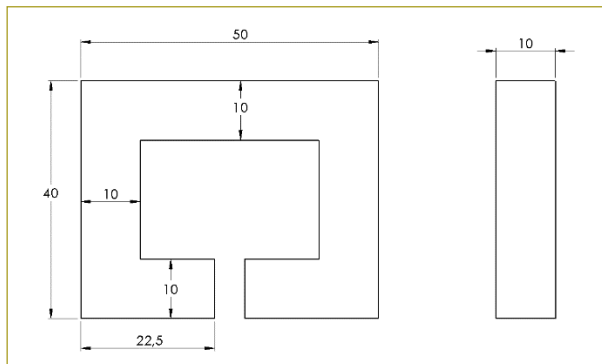


Figura 6. Núcleo modificado.

Eje de acople del dinamómetro y el motor de prueba

A continuación se muestran las dimensiones principales del eje (figura 7), al igual que los resultados de los esfuerzos a los cuales el eje está sometido (figura 7). En esta última figura se evidencia que aunque el eje está sometido a altas cargas, las cuales son producidas por los elementos que se acoplan a él; los esfuerzos generados por dichas cargas no superan el límite elástico del material.

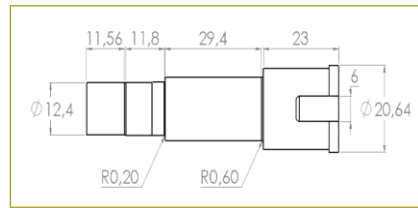
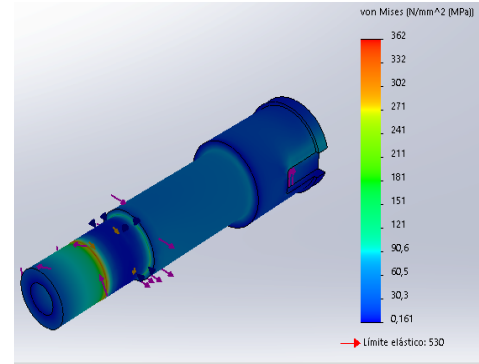


Figura 7. Dimensiones del eje.

Figura 8. Simulación del eje.



Además de lo anterior, se obtuvo que el eje soporta un esfuerzo máximo de 362 MPa cuando el régimen de giro es de 2000 rpm y cuando todos los elementos que el eje soporta están acoplados a él; sin embargo, aunque dicho esfuerzo es alto, el material del eje, el cual es un acero 1045, cuenta con un límite elástico de 530 MPa; es decir, que para que el eje sufra una deformación plástica el esfuerzo máximo producido debería aumentar en un 68 %.

Pruebas de fuente de corriente

Seguidamente, se muestran los valores de la corriente que fluye por las bobinas al variar el ciclo útil de la señal cuadrada unipolar (tabla 5), al igual que el comportamiento de dicha corriente en función del ciclo de trabajo, donde se evidencia que al aumentar el ciclo de trabajo de la señal la corriente generada por la fuente también se incrementa (figura 9).

Este comportamiento se debe a que al aumentar el ciclo de trabajo el tiempo en estado activo de la señal respecto al periodo de esta se incrementa, ocasionando que la corriente entregada por la fuente de corriente aumente.

Tabla 5
Corriente en función del ciclo de trabajo

Ciclo de trabajo (%)	Corriente (A)
0	0
10	0,242
20	0,486
30	0,729
40	0,971
50	1,213
60	1,455
70	1,696
80	1,936
90	2,174
100	2,31

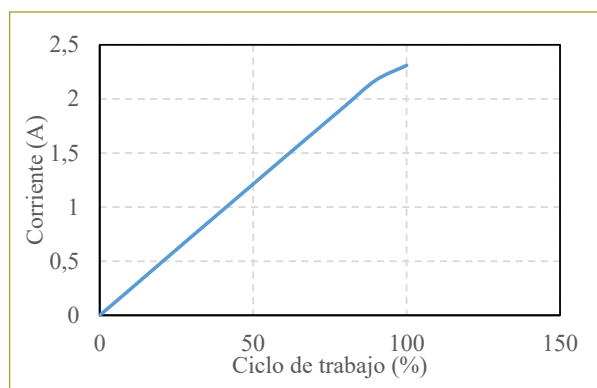


Figura 9. Comportamiento de la corriente en función del ciclo de trabajo.

