

REVISTA SAI

VOL. 4, NO.7

NOVIEMBRE 2025



Sociedad Antioqueña de
Ingenieros y Arquitectos

La Fuerza de la Razón - 1913



Palabras del **PRESIDENTE SAI**

GERARDO DOMÍNGUEZ GIRALDO

Un año de grandes obras, conocimiento y conexión

El 2025 ha sido un año que nos invita a la reflexión. Desde la Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos, hemos sido testigos de un periodo lleno de logros, aprendizajes y espacios de encuentro que fortalecen nuestro compromiso con la ingeniería, la arquitectura del país.

Realizamos este año el VI Seminario Internacional de Ferrocarriles y Transporte Sostenible, un evento que superó todas las expectativas. Contamos con una agenda académica de primer nivel, integrada por expertos nacionales e internacionales apasionados por los ferrocarriles, la tecnología, la inteligencia artificial y la búsqueda de alianzas técnicas y comerciales entre países. Fue especialmente inspirador ver la participación activa de estudiantes y profesionales jóvenes, quienes con su curiosidad nos recordaron que el futuro del transporte sostenible está en buenas manos.


Más adelante, celebramos el XX Seminario Andino de Túneles y Transporte Sostenible – II Expotúneles, que una vez más ratificó el liderazgo de Antioquia y de Colombia en la construcción de túneles en Sudamérica. Ingenieros, académicos y representantes de empresas de distintos rincones del mundo se reunieron para compartir experiencias y desafíos en esta disciplina tan compleja como apasionante. La gran asistencia y el nivel técnico de las presentaciones reafirmaron que la SAI es un punto de encuentro indispensable para el intercambio de conocimiento.

En paralelo, nuestra región continúa avanzando con obras que transforman el territorio. El túnel del Toyo, y su vía al mar, la construcción del intercambio vial del Aeropuerto José María Córdova, ejecutada con calidad y cumplimiento, es ejemplo de cómo la planeación técnica responsable mejora la movilidad y la competitividad. Las vías 4G de Antioquia, que nos conectan con el resto del país, evidencian el espíritu pujante de una región que no se detiene. El puerto de Urabá, cada vez más cerca de operar activamente, representa una puerta al desarrollo logístico y comercial que traerá oportunidades para miles de personas.

Cada una de estas obras, junto con los puentes, túneles y corredores que moldean nuestro paisaje, son mucho más que infraestructura: son caminos de progreso y esperanza. No son estructuras frías ni distantes; son el reflejo de la visión y el compromiso de quienes creen que la ingeniería es una herramienta para mejorar la vida de las comunidades.

Finalmente, quiero felicitar y agradecer a todos los profesionales que hicieron posible esta edición de nuestra revista técnica. Su aporte de investigación convierte este número en un verdadero material de consulta académica, de colección y de inspiración para las nuevas generaciones de ingenieros y arquitectos que continuarán construyendo el futuro de nuestra región y del país.

Sigamos trabajando juntos, con ética, para que la ingeniería y la arquitectura sigan siendo pilares del desarrollo sostenible de Colombia.


Gerardo Domínguez Giraldo
Presidente SAI



NOTAS DEL DIRECTOR

ENRIQUE POSADA RESTREPO

Con esta edición damos continuidad a nuestro ciclo moderno de publicación digital de la REVISTA DE LA SAI. Este es el número siete, en el cual contamos con 9 artículos, resultado de la colaboración de distintos autores, muchos de ellos socios de la SAI; pero también agradecemos la presencia de escritores amigos de la SAI, que no son socios.

Creemos que todos los temas que acá se incluyen son de gran interés, e inclusive, en varios casos de novedad. Es muy satisfactorio observar cómo se va perfilando nuestra revista, con el apoyo de nuestro presidente el ingeniero Gerardo Domínguez, de la Junta Directiva y con el soporte de la subdirección estratégica de la SAI, a cargo del ingeniero Julián Pérez

Al personal de la SAI que ha intervenido en los distintos aspectos de esta edición, nuestro reconocimiento. Para nuestros colaboradores, un gran agradecimiento por esos aportes, que se constituyen en una invitación todos los socios y a los amigos de la SAI para que mantengamos activa la revista con sus contribuciones. Hemos logrado, con este número siete, mantener nuestra firme decisión de publicar una edición de la revista al final de cada semestre, de tan manera que tenemos dos números anuales.

Reciban entonces ustedes nuestra invitación a mandar sus trabajos para la edición del primer semestre de 2026, para el número ocho, antes del 15 de abril y para el segundo semestre de 2026, número nueve, del 15 de septiembre de ese años.

Consulten por favor en esta edición las normas de publicación, las cuales también estarán disponibles en nuestra página web de la SAI y en la dirección técnica de nuestra sociedad.

Queremos publicar en cada edición:

- Artículos con opiniones, ensayos y reflexiones de fondo sobre temas esenciales y vitales para la ingeniería y la arquitectura, los proyectos importantes y los asuntos de importancia.
- Notas históricas, crónicas, notas sobre personajes importantes, sobre empresas y entidades, y sobre proyectos importantes, para registrar hitos de nuestras profesiones, de sus proyectos y de la actividad empresarial e institucional.
- Notas culturales que ilustren y amplíen la visión interdisciplinar e integral y que destaquen los ricos aspectos estéticos, artísticos, literarios, históricos que dan calidad de vida a la región y a las actividades de nuestras profesiones.
- Notas técnicas y científicas ilustrativas, que destaquen y divulguen los avances en la ciencia, en la tecnología, en el estado del arte de los temas que atañen a nuestras profesiones.
- Artículos técnicos y científicos que se refieran a estudios, investigaciones, avances, desarrollos, sean originales o de divulgación. En el primer caso, serán sometidos a revisión de pares.

Nuestra revista será publicada digitalmente, con la posibilidad futura de imprimir cantidades limitadas, en caso de lograr el patrocinio respectivo, para distribución limitada. Nuestra idea es evolucionar continuamente con la revista, registrarla dentro de los sistemas que acogen este tipo de revistas, para llevarla cada vez más a lograr una posición valiosa en nuestro medio, como un vehículo de expresión de todos aquellos que deseen compartir sus conocimientos, experiencias valiosas y reflexiones en temas relacionados con nuestro gremio y nuestras profesiones y sus proyecciones y logros. Igualmente deseamos que sea un medio para divulgar a nuestros empresarios y a sus proyectos comerciales y negocios, a través de la publicidad, con la idea también de generar algunos recursos para la SAI, además de cubrir los costos que pueda tener este esfuerzo editorial.

Esperamos que la propuesta, ya en su séptimo número, esté siendo atractiva para todos ustedes, de manera que nos apoyen en todas las formas posibles, con publicidades, difusión y participación

PRESIDENTE SAI

Gerardo Domínguez Giraldo

DIRECTORA EJECUTIVA SAI

Mónica Isabel Palacio Salazar

DIRECTOR REVISTA SAI

Enrique Posada Restrepo

CONSEJO EDITORIAL

**Óscar Jaime Restrepo Baena
Enrique Posada Restrepo**

DIAGRAMACIÓN

**Daniel Alejandro Monsalve Bedoya
Julián Pérez Cardona**

Medellín, Colombia



(+57) 319 289 6603



CRA 43B # 16-95 OF. 510-2



SAI@SAI.ORG.CO



Sociedad Antioqueña de
Ingenieros y Arquitectos

La Fuerza de la Razón - 1913

Tabla de Contenido

LA INFLUENCIA DE LAS FRONTERAS EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS FÍSICOS Y POLÍTICOS

Enrique Posada Restrepo Página 1

ANÁLISIS DE LOS AVANCES Y RETOS DEL SECTOR EMPRESARIAL EN LA GESTIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN ANTIOQUIA, COLOMBIA

Sebastián Jiménez Arango Página 23

INGENIERÍA PARA CERRAR EL CICLO: LA TRANSICIÓN DE ENKA HACIA LA ECONOMÍA CIRCULAR A ESCALA INDUSTRIAL

Álvaro Hincapié Página 39

LA INGENIERÍA EN COLOMBIA: ENTRE LA VOCACIÓN, LA FORMACIÓN Y EL FUTURO

Rubén Darío Ochoa Arbeláez Página 46

EFFECTOS DE LOS CONTAMINANTES EN LOS DEVANADOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS

Walter Evaldo Kuchenbecker¹, Daniel Rodrigo Moretti² Página 53

EDIFICACIONES QUE PRODUCEN ENERGÍA: LA INTEGRACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL FUTURO URBANO DE COLOMBIA

Edwin Ramírez Pérez,¹; José Uribe,²; Camilo Pérez ³; Franklin Jaramillo ⁴ Página 72

SISTEMA DE GERENCIAMIENTO INTEGRAL PARA LOGRAR ORGANIZACIONES COMPETITIVAS

Arturo Alejandro Briso Inostroza Página 88

ENFOCADOS EN EL VALOR: ESTRATEGIAS EMPRESARIALES Y PERSONALES

Rodrigo Posada Pineda Página 98

LOS MÉTODOS GRÁFICOS PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CERCHAS O ARMADURAS

Tomás Castrillón Oberndorfer Página 110

INSTRUCCIONES PARA PUBLICAR EN LA REVISTA SAI Página 131

LA INFLUENCIA DE LAS FRONTERAS EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS FÍSICOS Y POLÍTICOS

Enrique Posada Restrepo

*Ingeniero mecánico UPB; Bs y máster en ingeniería mecánica, University of Maine,
Orono, Maine, EUA
eposadar@yahoo.com*

Resumen: A partir de un análisis del comportamiento de las temperaturas en un sólido simple en dos dimensiones bajo condiciones inestables, se discute el impacto que tienen las condiciones de frontera sobre el comportamiento interior, haciendo énfasis en el impacto sobre la zona central del cuerpo. Para ello se simulan variaciones en la frontera simétricas y asimétricas, estables y variables en el tiempo. Se observa que los cambios en la frontera pueden dar lugar a todo tipo de arreglos en el espacio anterior, que parecen sorprendentes ante condiciones iniciales estables en todo el espacio. Después de este análisis se hacen diversas reflexiones sobre la importancia que tienen las fronteras a nivel político, y la atención y cuidado que se dé a las mismas, notablemente en situaciones como las nuestras, sometidas a manejos extremadamente centralizados. Se propone la importancia de prestar, en todos los casos, físicos o políticos, mucha atención las fronteras, entendiendo y conociendo bien, en el caso físico, las condiciones de frontera y dando la necesaria atención y protagonismos a las fronteras de las regiones, en el caso político y social.

Palabras clave: Fronteras, Condiciones Iniciales, Condiciones, de Frontera, Manejo de variaciones, Manejo de Límites, Atención, Cuidado.

1. LA FONTERA

En este trabajo, el término frontera se refiere a los límites que rodean un espacio sujeto a comportamientos que se quieren estudiar y modelar. Las fronteras están definidas por líneas, superficies o contornos, que pueden tener mucha irregularidad, tanta que puede ser necesario utilizar herramientas basadas en fractales para aproximarse a ellas. En los fractales hay que definir el contorno con descripciones que se adentran en el caos, la singularidad, la visión de imágenes y la complejidad, puesto que se pueden dar situaciones de falta de continuidad, cambios bruscos de direcciones y extrema variación en los gradientes (cambios espaciales) de las variables. Hace parte también del concepto extendido de frontera, los datos temporales, es decir, los límites relacionados con el tiempo, notablemente las denominadas condiciones iniciales del problema.

Es evidente que desempeñan un papel muy importante en el comportamiento de los sistemas físicos, actuando como la interfaz en la cual las condiciones externas interactúan con la

dinámica interna del sistema. Tales fronteras, para un sistema físico, definen las condiciones bajo las cuales se intercambian energía, materia e información, influyendo directamente en su estabilidad, evolución y equilibrio. He visto la importancia de todo ello en campos en los cuales he trabajado, como la termodinámica, la mecánica de fluidos y la transferencia de calor, donde hay que conocer las condiciones de frontera para determinar cómo responde un sistema a su entorno.

Las condiciones de frontera pueden corresponder a valores especificados para las variables importantes del problema, los cuales son especies de camisas de fuerza dentro de las cuales ocurre el comportamiento de los espacios interiores del objeto estudiado. También pueden ser valores de flujos para dichas variables, especificados como gradientes (variaciones de la variable con el espacio en la zona de la frontera o como flujos de energía, masa o de otras entidades, igualmente establecidos en la frontera.

Existe cierta complejidad para asignar las condiciones de frontera, por razones como las siguientes:

- La frontera puede no estar bien definida, sea tanto en el espacio, como en los valores de las variables influyentes en el problema estudiado.
- Pueden existir variaciones temporales, asociadas también con falta de certeza sobre la magnitud de los cambios de las mismas en el tiempo.
- La frontera de un sistema es igualmente frontera de los cuerpos vecinos y está influenciada por los comportamientos de tales espacios externos. Puede suceder que no se cuente con suficiente información al respecto.
- En las fronteras ocurren con frecuencia flujos de masa y energía, los cuales a su vez impactan el comportamiento.
- Las situaciones en los problemas reales tienden a ser experimentales y dinámicas, lo cual implica dificultades de medición y de registro y análisis, en tiempo real, de los datos.
- En el sentido experimental, lo usual es establecer automatismos en las respuestas que se dan a los comportamientos. Si los cambios se originan en las fronteras y se controlan sus impactos con base en registros de datos alejados de la frontera, tomado en las zonas centrales, las respuestas pueden ser tardías, desenfocadas y desniveladas con respecto a las situaciones riesgosas que pueden ocurrir.

Las fronteras en los sistemas físicos presentan complejidades significativas que afectan su comportamiento, especialmente cuando involucran superficies irregulares tipo fractal y capas límite. Estas características dificultan los análisis y requieren mayor sofisticación para comprender los fenómenos que ocurren.

Las superficies irregulares tipo fractal, por ejemplo, se caracterizan por una geometría que requiere de varias escalas para su definición. Son muy comunes en la naturaleza. Pensemos en una costa, un terreno montañoso o una superficie porosa. Es obvio que cuando se compara

con las fronteras lineales, planas o suaves, las de tipo fractal exhiben mayores longitudes y áreas de transferencia en la interfaz, lo que modifica el intercambio de energía y materia y de lugar a irreversibilidades, fricciones, disipaciones o turbulencias. Modelar estas fronteras plantea retos numéricos, ya que las ecuaciones tradicionales suponen continuidad y suavidad. Existen métodos de análisis fractal y simulaciones computacionales especiales, como las de Monte Carlo para tener en cuenta la influencia de la dimensión fractal en flujos y gradientes.

Las capas límite, por otro lado, son regiones delgadas que se dan cerca de una frontera, en el caso de los fluidos. En esas zonas de transición entre el interior del sistema y su frontera, las propiedades del sistema (por ejemplo, velocidades y temperaturas) cambian rápidamente debido a la interacción con la superficie. En mecánica de fluidos, la capa límite reduce la velocidad de un fluido de su valor en la corriente libre a un valor de cero en la pared, afectando la resistencia y el transporte de masa. En el calor hay también una capa límite térmica que influye en los gradientes de temperatura cerca de las fronteras, los cuales controlan los flujos de calor. La presencia de turbulencia o rugosidad en la superficie puede engrosar estas capas, aumentando la transferencia de calor y la complejidad computacional. Los modelos de comportamiento como los de Prandtl o Navier-Stokes resueltas numéricamente requieren datos más acertados de las condiciones de frontera y un refinamiento de la malla.

La interacción entre superficies fractal y capas límite añade otra capa de complejidad. La rugosidad fractal puede inducir vórtices o puntos calientes localizados dentro de la capa límite, amplificando los efectos de transporte. Esto es crítico en aplicaciones como el diseño de alas de aviones o intercambiadores de calor, donde las ineficiencias debidas a fronteras mal caracterizadas pueden ser significativas.

Acá no se desarrollarán estas ideas de complejidad, más allá de lo ya señalado, para advertir el cuidado que hay que tener en las fronteras.

La realidad es que en general es necesario simplificar los sistemas complejos mediante la modelización y en este aspecto la frontera cumple un papel esencial. Al aislar un sistema mediante fronteras definidas, se pueden aplicar las leyes de conservación de masa, momento y energía para derivar ecuaciones gobernantes, que en general son de comportamiento diferencial. Con frecuencia se requieren herramientas de discretización interna y cálculo aproximado numérico. Las correspondientes ecuaciones diferenciales experimentan comportamientos discontinuos en las fronteras, que exigen un tratamiento especial para eliminar las incoherencias y cambios bruscos y llevarlo todo a soluciones de continuidad. Esto es un verdadero arte.

Sin embargo, en la práctica real, los programas de cálculo poseen condiciones de frontera suministradas por defecto, que el programador escoge y utiliza con algún criterio. Es posible que sea necesario cambiar las estructuras de las soluciones numéricas en las fronteras, por ejemplo, afinando más las mallas o chequeando y verificando, en forma dinámica, con la

validez de los flujos y gradientes, en comparación con datos experimentales o la coherencia misma de los resultados contra el sentido del calculista u otros análisis existentes.

Lo aconsejable es que el calculista estudie bien la frontera y si es posible, revise y calibre las soluciones de alguna manera antes de dar por válidas las soluciones encontradas.

2. ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA FRONTERA EN UN CASO FÍSICO. CONDUCCION DE CALOR BAJO CONDICIONES INESTABLES EN DOS DIMENSIONES

Se presenta a continuación un análisis de las Condiciones de contorno en la dinámica térmica transitoria de una placa cuadrada. Para ello se hace un estudio simple de perturbaciones simétricas y asimétricas originadas en las fronteras.

2.1 Características del problema

Este estudio analiza la dinámica térmica transitoria en una placa cuadrada de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$, utilizando la ecuación de calor bidimensional en régimen no estacionario. Se evalúan cuatro casos: flujo constante en las cuatro paredes, temperatura constante, variaciones simétricas de flujos y temperaturas, y variaciones asimétricas de temperaturas.

Las características del problema son las siguientes:

Temperatura inicial en la placa $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Placa cuadrada de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$

Material acero. Conductividad térmica $k = 43\text{ kcal/h-m-}^{\circ}\text{C}$

Densidad $\rho = 7850\text{ kg/m}^3$

Capacidad calorífica $C_p = 0,115\text{ kcal/kg-}^{\circ}\text{C}$

Difusividad térmica $(\text{Alpha } \alpha) = k/(\rho C_p) = 0.476$

Se utiliza el método de diferencias finitas explícitas, con una malla de 50×50 puntos y un

$\Delta x = \Delta y = 0,02\text{ m}$

Con un intervalo temporal $\Delta t = 0,002\text{ h}$

Se asegura la estabilidad en el modelo con un Factor de Fourier Fo .

$Fo = (\alpha \times \Delta t / \Delta x^2) < 0,25$ En este caso $fo = 0,238$

La ecuación que controla el proceso es la siguiente:

$$\partial T / \partial t = \alpha (\partial^2 T / \partial x^2 + \partial^2 T / \partial y^2)$$

Donde: $(T(x, y, t))$ es la temperatura en función del tiempo t y de la posición x, y

Alfa $\alpha = k/(\rho C_p)$

$\partial T/\partial t$ es la rata de cambio temporal de la temperatura

$\partial^2 T/\partial x^2 + \partial^2 T/\partial y^2$ es el laplaciano en dos dimensiones, que describe la difusión espacial del calor.

Se ha resuelto el problema para cuatro casos, en todos ellos resolviendo mediante simulaciones numéricas, basadas en diferencias finitas explícitas. Se ha utilizado el sistema de trabajo de libre acceso <https://colab.research.google.com/>

Las casos son los siguientes:

Caso 1: Condición de frontera con flujo de calor q constante en las cuatro paredes (Se denomina condición de Neumann)

$q = +5.000 \text{ kcal/h m}^2$ (entra a la placa), entre 0,0 y 0,5 h

$q = -5.000 \text{ kcal/h m}^2$ (sale de la placa) entre 0,5-1,0 h.

Caso 2: Condición de frontera con temperatura T constante en las paredes (Se denomina condición de Dirichlet)

$T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, entre 0,0 y 0,5 h

$T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, entre 0,5 y 1,0 h

Caso 3: Condición de frontera con variaciones simétricas de flujos y temperaturas (Neumann y Dirichlet mixtos). Condiciones de fronteras semejantes para las cuatro caras.

$q = +5.000 \text{ kcal/h m}^2$ (entra a la placa), entre 0,0 y 0,5 h

$T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, entre 0,5 y 1,0 h

$q = -5.000 \text{ kcal/h m}^2$ (sale de la placa) entre 1,0 y 1,5 h.

$T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$, entre 1,5 y 2,0 h

$T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, entre 2,0 y 2,5 h

$T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ entre 2,5 y 3,5 h.

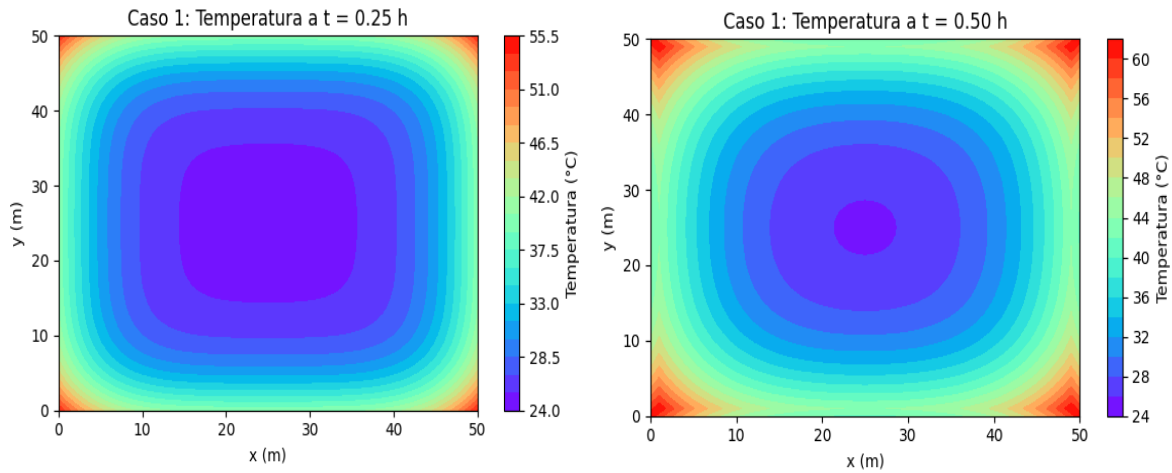
Caso 4: Variaciones asimétricas de temperaturas (Dirichlet). Condiciones variables en las distintas caras.