La ecuación 12 es la que mejor describe el comportamiento de la corriente en función del ciclo de trabajo, donde I es la corriente del sistema y X es el ciclo de trabajo. Dicha ecuación presenta un coeficiente de determinación del 0,9987.

$$I = 0,02368 \times X + 0,01718 \quad (12)$$

CONCLUSIONES

Para controlar el régimen de giro del motor se obtuvo que las corrientes máxima y mínima que debe entregar la fuente de corriente son de 2,032 A cuando el régimen de giro es de 2000 rpm y de 0,226 A cuando el régimen de giro es de 18.000 rpm. Esto indica que al aumentar el régimen de giro del motor la corriente disminuye,

donde dicha corriente se reduce en un 11,12 % cuando el régimen de giro aumenta de 2000 a 18.000 rpm.

Al igual que la corriente, la fuerza magnética generada por las bobinas de 66 vueltas disminuye al aumentar el régimen de giro del motor de prueba; dicha fuerza es un 11,4 % menor cuando el régimen de giro es de 18000 rpm que cuando el régimen de giro es de 2000 rpm.

Cuando el número de vueltas de las bobinas es de 66 y la corriente es de 2,032 A, se obtuvo una fuerza magnética de 134.112 N, la cual no fue suficiente para oponerse al giro del motor de prueba; por lo tanto, se implementó un embobinado de 150 vueltas para cada bobina, donde la fuerza magnética generada aumenta en un 127 % respecto al diseño anterior.

Aunque el eje del freno está sometido a altas cargas, las cuales son provocadas por los elementos que se acoplan a él, el esfuerzo máximo generado es de 54 MPa, mientras que el límite elástico del material seleccionado para el eje es de 352 MPa; esto significa que el esfuerzo máximo generado sobre el eje es un 15,34 % menor que el límite elástico del material.

Al aumentar el ciclo de trabajo de la fuente de corriente se obtuvo que las corrientes máxima y mínima generadas por esta son de 2,31 A cuando el ciclo de trabajo es de 100 % y de 0,242 A cuando el ciclo de trabajo es de 10 %. Es decir, que al disminuir el ciclo útil de 100 a 10 %, la corriente generada por la fuente de corriente disminuye en un 10,48 %.

Agradecimientos

Gracias al ingeniero David Alexander Cano por la atención prestada en todo momento a la hora de diseñar el sistema electrónico del banco de pruebas.

REFERENCIAS

- [1] Çengel, Y. A. & Boles, M. A. (2008). *Thermodynamics: An Engineering Approach* (7.ª ed., pp. 775-791). McGraw-Hill.
- [2] Payri, F. & Desantes, J. (2015). *Motores de combustión interna alternativos*. editorial (5.a ed., pp. 55 y 409). Editorial Reverté.
- [3] Dhoot, R., Gaikar, S., Kulkarni, N. & Jain, O. (2016). *Design & Theoretical Study of Electromagnetic Braking System*, 13(6), 87-96.
- [4] Information, D., Packages, A. & Circuit, T.A. (2016). *LM138 and LM338 5-Amp Adjustable Regulators*, 338(1).
- [5] Information, D. (2016). *LM317 3-Terminal Adjustable Regulator*.

Life cycle of chewing gum

Ciclo de vida del chicle

ANGIE SOFÍA RUBIANO GALVIS¹ - YULY ANDREA SÁNCHEZ LONDOÑO²

1. Estudiante de Ingeniería Ambiental de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
2. Profesor catedrático del Centro de Estudios Ambientales de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

angie.rubiano@mail.escuelaing.edu.co - yuly.sanchez@escuelaing.edu.co

Recibido: 10/10/2022 Aceptado: 12/11/2022

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En este artículo se hablará acerca del ciclo de vida del chicle, su producción, cambios a lo largo de los años y cómo ha logrado posicionarse en el mercado y volverse un producto distribuido en todo el mundo. Además, se explicarán cuáles son los principales impactos ambientales, culturales y económicos que produce. Por último, se darán soluciones que se están empezando a implementar en Europa para que el impacto que produce, disminuya.

Abstract

This article will talk about the life cycle of chewing gum, its production, changes over the years, and how it has managed to position itself in the market and become a product distributed throughout the world. In addition, the main environmental, cultural, and economic impacts it produces will be explained. Finally, solutions will be given, which are beginning to be implemented in Europe so that the impact that this product produces decreases.

INTRODUCTION

This report will discuss the chewing gum cycle, how it is produced, what is the distribution process and scope in the market, what benefits the use of this product brings in the medicinal part, its impacts, and the ways in which it is giving a new use to reduce its environmental, economic, and social impact.

PRODUCTION OF CHEWING GUM

The beginning of the dial gum better known as “chewing gum”, dates to more than 9000 years ago. The ancient Greeks and Mayans used natural resins from various trees as chewing gum. This was extracted from the trees Chicozapote (Manikara Zapote), Nispero or “gum tree” native to the rainforests of Central and South America.

In 1848, John Curtis developed and marketed the first chewing gum based on chewing gum that was obtained from the sap and latex of the tree, from this he began to manufacture and sell products.

Then, in 1906, Thomas Adams American inventor played a significant role in the popularization of chewing gum, because he began to mix latex and sap with different ingredients such as sugar to find the right amount and thus form the most recognized flavor: Mint, which began to have greater recognition and visibility in 1871 [6].

With this new flavor in the market, the manufacture and distribution of chewing gum began to become popular, which allowed this market to begin to expand throughout the world, forming different companies that until today have significantly improved the formula thinking mostly about the cost of manufacturing. The elements they now use are polyvinyl acetate and neutral plastic or another polymer as a rubbery base, as it allows the product to be more economical [2].

MARKET AND DISTRIBUTION OF CHEWING GUM

At present, large companies that are dedicated to the manufacture of chewing gum use different processes for its elaboration, now different machines can be used that allow the mixing of ingredients to be conducted more easily. However, the manufacturing process has not changed significantly over the years.

For reasons of environmental care and the impacts that chewing gums produce, new measures have been implemented, including the development of chewing gum again with natural ingredients such as those mentioned above, sap and latex from trees.

There are 4 types of chewing gum: sugar-containing gum, sugar-free gum, coated gum, and pharmaceutical or medicinal gum (CGM). CGMs are solid preparations mixed with pharmaceutical doses which will take effect after it is chewed for a certain time, these bring great benefits since they make the consumption of medications for both children and adults much easier [4].

Impacts of chewing gum

Although the life cycle of chewing gum is not exceptionally long, the impact it produces both on the environment, the economy, and living beings is extremely high. In the part of the environment, chewing gum is currently the second type of garbage that is most found in the streets, following cigarette butts, each chewing gum that is on the street represents a risk of infection and risk to health since it can host more than 10,000 bacteria and fungi [5].

In some of the processes of making chewing gum, petroleum-derived ingredients such as paraffin wax are used, which means that there is a non-renewable resource that continues to be exploited. In the economic part, the effect comes from the cost of removing the chewing gums because after sticking on the asphalt it requires a long procedure to come out completely.

Finally, living beings can be affected in separate ways, for example, animals such as birds can cause suffocation because their striking colors of chewing gum attract them and make them try to grab them with their beak.

On the other hand, people can generate different diseases such as diarrhea, intestinal irritation, gas, among others. In addition, when chewing gum, the brain will send a signal to the stomach that some food is going to be consumed which will cause acids to be segregated and begin its activity, but by not receiving anything this will generate gastric problems.

DISPOSAL, RECYCLING, AND NEW ALTERNATIVES

Chewing gum generates impacts since it must be discarded in the unusable basket as the mixtures that are

made that do not allow it to be reused. However, today different movements are being created so that there is a way to recycle chewing gum, one of the most recognized cases is that of Ana Bullus, one of the most recognized designers in the United Kingdom, she started with a movement in which pink cans were placed, which were also made with chewing gum after going through a treatment, and next to these a sign informing that they were to deposit chewing gum as shown in Figure 1.

Much of the chewing gum sold on the street is a polymer which will allow new products to be created [3]. Hand in hand with a recycling company in Worcester, England, they began with the process of giving a new use to chewing gum. They shredded it, mixed it with other plastics and recycled polymers, and created shoes, soles, coffee cups, baskets, among other things which allow to give a new use to chewing gum [3].

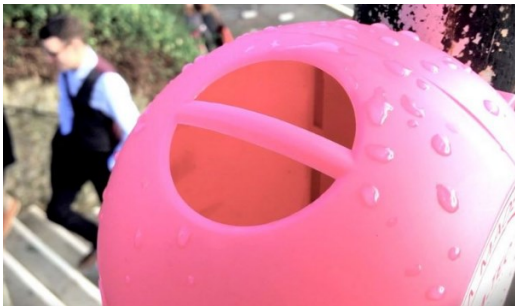


Figure 1. Bins made from used gum [4].

CONCLUSIONS

Chewing gum is a quite common residue, which must be disposed of in an adequate way so as not to generate impacts on the environment.

REFERENCES

- [1] Applied sciences (2020, 25 de septiembre). *Medicated Chewing Gums (MCGs): Composition, Production, and Mechanical* (p. 14).
- [2] Bioguía (2020, 13 de abril). *Bioguía*. From <https://www.bioguia.com/notas/de-que-esta-hecha-la-goma-de-mascar-y-que-consecuencias-tiene-para-tu-salud-y-el-ambiente>.
- [3] Ecoticias (2022, 19 de septiembre). *Periodico Verde*. From https://www.ecoticias.com/residuos-reciclaje/212236_chicle-residuo-peligroso-y-reciclable.
- [4] Shaw, D. (2018, 6 de abril). *BBC News Mundo*. From <https://www.bbc.com/mundo/noticias-43302533>.
- [5] Universidad Agustiniiana (2023, febrero). From <https://www.uniagustiniana.edu.co/noticias/el-chicle-y-su-incidencia-en-el-medio-ambiente>.
- [6] Targetstudy (2023). *Targetstudy*. From <https://targetstudy.com/knowledge/invention/117/chewing-gum.html>.