$T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ en una cara a la vez (empezando en la superior, luego la inferior, después la izquierda, finalmente la derecha) cada 0,5 h; las otras caras a $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

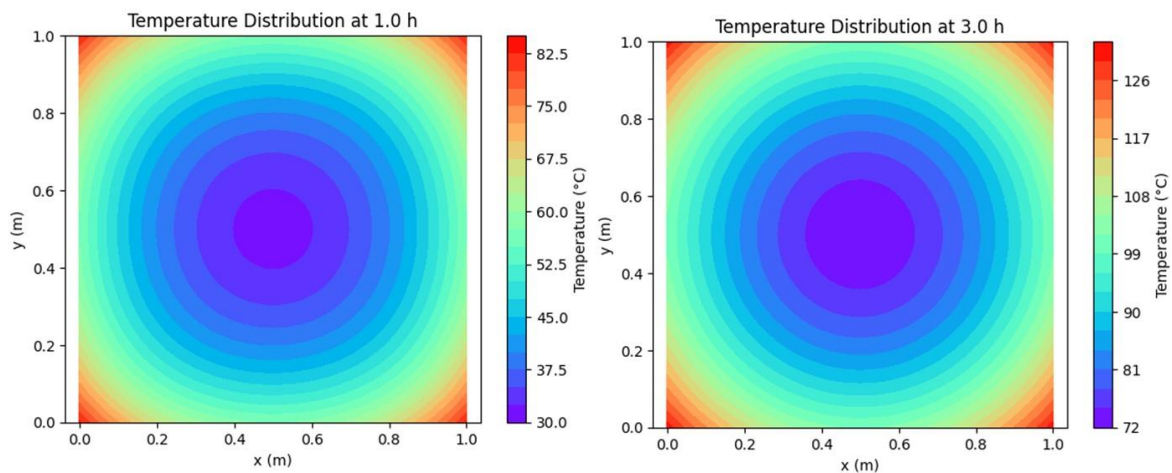
2.2 Soluciones obtenidas

Se presentan en forma gráfica y mediante tablas. Los resultados se van comentando, haciendo énfasis en el impacto de la frontera. Inicialmente la temperatura es $25 \text{ }^\circ\text{C}$ en todo el espacio. Los flujos de calor que entran, naturalmente, generan aumentos de temperatura y los flujos que salen tienen el efecto contrario.

CASO 1 Entra calor (5.000 kcal/h m^2) durante media hora. Sale calor (5.000 kcal/h m^2) durante otra media hora



Los flujos positivos de calor van aumentando las temperaturas, especialmente en las zonas de las esquinas, las más alejadas del centro. El centro mantiene sus temperaturas y la zona central se va estrechando, a medida que la frontera domina. De mantenerse los flujos positivos se va llegar a temperaturas altas en todo el espacio, como se observa a continuación.

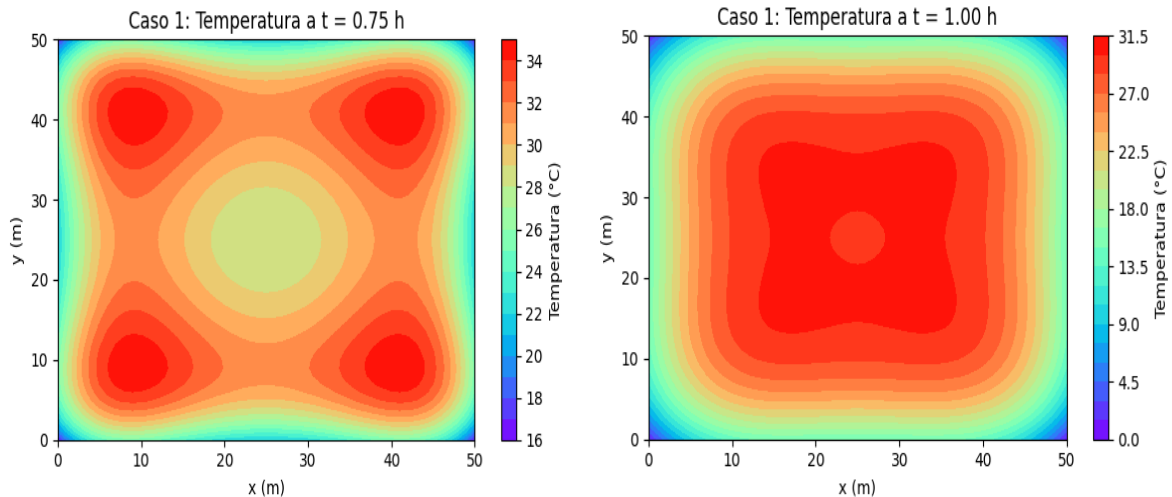


De todas formas, el centro responde de forma lenta al impacto que se siente en las fronteras.

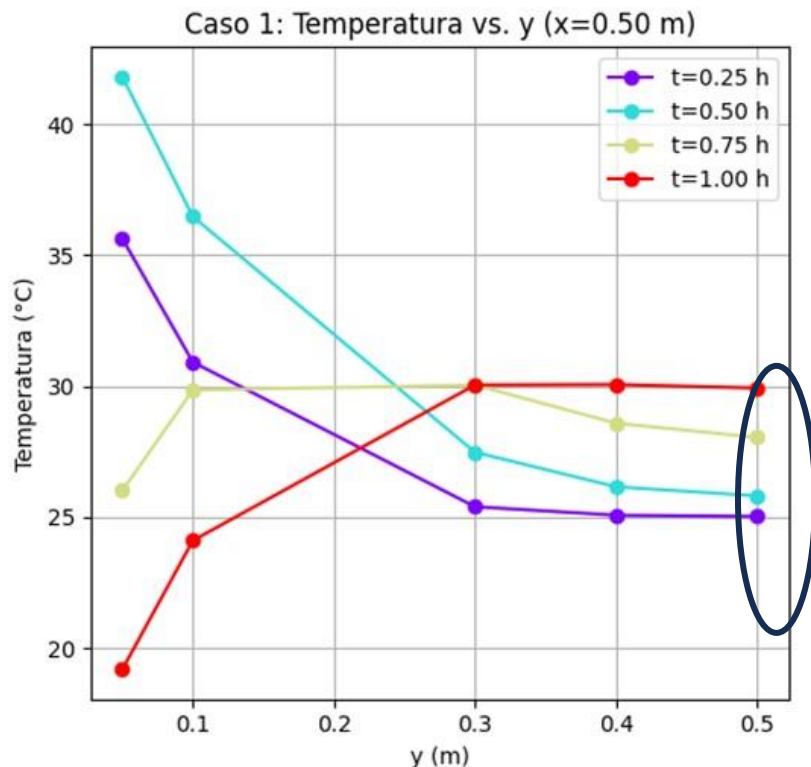
En el caso que se está simulando, a partir de la hora 0,5 se procede a aplicar flujos negativos de calor en todas las fronteras. Esto da origen a una caída generalizada de las temperaturas. Las esquinas se enfrían notablemente. El centro reacciona de nuevo con mayor lentitud. Estos efectos se aprecian en las figuras siguientes.

Se aprecia la formación de islas de calor cuando entran los flujos negativos de calor a compensar los positivos. Una isla central claramente diferenciada y cuatro islas situadas en las zonas medias de la placa, en el centro de las diagonales. Este efecto de islas desaparece

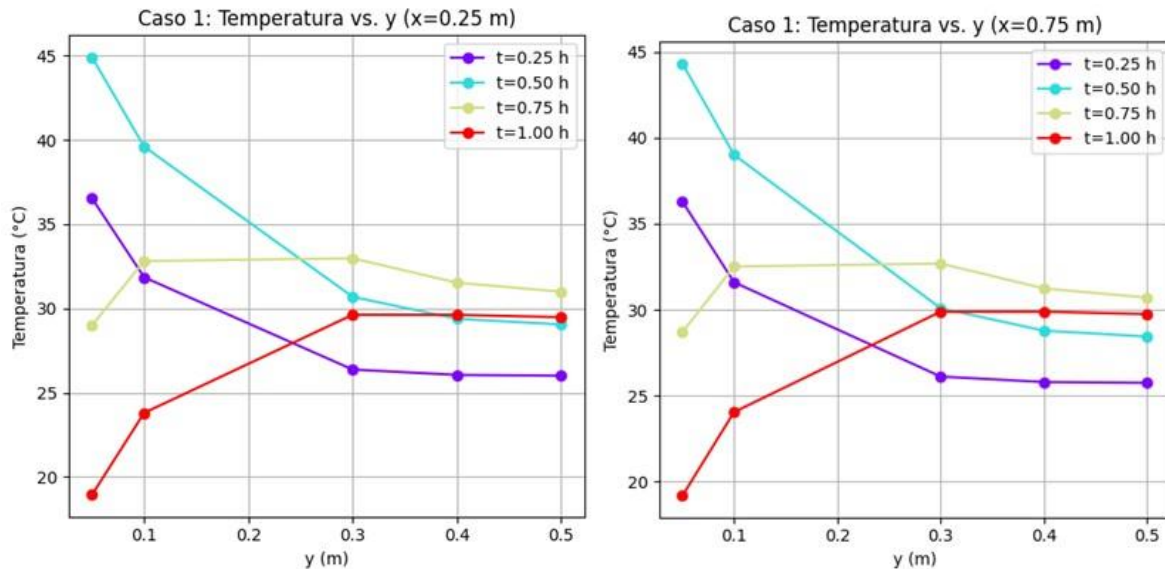
cuando los flujos negativos dominan, dando lugar a una rebaja general de temperaturas, de nuevo el centro manteniéndose cercano a la condición inicial.



La siguiente figura muestra la distribución numérica de los cambios de temperaturas.

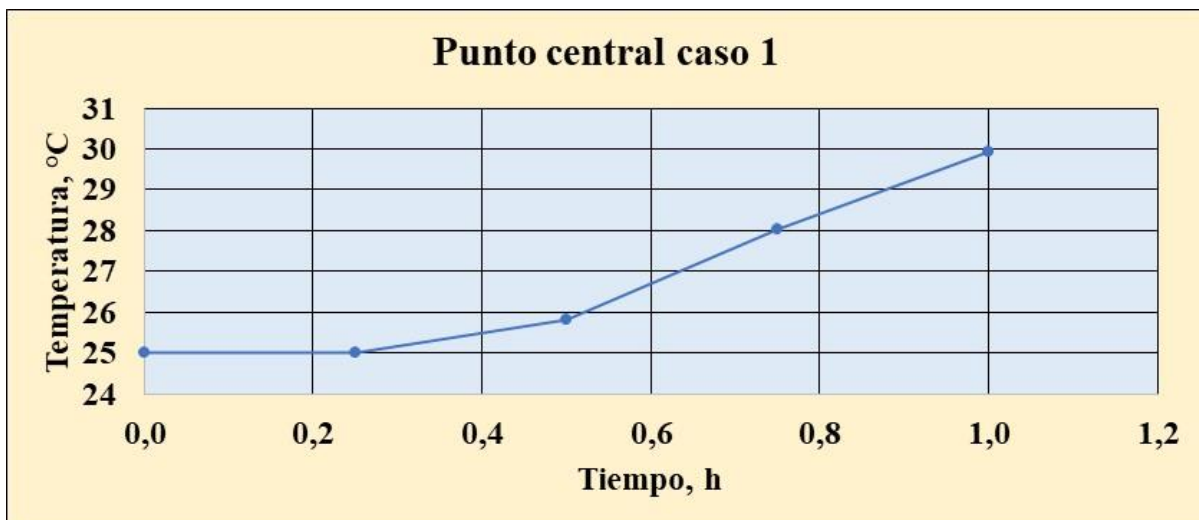


En este gráfico se ha encerrado en un óvalo la zona del centro. Como se aprecia va respondiendo de forma lenta. Se observa las curvas para los puntos alejados del centro, que varían ampliamente.

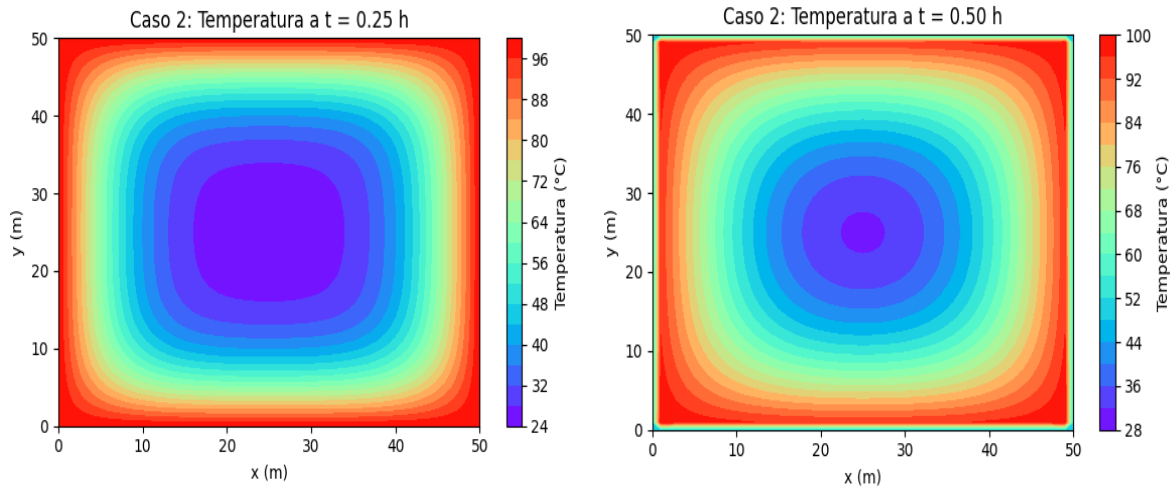


Se muestra acá el comportamiento de los extremos de x.

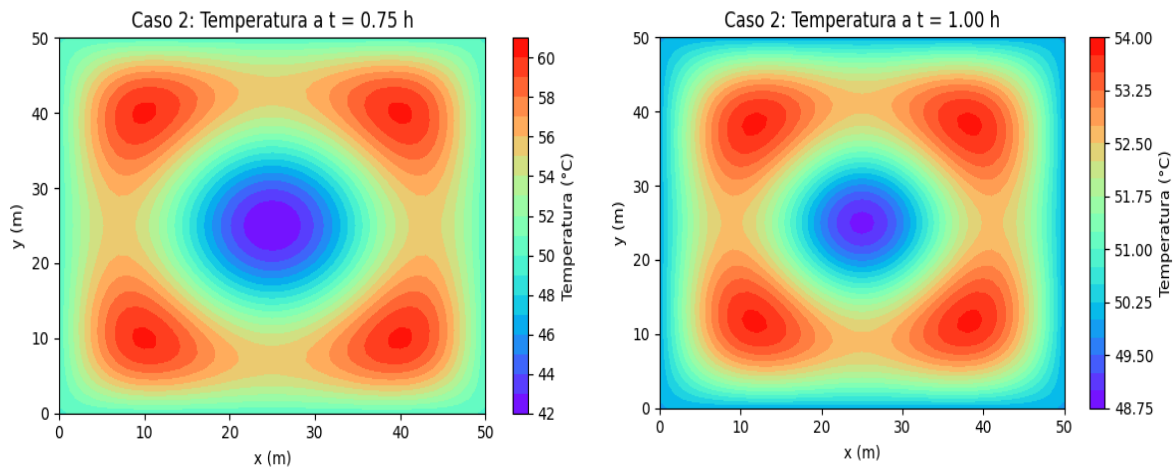
La gráfica siguiente muestra el comportamiento del centro como función del tiempo. Se observa un efecto de transferencia interna que hace que el centro aumente de temperatura ligeramente a pesar de que a partir de la hora 0,5 empiezan los flujos de calor hacia afuera en las cuatro fronteras, los cuales hace que en general rebajen las temperaturas.



CASO 2 Temperaturas de 100 °C en las fronteras durante media hora. Luego 50 °C, entre la siguiente media hora.

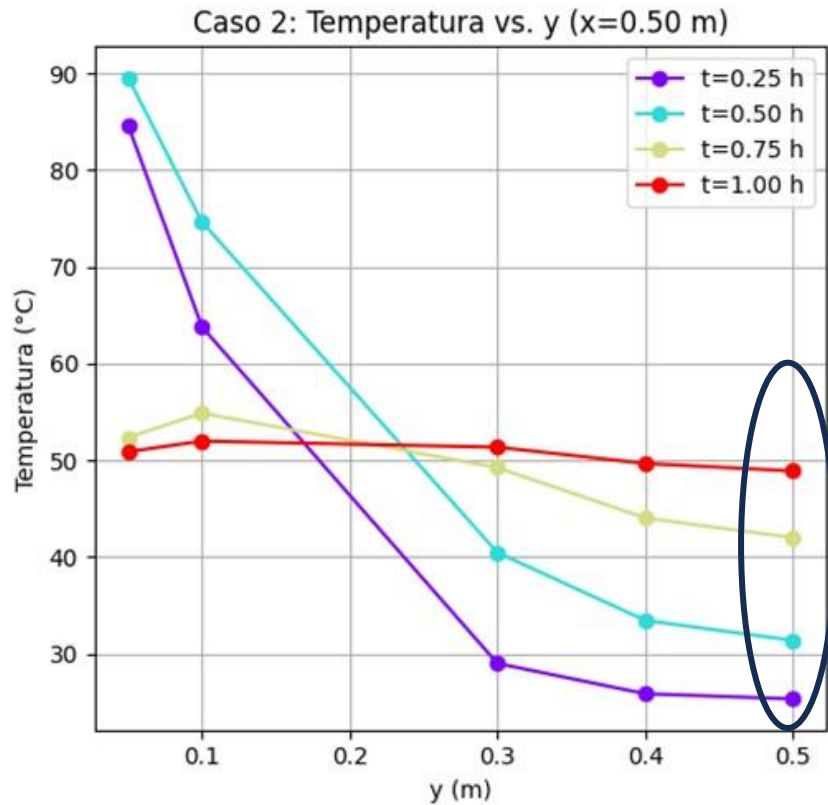


Las temperaturas van aumentando. La zona central mantiene su temperatura inicial. La zona central se va estrechando, a medida que la frontera domina. De mantenerse los flujos positivos se va llegar a temperaturas altas en todo el espacio.



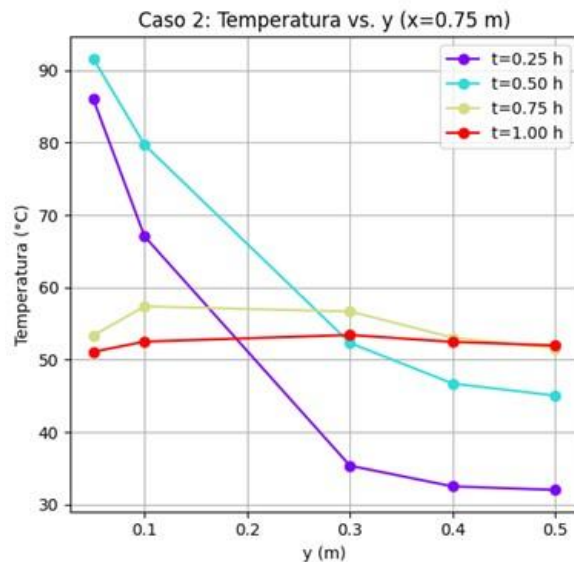
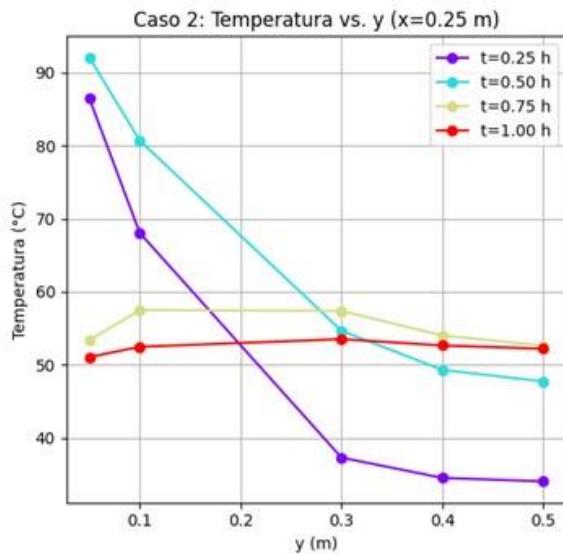
Al disminuir las temperaturas de pared, naturalmente rebajan las temperaturas en todo el campo. Se forman cuatro islas calientes en las diagonales y se mantiene la zona central a temperaturas menores, pero ya son altas, cercanas a los 50 °C , como en todo el campo.

La siguiente figura muestra la distribución numérica de los cambios de temperaturas.

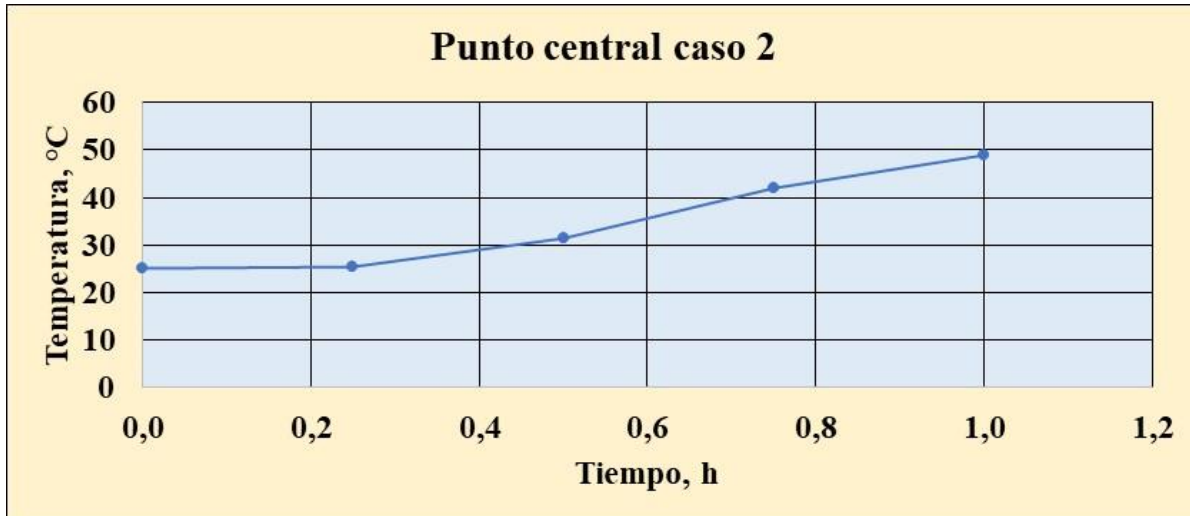


En este gráfico se ha encerrado en un óvalo la zona del centro. Como se aprecia va respondiendo de forma algo más lenta. Se observa las curvas para los puntos alejados del centro, que varían ampliamente.