La escucha como punto de encuentro en el barrio

La Loma

Listening as a meeting point in La Loma neighborhood

FELIPE RODRÍGUEZ GÓMEZ

Artista. Profesor asistente de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

felipe.rodriguez@escuelaing.edu.co

Recibido: 10/10/2022 Aceptado: 12/11/2022

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>



Chile, noviembre de 2017

La escucha es transversal a todo proceso comunitario o grupal. La escucha, antes que la producción sonora, es el entendimiento del otro y de su relación dentro de un entorno común. El sonido que se presenta como resultado del proceso de escuchar es la transformación del espacio público en un espacio cultural, dinámica que, a su turno, es una actitud de resistencia que se presenta al cuestionar los lenguajes hegemónicos de comunicación.

En la actualidad, la tarea de cada institución consiste en mantener el *statu quo*¹. Hoy en día, la mayoría de las

manifestaciones sociales están representadas por una institución. El Estado como institución buscó reemplazar todos los procesos comunitarios y centralizarlos; la educación como institución buscó reemplazar todos los procesos sociales de conocimiento y vigilarlos; el deporte como institución buscó reemplazar mecanismos de recreación y tiempo libre para transformarlos en espacios de consumo; la burocratización y la centralización de estos y los demás procesos sociales existentes han estancado posibles transformaciones sociales, relacionándolos con el mercado y dejando que este determine su rumbo.

El arte contemporáneo tampoco se ha librado de este tipo de dependencia, ya que se ha visto despojado de su autonomía al estar regulado por su propio mercado; sus mecanismos y metodologías se han alineado con las necesidades de consumo globales y le han quitado sus particularidades contextuales, transformándolo en una masa homogénea: la globalización del arte. Nunca más el espacio específico (contexto cultural), por intermedio de la gente que lo habita, establece o propone sus

1. "Las instituciones son conservadoras porque, si no, no son instituciones". Esto dijo el político conservador colombiano Roberto Gerlein en una entrevista en la que describió cómo el poder se ha perpetuado en la historia de Colombia, al tiempo que hizo hincapié en la imposibilidad de que esto se transforme.

dinámicas, sino que son las dinámicas de lo global las que se insertan en cada proceso local para controlarlo.

La forma guarda la distancia. Retengamos esta figura y mentemos otro gran principio antiformalista contemporáneo: la reacción ante el esteticismo generalizado. Paradójicamente, la vieja utopía de estetizar todas las esferas de la vida humana se cumple no como conquista emancipatoria del arte o la política, sino como logro del mercado (no como principio de emancipación universal, sino como cifra de rentabilidad a escala planetaria). La sociedad global de la información, la comunicación y el espectáculo estetiza todo lo que encuentra a su paso, que es todo. Este desborde de la razón instrumental niega posibilidades revolucionarias a la pérdida de autonomía del arte. Y así, de golpe, el viejo sueño vanguardista es birlado al arte por las imágenes del diseño, la publicidad y los medios².

De la coyuntura actual surge la pregunta de cómo construir procesos autónomos (no dependientes de las instituciones) en cualquier ámbito, ya sea artístico, científico, político o social.

Desde el sonido se puede iniciar un proceso de desinstitucionalización del mundo, contrarrestando la domesticación de todas las instancias humanas con procesos de emancipación, que compensan el despotismo de las instituciones con procesos comunitarios. Lo sonoro como potencia autónoma latinoamericana propone, primero que todo, un análisis de la estructura, dinámicas y mecanismos comunes con los que nos relacionamos en la sociedad para plantear nuevas metodologías y mecanismos de subsistencia que entienden al ser humano no como el centro del planeta, sino como parte del sistema planetario.

Llegó un momento en que la brutalidad, del voraz y degradado niño interior de nuestra especie, comenzó a ser socializada y depurada durante el alba de la antigua era matrística, en el Neolítico (al menos en el caso de nuestros ancestros arios y semitas, quienes fueron tribales antes de tornarse despóticos). Podemos suponer que con la expansión de la sequía los hombres más autárquicos, que se habían resistido desde el principio a la vida sedentaria, desencadenaron una agresión colectiva hacia las sociedades agrícolas (simbolizada por el relato de Caín y Abel) que condujo finalmente al patriarcado³.