Se muestra a continuación el comportamiento de los extremos de x .



La gráfica siguiente muestra el comportamiento del centro como función del tiempo. Se observa un efecto de transferencia interna que hace que el centro aumente de temperatura sostenidamente a partir de la media hora hasta alcanzar la temperatura de la frontera.



CASO 3. En este caso hay seis variaciones en la frontera.

Condiciones de fronteras semejantes para las cuatro caras.

$q = +5.000 \text{ kcal/h m}^2$ (entra a la placa), entre 0,0 y 0,5 h

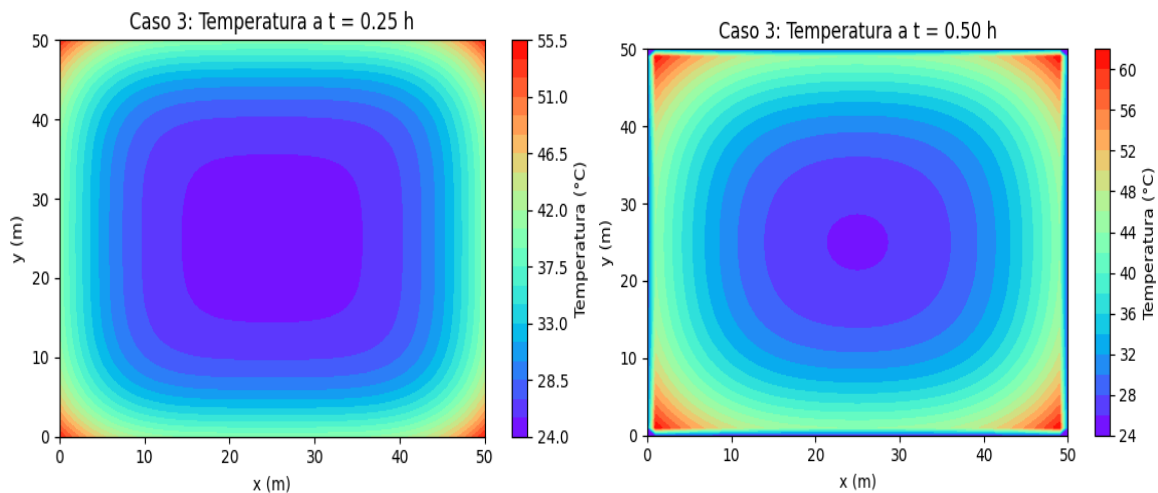
$T = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, entre 0,5 y 1,0 h

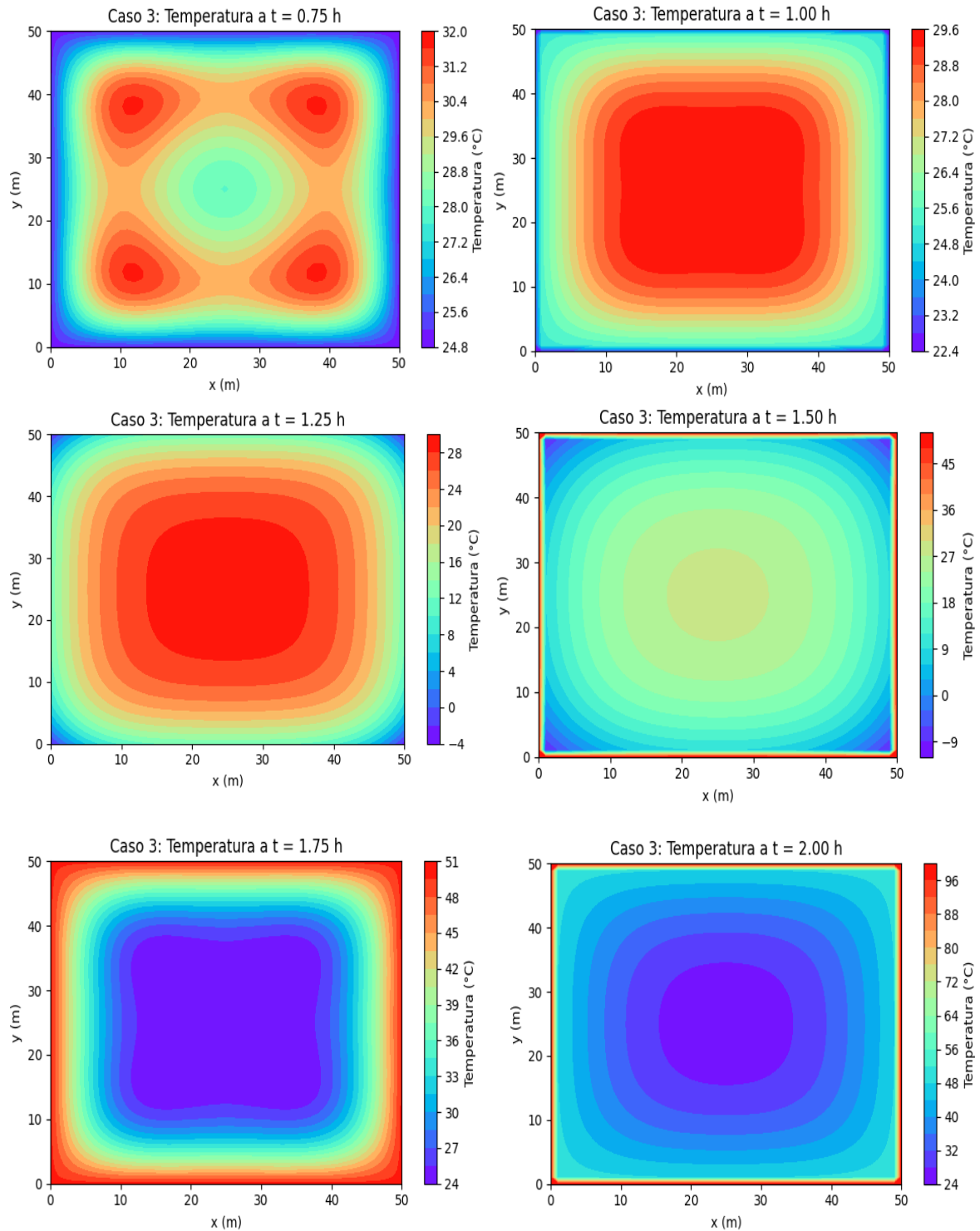
$q = -5.000 \text{ kcal/h m}^2$ (sale de la placa) entre 1,0 y 1,5 h.

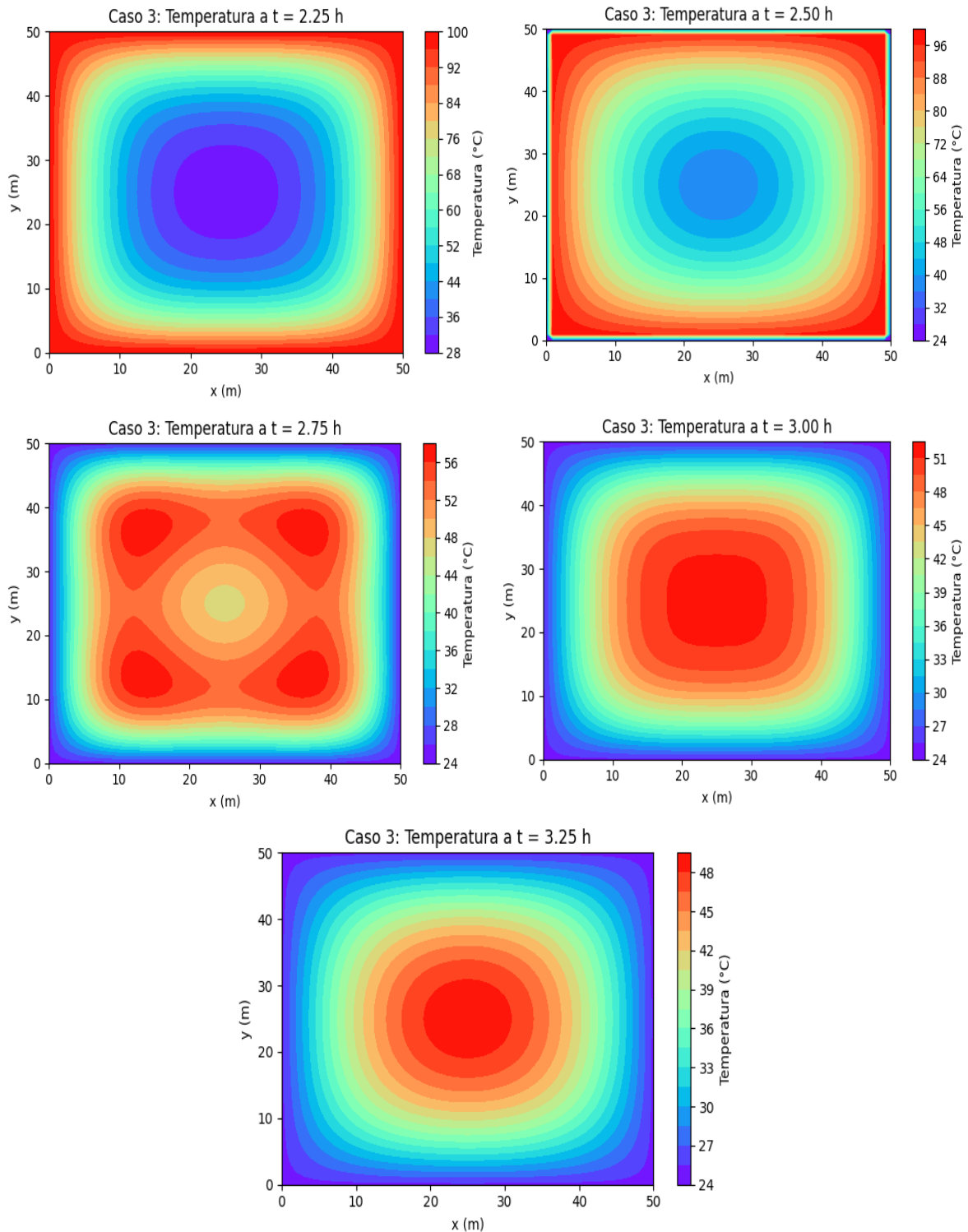
$T = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, entre 1,5 y 2,0 h ; $T = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$, entre 2,0 y 2,5 h

$T = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ entre 2,5 y 3,5 h.

Las figuras siguientes muestran los comportamientos durante las 3,5 horas



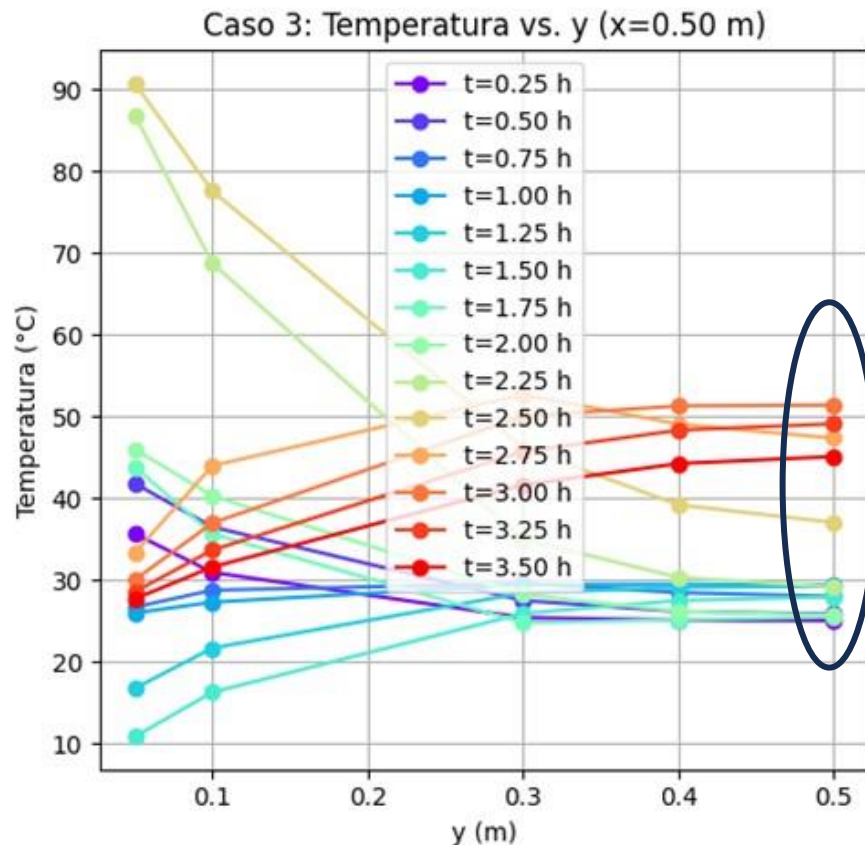




Se aprecia la gran complejidad del comportamiento, pero siempre simétrico, bajo tal conjunto de variaciones de frontera. Inicialmente se va calentando el campo partiendo de las fronteras,

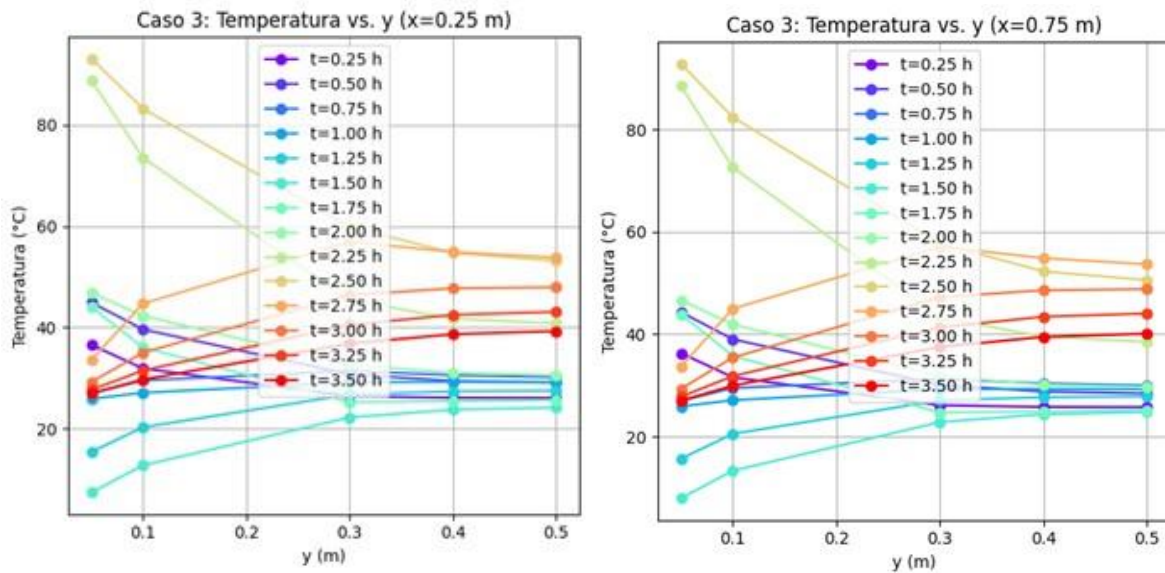
hasta 60 °C en las esquinas. El centro sin variaciones. Luego se produce enfriamiento en las fronteras, que se llevan a las temperaturas iniciales de 25 °C. Como respuesta todo el campo se acerca a esta temperatura, con islas de calor en las diagonales y al terminar este período la zona central es ligeramente más caliente, como efecto de las temperaturas altas del período anterior. En el período siguiente se retira calor dando lugar a importante enfriamiento en las esquinas, mientras el centro se mantiene cercano a las temperaturas iniciales. Vienen luego temperaturas altas en las fronteras. El centro permanece cercano a temperaturas iniciales, pero cada vez más caliente. La última hora sufre el efecto de temperaturas de pared de 25 °C, iguales a las iniciales, todo el campo se acerca a estas temperaturas, pero el centro mantiene temperaturas mayores, producto de las transferencias anteriores.

Las siguientes figuras muestran la distribución numérica de los cambios de temperaturas.

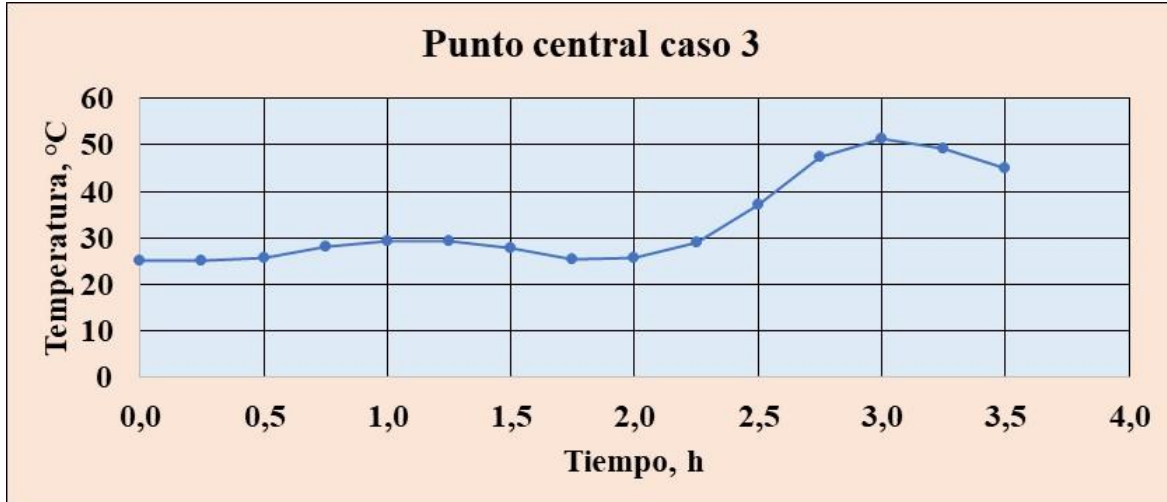


En este gráfico se ha encerrado en un óvalo la zona del centro. Como se aprecia va respondiendo de forma algo más lenta. Se observan las curvas para los puntos alejados del centro, que varían ampliamente.

Se muestra a continuación el comportamiento de los extremos de x. Se advierten temperaturas que oscilan en todo el rango desde bajas (menos de 10 °C) hasta altas (más de 90 °C)



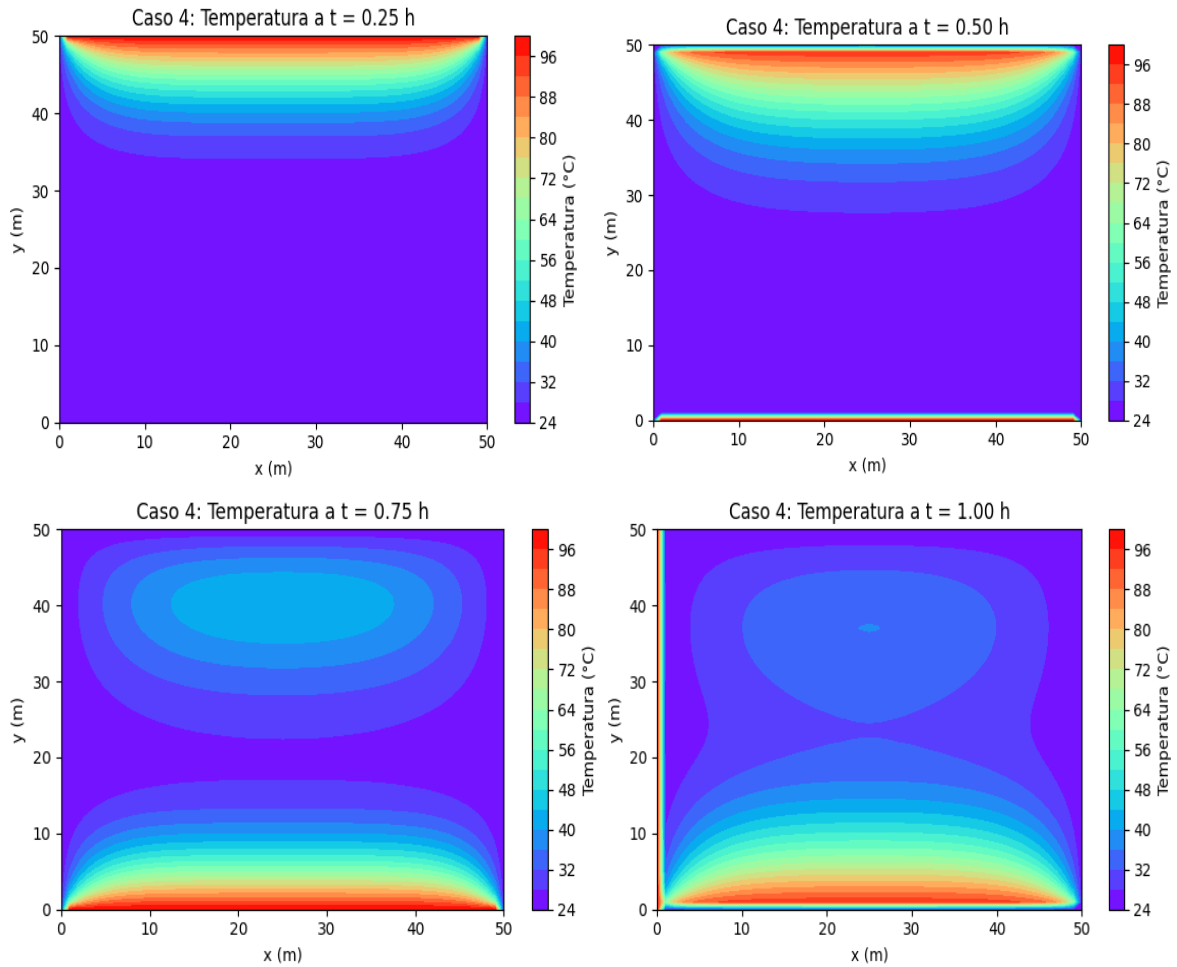
La gráfica siguiente muestra el comportamiento del centro como función del tiempo. Se observa estabilidad en los tiempos iniciales en los cuales dominan los flujos de calor por las paredes. Hacia el final, cuando suben las temperaturas de pared el centro se calienta, aunque en menor grado que las paredes. Pero al final el centro mantiene temperaturas mayores que las de la pared, dada la inercial de los calentamientos previos.



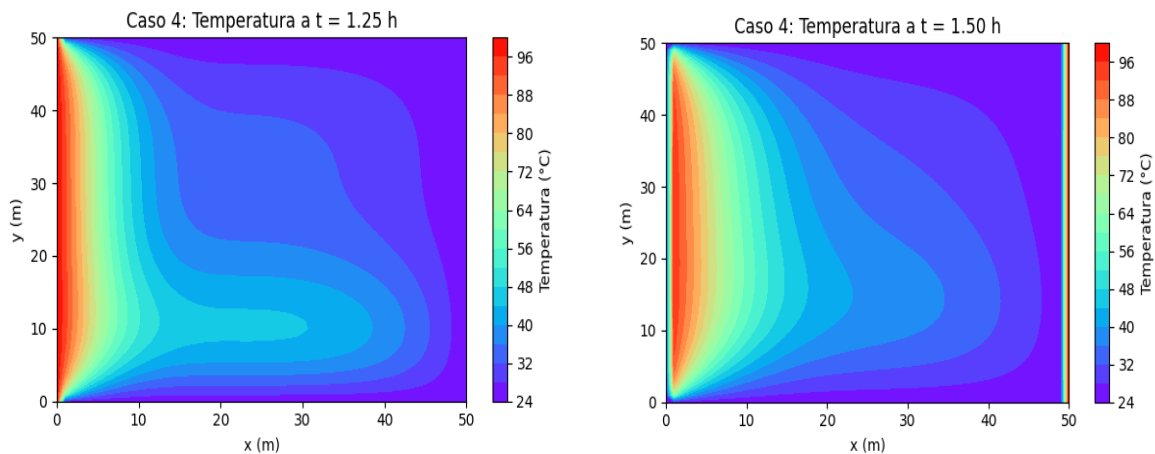
CASO 4. En este caso hay cuatro variaciones en la frontera, que son asimétricas.

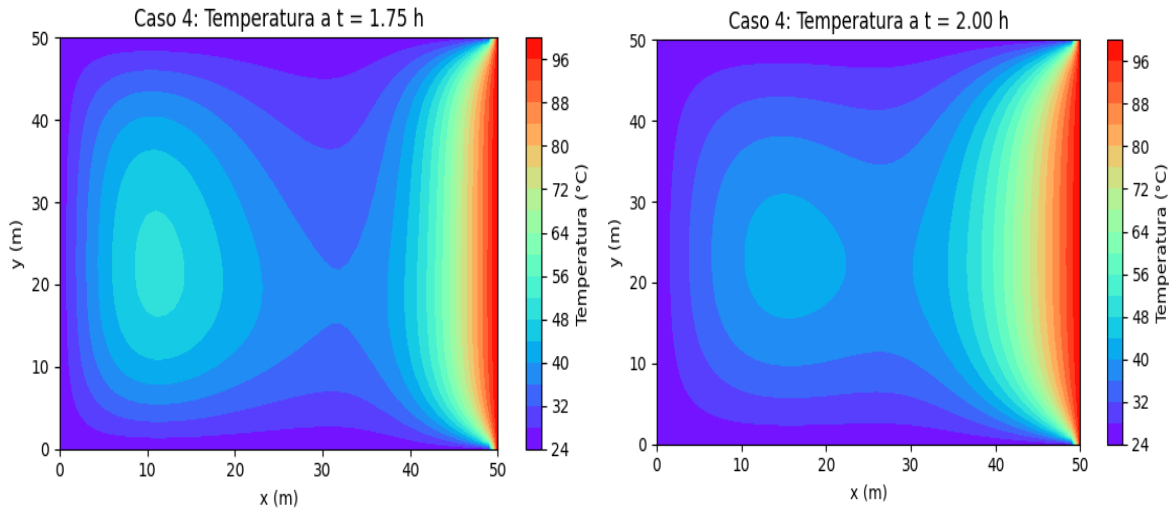
$T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ en una cara a la vez (empezando en la superior, luego la inferior, después la izquierda, finalmente la derecha) cada 0,5 h; las otras caras a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Las figuras siguientes muestran los comportamientos durante las 2,0 horas



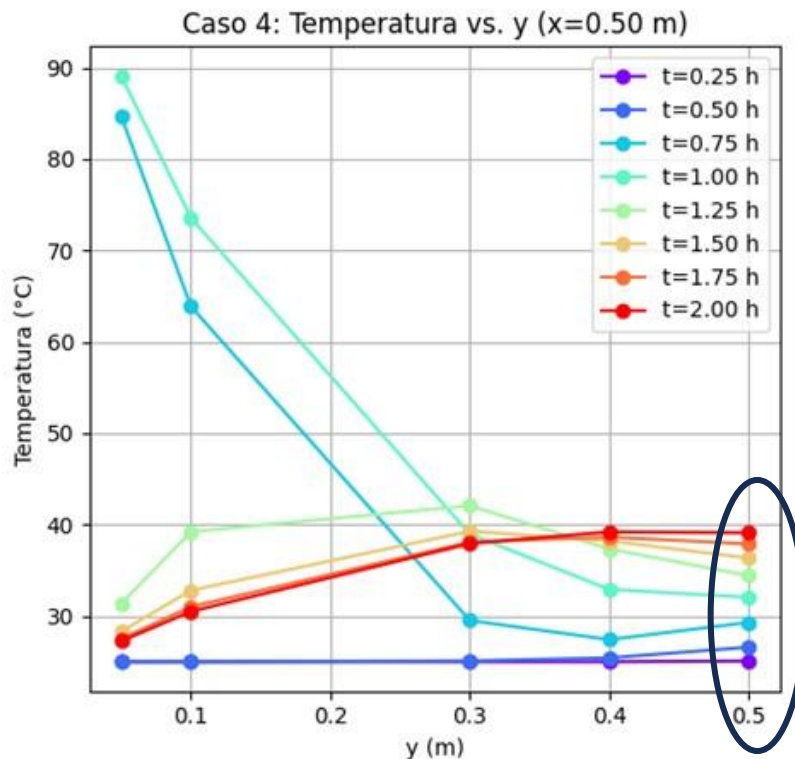
Se aprecia el impacto de las temperaturas altas en las dos caras opuestas durante la primera hora, bastante semejante en ambas caras, pero dando lugar a unas islas “tibias” entre el medio y la zona superior. El centro se mantiene a condiciones iniciales.





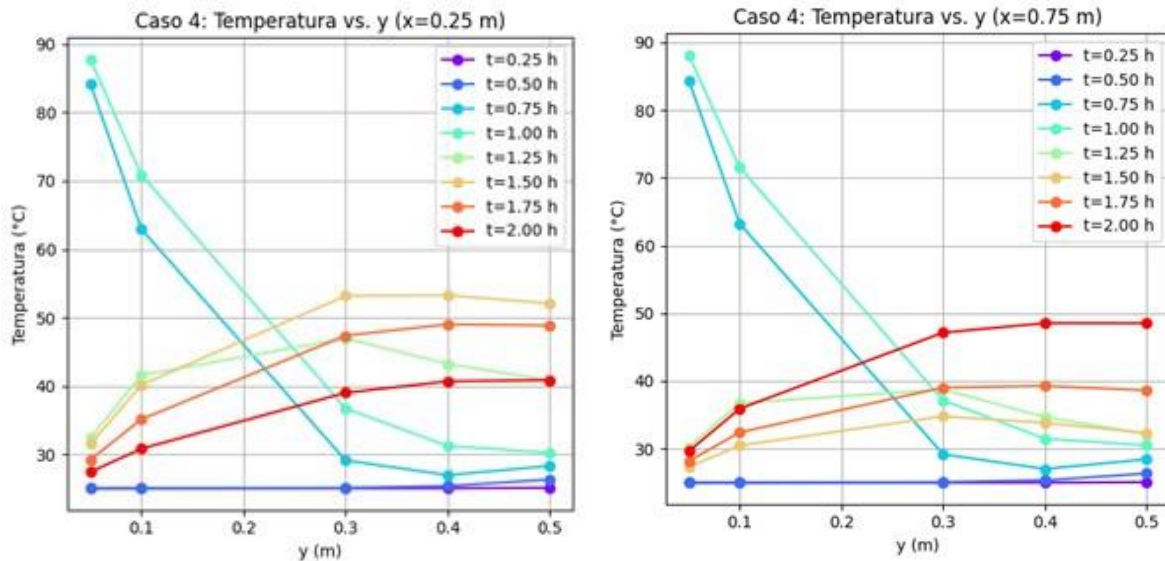
En la segunda hora es evidente la generación de asimetrías en todas las caras, con los calentamientos en las caras izquierda y derecha.

Las siguientes figuras muestran la distribución numérica de los cambios de temperaturas.

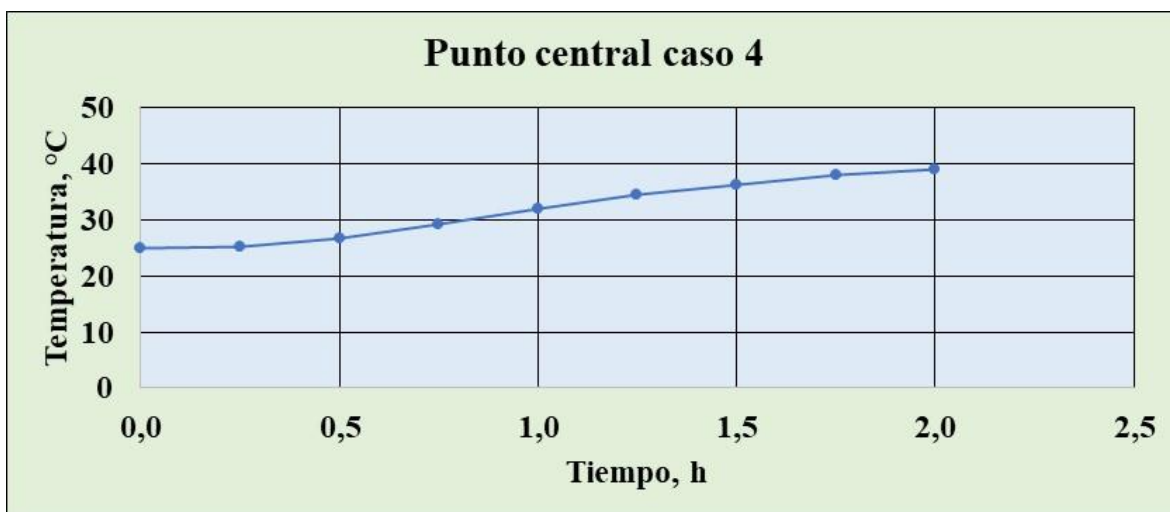


En este gráfico se ha encerrado en un óvalo la zona del centro. Como se aprecia va respondiendo de forma algo más lenta. Se observan las curvas para los puntos alejados del centro, que varían ampliamente.

Se muestra a continuación el comportamiento de los extremos de x . Se advierten temperaturas que oscilan en todo el rango desde 25 °C hasta altas (más de 90 °C)



La gráfica siguiente muestra el comportamiento del centro como función del tiempo. Se observa un crecimiento gradual a medida que se van generando temperaturas altas en cada una de las paredes, de manera alternada.



2.3 Conclusiones del problema estudiado y el impacto de las condiciones de frontera

Es evidente que las condiciones de frontera tienen un impacto claro sobre el comportamiento de los espacios internos. Dependiendo de la existencia de simetrías o no y de las variaciones

temporales en las fronteras, los comportamientos en las zonas internas muestran distintos niveles de complejidad, algunos de naturaleza particular (formación de islas) y otros mostrando zonas de altas asimetrías.

Es evidente que las zonas centrales reciben la información con retraso con respecto a las fronteras, pudiéndose concluir que, si se quieren adoptar medidas de control en los distintos espacios, hay que descentralizar los controles y registros. Cuando las variaciones en las condiciones de frontera son amplias, oscilantes y asimétricas, esto es importante. En situaciones de proceso, ello va a estar relacionado con esfuerzos de instrumentación, de toma y registro de datos en los espacios y a controles y automatismos sofisticados para lograr las respuestas deseadas.

Naturalmente que se ha estudiado un problema sencillo, que sin embargo exhibe complejidad y que exige el empleo de métodos numéricos para resolverse, de modo que se puedan entender los comportamientos espaciales y temporales. Los problemas reales van a ser más demandantes de análisis y altos niveles de administración.

3. EL IMPACTO DE LAS FRONTERAS EN LOS ASPECTOS POLÍTICOS Y SOCIALES DE UN TERRITORIO

3.1 Contexto

Las fronteras tienden a ser zonas descuidadas en relación con las fortalezas administrativas que se concentran en las capitales, las cuales, en muchos casos, están situadas a grandes distancias. Esta lejanía, combinada con dificultades de comunicación y la carencia de infraestructura adecuada, genera obstáculos en el flujo de recursos y movimientos desde la capital hacia las fronteras. Por otra parte, las regiones intermedias, al estar más cerca de los centros de poder, ejercen una mayor influencia, interfiriendo en estos procesos

3.2 Vulnerabilidad y resiliencia

Estas zonas fronterizas presentan menor resiliencia y capacidad para absorber el impacto de los cambios externos. Carecen de reservas de mano de obra, sistemas educativos y financieros sólidos, lo que las hace más susceptibles a influencias foráneas. Una perturbación en estas áreas tiende a amplificarse rápidamente, a diferencia de lo que ocurre en las capitales, que cuentan con estructuras más robustas y poblaciones densas. Por ello, las fronteras se convierten fácilmente en zonas de conflicto, representando una amenaza para el resto del territorio. Las respuestas a estas perturbaciones pueden ser desproporcionadas o negativas, generando conflictos adicionales.

3.3 Migración y perturbaciones sociales

Las fronteras son frecuentemente puntos de entrada para flujos migratorios provenientes de países o regiones vecinas. Ejemplos destacados incluyen las grandes crisis migratorias en las

fronteras con Panamá y Venezuela, y, en menor medida, con Ecuador y Brasil. Estos movimientos perturban el funcionamiento de las regiones fronterizas, exigiendo recursos y modificando los comportamientos de sus habitantes. Estas situaciones, inherentemente inestables, resultan difíciles de gestionar.

3.4 Aspectos económicos y sociales

Desde el punto de vista económico y social, las fronteras tienden a ser menos ricas y a estar menos dotadas de infraestructura, en contraste con la concentración de recursos en las capitales, dentro de economías centralizadas. Aunque las capitales intentan distribuir estos recursos, las fronteras, al ser las regiones más alejadas y distintas, reciben menos atención y capacidad de entrega desde los centros de poder. Esto explica la mayor concentración de inversiones y servicios en las zonas centrales, cuya intensidad disminuye al acercarse a las fronteras.

No obstante, esta situación no es uniforme, ya que existen ciudades y regiones importantes fuera de las capitales que también concentran recursos e inversiones. Estas áreas desarrolladas actúan como centros de poder alternativos, pero suelen estar alejadas de sus propias fronteras o de las fronteras nacionales.

3.5 Dinámicas de poder y respuesta institucional

Cualquier señal que surja en las fronteras—sea una perturbación, un movimiento de opinión, un reclamo por privilegios, intentos de desarrollo o situaciones protesta—puede desencadenar movimientos o conflictos. Es crucial analizar cómo estas perturbaciones se trasladan hacia las zonas de poder en las capitales para obtener respuestas adecuadas a las inquietudes regionales y fronterizas.

En sistemas altamente centralizados, el poder se concentra en las capitales, lo que dificulta el flujo de información desde las fronteras. Esta información a menudo llega tarde o no se entiende adecuadamente debido a los procedimientos y regulaciones de las instituciones centralizadas, lo que limita su capacidad de respuesta. Como resultado, las perturbaciones fronterizas tienden a ser ignoradas, contribuyendo a que estas zonas sea áreas abandonadas. Esta falta de atención genera frustración y desencanto con la estructura nacional, manifestándose en problemas políticos y sociales. Desafortunadamente se generan respuestas improvisadas y desordenadas cuando la situación se vuelve insostenible.

3.6 Hacia una visión racional de las fronteras

Una política nacional efectiva debe priorizar la atención de alta calidad a las regiones periféricas y fronterizas, equilibrando el centralismo tradicional con los deseos de autonomía y atención a las necesidades regionales. Permitir que estas áreas desarrollen capacidades propias, independencia y poder de decisión sobre sus asuntos fomenta, que se cuente con

centros de control distribuidos, incrementando la sensibilidad para responder a conflictos y necesidades en tiempo y espacio.

El centralismo excesivo puede generar arbitrariedades, acumulaciones excesivas de poder y riqueza, creando focos de perturbación, especialmente en fronteras y zonas limítrofes abandonadas. Esto ha dado lugar a problemas como el crecimiento del narcotráfico, el contrabando, la deforestación, la pobreza y la aparición de grupos subversivos, que amenazan incluso las zonas interiores y pueden derivar en la pérdida de territorio o conflictos con países vecinos.

3.7 Recomendaciones

- Crear infraestructuras eficientes en las regiones fronterizas, declarándolas zonas de alto interés nacional.
- Estudiar los recursos naturales (suelos, minerales, medio ambiente, recursos humanos) para desarrollar y estimular proyectos económicos en las regiones.
- Establecer sistemas de comunicación efectivos con países vecinos, incluyendo vías y controles, para evitar flujos irregulares y el dominio de grupos criminales.
- Dotar a las fuerzas armadas de presencia e infraestructura en las fronteras.
- Implementar una red de manejo de información que llegue a todas las regiones.
- Descentralizar el país, asegurando que las regiones reciban recursos suficientes con soporte técnico para su manejo, evitando un control excesivo que acabe con las iniciativas y las demerite.
- Capacitar a las regiones para que gestionen recursos autónomamente, evitando replicar el centralismo en las regiones mismas.
- Promover una presencia administrativa activa mediante visitas y proyectos en todo el territorio.
- Revisar periódicamente, con indicadores, el avance en el fortalecimiento regional y la reducción del centralismo.

3.8 Analogía con los modelos físicos

Al igual que en el problema físico analizado (distribución de temperaturas y flujos de calor), los flujos de caja, información, bienes y personas sirven como indicadores de cómo la riqueza, el conocimiento y las buenas prácticas se distribuyen en un país.

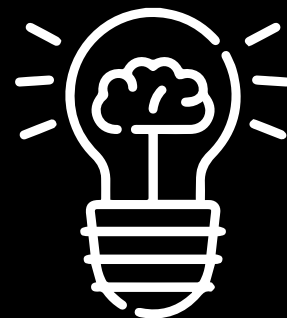
Modelos numéricos y analíticos, similares a los usados en física, pueden aplicarse para prever y optimizar estos flujos, promoviendo un equilibrio y justicia territorial.

REFERENCIAS

- [1]. Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2002). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Wiley. Capítulo 2

- [2]. Bird, R. B., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. (2007). Transport Phenomena. Wiley.
- [3]. Patankar, S. V. (1980). Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Hemisphere.
- [4]. Mandelbrot, B. B. (1982). The Fractal Geometry of Nature. W.H. Freeman.
- [5]. Schlichting, H., & Gersten, K. (2000). Boundary-Layer Theory. Springer.
- [6]. Bejan, A. (2013). Convection Heat Transfer. Wiley.
- [7]. Falconer, K. (2003). Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Applications. Wiley.
- [8]. Anderson, M. (1996). Frontiers: Territory and State Formation in the Modern World. Polity Press.
- [9]. Newman, D. (2006). "The Lines that Continue to Separate Us: Borders in Our 'Borderless' World." Progress in Human Geography, 30(2), 143-161.
- [10]. Paasi, A. (2009). "Bounded Spaces in a 'Borderless World': Border Studies, Power, and the Anatomy of Territory." Journal of Power, 2(2), 213-234.
- [11]. Ramírez, F., & Ramírez, M. T. (2018). Fronteras y Desarrollo en América Latina. Universidad de los Andes.
- [12]. Sassen, S. (2014). Expulsions: Brutality and Complexity in the Global Economy. Harvard University Press.
- [13]. Mazzeo, D., Oliveti G., Arcuri, N. Influence of internal and external boundary conditions on the decrement factor and time lag heat flux of building walls in steady periodic regime. Applied Energy Volume 164, Feb. 2016, Pages 509-531
- [14]. Zheng Zuo y otros. Effect of Boundary Conditions on the Mechanical Behavior of the Geogrid–Soil Interface. Appl. Sci. 2021, 11, 9942.
<https://doi.org/10.3390/app11219942>

Somos CENTRO DE PENSAMIENTO



La **SAI** posee un **Centro de Pensamiento**, conformado por expresidentes, socios y diversos colaboradores de la institución, quienes se reúnen periódicamente para estudiar y analizar los temas relevantes para la ingeniería y la arquitectura de la región y del país. Como resultado de este trabajo, el Centro de Pensamiento elabora publicaciones y estudios especializados.



Sociedad Antioqueña de
Ingenieros y Arquitectos

La Fuerza de la Razón - 1913

ANÁLISIS DE LOS AVANCES Y RETOS DEL SECTOR EMPRESARIAL EN LA GESTIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN ANTIOQUIA, COLOMBIA

Sebastián Jiménez Arango

*Administrador Ambiental (MGP), Universidad Piloto de Colombia, +Verde SAS,
Colombia, 2021*

s.jimenez@masverde.com.co

Resumen: El cambio climático representa uno de los desafíos más urgentes del siglo XXI, demandando acciones concretas del sector empresarial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Colombia ha asumido compromisos ambiciosos, incluyendo la reducción del 20-30% de sus emisiones para 2030 y la meta de carbono neutralidad para 2050, estableciendo objetivos específicos entre 155 y 161 Mt CO₂e para 2035. En este contexto, Antioquia emerge como un actor clave en la gestión de GEI, concentrando el 60% de las empresas certificadas como carbono neutral en el país. Este artículo analiza los avances y retos que enfrenta el sector empresarial antioqueño en la gestión de GEI, explorando el marco normativo nacional, las iniciativas regionales de economía circular, y los esfuerzos de medición y reporte de emisiones. Se evidencian diferencias significativas entre grandes empresas, que lideran procesos de certificación y reducción verificada, y las MIPYMES, que enfrentan barreras técnicas, financieras y de conocimiento. Los resultados revelan que, aunque existen avances importantes en medición de huella de carbono y proyectos de energías renovables, persisten desafíos críticos relacionados con el financiamiento, la claridad normativa, la capacitación técnica y la necesidad de masificar las prácticas de gestión climática hacia el conjunto del tejido empresarial regional.