La escucha como punto de encuentro en el barrio La Loma surge como resultado de la cohesión social y creativa de quienes habitan y, por tanto, construyen el barrio; como propuesta artística, es un acto de contemplación analítica —en este caso, de las dinámicas del barrio—, que plantea intervenciones dentro de la cotidianidad. Una propuesta social que abarca lo cultural, lo pedagógico, lo espacial y lo comunitario, preguntándose por caminos autónomos de comunidad.



Sede barrio La Loma.

*La verdad de las cosas
es que nosotros nos sentábamos en la diferencia
quién iba a molestar con esas preguntas
en el mejor de los casos apenas nos hacían temblar
únicamente un malo de la cabeza
la verdadera verdad de las cosas
es que nosotros éramos gente de acción
a nuestros ojos el mundo se reducía
al tamaño de una pelota de fútbol
y patearla era nuestro delirio
nuestra razón de ser adolescentes
hubo campeonatos que se prolongaron hasta la noche
todavía me veo persiguiendo
la pelota invisible en la oscuridad
había que ser búho o murciélago
para no chocar con los muros de adobe
ese era nuestro mundo
las preguntas de nuestros profesores
pasaban gloriosamente por nuestras orejas
como agua por espalda de pato
sin perturbar la calma del universo⁴.*

2. Escobar, T. (2007). *La invención de la distancia*.

3. Naranjo, C. (2011). *Sanar la civilización*.

4. Parra, N. (2017). *El último apaga la luz*.



Lo más representativo del barrio La Loma es su equipo de fútbol. El Club Deportivo Estrella Roja se fundó el 10 de febrero de 1955, en el mismo mes y año en que se organizó la vigesimotercera edición del Campeonato Suramericano de Fútbol, y en que se inauguró la Base Militar Presidente Aguirre Cerda. Hoy en día, el único de los tres que se mantiene y aún resiste los devenires del tiempo es el Estrella Roja. La base militar, ubicada en la isla Decepción, desapareció y solo algunos vestigios en ruinas de lo que fue su estructura se conservan, en tanto que el Campeonato Suramericano de Fútbol murió para transformarse en lo que hoy conocemos como la Copa América, un torneo que poco conserva de los valores y las utopías del balompié⁵. No es el fútbol, sino el simulacro⁶ del fútbol hecho institución lo que hoy en día sobrevive ante los ojos de la gente, el fútbol no como proceso social sino como mecanismo de control y disuasión.

Por el contrario, el Club Deportivo Estrella Roja trata de restituir los potenciales de este deporte al entender su capacidad para congregarse e interactuar en forma solidaria, trasladando estas capacidades expuestas en el campo de juego a la vida diaria, fortaleciendo así la construcción del tejido social del barrio. El club, más allá de ser el núcleo de muchas alegrías deportivas, ha desempeñado el papel de posibilidad cultural, educativa e histórica al desplegar la idea de fútbol a un contexto más amplio que el campo de juego, recordando las

características sociales de los primeros equipos latinoamericanos⁷.

La expansión del Club Deportivo Estrella Roja es un claro ejemplo de cómo reconstruir nuestro tejido social y de cómo algo tan sencillo como el fútbol puede fortalecer las demás partes de nuestro sistema social comunitario. El barrio La Loma es La Estrella Roja.

*Al lado izquierdo de nuestro pecho,
donde late nuestro corazón,
brilla una estrella de color rojo que nos regala fuerza y valor.
Nació en La Loma, en Valparaíso,
y le dio el nombre a nuestro club,
es el orgullo de nuestra gente
y en el deporte es nuestra luz;
Estrella Roja, Estrella Roja,
grita la hinchada con emoción
cuando en la cancha nuestros muchachos
juegan con clase y a lo campeón.
Con el ejemplo los que un día
al club le dieran gloria y honor,
Estrella Roja, Estrella Roja,
hoy te entregamos el corazón⁸.*

Desde aquí se desarrolla el proyecto en el marco del festival Tsonami⁹ en Chile, una posibilidad de escuchar, proponer e interactuar. Para esto se llevaron a cabo tres iniciativas:

- **Talleres de escucha enfocados en profesores y gestores audiovisuales del barrio.** Los talleres tienen como propósito ahondar en el carácter egocéntrico¹⁰ de la escucha, con el fin de rescatar desde