Palabras clave: Gestión de GEI, Sostenibilidad Empresarial, Huella de Carbono, Cambio Climático, Economía Circular.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es, sin duda, uno de los retos más urgentes y complejos de nuestra época. Sus efectos no solo se reflejan en el medio ambiente, sino también en la economía y en la sociedad en general. Fenómenos como el aumento de la temperatura global, la intensificación de eventos climáticos extremos y la pérdida de biodiversidad han puesto en evidencia la necesidad de actuar de manera inmediata y coordinada. En este panorama global, el sector empresarial tiene una responsabilidad clave: contribuir a mitigar sus impactos, en especial a través de la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), que son reconocidas como la principal causa del calentamiento global (IPCC, 2019). Las

organizaciones, independientemente de su tamaño o sector, están llamadas a transformar sus modelos de negocio para alinearse con una economía baja en carbono y resiliente al clima.

Consciente de esta realidad, Colombia ha asumido compromisos importantes a nivel nacional e internacional. Entre ellos, se destaca la meta de reducir en un 20% sus emisiones de GEI para 2030, con la posibilidad de aumentar al 30% si cuenta con apoyo internacional (IDEAM, Minambiente, DNP, Cancillería, PNUD, y Fundación Natura, 2024). A esto, se suma el propósito de alcanzar la neutralidad en carbono para 2050. Esto se traduce, en términos más concretos, en una meta nacional entre 155 y 161 Mt CO₂e de emisiones netas para el año 2035 (República de Colombia, 2025). Estos compromisos se enmarcan en la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) y en el fortalecimiento de sistemas de monitoreo, reporte y verificación (MRV) que permitan dar seguimiento transparente a los avances y desafíos del país en materia climática.

En este contexto, la gestión de GEI ha dejado de ser una opción para convertirse en una necesidad estratégica para las empresas que buscan mantenerse relevantes, asegurar su crecimiento y mejorar su competitividad en un entorno cada vez más exigente en materia ambiental. Esto implica no solo la implementación de prácticas sostenibles, sino también la medición precisa de los impactos que generan hacia su entorno y el reporte transparente de los avances. Las empresas que lideran estos procesos no solo cumplen con regulaciones cada vez más estrictas, sino que también responden a las expectativas de inversionistas, clientes y comunidades que demandan mayor responsabilidad ambiental y social. Además, la gestión eficiente de emisiones puede traducirse en ahorros operativos, acceso a nuevos mercados y fortalecimiento de la reputación corporativa.

Antioquia, como una de las regiones más industrializadas y dinámicas de Colombia, desempeña un papel fundamental en la transición hacia una economía sostenible. El departamento concentra el 60% de las empresas certificadas como carbono neutral en el país, lo que refleja un liderazgo regional en la adopción de estándares ambientales avanzados. Sin embargo, esta cifra también evidencia que la cobertura es aún limitada: solo alrededor de 100 empresas en Colombia cuentan con dicha certificación, lo que representa apenas el 1% de las grandes compañías nacionales. Esta brecha se profundiza cuando se analizan las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES), que constituyen más del 98% del tejido empresarial y enfrentan barreras significativas para adoptar acciones de sostenibilidad, derivadas de la falta de financiamiento, conocimientos técnicos y acceso a herramientas especializadas (Cámara de Comercio de Medellín, 2025).

A pesar de los avances alcanzados por grandes empresas como EPM, Grupo Argos y otras organizaciones líderes en sectores como energía, construcción y manufactura, persisten desafíos estructurales que limitan la adopción generalizada de prácticas de mitigación en la región. Entre estos se encuentran la brecha de conocimiento técnico, la falta de claridad en las rutas de transición energética, la insuficiencia de recursos financieros para invertir en tecnologías limpias, y la débil articulación entre actores públicos, privados y comunitarios. Además, el contexto regional presenta particularidades propias: Antioquia es el tercer emisor

de GEI del país, con sectores como la agricultura (30%), la deforestación (26%), el transporte (17%) y la manufactura (14%) como principales fuentes de emisiones. Esto plantea la necesidad de estrategias diferenciadas y contextualizadas que respondan a las dinámicas productivas, sociales y territoriales del departamento.

El presente artículo tiene como propósito realizar un análisis sobre los avances y los retos que enfrenta el sector empresarial en Antioquia en términos de la gestión de gases de efecto invernadero. Se explorará el marco normativo que sustenta los compromisos nacionales y regionales, las iniciativas de economía circular y producción sostenible, los esfuerzos de medición y reporte de emisiones por parte de grandes organizaciones, y las dificultades que impiden una adopción más generalizada de prácticas de mitigación. Se prestará especial atención a las diferencias entre grandes empresas y MIPYMES, así como al rol de la innovación, la financiación climática y el fortalecimiento de capacidades técnicas e institucionales para avanzar hacia una economía baja en carbono. A través de este análisis, se busca aportar elementos para el diseño de políticas públicas, estrategias empresariales y mecanismos de cooperación que aceleren la transición climática en la región y contribuyan al cumplimiento de las metas nacionales e internacionales en materia de cambio climático.

2. DESARROLLO

2.1 Marco normativo y compromisos climáticos en Colombia.

Para contextualizar los avances y desafíos empresariales, a continuación, se sintetiza el andamiaje normativo y de compromisos que orienta la acción climática en Colombia. Colombia ha desarrollado un marco legal e institucional robusto para la gestión del cambio climático. La Ley 1931 de 2018 establece las directrices para la gestión del cambio climático en las decisiones de entidades públicas y privadas, buscando reducir la vulnerabilidad y promover una transición hacia una economía competitiva, sustentable y baja en carbono. Esta ley es fundamental para la mitigación de GEI y la adaptación al cambio climático, y prevé la creación del Programa Nacional de Cupos Transables de Emisión de GEI (PNCTE), que establecerá y subastará cupos de emisión. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) es responsable de regular la medición, verificación, certificación y registro de emisiones, reducciones y remociones de GEI.

Los compromisos del país se articulan en la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), que es el conjunto de acciones para reducir emisiones y adaptarse al cambio climático. La meta de mitigación de GEI de la NDC 3.0 para 2035 es de 155 y 161 Mt CO₂e. Para su seguimiento y reporte, se ha consolidado el Sistema Nacional de Información sobre Cambio Climático (SNICC), que incluye el Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) de mitigación. El Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), elaborado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en coordinación con el MADS, es la base para este seguimiento. A partir de 2024, Colombia, como parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), inició con la presentación de los

Informes Bienales de Transparencia (BTR) que detallan las reducciones de GEI y el avance de sus NDC (IDEAM, 2024).

El BTR 1 (2024) de Colombia incluyó el Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero para la serie 1990 – 2021 (Ver

Figura 1), así como las estimaciones de contaminantes criterio y carbono negro (2010–2021). Adicionalmente, el país sometió las Tablas de Formato Común (CTF, por sus siglas en inglés), disponibles en el sitio oficial de la CMNUCC.

A nivel nacional, la NDC actualizada en 2025 considera la Transición Energética Justa como un eje estructural, para ello se contempla el retiro progresivo del carbón, replanteamiento del gas y la eliminación de incentivos a fósiles. Para el sector empresarial, esto implica costos crecientes de cumplimiento en sectores intensivos en energía fósil; necesidad de acelerar inversiones en energías renovables, eficiencia energética y electrificación de procesos; y oportunidades para actores en la reindustrialización verde, bioeconomía y economía circular. Sin embargo, en 2020, la "brecha de mitigación" nacional fue de -105,35 Mt CO₂e, lo que indica que las emisiones estaban por encima de la meta para 2030 (IDEAM, Minambiente, DNP, Cancillería, PNUD, y Fundación Natura, 2024). Esto subraya que el país debe acelerar significativamente la implementación de acciones de mitigación para alcanzar la meta establecida.

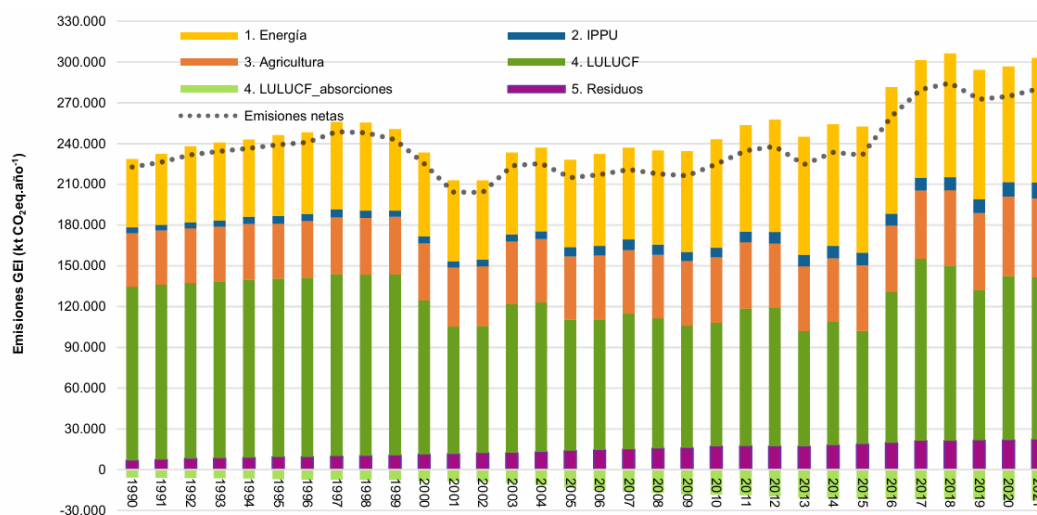


Figura 1. Tendencia de emisiones de GEI por sector (1990-2021)

Fuente: República de Colombia. (2025). Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC 3.0)

Sobre esta base, el país y el tejido empresarial han consolidado avances técnicos, programáticos y sectoriales que se describen a continuación.

2.2 Avances en la gestión de GEI

A nivel regional y a pesar de los desafíos, el sector empresarial en Colombia y Antioquia ha mostrado avances significativos en la gestión de GEI y es fundamental reconocer el liderazgo de cada sector en materia de acción climática, en coherencia con sus dinámicas productivas, sociales y territoriales.

Medición y Reporte de Gases Efecto Invernadero (GEI)

La medición de la huella de carbono se ha convertido en una ventaja competitiva y una cuestión de responsabilidad social corporativa (CCCS, 2024). Grandes empresas, como EPM, calculan anualmente su inventario de emisiones de GEI y cuentan con verificación externa de su metodología, motivando cambios para la reducción. El Grupo EPM reportó un total de 1.869.599,89 tCO₂e en emisiones de Alcance 1 y 2 para 2024, con 4.106.848,13 tCO₂e en emisiones de Alcance 3 para ese mismo año. Las emisiones biogénicas del Grupo EPM alcanzaron 23.085,39 tCO₂e en 2024 (EPM, 2024). Por su parte, Aguas Regionales (Grupo EPM) reportó emisiones totales de 9.745,93 tCO₂e para 2024 con 1.138,62 tCO₂e de Alcance 1 y 8.607,31 tCO₂e de Alcance 2 (Aguas Regionales EPM, 2024).

Para el caso de Grupo Argos, en 2024 reportó emisiones específicas de 10,28 kg CO₂/t de material cementante, avanzando en la reducción frente a su línea base de 2006 (759 kg CO₂/t) y manteniendo la meta de llegar a 514 kg CO₂/t para 2030, lo que representará una disminución del 32%. De igual forma, se mostró un avance consistente en la reducción de sus emisiones de GEI, con indicadores que reflejan la efectividad de sus estrategias de eficiencia y sustitución de insumos en el negocio cementero. No obstante, alcanzar la meta 2030 implicará acelerar la transición hacia tecnologías de menor contenido de clínker, ampliar el uso de energías renovables y consolidar la innovación en productos de bajo carbono. Así, los resultados reafirman el liderazgo de la compañía en la agenda climática regional, pero también evidencian la necesidad de mantener inversiones sostenidas y alianzas estratégicas para cumplir con el escenario de 1,5 °C al que ahora busca alinearse (Grupo Argos, 2024).

Cómo puede observarse, en el marco de los compromisos nacionales e internacionales frente al cambio climático, la gestión empresarial de los gases de efecto invernadero (GEI) en Colombia ha cobrado una relevancia creciente, particularmente en regiones como Antioquia, donde confluyen sectores de alta intensidad energética con cadenas de valor diversificadas. Las empresas han empezado a incorporar la medición de su huella de carbono como una herramienta estratégica no solo para cumplir con la regulación ambiental, sino también para identificar oportunidades de eficiencia, innovar en sus modelos de negocio y responder a las crecientes demandas de sostenibilidad por parte de clientes, inversionistas y comunidades.

En este contexto, +Verde SAS, una empresa de consultoría ambiental ha acompañado a un conjunto representativo de organizaciones de distintos sectores productivos en la cuantificación de sus emisiones, lo que permite analizar los avances alcanzados, las diferencias entre sectores y los principales retos que enfrenta el tejido empresarial en la transición hacia economías bajas en carbono.

El análisis de los inventarios realizados en el periodo 2022 – 2025 revela dos perfiles de impacto predominantes: por un lado, organizaciones de construcción, ingeniería y minería exhiben una dominancia absoluta del Alcance 1, alcanzando hasta el 99,68% de la huella total. Las fuentes críticas en este grupo son la combustión en fuentes móviles (91,03% en un caso de ingeniería) y las emisiones por procesos (como las fugitivas en minería) o la combustión de biomasa (representando el 59,4% de las emisiones en otro caso industrial).

Por otro lado, empresas editoriales, de comercio, agroindustriales y de servicios complejos muestran una alta concentración en el Alcance 3, superando el 66% de las emisiones. Las fuentes críticas aquí incluyen la adquisición de insumos/materias primas (siendo el factor principal, llegando al 45,75% de A3 en un caso) y el transporte aguas abajo y distribución (principalmente marítimo, aportando el 61,9% de las emisiones de A3 en un caso de agroindustria). Solo en un número limitado de organizaciones administrativas o de servicios, el Alcance 2 (energía eléctrica adquirida) es predominante, llegando hasta el 72,39% del total.

Los resultados evidencian que la gestión estratégica de los inventarios de GEI debe centrarse en las fuentes críticas de emisión, que varían según el sector pero que, en la mayoría de los casos, corresponden a la combustión en fuentes móviles y fijas (Alcance 1) y a la cadena de suministro y transporte (Alcance 3). En este sentido, se reafirma la importancia de diseñar planes de mitigación diferenciados que prioricen estas categorías, pues su atención inmediata permite alcanzar reducciones significativas en la huella de carbono corporativa.

Asimismo, la transición energética y la mejora en la eficiencia de los procesos se consolidan como ejes centrales para la reducción de emisiones. La sustitución progresiva de flotas y equipos a diésel por alternativas eléctricas o híbridas, la incorporación de combustibles alternativos como gas natural o mezclas con hidrógeno, junto con la implementación de auditorías periódicas de eficiencia energética, constituyen oportunidades de reducción que pueden alcanzar hasta un 81% de las emisiones asociadas. De igual forma, la migración a fuentes de energía renovable y la compra de energía certificada con CERs refuerzan el compromiso con un modelo empresarial bajo en carbono.

Finalmente, la reducción de emisiones fugitivas representa un reto clave en sectores con alta dependencia de sistemas de refrigeración. La sustitución de gases refrigerantes de alto potencial de calentamiento global (PCG), como el R-410A, por alternativas con un menor PCG como el R-32, no solo mitiga la huella climática, sino que además alinea a las organizaciones con las tendencias regulatorias internacionales y las expectativas de los mercados. En conjunto, estas acciones permiten fortalecer la resiliencia empresarial frente al cambio climático y avanzar en la senda de la descarbonización.

Economía Circular y Producción Sostenible

Antioquia le apuesta a la economía circular como motor de desarrollo sostenible (Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, 2023). De acuerdo con la Alcaldía de Medellín (2024), el programa de economía circular y producción sostenible en Medellín y el Área

Metropolitana ha consolidado un enfoque estratégico enmarcado en la línea de *Ecociudad* del Plan de Desarrollo 2020-2023. Su propósito ha sido diversificar la economía local, reducir la dependencia de los hidrocarburos y fomentar nuevas prácticas productivas e investigativas que fortalezcan la transición hacia modelos de bajo impacto ambiental. Para ello, se priorizó la gestión integral de residuos sólidos y el fomento de hábitos responsables de consumo y producción, con la meta de alcanzar un 70% de recuperación de residuos al 2030.

El programa también ha impulsado políticas y proyectos que promueven la eficiencia en el uso del agua y la energía, el incremento en el aprovechamiento de residuos, la promoción de energías alternativas y el fortalecimiento de la producción más limpia. Esto se ha acompañado de esfuerzos en educación ambiental, cultura ciudadana y normativas como el *Código de Construcción Sostenible* y la *Política Pública Metropolitana de Construcción Sostenible*, que han reforzado la incorporación de prácticas circulares en sectores estratégicos como la construcción, la movilidad y la gestión de residuos.

De igual forma, se cuenta con marcos de planeación regional como el Plan de Acción Cuatrienal (PAC) 2024-2027 de Cornare, corporación que cubre una jurisdicción importante en Antioquia, en el cual se integran la gestión del cambio climático y la promoción de la reconversión a sistemas productivos sostenibles como acciones estratégicas prioritarias (CORNARE, 2024). Además, el PAC se propone suscribir y fortalecer 8 alianzas de sostenibilidad ambiental con organizaciones público-privadas y asociaciones de productores, enfocadas en la reducción de emisiones, certificación de carbono neutro y basura cero.

El Plan en mención, se articula con el Plan de Desarrollo Departamental (PDD) 2024-2027 “Por Antioquia Firme”. Donde la línea estratégica 4 del PDD de Antioquia, “Sostenibilidad desde lo Territorial”, es la que cuenta con la mayor proyección de recursos entre las líneas listadas. Además, se promueve el fortalecimiento de proyectos estratégicos como el HUB de Hidrogeno de Antioquia.

Para el Departamento de Antioquia, la promoción de fuentes no convencionales de energía renovable y la eficiencia energética son herramientas clave para la mitigación de GEI (IDEAM, 2021). La Gobernación de Antioquia ha registrado un ahorro de energía eléctrica por transición tecnológica de 1.588.500 kW en el Valle de Aburrá, 1.265.500 kW en el Oriente y 1.088.500 kW en Urabá por vida útil estimada. Además, se ha generado 1117,5 kW de nueva capacidad a partir de fuentes renovables no convencionales en el Valle de Aburrá, 976,5 kW en el Oriente y 76,5 kW en Urabá (Gobernación de Antioquia, 2024).

EPM amplió de forma significativa sus aportes en energía renovable y mitigación de emisiones. En 2024, incorporó 83 MW con la entrada en operación del parque solar Tepuy y avanzó en dos proyectos solares adicionales en Santander, fortaleciendo su meta de alcanzar 1.701 MW instalados al 2035. En materia de reducciones verificadas, la empresa obtuvo la aprobación de 614.116 tCO₂e reducidas por la operación de la central Hidroituango durante el primer semestre de 2023, acreditadas por el estándar Verified Carbon Standard (VCS) para el período 2023-2032. Además, en 2024 se reportaron reducciones adicionales de 1.093.947

tCO₂e en Porce III y 2.403.307 tCO₂e en Hidroituango, derivadas de proyectos registrados en distintos estándares de carbono (EPM, 2024).

Antioquia es responsable de un porcentaje significativo de las emisiones nacionales. El Plan de Desarrollo "Por Antioquia Firme" 2024-2027 reconoce que el departamento es el tercer emisor de GEI del país y que sus emisiones tienen una representación tal como se observa en la Tabla 1:

Tabla 1. Participación de las emisiones de GEI por sector

Sector	Participación en las emisiones
Agricultura	30 % de las emisiones departamentales
Sector forestal (deforestación y cambio de uso del suelo)	26 %
Transporte	17 %
Manufacturas	14 %
Otros (sector residencial y saneamiento)	Resto

Fuente: Extraído de Plan de Desarrollo "Por Antioquia Firme" 2024-2027.

El documento señala que la deforestación y la expansión de la frontera agrícola son los principales impulsores de las emisiones. También destaca que los proyectos de infraestructura y conectividad deben alinearse con los desafíos del cambio climático y la competitividad regional. Igualmente, se propone fortalecer el Plan Integral de Cambio Climático de Antioquia (PICCA), formulado en 2018 con apoyo de la FAO como guía para coordinar acciones de mitigación y adaptación en las nueve subregiones del departamento.

Gestión de Residuos

En 2024, EPM pasó de la etapa de prefactibilidad sobre opciones tecnológicas para el tratamiento y valorización de residuos, a la estructuración de proyectos concretos. Entre ellos, destaca el proyecto integrado de economía circular gestionado con la cooperación internacional KOICA y la decisión de implementar una planta de clasificación para producir combustible derivado de residuos, con la que se espera desviar hasta el 51 % de los residuos urbanos del relleno sanitario La Pradera (EPM, 2024).

De acuerdo con el informe de sostenibilidad del Grupo EPM 2024, la gestión de residuos constituye uno de los principales focos de emisiones de gases de efecto invernadero. En 2024, el 43,82 % de las emisiones del Grupo EPM provinieron de la descomposición de residuos en el relleno sanitario La Pradera, superando a otras fuentes como las pérdidas de energía en redes (31,45 %) y el consumo de combustibles fósiles en plantas térmicas (11,94 %).

Desde la Gobernación de Antioquia, se avanza hacia la consolidación de un modelo integral de gestión de residuos basado en la economía circular. El informe de gestión 2024 de la Gobernación de Antioquia, resalta programas que buscan reducir la dependencia de la disposición final en rellenos, promover el reciclaje, la valorización y la transformación tecnológica de los residuos. Se priorizan proyectos de separación en la fuente, infraestructura

de aprovechamiento y alianzas público-privadas para incrementar las tasas de recuperación y disminuir las emisiones derivadas de la descomposición orgánica.

2.3 Retos del sector empresarial en la gestión de GEI

A pesar de los avances, persisten desafíos significativos para el sector empresarial en Antioquia, especialmente en la gestión de GEI:

Desafíos para las MIPYMES

Las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) constituyen más del 98% del tejido empresarial y enfrentan dificultades considerables para adoptar acciones de sostenibilidad. Esto se debe a la falta de financiamiento, conocimientos técnicos y regulaciones claras. La Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) reporta que solo el 30% de las MIPYMES ha implementado estrategias de sostenibilidad, lo que evidencia un largo camino por recorrer (Cámara de Comercio de Medellín, 2025). En consecuencia, se requiere una articulación de diferentes sectores para otorgar incentivos adecuados y herramientas que permitan a las Pymes integrar medidas sostenibles en su estrategia empresarial, pues solo el 29% de ellas cuenta con planes definidos (Centro de Estudios Económicos, 2024).

La F

Figura 2 muestra que las pymes en Colombia han avanzado en acciones ambientales principalmente enfocadas en la eficiencia de recursos, ahorro de agua (67 %) y ahorro eléctrico (63 %), así como en el reciclaje de residuos (62 %) y la reducción de plásticos (58 %). Sin embargo, solo el 35 % de las empresas reporta acciones explícitas orientadas a la disminución de gases de efecto invernadero.

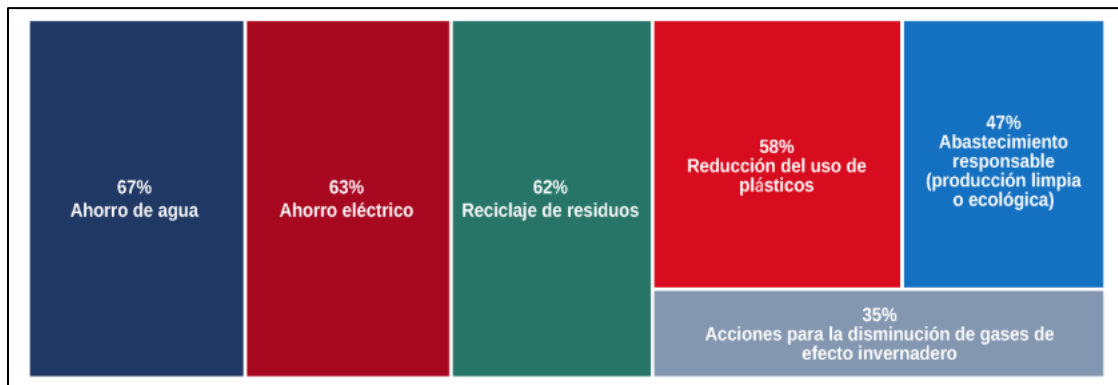


Figura 2. Acciones para mejorar el desempeño ambiental (% de Pymes)

Fuente: ANIF con base en encuesta Mipyme ANIF 2022-2023

Esto permite concluir que, aunque existe un esfuerzo importante en medidas ambientales de impacto inmediato, la gestión directa de las emisiones aún no es prioritaria en la mayoría de

las pymes. Las acciones actuales contribuyen indirectamente a mitigar GEI (por ejemplo, el ahorro eléctrico reduce emisiones asociadas a la generación energética), pero la baja proporción de iniciativas específicas sugiere que el desafío consiste en fortalecer la conciencia y las capacidades técnicas para vincular los esfuerzos ambientales con metas claras de reducción de huella de carbono.

Los hallazgos del estudio *“Navigating climate change: Climate change awareness and strategies in micro, small, and medium-sized enterprises in a developing economy”* evidencian que las MIPYMES en Colombia presentan una conciencia desigual frente al cambio climático y la descarbonización, lo que repercute directamente en la forma en que estructuran sus estrategias. Aunque la mayoría reconoce los efectos del cambio climático en sus operaciones, la comprensión y aplicación de conceptos específicos como “neutralidad de carbono” o “descarbonización” es aún limitada. Esta brecha se traduce en un énfasis mayor en iniciativas corporativas generales, en contraste con transformaciones operativas profundas, lo que refleja un abordaje todavía incipiente frente a las exigencias de transición hacia una economía baja en carbono (Díaz Tautiva, Barros-Celume, Lecuna y Barragan-Rodriguez, 2025).

En conclusión, el estudio subraya la necesidad de orientar a las MIPYMES hacia marcos estratégicos más robustos que permitan superar la heterogeneidad en su nivel de conocimiento y acción. Si bien se identifican avances en la intención de alcanzar la neutralidad de carbono, persiste escepticismo y vacíos informativos que pueden frenar el proceso. De ahí que tanto la política pública como los actores académicos y empresariales tengan un rol clave en fortalecer capacidades, proveer lineamientos claros y acompañar a las MIPYMES en la integración de la sostenibilidad como eje central de su competitividad y resiliencia (Díaz Tautiva, Barros-Celume, Lecuna y Barragan-Rodriguez, 2025).

Medición y conocimiento técnico

En este sentido, avanzar hacia un modelo económico sostenible implica transformar la forma en que se entienden los negocios, dejando atrás la lógica lineal para transitar hacia una economía circular. El verdadero reto está en construir una cultura organizacional que ponga la sostenibilidad en el centro y que logre comprometer no solo a los equipos internos, sino también a proveedores y clientes en la adopción de prácticas más responsables.

Aunque es crucial, el cálculo de la huella de carbono sigue siendo un "asunto pendiente" para muchas empresas, especialmente en el sector servicios, donde las emisiones indirectas a lo largo de la cadena de valor pueden ser significativas y difíciles de cuantificar (Bancolombia, 2025).

La implementación y sostenibilidad del proceso de elaboración de los Inventarios de Gases Efecto Invernadero requiere un diseño de sistema para la estandarización y la continuidad, así como el fortalecimiento de equipos de profesionales idóneos y la concertación con diversos actores (IDEAM, 2021). La falta de antecedentes en la consolidación de cierta

información y la calidad variable de los datos son obstáculos importantes (Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, 2024).

Pese a que Antioquia lidera el número de certificaciones, la cobertura es baja. En un artículo de Montes Suárez (2025), se señala que solo 3 de cada 10 empresas en Colombia gestionan su huella de carbono, y aproximadamente el 80 % ni siquiera la ha medido, lo que evidencia la necesidad de masificar la medición y fomentar el conocimiento de herramientas como el MRV.

Por su parte, el ICONTEC, representado por Luisa María Gómez Restrepo, directora de la Regional Antioquia, Chocó y Eje Cafetero, resaltó el compromiso de CORNARE en invertir para que las empresas de la región implementen estrategias y políticas ambientales, ya que es una iniciativa que permite que cada vez más empresas generen un impacto positivo en el entorno. La funcionaria también destacó que “este departamento es referente en el país en este proceso, pues Colombia cuenta con alrededor de 100 empresas certificadas en carbono neutralidad, que equivalen al 1% de las grandes compañías del país, sin embargo, el 60% de ellas corresponden al territorio de la regional Antioquia” (Cornare, 2023).

Gestión de gases críticos

El hexafluoruro de azufre (SF_6), con un potencial de calentamiento global de 24.300 tCO_2e por cada tonelada de SF_6 , representa un gas crítico en los esfuerzos de reducción (EPM, 2023). Además, estudios indican que, si la eficiencia en la quema de metano se reduce del 98% al 90%, las emisiones resultantes de metano podrían reducirse hasta cinco veces. (Ministerio de Minas y Energía, 2025). Esto subraya que el país debe acelerar significativamente la implementación de acciones de mitigación para alcanzar la meta de 2030.

Financiamiento e inversión

Una encuesta nacional realizada por el Ministerio de Ambiente a más de 200 actores territoriales, sectoriales y comunitarios confirmó que el financiamiento es la necesidad más urgente identificada para la acción climática en Colombia (República de Colombia, 2025). La inversión requerida para la mitigación a nivel nacional, de acuerdo con la Estrategia Nacional de Financiamiento Climático se estima entre \$2.341 y \$3.790 millones de USD anuales.

La innovación es una necesidad en un entorno competitivo. Sin embargo, el acceso a tecnologías más limpias y la inversión en soluciones de mitigación son un reto, especialmente para las MIPYMES (Cámara de Comercio de Medellín, 2025). Las inversiones requeridas para la mitigación en Colombia se estiman entre 2.341 y 3.790 millones de USD anuales, lo que representa entre el 0,7% y el 1,2% del PIB de 2021 (IDEAM, Minambiente, DNP, Cancillería, PNUD, y Fundación Natura, 2024). La digitalización de la información y la integración de tecnologías avanzadas son necesarias para proteger datos y mejorar servicios,

pero también representan inversiones (Aguas Regionales EPM, 2024). Para el período 2027-2030, el proyecto "Visión Estratégica MRV de Colombia 2030 - Fase 2" requiere 2.500.000 USD, y los "Informes Bienales de Transparencia (BTR) y Comunicaciones Nacionales" para 2028-2023 requieren 3.000.000 USD (IDEAM, Minambiente, DNP, Cancillería, PNUD, y Fundación Natura, 2024).

Incertidumbre normativa y planificación

Adicionalmente, la Procuraduría General de la Nación ha señalado que los documentos preliminares publicados por el Ministerio de Minas y Energía sobre la Hoja de Ruta de la Transición Energética Justa (TEJ) están en fase de planeación y diagnóstico, pero no definen con precisión un camino metodológico con acciones específicas, hitos y plazos para alcanzar la reducción proyectada de GEI. Esta falta de claridad representa un desafío significativo para la planificación de inversiones del sector privado (Procuraduría General de la Nación, 2024).

Se requieren análisis normativos que permitan identificar habilitantes e incentivos para el desarrollo de proyectos de mitigación de GEI en la gestión de residuos sólidos (IDEAM, 2021). A nivel nacional, se evidencian limitaciones y obstáculos para cumplir con los objetivos de gestión del cambio climático, incluyendo debilidades en la articulación con otros sectores y con las comunidades (IDEAM, Minambiente, DNP, Cancillería, PNUD, y Fundación Natura, 2024). Es necesario fortalecer las capacidades institucionales a nivel local y las capacidades técnicas a través de la educación y la investigación.

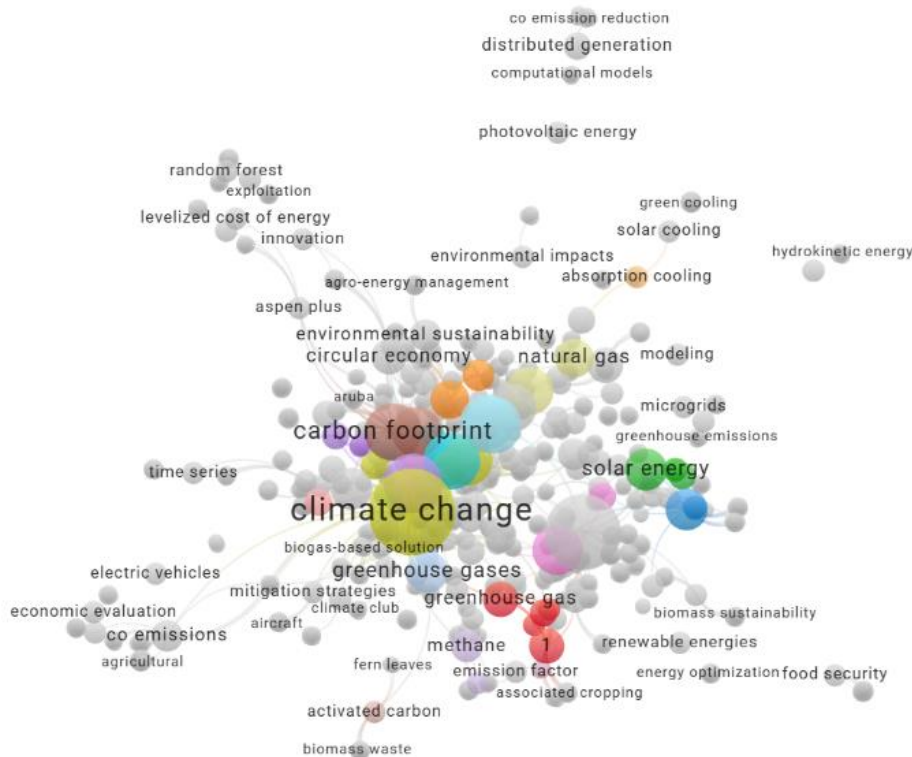
A pesar de que la ley obliga a las iniciativas de mitigación que buscan compensación a registrarse en el RENARE (Registro Nacional de Reducción de Emisiones de GEI), aún existe la necesidad de consolidar el funcionamiento periódico subnacional del SINGEI y operar el RENARE en todas sus fases.

Participación comunitaria y percepción del cambio climático

Una investigación de 2024 sobre percepción y adaptación al cambio climático en la región de La Mojana (norte de Colombia) entrevistó a 420 pescadores, agricultores y ganaderos. El 100 % de los encuestados percibió cambios climáticos en los últimos 20 años y su percepción coincidió con datos meteorológicos. Sin embargo, el estudio señala que las políticas públicas siguen siendo débiles y que es necesario fortalecer la respuesta temprana a emergencias, la participación comunitaria y la coordinación entre sectores. Colombia ocupa el tercer lugar en América Latina en producción científica sobre percepción del cambio climático y políticas de adaptación, con el contexto político y el cumplimiento internacional como factores clave (Jiménez-Bedoya, Fuentes-Gándara, Paternina-Uribe y Pinedo-Hernández, 2024).

Estudio cienciométrico.

A continuación, se presenta un análisis cienciométrico de la producción científica relacionada con los gases de efecto invernadero en Colombia, tomando como base los registros indexados en ScienceDirect entre los años 2000 y 2026. A través de la utilización de la herramienta VOSviewer (ver Figura 3). Se examinan las dinámicas de publicación, las redes de coautoría y las co-ocurrencias de términos clave, con el fin de identificar tendencias temáticas, actores relevantes y áreas emergentes de investigación. El análisis de red mediante VOSviewer (co-ocurrencia de términos y coautorías) construida con “greenhouse gases colombia” (ScienceDirect, 2000–2026), muestra una red de términos (co-ocurrencia): 778 nodos, 2.683 vínculos, 750 clústeres. Los temas vertebrales son: climate change, carbon footprint, biomass/biogas/biofuels, circular economy, BECCS/CCUS, AFOLU y gestión energética/industrial. Por su parte, la red de autores (coautoría) muestra: 50 autores, 429 vínculos, 49 clústeres; varias conexiones nuevas 2024–2025 (señal de dinamismo reciente).



*Figura 3. análisis de red de co-ocurrencia de términos
Fuente: elaboración propia mediante VOSviewer, 2025.*

Los nodos geográficos (Colombia, Antioquia, Bogotá-Colombia, Amazonas colombiano, Cuenca del Caribe, Pacífico colombiano) indican que la producción científica no es solo nacional; hay granularidad territorial creciente. En Antioquia se cruzan energía, industria,

transporte y AFOLU (ganadería/deforestación) con metodologías LCA/huella de carbono, modelación climática (CMIP6) y economía del carbono (impuestos/mercados). Esto abre espacio para PIGCCe regionales/sectoriales y portafolios de mitigación con co-beneficios (calidad del aire, eficiencia).

Aunque aparecen nodos como Antioquia, Bogotá o Caribe, el volumen es bajo (1 ocurrencia por término). Esto indica que la mayor parte de la investigación sigue en nivel nacional o sectorial, con pocos análisis comparativos de territorios.

Los clústeres están fuertemente enfocados en mitigación tecnológica (*biomasa, hidrógeno, transición energética, CCUS*), pero con poca conexión a *adaptación climática, riesgos físicos y vulnerabilidad social*.

Temas emergentes como *carbon tax* y *carbon trading* aparecen en 2024–2025, pero todavía son nodos pequeños. No hay tanta producción local sobre diseño de instrumentos de política climática y su impacto en sectores colombianos. La literatura se concentra en grandes urbes (Bogotá) y en la Amazonía. Antioquia aparece apenas marginalmente; otros territorios minero-energéticos relevantes (La Guajira, Cesar, Meta) casi no figuran.

3. CONCLUSIONES

La gestión de gases de efecto invernadero en el sector empresarial de Antioquia y Colombia es un campo dinámico, caracterizado por importantes avances, pero también por retos persistentes. Las grandes empresas y algunas iniciativas público-privadas están liderando el camino, integrando la medición de la huella de carbono, la economía circular y la eficiencia energética en sus modelos de negocio. La conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad ha crecido, impulsada por un marco normativo nacional cada vez más exigente y compromisos internacionales claros.

El análisis realizado evidencia que Antioquia ha logrado avances significativos en la gestión empresarial de gases de efecto invernadero, posicionándose como líder regional con el 60% de las empresas certificadas como carbono neutral en Colombia. Sin embargo, estos logros se concentran principalmente en grandes organizaciones, mientras que las MIPYMES que representan el 98% del tejido empresarial, enfrentan barreras estructurales de conocimiento, financiamiento y acceso a herramientas técnicas que limitan su participación en la transición climática.

Sin embargo, el éxito a gran escala de la agenda de mitigación de GEI dependerá de la capacidad para superar las barreras que enfrentan las MIPYMES, el motor principal del tejido empresarial. Esto requiere no solo políticas de incentivo y financiamiento adaptadas, sino también un sólido acompañamiento técnico y educativo que facilite la adopción de prácticas sostenibles y la innovación. La calidad y estandarización de los datos para el monitoreo, reporte y verificación (MRV) de las emisiones son fundamentales para la transparencia y la toma de decisiones informadas, exigiendo el fortalecimiento de las plataformas y capacidades

existentes. La meta nacional de mitigación de GEI de 169,44 Mt CO₂eq para 2030 y las emisiones netas de 280.101,98 kt CO₂e en 2021 subrayan la urgencia de estas acciones.

La participación comunitaria y el fortalecimiento de capacidades técnicas emergen como elementos clave para masificar las prácticas de gestión climática. Es fundamental desarrollar estrategias diferenciadas que reconozcan las particularidades sectoriales y territoriales, promoviendo alianzas público-privadas, incentivos para MIPYMES y mecanismos de transferencia tecnológica que democratizen el acceso a soluciones de mitigación.

El principal análisis es que, si bien la información de los inventarios confirma que el sector empresarial en Antioquia está siendo mapeado en términos de emisiones, la transparencia y el reporte de GEI siguen siendo un desafío sistémico. Estas iniciativas en Antioquia deben ser continuamente validados con los sistemas de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV) a nivel nacional, que aún están en proceso de consolidación, como el SINGEI y el RENARE. Para la Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos, estos hallazgos deben subrayar la trascendental relevancia de la ingeniería en la formulación e implementación de soluciones. Los ingenieros tienen un papel fundamental en el desarrollo de tecnologías que favorezcan la sostenibilidad, la optimización de procesos productivos para la eficiencia energética y circularidad, el diseño de sistemas de gestión de residuos innovadores, y la creación de herramientas precisas para la medición y verificación de emisiones de GEI. La colaboración entre la academia, el gobierno y el sector privado, con los ingenieros como actores clave, será esencial para transformar los retos actuales en oportunidades de crecimiento sostenible y construir un futuro bajo en carbono para Antioquia y Colombia.

REFERENCIAS

- [1]. Aguas Regionales EPM. (2024). Informe de Sostenibilidad 2024.
- [2]. Alcaldía de Medellín. (2024). Economía circular Medellín 2024. Medellín, Colombia. Recuperado de <https://www.metropol.gov.co>
- [3]. ANDI. (2024). GESTIÓN - Informe de Gestión ANDI Seccional Antioquia.
- [4]. Bancolombia. (25 de marzo de 2025). Huella de carbono en empresas de servicios: mide y reduce su impacto. Bancolombia. Recuperado de <https://blog.bancolombia.com/bienestar-y-sostenibilidad/huella-carbono-empresas-servicios/>
- [5]. Cámara de Comercio de Medellín. (2025). 190524 CCMA INFORMATIVO CAMARA 2025 revisión 5.
- [6]. CCCS. (2024). Brochure huella de carbono 2024. Colombia: Cámara Colombiana de Centros Comerciales (o nombre de la institución correspondiente). Recuperado de <https://www.cccs.org.co/wp/wp-content/uploads/2024/08/BROCHURE-HUELLA-DE-CARBONO-2024-1.pdf>
- [7]. Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia. (2023). Recuperado de <https://cta.org.co/economia-circular-en-antioquia-un-motor-de-desarrollo-sostenible-del-departamento/>
- [8]. Centro de Estudios Económicos. (2024). Sostenibilidad Ambiental en las PYMES en Colombia: Avances y retos. Recuperado de <https://www.anif.com.co/comentarios-economicos-del-dia/sostenibilidad-ambiental-en-las-pymes-en-colombia-avances-y-retos/>

- [9]. Colombia. (2018). Ley 1931 de 2018. Gestor Normativo - Función Pública.
- [10]. Cornare. (2023, 8 de mayo). Gracias a la compensación de más de 4.000 toneladas de CO₂, otras 6 empresas de la región ahora son carbono neutro. <https://www.cornare.gov.co/noticias-corporativas/gracias-a-la-compensacion-de-mas-de-4-000-toneladas-de-co2-otras-6-empresas-de-la-region-ahora-son-carbono-neutro/>
- [11]. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare – CORNARE. (2024). Acuerdo No. 451: Por medio del cual se aprueba y adopta el Plan de Acción Cuatrienal para el período 2024–2027. El Santuario, Antioquia: CORNARE.
- [12]. Díaz Tautiva, J. A., Barros-Celume, S., Lecuna, A., & Barragan-Rodriguez, C. (2025). Navigating climate change: Climate change awareness and strategies in micro, small, and medium-sized enterprises in a developing economy. PLOS ONE, 20(7), e0327165. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0327165>
- [13]. EPM. (2023). Informe de Gestión EPM 2023 Cambio climático - EPM 2023.
- [14]. EPM. (2024). Informe de sostenibilidad 2024. Medellín, Colombia: Empresas Públicas de Medellín. Recuperado de <https://www.epm.com.co/content/dam/epm/institucional/informes-de-sostenibilidad-historicos-/informe-sostenibilidad-2024.pdf>
- [15]. Gobernación de Antioquia. (2023). DEPARTAMENTAL (Gaceta Departamental marzo 2023).
- [16]. Gobernación de Antioquia. (2024). informe-de-gestion-vigencia-2024.pdf.
- [17]. Grupo Argos. (2024). Informe de gestión 2024. Medellín, Colombia: Grupo Argos. Recuperado de <https://argos.co/wp-content/uploads/2025/02/Informe-de-gestion-grupo-Argos-2024.pdf>
- [18]. IDEAM. (2021). Tercer Informe Bienal de Actualización de cambio climático de Colombia.
- [19]. IDEAM. (2024). informe_de_gestion_2024_0.pdf.
- [20]. IDEAM, Minambiente, DNP, Cancillería, PNUD, & Fundación Natura. (2024). Primer Informe Bienal de Transparencia de Colombia. Bogotá D.C., Colombia.
- [21]. Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. (2024). INFORME INVENTARIO GASES EFECTO INVERNADERO 2023.
- [22]. IPCC. (2019). Calentamiento global de 1,5 °C: Informe especial del IPCC. Ginebra, Suiza: IPCC. ISBN 978-92-9169-353-5.
- [23]. Jiménez-Bedoya, A., Fuentes-Gándara, F., Paternina-Urbe, R., & Pinedo-Hernández, J. (2024). Perception and adaptation to climate change in vulnerable regions. Global Journal of Environmental Science and Management, 10(4), 1791–1808. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2024.04.18>
- [24]. Ministerio de Minas y Energía. (2024, 25 de abril). Webinar | Herramienta para la gestión y estimación de emisiones GEI – Upstream Hidrocarburos [Archivo de video]. YouTube.
- [25]. Ministerio de Minas y Energía. (2025, 28 de agosto). Webinar | Herramienta para la gestión y estimación de emisiones GEI – Upstream Hidrocarburos [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=3V96dkLri2M>
- [26]. Montes Suárez, D. (2025, 30 de septiembre). La huella de carbono: un reto empresarial que define la competitividad. Valora Analitik. <https://www.valoraanalitik.com/huella-de-carbono-reto-empresarial-define-competitividad/>
- [27]. Procuraduría General de la Nación. (2024). Colombia y la transición energética: Reflexiones y recomendaciones sobre una transición hecha a la medida de nuestro país. Procuraduría General de la Nación.
- [28]. República de Colombia. (2025). Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC 3.0) de Colombia - Transformaciones para la Vida.