5. "La historia del fútbol es un triste viaje del placer al deber. A medida que el deporte se ha hecho industria, ha ido desterrando la belleza que nace de la alegría de jugar porque sí. En este mundo de fin de siglo, el fútbol profesional condena lo que es útil, y es útil lo que no es rentable".
6. "Hoy en día, la abstracción ya no es la del mapa, la del doble, la del espejo o la del concepto. La simulación no corresponde a un territorio, a una referencia, a una sustancia, sino que es la generación por los modelos de algo real, sin origen ni realidad: lo hiperreal. El territorio ya no precede al mapa ni le sobrevive. En adelante, será el mapa el que preceda al territorio –PRECESIÓN DE LOS SIMULACROS– y el que lo engendre, y si fuera preciso retomar la fábula, hoy serían los jirones del territorio los que se pudrirían lentamente sobre la superficie del mapa. Son los vestigios de lo real, no los del mapa, los que todavía subsisten esparcidos por unos desiertos que ya no son los del imperio, sino nuestro desierto. El propio desierto de lo real".

7. Cuando el fútbol dejó de ser cosa de ingleses y de ricos, en el Río de la Plata nacieron los primeros clubes populares, organizados en los talleres de los ferrocarriles y en los astilleros de los puertos. En aquel entonces, algunos dirigentes anarquistas y socialistas denunciaron esta maquinación de la burguesía, destinada a evitar las huelgas y enmascarar las condiciones sociales... Sin embargo, el club Argentinos Juniors nació llamándose club Mártires de Chicago, en homenaje a los obreros anarquistas ahorcados un 1º de mayo, y fue un 1º de mayo el día elegido para dar nacimiento al club Chacarita, bautizado en una biblioteca anarquista de Buenos Aires. En aquellos primeros años del siglo, no faltaron intelectuales de izquierda que celebraron el fútbol en lugar de repudiarlo como anestesia de la conciencia. Entre ellos, el marxista italiano Gramsci, que elogió 'este reino de lealtad humana ejercida al aire libre'.
8. Raúl Valencia escribió la letra y la música de la canción en 2008, en homenaje al cerro La Loma de Valparaíso, a su gente y a su Club Deportivo Estrella Roja.
9. <https://www.tsonami.cl/>.
10. A veces, en esta posición de escucha, el sentimiento de estar "en el centro de los ruidos" aparece como un fantasma revelador (pues el centro de los

ahí las cualidades estéticas y sociales del sonido. Estas cualidades abarcan desde la comunicación hasta la contaminación sonora. Cada uno de los participantes en el taller traza su propio recorrido¹¹ sonoro dentro de Valparaíso, por lo que desde el inicio del recorrido –durante los 30 primeros minutos– se les entregan tapaoídos industriales. La actividad empieza con un desayuno que sirve para entender la escucha interna, y de ahí, seguir el recorrido trazado por cada uno de los participantes, donde la intención principal es perderse¹² en el camino trazado y reclamar los sonidos del entorno como propios. Se construye una mezcla en tiempo real entre los sonidos del paisaje y los sonidos internos del cuerpo. Al final, lo que es un recorrido planteado desde lo individual se transforma en un recorrido que plantea que somos parte de un todo. Las particularidades de este recorrido permiten reivindicar dentro de la cotidianidad las particularidades del viaje, el peligro, la experiencia, el riesgo, la transformación.

- **Taller de edición y grabación.** Este taller surgió de la interacción con el colectivo del barrio, llamado La Loma TV¹³. El colectivo es un canal de televisión comunitaria, involucrado en todos los procesos culturales y sociales del barrio, que fomenta constantemente actividades pedagógicas culturales y de integración que rescatan el carácter del barrio y su memoria histórica. Es un canal de televisión expandido, ya que además de producir audiovisualmente construye espacios culturales para la comunidad. El taller se enmarcó en el contexto de la realización de

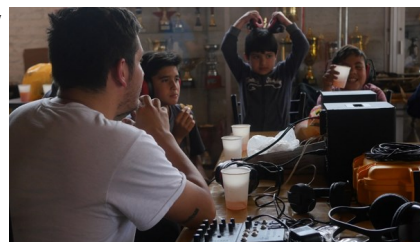
una película, consecuencia de una serie de talleres hechos por el colectivo con los niños del barrio, quienes fueron los que desarrollaron toda la película: desde la actuación, pasando por el guion y la grabación, hasta la dirección.

- **Partido de fútbol.** Organizamos un partido de fútbol con los niños del barrio, con el objeto de conmemorar la identidad de La Loma. Los participantes llevaban tapaoídos industriales durante el primer tiempo, en desarrollo de un proceso de escucha de la respiración, los pasos, los roces. Durante el segundo tiempo se quitaron los tapaoídos y se dio paso a la comunicación verbal.
- **Taller de Foley.** Realizamos un taller de Foley con el propósito de introducir la posibilidad de crear sonidos. Una introducción para entender que todos los sonidos están dentro de nosotros.