INGENIERÍA PARA CERRAR EL CICLO: LA TRANSICIÓN DE ENKA HACIA LA ECONOMÍA CIRCULAR A ESCALA INDUSTRIAL

Álvaro Hincapié

*Ingeniero electricista con especialización en Finanzas de la Universidad Pontificia Bolivariana. Presidente de ENKA
Alvaro.hincapie@enka.com.co*

Resumen: Enka es una empresa con más de 60 años de historia que logró reinventarse para hoy mantenerse vigente en el mercado. Inició en 1964 como una compañía enfocada en abastecer la industria textil y, tras décadas de trabajo, a inicios de los 2000, enfrentó una crisis debido a la incursión de Asia en la industria del poliéster, lo que cambió completamente el entorno competitivo. En el año 2002, se acogió a la Ley 550 de 1999 con el objetivo de hacer cambios profundos en el direccionamiento estratégico, estructura organizacional y viabilizar la operación en el largo plazo. En todo este proceso se dio un giro completo al negocio y se definió la economía circular como parte fundamental de la estrategia, decisión que marcó un cambio definitivo y le permitió a la compañía salir fortalecida de su proceso de reestructuración.

Con cuatro plantas de reciclaje integradas a la red Eko Red, Enka transforma más de 6 millones de botellas al día en resinas y fibras de alto desempeño, con trazabilidad y certificaciones internacionales. La innovación y la alta ingeniería soportan un modelo líder de economía circular para la industria. A través de tecnología avanzada, convierte “lo ordinario” en productos de alto valor agregado bajo la marca EKO®, evitando que toneladas de envases terminen en rellenos sanitarios o contaminando el medio ambiente.

Palabras clave: Circularidad, Sostenibilidad, Innovación, Tecnología, Calidad, PET, Reciclaje, Transformación de botellas, Resinas.

Nota. El ingeniero Hincapié ha asistido a varios programas para altos ejecutivos como CEOs' Management de Kellogg School en Chicago, Tendencias de Sostenibilidad e Innovación en la Universidad de Columbia en Nueva York, Innovación y Sostenibilidad en Silicon Valley, y Desafíos Presentes y Claves Futuras en el IE Business School en Madrid.

1. CONTEXTO EMPRESARIAL

Enka es una compañía colombiana con más de 60 años de trayectoria en el mercado. Su experiencia en reciclaje la ha convertido hoy en la empresa líder en la transformación de PET posconsumo en el país y en un referente en economía circular.

Comenzó sus operaciones en 1964 siendo fundada por el grupo holandés Akzo Nobel y otras reconocidas compañías textiles colombianas. Durante sus primeros 40 años estuvo orientada a satisfacer los mercados de polímeros y fibras sintéticas de nylon y poliéster. En los años 90, Enka estaba entre las 10 compañías más grandes de Colombia y era una de las empresas más atractivas para trabajar tanto en términos salariales como de desarrollo profesional.



Figura 1 Planta de producción Enka

En los años 80, con el vencimiento de las patentes de fibras sintéticas en el mundo, la industria textil cambió radicalmente. Los productores del sudeste asiático establecieron grandes capacidades con el objetivo de abastecer la industria china de manufacturas textiles. En los 90, los cambios del modelo económico chino motivaron la sustitución de importaciones, generando una crisis en Asia y una gran oferta ociosa, lo cual inundó el mercado colombiano con productos a muy bajos precios, Colombia se demoró en implementar medidas antidumping, y esto afectó profundamente la industria textil.

Con una deuda que ascendía los \$320,000 millones, similar a sus ventas, en el año 2002 Enka se acogió a un proceso de restructuración financiera bajo la Ley 550 de 1999, con el objetivo de hacer cambios profundos en el direccionamiento estratégico, estructura organizacional y viabilizar la operación en el largo plazo.

Para lograr salir de esa crisis se tuvo que hacer cambios profundos desde los diferentes ejes de la organización, para lo cual se acudió a su activo más valioso, el talento humano, con el propósito de encontrar soluciones innovadoras apalancadas en la fortaleza técnica y la alta ingeniería.

2. ENFOQUE EN NEGOCIOS VERDES

Como parte del proceso de transformación, en el año 2007 encontraron una oportunidad en donde la mayoría veía solo basura y decidieron incursionar en la economía circular, un término poco conocido en ese momento, pero que permitió darle un giro total al *core* del negocio y convertirse hoy en una empresa sólida e innovadora, con una de las plantas de reciclaje botella a botella más grandes del mundo, logrando transformar lo ordinario en productos extraordinarios y hacer del reciclaje una actividad sostenible y rentable.

Actualmente, la estrategia de Enka está enfocada en los Negocios Verdes, una línea que le permite nutrir su mayor fortaleza y oportunidad en el presente: el negocio del reciclaje y economía circular.

Con una capacidad de transformar 6 millones de botellas de PET cada día, se ha posicionado como líder en el reciclaje de PET en Colombia y como uno de los mayores transformadores de envases de PET posconsumo en resinas grado alimenticio en el mundo.

Para llegar a ese punto, Enka destaca que la innovación y la renovación tecnológica fue crucial. Una de sus más recientes inversiones fue en su última planta de reciclaje de PET botella a botella, la cual, con un valor estimado de US\$40 millones, le ha permitido mantenerse vigente y competitiva en el mercado, garantizando una mayor capacidad, productividad y agilidad.



Figura 2 Planta de reciclaje botella a botella Enka

3. DESCRIPCIÓN DE PROCESOS

Hoy en día, sus cuatro plantas de reciclaje son el motor que impulsa el crecimiento y fortalece su norte como compañía. En estas, a partir de la transformación de botellas de PET, fabrican productos de alto valor agregado que ofrecen al mercado bajo su marca EKO®. Empezando por *EKO®PET*, resinas de PET recicladas aptas para contacto con alimentos que permiten producir nuevamente botellas con materia prima 100% reciclada para las principales marcas de bebidas del mundo. Por su parte, las *EKO®POLIOLEFINAS* son resinas recicladas de polietileno y polipropileno producidas a partir de la transformación de las tapas y etiquetas de los envases, lo que les permite cerrar completamente el ciclo de este material y asegurar cero residuos en el proceso.

Finalmente, *EKO®FIBRAS*, fibras cortas funcionales de poliéster utilizadas principalmente para la fabricación de no-tejidos, geotextiles y rellenos, de esta manera, transforman no solamente las botellas transparentes, sino también las botellas de colores.

Para fabricar estos productos se lleva a cabo en las plantas un proceso meticuloso de transformación. Este inicia con la recepción de las pacas de las botellas luego de ser recolectadas en todos los departamentos del país y seleccionadas y prensadas en diferentes centros de acopio. Posteriormente en Enka son llevadas hacia el abridor de pacas, en donde se da una separación inicial del material y se llevan a la sección de prelavado en caliente, luego de haber pasado por el detector de metales. Aquí se separan los contaminantes grandes y abrasivos como el vidrio o la arena (cabe resaltar que el calor junto con la agitación ayuda a remover gran parte de las etiquetas y las tapas de las botellas de PET).

Para la selección de botellas, está un primer proceso automático que consiste en dos detectores con tecnología NIR / VIS en donde las botellas de colores o de materiales diferentes al PET son rechazadas y expulsadas.

Posteriormente el material se lleva a la molienda para la reducción de tamaño y luego pasa por una centrífuga en donde se retiran los líquidos, los finos y algunos residuos de papel. En este punto el material se transforma a escamas, que son transportadas a la fase de lavado, para luego ser separadas por densidades y terminar con un proceso de centrifugación para que queden totalmente limpias y secas.

Seguidamente, son nuevamente seleccionadas por equipos sorter de escamas que trabajan con tecnología láser; las escamas luego de ser depuradas son llevadas a la planta de producción de gránulo. En este segundo proceso, las escamas se secan, se funden y se homogenizan para pasarlas por una máquina peletizadora que funde, devolatiliza, filtra y corta el material y se obtiene lo que se conoce como gránulo de PET. Estos son almacenados en una cámara en donde se produce su cristalización. Posteriormente, el material es transportado hacia la sección de ultralimpieza y descontaminación en donde el gránulo permanece en un reactor durante un tiempo determinado y condiciones especiales que permiten el incremento de la viscosidad y la descontaminación del material. Finalmente, el

producto terminado, es decir la resina EKO®PET, es llevado a la estación de llenado para ser empacada en tulas y poder ser despachada a los clientes. Estas resinas están aprobadas para contacto con alimentos por el Invima en Colombia, FDA en Estados Unidos y la Comisión Europea, así como las principales marcas de bebidas del mundo.

Por otro lado, el proceso de reciclaje de polietileno y polipropileno inicia con las tapas y etiquetas separadas en el proceso de lavado de botellas de PET, que luego pasan por una línea de lavado adicional y un tornillo que separa los elementos extraños como piedras, metales y residuos de PET. Posteriormente, pasan por unos molinos en donde son cortadas para ser sometidas nuevamente a varios procesos de lavado por fricción y luego secadas. El material seco, es llevado a una unidad de separación, en la cual por medio de una corriente de aire se hace una separación aerodinámica de las tapas (pesados) y de las etiquetas (livianos).

El material separado es alimentado a un tornillo extrusor donde se funde, luego se filtra, se descontamina y se corta. Finalmente, las resinas EKO®PP (resinas de polipropileno) y EKO®PE (resinas de polietileno) son transportadas a la unidad de empaque.

De esta manera, Enka cierra completamente el ciclo de las botellas de PET posconsumo y las reincorpora a nuevas cadenas productivas, evitando que toneladas de plástico terminen en rellenos sanitarios o en ecosistemas naturales. Cada etapa ha sido optimizada para maximizar la eficiencia energética y reducir el uso de recursos, convirtiendo la planta en un referente regional de economía circular aplicada a gran escala.

4. LOGROS Y PROYECCIONES

Como resultado de todo el proceso de transformación, hoy en día más del 76% de los productos que ofrece la compañía son fabricados a partir de materias primas recicladas y han logrado incrementar la tasa de recolección de PET del país pasando del 2% en el 2007 al 39% en el 2025.

Este compromiso con la sostenibilidad no solo se refleja en el diseño como tal del proceso, sino también en los resultados concretos. La compañía ha solidificado sus operaciones al punto en que la innovación y la sostenibilidad trabajan de la mano, operando bajo prácticas productivas amigables con el medio ambiente y el entorno. Las cuatro plantas de reciclaje generan beneficios ambientales como ahorros en energía del 92%, equivalentes al consumo de 600.000 hogares (una ciudad como Cali), y reducción de emisiones de CO₂ del 72%, lo que corresponde a retirar de las calles más de 21.000 vehículos.

Por otro lado, para hacer realidad el reciclaje de PET en Colombia se requiere de la labor de los más de 100.000 recicladores. Por esto, Enka creó su filial Eko Red, la mayor red de recolección de envases de PET posconsumo del país, que hoy tiene presencia en más de 900 municipios en los 32 departamentos.



Figura 3 Patio de botellas Enka

A través de ella realiza diferentes acciones para impactar este sector buscando impulsarlo, formalizarlo, fortalecerlo y dignificar su labor, de manera que juntos puedan lograr un crecimiento sostenible y seguir posibilitando la economía circular.

Además, para enfrentar uno de los grandes retos de la industria, el ecodiseño, Enka trabaja de la mano de los clientes y las marcas con quienes promueve el diseño de botellas altamente reciclables, compatibles con los sistemas actuales de recolección, clasificación y transformación del PET posconsumo en Colombia. Su propósito es facilitar el desarrollo de envases que puedan reincorporarse de forma efectiva, segura y sostenible en nuevos ciclos de producción.

Todo esto, sumado a su escala operativa que permite la correcta recolección del material, sus estándares de calidad y su capacidad de innovación, convierten a Enka en un socio estratégico para que empresas locales e internacionales puedan cumplir con la normativa y avanzar hacia el cumplimiento de sus metas de sostenibilidad.

Finalmente, de cara al futuro, la compañía espera seguir siendo un referente de circularidad en el país y la región, por lo que continuará diversificando su oferta con un enfoque en nichos de productos de valor agregado, altas especificaciones y exigentes niveles de calidad, elementos fundamentales que le permitirán mantener su liderazgo en el mercado.

De igual forma, se proyectan como un aliado estratégico que acompaña a otras organizaciones en su transición hacia prácticas más sostenibles, con los mejores productos. Su enfoque en la circularidad, la innovación y la responsabilidad social, marca el camino de lo que significa hacer empresa con visión de futuro.

Así es como con determinación y coherencia, Enka seguirá ampliando las fronteras de la circularidad con foco en productos de alto valor agregado y especificaciones exigentes, acompañando a la industria en ecodiseño y en el cumplimiento de las nuevas normas de responsabilidad extendida del productor (REP) y plásticos de un solo uso (PUSU). El modelo de Enka —que integra recolección, transformación y trazabilidad— demuestra que la alta ingeniería y la innovación pueden generar valor económico, social y ambiental al mismo tiempo. Ese es el camino que nos proponemos seguir: escala, calidad y sostenibilidad para una economía circular que ya es realidad en Colombia.

REFERENCIAS

- [1]. Awaja, F., & Pavel, D. (2005). "Recycling of PET". *European Polymer Journal*, 41(7), 1453–1477.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305705000728>
- [2]. Yeh, J. T., & Chai, W. L. (2022). "Recent Advances in Biological Recycling of Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic Wastes". *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 894505.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8945055/>
- [3]. Hottle, T. A., & Landis, A. E. (2016). "Life Cycle Assessment of PET Bottles Recycling: A Comparative Analysis". *Journal of Cleaner Production*, 132, 94–104.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261630001X>
- [4]. Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. K. (2010). "Open-Loop Recycling: A LCA Case Study of PET Bottle Recycling in China". *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1242–1254.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134491000106X>
- [5]. Sullivan, D. E. (2021). "Advances in Chemical Recycling of PET: Depolymerization and Repolymerization Strategies". *Polymer Degradation and Stability*, 190, 109652.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391021001234>

LA INGENIERÍA EN COLOMBIA: ENTRE LA VOCACIÓN, LA FORMACIÓN Y EL FUTURO

Rubén Darío Ochoa Arbeláez

*Director General del Consejo Profesional Nacional de Ingeniería. COPNIA
Ingeniero civil, especialista en seguridad, higiene y gestión ambiental; maestría en
ingeniería civil con énfasis en Ingeniería ambiental
rubenochoa@copnia.gov.co*

Resumen: Elegir una profesión es una decisión que implica reflexión, autoconocimiento y acceso a información confiable y deben surgir preguntas como ¿Qué disfrutas hacer? ¿En qué materias destacas? ¿Qué tipo de vida te gustaría tener? También pensar ¿Qué motiva hoy a un joven colombiano a estudiar ingeniería? ¿Está la formación académica alineada con las necesidades del país y del mundo? ¿Cómo se proyecta el futuro de esta profesión en un entorno cada vez más digital y globalizado?

Con apoyo en estadísticas se muestra qué tantos bachilleres realizan carrera profesional en Colombia; cuáles son los programas de preferencia; cómo se reparte la matrícula de acuerdo con el tipo de Institución de Educación Superior; cómo se comporta la matrícula por nivel de formación y los programas que desde el Consejo Profesional Nacional de Ingeniería – COPNIA, tienen mayor registro profesional y orientan las tendencias de formación en Colombia. Esto, pensando en que la ingeniería se orienta al beneficio de la sociedad, por eso la formación es un factor determinante, donde las Instituciones de Educación Superior asumen la responsabilidad de formar profesionales competentes que no solo sean hábiles en sus campos técnicos, sino que también estén comprometidos en la construcción de una sociedad más justa y equitativa.

Palabras clave: Profesión, Instituciones de educación superior, Formación, Responsabilidad social, Programas académicos.

1. INTRODUCCIÓN

Quiero iniciar este artículo trayendo la célebre frase del sabio Francisco José de Caldas, considerado padre de la ingeniería colombiana, al inaugurar el primer curso de ingenieros militares en 1.814 en la República de Antioquia, quien definió magistralmente los conceptos de Honor y Gloria para quienes se dedicarían a la ingeniería. **“Nadie puede hacer grande una profesión sin amarla”:**

Considero una gran verdad que todos debemos tener presente desde el momento en que escogemos que estudiar y después en el proceso de formación profesional, para encontrarle sentido a cada uno de los cursos que constituyen el currículo de nuestra profesión y entender

que el **criterio profesional** se logra mediante una combinación de formación, experiencia, reflexión ética y compromiso con la calidad y que de las aulas, espacios académicos y de los dedicados docentes, debemos extraer conocimientos y bases sólidas que complementen los valores que se traen desde casa y que se traduzcan en integridad, responsabilidad y respeto por los demás y por todo lo que después hacemos como ingenieros.

La tarea de saber que estudiar a nivel técnico o profesional no siempre es fácil, es una decisión que puede generar dudas, ansiedad o presión, porque implica pensar en el futuro, en los gustos personales, en las oportunidades laborales y en las expectativas familiares o sociales. A veces hay influencia de padres, amigos o la misma sociedad para seguir ciertas carreras “prestigiosas” o “rentables”, lo que puede desviar al estudiante de lo que realmente le apasiona y ahí se sugiere el cuidado para poder dar aplicación de amar lo que se quiere estudiar para después poder hacer grande la profesión.

Refiriéndome al estudio de la ingeniería muchos jóvenes hoy priorizan el emprendimiento, con la idea del ingreso rápido y hasta piensan en ser “Influencers”, buscando el bienestar personal y trayectorias laborales más flexibles, entonces se debe pensar en cómo mostrar que la ingeniería no es solo “matemáticas difíciles”, sino creatividad, solución de problemas y mejora de la vida cotidiana, que hay muchas ramas: civil, electrónica, ambiental, industrial, de sistemas, biomédica, alimentos, agrícola, forestal, etc. y que hay oportunidades laborales en Colombia y el mundo: infraestructura, tecnología, sostenibilidad, automatización, actividades agropecuarias, renovación de energías, entre muchas otras.

2. LA SITUACIÓN DE LA INGENIERÍA EN COLOMBIA

Pensando en esto vino a mi mente como es la escogencia de programas académicos de los estudiantes de secundaria en Colombia y aproveché algunas estadísticas que tenemos en el Consejo Profesional Nacional de Ingeniería, COPNIA, como entidad pública encargada de la vigilancia, inspección y control del ejercicio profesional de la ingeniería y estas son algunas estadísticas:

2.1 ¿Que tantos bachilleres realizan carrera profesional en Colombia?

Según las cifras oficiales del Ministerio de Educación Nacional, MEN y las estadísticas del Sistema Nacional de Información de la Educación Superior, SNIES, en los últimos 11 años el comportamiento de jóvenes entre los 17 a los 21 años que son los que egresan de los colegios, para acceder a la educación superior se muestra en la tabla 1

A pesar de que se observa una proyección de disminución de la población de 17 a 21 años, el número de personas que se matriculan para pregrado ha tenido un aumento, lo que conlleva a que la cobertura se haya aumentado en los años 2021, 2022, 2023 y 2024.

2.2 ¿Cuáles son los programas de preferencia?

La tabla 2 muestra las matrículas según preferencias

Tabla 1 Estadísticas de la Educación Superior en Colombia

Año	MATRÍCULA PREGRADO	POBLACIÓN 17 A 21 AÑOS	COBERTURA	Cambio en matrícula	Cambio en población
2014	2.080.440	4.175.772	49,82%		
2015	2.149.504	4.185.606	51,35%	3,32%	0,24%
2016	2.234.285	4.190.194	53,32%	3,94%	0,11%
2017	2.280.327	4.189.178	54,43%	2,06%	-0,02%
2018	2.267.140	4.201.009	53,97%	-0,58%	0,28%
2019	2.208.613	4.228.704	52,23%	-2,58%	0,66%
2020	2.180.170	4.226.577	51,58%	-1,29%	-0,05%
2021	2.259.970	4.198.289	53,83%	3,66%	-0,67%
2022	2.284.637	4.159.592	54,92%	1,09%	-0,92%
2023	2.280.847	4.118.892	55,38%	-0,17%	-0,98%
2024	2.346.757	4.079.231	57,53%	2,89%	-0,96%

Fuentes: Matrícula: SNIES- MEN. Proyecciones de Población: DANE con base en el Censo Nacional de Población y Vivienda (CNPV) 2018 ajustadas post Covid a partir de 2020

Tabla 2 Estadísticas de la Educación Superior en Colombia según área del conocimiento

	AGRON. VETER. Y AFINES	BELLAS ARTES	CIENCIAS DE LA EDUC.	CIENCIAS DE LA SALUD	CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS	ECON, ADMINIS. CONTAD. Y AFINES	ING. ARQ. Y AFINES	MAT. Y CIENCIAS NATUR.	SIN CLASIF.	TOTAL
2014	45089	78613	158218	150251	326529	678258	604737	38745		2080440
2015	44076	75732	165221	148884	345643	698575	630837	40536		2149504
2016	44160	77332	167757	149372	373707	729972	649223	42762		2234285
2017	45887	76785	168265	152124	387712	748814	657205	43535		2280327
2018	47223	76691	162268	154721	400515	738808	643045	43869		2267140
2019	46936	75063	154144	157936	411741	696551	622797	43445		2208613
2020	46365	74282	148313	160983	408445	691515	596162	41958	12147	2180170
2021	48941	72911	150894	168667	404150	705767	620510	46001	42129	2259970
2022	47725	76214	151587	176671	389892	673350	595340	46976	126882	2284637
2023	47995	78080	153184	165884	371890	604132	558545	46723	254414	2280847
2024	50731	107219	159476	166577	366784	643108	678668	47130	127064	2346757

Fuente: MEN - SNIES.