Taller de escucha: Partido de fútbol en la calle del barrio La Loma.

Taller de Foley con los niños del barrio La Loma.



ruidos no está más aquí que allí), significativo del carácter frecuentemente egocéntrico y centrípeto de la audición. Este fantasma se asocia tanto a un sentimiento de persecución como a una plenitud, a una paz, o a una fusión con lo universal.

11. En la base del viaje hay a menudo un deseo de mutación existencial. Viajar es la expiación de una culpa, una iniciación, un acrecentamiento cultural, una experiencia: "La raíz indoeuropea de la palabra 'experiencia' es *per*, que ha sido interpretada como 'intentar', 'poner a prueba', 'arriesgar', unas connotaciones que persisten en la palabra 'peligro'. Las connotaciones demostrativas más antiguas de *per* aparecen en los términos latinos que aluden a la experiencia: *experior*, *experimentum*. Esta concepción de la experiencia en cuanto cimiento, en cuanto paso a través de una forma de acción que mide las verdaderas dimensiones y la verdadera naturaleza de la persona o del objeto que lo emprende, describe también la concepción más antigua de los efectos del viaje sobre el viajero".
12. "Perdersé significa que entre nosotros y el espacio no existe una relación de dominio, de control por parte del sujeto, sino la posibilidad de que el espacio nos domine a nosotros. Son momentos de la vida en los cuales empezamos a aprender del espacio que nos rodea. Ya somos capaces de otorgar un valor o un significado a la posibilidad de perdersé".
13. https://www.facebook.com/pg/lalomatvpopular/videos/?ref=page_internal.



Taller de Foley con los niños del barrio La Loma.

Taller de escucha: Comida y resonancia interna.



Teniendo en cuenta las iniciativas mencionadas, vale la pena aclarar que lo fundamental dentro de esta iniciativa no es su parte teórica sino su implementación, su fase experiencial, más allá de discutir parte de sus contenidos teóricos y conceptuales para buscar un mayor entendimiento de sus posibilidades y enfocarlas en una conclusión que permita desglosar su proceso. Lo siguiente es una conclusión que reduce la experiencia, pero que tiene la intención de fomentarla también en el lector:

El carácter egocéntrico de la escucha es, más que una particularidad, una perspectiva de entendimiento mediada por el pensamiento individualista actual. El carácter de lo sonoro no es egocéntrico, es sistémico, y se parece más a la estructura tribal mencionada por Claudio Naranjo, la cual precede al individualismo autoritario. En el sonido todos somos uno, por lo que desaparece la jerarquía entre centro y periferia. Lo egocéntrico de la escucha es el enfoque impuesto, que se le atribuye cuando se escucha o cuando se producen sonidos. Remplazar el “yo” por el “nosotros” es una consideración fundamental a la hora de racionalizar y entender los procesos artísticos y sociales. Por ejemplo, la homogeneización estética, conceptual y metodológica en el arte es una consecuencia de la predominancia del “yo” (el individualismo) sobre el propósito de lo realizado en el “nosotros” (lo colectivo). En el entendimiento de todo el proceso de este proyecto es fundamental remplazar el término “egocéntrico” por “sistémico”.

Esta misma hominización sucede dentro de todos los aspectos sociales hoy en día institucionalizados. Pero si entendemos lo social como un sistema complejo interconectado, podemos plantear que la desinstitucionalización de uno de los aspectos sociales puede conducir a la desinstitucionalización de los demás y la reintegración de la sociedad y sus procesos. Podremos entender que en cada proceso social se encuentran todos los demás, así como también que al sacrificar o violentar cualquiera de estos procesos, los estamos vulnerando todos.

El sonido es esto: ese vaivén en el que algo se ha movido. “Aliento inmenso de la mar”. En francés, no es difícil oír “de la madre” [*mer*: mar; *mere*: madre] e imaginar una respiración cercana y gigantesca. Pero ¿este “aliento inmenso” no podría ser también la imagen escotomizada, por parte del durmiente, de su propia y tan cercana respiración? El aliento de la mar y el del durmiente serían una misma cosa. Así, Rugo terminaría su poema mediante una confrontación especular entre el poeta y el cosmos. Cuando no hago ningún esfuerzo por volver a proyectarlo hacia afuera, ¿el sonido está dentro de mí? Todo ello, esos sonidos de voces, de herramientas, de caballos, de campanas, ¿no podrían estar tramados dentro de mí, contenidos en mi respiración interna de la misma manera que el aliento marino —imagen invertida del mío— trama, engloba y absorbe, en su caída al modo de Rugo, todos los demás ruidos?¹⁴.

REFERENCIAS

1. <http://lasillavacia.com/silla-caribe/en-colombia-ricos-y-pobreson-clientelistas-roberto-gerlein-64931>.
2. Escobar, T. (2007). *La invención de la distancia*. Asunción: Editorial Servilibro.
3. Naranjo, C. (2011). *Sanar la civilización*. Barcelona: Editorial La Llave.
4. Parra, N. (2017). *El último apaga la luz*. Chile: Editorial Lumen.
5. Galeano, Eduardo (1995). *El fútbol a sol y sombra*. Buenos Aires: Siglo XXI Editores.
6. Baudrillard, J. (1978). *Cultura y simulacro*. Barcelona: Editorial Kairós.
7. Galeano, E. (1995). *El fútbol a sol y sombra*. Buenos Aires: Siglo XXI Editores.
8. <https://www.youtube.com/watch?v=7Dlisu4J-YQ>.
9. Chion, M. (1999). *El sonido*. Barcelona: Editorial Paidós.
10. La Cecla, F. (2000). *Perdersi: L'umo senza ambiente*. Bari: Editorial Laterza.
11. Leed, E. J. (1991). *The mind of the traveler: from Gilgamesh to global tourism*. Nueva York: Basic Books.
12. https://www.facebook.com/pg/lalomatvpopular/videos/?ref=page_internal.
13. Morin, E. (2006). *Inteligencia de la complejidad: epistemología y pragmática*. GEMR y SECPB.
14. Morin, E. (1999). *Los siete saberes*. Unesco.
15. Chion, M. (1999). *El sonido*. Barcelona: Editorial Paidós.

14. Morin, E. (1999). Los siete saberes.

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

Alcance y política

El objetivo de la *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* es difundir artículos técnicos que contribuyan al desarrollo del país a través de una publicación con alta calidad editorial y rigor científico.

La revista acepta prioritariamente los siguientes tipos de trabajos, que le permiten mantener su categorización:

1. **Artículo de investigación científica y tecnológica.** Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
2. **Artículo de reflexión.** Documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
3. **Artículo de revisión.** Documento producto de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica.

También admite artículos de las siguientes tipologías:

4. **Artículo corto.** Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren una pronta difusión.
5. **Reporte de caso.** Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular, con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico.
6. **Revisión de tema.** Documento resultado de la revisión crítica de la bibliografía sobre un tema en particular.

Cabe destacar que se privilegian para la revista los tipos de artículos de los numerales 1, 2 y 3.

La revista circula trimestralmente y recibe sólo artículos inéditos. Los trabajos recibidos se someten al concepto de pares académicos y del Consejo Editorial.

Requisitos para la publicación de artículos

Los artículos presentados a la revista deben remitirse por correo electrónico a revista@escuelaing.edu.co, adjuntando los siguientes formatos debidamente diligenciados: autor.doc, clasificación.doc y tipo.doc, cuyos archivos se pueden descargar de <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. En este mismo sitio está disponible la plantilla guía que contiene la estructura determinada por la revista para los artículos.

Scope and policy

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería disseminates technology articles helping to our country development. It emphasises on its high quality print and its scientific rigour. Articles submitted for publication shall be classified into one of the following categories— which allow it keeps its indexation:

1. **Scientific and technological research article.** These documents offer a detailed description about the original findings of research projects. In general, the usually used structure contains four important sections: introduction, methodology, results and conclusions.
2. **Reflection article.** These documents present the results of a research project on a specific, interpretative, or critical view by the author about a particular topic by using original sources.
3. **Review.** A document resulting from a finished research, where the published and/or unpublished findings of investigation in a particular field of science or technology are analysed, systematised and integrated to report the progress and the development tendencies. These documents include a careful bibliographic review.

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería also accepts the following types of articles:

4. **Short article.** A brief text presenting the original, preliminary and/or partial results of a scientific or technological study, which normally need to be disseminated as quickly as possible.
5. **Case report.** A document that presents the results of a study on a specific situation in order to report the technical and methodological experiences considered in a particular case.
6. **Thematic review.** These documents are the product of a critical review of literature on a particular topic.

Our revista privilege articles as the highlight ones in numbers 1, 2 and 3.

Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería is a quarterly publication that only accepts unpublished articles. The revista submits all the papers to the verdict of two academic peers, who evaluate the article.

Ruling for publication

The article must be sent by e-mail to revista@escuelaing.edu.co with 3 files attached: Author.doc, Classification.doc and Type.doc available in <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. There is also a template guide for the structure of the article (template guide.doc).



Confía en 4-72,
el servicio de envíos
de Colombia

Línea de atención al cliente:
(57 - 1) 472 2000 en Bogotá
01 8000 111 210 a nivel Nacional

.....

www.4-72.com.co