Analizando el comportamiento de las cifras se destaca que, los jóvenes en los últimos 11 años han optado preferentemente por programas en el área de conocimiento de la administración,

contaduría y afines con un promedio de 691.714 estudiantes por año, seguido, sorprendentemente por el área de la ingeniería, arquitectura, urbanismo y afines, con un promedio anual de 623.370 estudiantes, en tercer lugar, las ciencias sociales y humanas, con promedio de 380.637 y más alejados, ciencias de la salud y de la educación, siendo de los menos llamativos los programas de ciencias naturales, agronomía, veterinaria y afines.

Es de analizar también que, los programas del área de conocimiento de economía, administración, contaduría y afines no difieren mucho del interés por los programas en el área de conocimiento de ingeniería, arquitectura, urbanismo y afines, que incluso en algunos años ha mostrado mayor aceptación.

2.3 ¿Como se reparte la matrícula de acuerdo con el tipo de Institución de Educación Superior?

La tabla 3 muestra las matrículas tipo de institución

Tabla 3 Estadísticas de matrículas según tipo de institución

SECTOR	OFICIAL	PRIVADA	TOTAL	% oficial	% privada
2014	1102098	978342	2080440	53,0%	47,0%
2015	1127111	1022393	2149504	52,0%	48,0%
2016	1147445	1086840	2234285	51,0%	49,0%
2017	1190016	1090311	2280327	52,0%	48,0%
2018	1182769	1084371	2267140	52,0%	48,0%
2019	1142887	1065726	2208613	52,0%	48,0%
2020	1145046	1035124	2180170	53,0%	47,0%
2021	1278703	981267	2259970	57,0%	43,0%
2022	1300110	984527	2284637	57,0%	43,0%
2023	1289606	991241	2280847	57,0%	43,0%
2024	1354474	992283	2346757	58,0%	42,0%

Fuentes: MEN – SNIES

Se presenta mayor proporción de matriculados en las Instituciones de Educación Superior en el sector oficial y el porcentaje aumenta ligeramente para los últimos cuatro años, después de la pandemia. También se puede deducir que el crecimiento en las IES públicas obedece a políticas como “Matrícula Cero” y el programa “Puedo Estudiar”, que ha beneficiado altos porcentajes de los estudiantes de pregrado.

También se puede registrar que algunas universidades privadas trabajan, especialmente en modalidades virtuales y programas de posgrado, como es el caso de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

2.4 ¿Como se comporta la matricula por nivel de formación?

La tabla 4 muestra las matrículas según nivel de formación

Tabla 4 Estadísticas de matrículas según nivel de formación

	Técnica, profesional y tecnológica	Universitaria	Total	% Técnica y tecnológica	% Universitaria
2014	711291	1369149	2080440	34,0%	66,0%
2015	717521	1431983	2149504	33,0%	67,0%
2016	720997	1513288	2234285	32,0%	68,0%
2017	731842	1548485	2280327	32,0%	68,0%
2018	709546	1557594	2267140	31,0%	69,0%
2019	656535	1552078	2208613	30,0%	70,0%
2020	650382	1529788	2180170	30,0%	70,0%
2021	691777	1568193	2259970	31,0%	69,0%
2022	696086	1588551	2284637	30,0%	70,0%
2023	674754	1606093	2280847	30,0%	70,0%
2024	709321	1637436	2346757	30,0%	70,0%

Fuentes: MEN - SNIES.

Por las cifras se ve que la proporción es estable entre profesionales y auxiliares, y se mantiene un promedio de 31% en la formación técnica profesional y tecnológica frente a un 69% de programas universitarios de nivel profesional. Estas estadísticas coinciden con los datos manejados en los análisis de egresados de la base COPNIA.

Revisando las cifras de registro en el Consejo Profesional Nacional de ingeniería, COPNIA, los programas que actualmente más matriculados registran, de las diferentes IES a nivel país, son los siguientes (Tabla 5):

Tabla 5 Registros de matrícula del Copnia

PROGRAMA ACADEMICO	No. MATRICULAS	% PARTICIPACION
INGENIERIA INDUSTRIAL	160.149	20,37%
INGENIERIA CIVIL	150.512	19,15%
INGENIERIA DE SISTEMAS	128.007	16,29%
INGENIERIA AMBIENTAL	49.234	6,26%
INGENIERIA AGRONOMICA	32.466	4,13%
MAESTRO DE OBRA	16.763	2,13%
INGENIERIA DE ALIMENTOS	13.273	1,69%
TECNOLOGIA EN OBRAS CIVILES	9.820	1,25%

INGENIERIA AGROINDUSTRIAL	8.663	1,10%
INGENIERIA MECATRONICA	8.633	1,10%
INGENIERIA DE SISTEMAS Y COMPUTACION	8.425	1,07%
INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA	8.146	1,04%
INGENIERIA FORESTAL	7.588	0,97%
INGENIERIA BIOMEDICA	7.653	0,97%
TECNOLOGIA ANALISIS SIST INFORM.	7.102	0,90%
INGENIERIA INFORMATICA	6.257	0,80%
TECNOLOGIA EN CONSTRUCCION	5.927	0,75%
INGENIERIA AGRICOLA	5.874	0,75%
INGENIERIA DE PRODUCCION	5.125	0,65%
INGENIERIA FINANCIERA	4.482	0,57%
TOTAL, TOP 20	644.099	73,09%
Otras profesiones	237.093	26,91%
TOTAL, REGISTRO A SEPTIEMBRE 30 DE 2025	881.192	100,00%

Fuente: Datos estadísticos registro COPNIA.

En resumen, según el histórico de matrículas y certificados otorgados en el Consejo Profesional Nacional de Ingeniería – COPNIA al 30 de septiembre de 2025, son 881.192, ingenieros, técnicos, tecnólogos y maestros de obra en la historia desde el año 1.937, de los cuales, 644.099 están en las 20 profesiones discriminadas, que representan el 73.1% y en las otras 1.248 profesiones que son objeto de vigilancia por parte del COPNIA, se han registrado 237.093, con el 26,9%. (Hay que anotar que algunas ingenierías no gestionan sus matrículas a través del COPNIA)

De las ingenierías las que más egresados está reportando desde los últimos seis años son industrial y sistemas. Según el MEN-SNIES, Industrial ha pasado de 10.518 egresados reportados en 2019 a 15.807 en 2024; mientras que la de sistemas ha pasado de 4.945 10.054 reportados en los mismos años.

3. CONCLUSIONES

Los ingenieros/as, en términos generales, tenemos la tarea de encontrar soluciones reales y efectivas a problemáticas tan variadas y estratégicas como la construcción de la paz, cambio climático, transición energética, inteligencia artificial, internet de las cosas, vivienda, salud, educación, minería, industria, desarrollo agrícola, servicios públicos, infraestructura, sistemas de movilidad, uso eficiente de los recursos técnicos y naturales para mejorar la competitividad, ordenamiento productivo con uso eficiente del suelo, seguridad jurídica, ordenamiento territorial que forme regiones productivas y por otro lado, docencia e investigación, entre muchos otros temas de alto impacto. Pero estamos viendo cómo la

Ingeniería ha perdido su capacidad de influir sobre los asuntos estratégicos del desarrollo nacional y no estamos participando decididamente como líderes, para ocupar cargos de alto mando y tomar decisiones que beneficien no solo a las empresas, sino también a la productividad del país.

Entendiendo que la educación es un factor determinante para el progreso personal y profesional, la ingeniería es un área crucial para el desarrollo y crecimiento económico de las naciones, se requiere un compromiso real de transformación y por ello, un título universitario representa más que una meta que promete un futuro laboral el cual debemos escoger con convicción.

REFERENCIAS

- [1]. Ochoa Rubén, febrero 2024 “Sin ingenieros comprometidos, no hay futuro energético” Artículo revista Anales de ingeniería Sociedad Colombiana de Ingenieros.
- [2]. Ochoa Rubén, agosto 2024 “El impulso en Latinoamérica hacia las mujeres en la ingeniería”. Artículo para el XVI congreso iberoamericano de mujeres ingenieras, arquitectas y agrimensoras. Lisboa – Portugal.
- [3]. Revista El Copnia en cifras ISBN: 978-958-52238-0-6.
- [4]. Diario La República, Bogotá, Colombia, sección MUNDO, 20 agosto 2024 | 15:56 <https://search.app/ZvXh9Ppjr4TdwjXP9>
- [5]. Proyecciones de Población www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion
- [6]. www.acofi.edu.co/noticias/estadisticas-e-informacion-relevante-de-los-programas-de-ingenieria-en-colombia/
- [7]. <https://snies.mineducacion.gov.co/portal/ESTADISTICAS/>



EFFECTOS DE LOS CONTAMINANTES EN LOS DEVANADOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS

Walter Evaldo Kuchenbecker¹, Daniel Rodrigo Moretti²

¹Investigador Doctor Colaborador de Posgrado en ENERGÍA - UFABC
PhD en ENERGÍA, línea de investigación de Máquinas de Eléctricas Rotativas UFABC,
walterk@weg.net;

²Analista de Servicios Externos - WEG Equipamentos Elétricos S.A.;
Máster en MÁQUINAS ELÉCTRICAS, línea de investigación de aislamiento de Máquinas
Eléctricas Rotativas, UFSC
morettid@weg.net

Resumen: Una parte significativa de las fallas de aislamiento en máquinas eléctricas rotativas está directamente relacionada con factores ambientales que causan contaminación del equipo. Normalmente, son inherentes al proceso productivo donde se instala el equipo y en consecuencia sometido a estos factores.

Los efectos de contaminantes en los materiales aislantes de máquinas eléctricas se evidencian mediante mediciones aplicadas a los sistemas de aislamiento. Estas evaluaciones se pueden realizar por curvas de tendencia de varias mediciones en paradas programadas o por monitoreo continuo. La incipiente identificación de cambios en las características dieléctricas de los aislantes por contaminantes y el mantenimiento correctivo evitan una posible falla inesperada y prematura.

Este artículo presenta la relación causa-efecto de los factores ambientales contaminantes que reducen progresivamente la vida útil del equipo, dejándolo fuera de funcionamiento prematuramente.

Palabras clave: Dieléctricos, Contaminantes, Envejecimiento, Camino de fuga (tracking).

1. INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de fallas en los devanados de máquinas eléctricas rotativas se redujo con la introducción del sistema de impregnación al vacío (VPI - *Vacuum Pressure Impregnation*) a mediados de 1960. La evolución tecnológica de los materiales aislantes y resinas epoxi también ha sido constante desde la implantación del sistema VPI.

Con el aumento de la resistencia térmica de los materiales aislantes, se logró reducir las áreas consumidas por este material, durante la fabricación de las máquinas eléctricas rotativas y

consecuentemente ello ayudó a hacerlas más compactas, aumentando la eficiencia, capacidad térmica e incluso mejorando el factor de potencia. Además, los materiales modernos resistentes al efecto corona aplicados a los devanados, reducen el impacto de sobretensiones cuando están sometidos a las maniobras del disyuntor a vacío y a pulsos de semiconductores utilizados en los convertidores de frecuencia.

Sin embargo, las superficies de los devanados contaminados tienden a provocar descargas intensas y posibles caminos de fuga. Estas superficies contaminadas pueden llevar a los devanados a fallas prematuras, actuando desde la superficie hacia el interior de la bobina. Los contaminantes abrasivos en el aislamiento en la superficie de los devanados crean caminos de fuga, a través de reacciones químicas, (sea por el movimiento de las bobinas o partículas en suspensión), causadas por daños mecánicos en general, limpieza y secado inadecuados de los devanados, neblina de aceite, humedad, solventes de limpieza, condensación de contaminantes.

El ciclo de falla consta básicamente de cuatro factores: estrés eléctrico, térmico, mecánico o contaminación proveniente del medio ambiente. Estos factores pueden interactuar con los componentes del sistema de aislamiento causando un envejecimiento prematuro y, en consecuencia, fallas en el equipo. Los factores de estrés pueden contribuir al envejecimiento del sistema de aislamiento individualmente o en combinación.

Los contaminantes del medio ambiente están directamente relacionados con el proceso de modificación de las propiedades dieléctricas de los materiales, provocando la aparición de subproductos corrosivos, aumentando la conductividad del aislamiento, provocando condiciones para el aumento de las actividades de descargas parciales y como consecuencia inevitable, la rotura prematura del estator de alta tensión. La contaminación generalmente ocurre en las cabezas de las bobinas de los estatores. Si la contaminación tiene propiedades conductoras, entonces se establece un flujo de corriente, siempre que haya una diferencia de potencial.

La Figura 4 presenta el ciclo de falla del sistema de aislamiento según la norma IEC 60505 y puede determinar los factores de estrés que está sometido el sistema de aislamiento.

Figura 2 presenta el modelo de un aislamiento contaminado. Como resultado de la contaminación, las regiones que se denominan "secas" generalmente se crean y se muestran como R_{seco} y otras como $R_{contaminación}$. Las regiones más secas se caracterizan por tener una resistencia mucho mayor que las otras regiones contaminadas y en esta situación, cualquier diferencia de potencial (tensión fase-fase) se establece en esta pequeña región de mayor resistencia. La alta diferencia de potencial, en esta pequeña región contaminada, seca y aislada, provoca la ruptura de la rigidez dieléctrica del aire atmosférico en su alrededor. Estas descargas eléctricas degradan y carbonizan la resina orgánica y las cintas del sistema de aislamiento en la región seca, haciéndola más conductora. El aumento de la conductividad en esta pequeña área permite establecer la diferencia de potencial fase-fase en otra pequeña región y, por tanto, la carbonización se convierte en un proceso sucesivo.

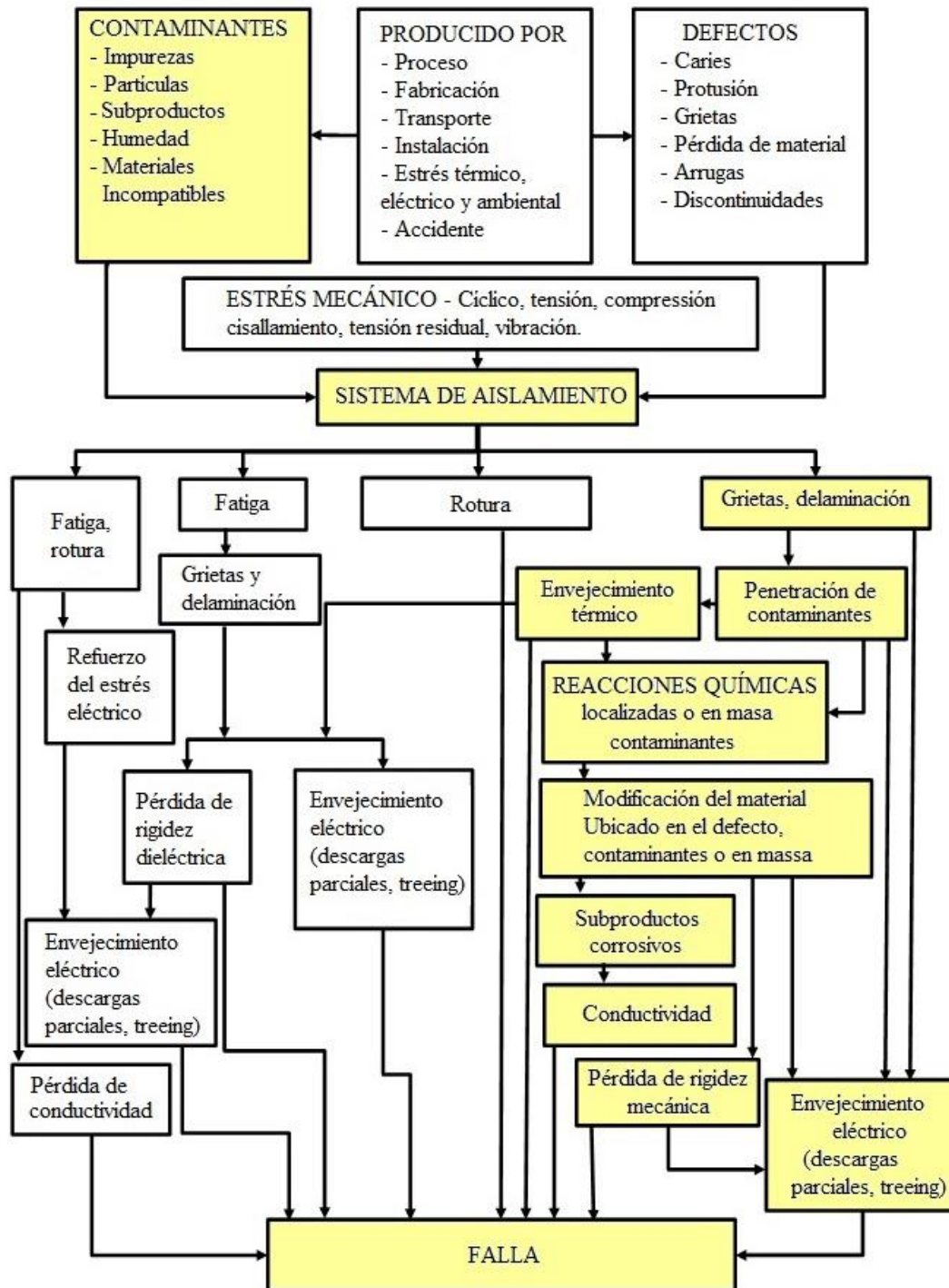


Figura 4 - Diagrama de flujo de la evolución y correlación de factores que causan el envejecimiento del sistema de aislamiento del estator de alta tensión en máquinas eléctricas rotativas (Fuente: IEC 60505, 2011)

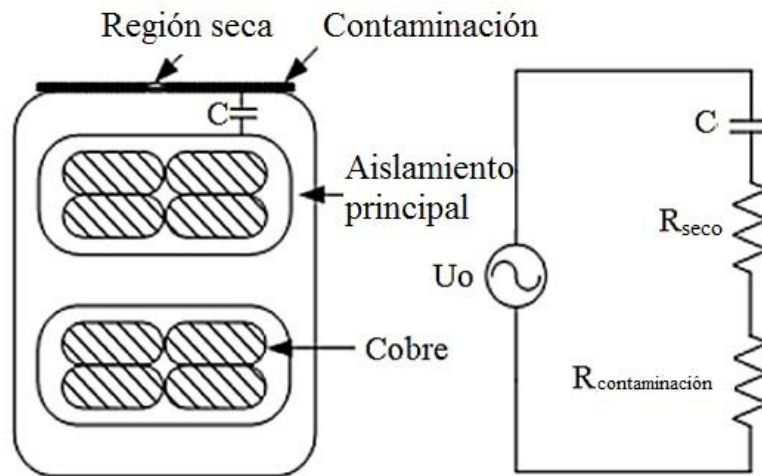


Figura 2 - Sección transversal de la cabeza de bobina de un estator de alta tensión y su respectivo circuito equivalente que muestra el flujo de corriente de fuga (Fuente: LIN, L; 2016).

Los efectos de los contaminantes en los devanados siempre han sido motivo de preocupación. Soltani (2009) evaluó el efecto de la humedad en el dieléctrico del aislamiento utilizando la técnica de medición de la corriente de fuga en corriente continua. Utilizó barras y bobinas con diferentes tecnologías de aislamiento (asfalto, epoxi y poliéster) y sometió el sistema a diferentes grados de humedad. En el estudio se demostró que un moderno aislamiento epoximica tiene una disminución significativa en los valores de índice de polarización y resistencia de aislamiento, cuando sometido a contaminación. La reducción gradual en el valor del índice de polarización está directamente relacionada con el tiempo de exposición al ambiente húmedo simulado. Soltani también señaló que las descargas parciales tienden a caer en los devanados con un alto contenido de humedad.

Se observa un comportamiento análogo al medir la resistencia de aislamiento luego de 1 minuto. Soltani (2011) observó que el impacto es aún mayor en los valores de resistencia de aislamiento y concluyó que la humedad afecta la resistencia de aislamiento a través de la formación de una capa conductora sobre la bobina y consecuentemente aumenta la corriente de fuga.

Neti (2011) simuló formas de detectar los efectos y tendencias de la humedad y los caminos de fuga en los devanados. Utilizó la técnica de protección diferencial de alta sensibilidad, monitoreando la tendencia de las pérdidas dieléctricas durante la pulverización de contaminantes en los devanados y también monitoreando la actividad de las descargas parciales. Ambas las mediciones fueron efectivas para detectar la tendencia de fallas por agentes contaminantes en las superficies de los devanados. Se demostró en el estudio que un aislamiento contaminado presenta aumento en el nivel de descargas parciales y puede conducir a una falla inminente.

De manera similar, Neti (2011) ha verificado un aumento en las pérdidas dieléctricas debido a la contaminación superficial de las cabezas de bobina. Los sucesivos ciclos de aerosol contaminante fueron interrumpidos por la rotura del aislamiento. La contaminación provocó un aumento en la conductividad superficial de las cabezas de bobina de los devanados, aumentando las descargas parciales y el camino de fuga superficial. En este trabajo, se utilizó la misma técnica de simulación, pero analizando los efectos con todas las pruebas de evaluación que se practican actualmente.

Lin (2016) estudió la influencia del vapor de agua en bobinas contaminadas con aceite lubricante. En máquinas grandes es muy común tener contaminación de aceite o neblina de aceite debido a pequeñas fugas en los cojinetes. Esta contaminación conduce a un aumento de las descargas parciales, sin embargo, con la mezcla de niebla de vapor de agua esto hace que las descargas parciales aumenten mucho más. El autor utilizó bobinas contaminadas con aceite y varió la humedad relativa, concluyendo que en 80% de los casos, los caminos de fuga aumentan considerablemente y degradan el aislamiento rápidamente. Lin (2016) también mostró que la contaminación por aceite y grafito puede ocurrir en las cabezas de bobina del estator bobinado y que tiene propiedades conductoras.

El objetivo de este artículo es presentar los efectos de los contaminantes en las superficies de los devanados, incluso con los aislamientos desarrollados con tecnologías más modernas disponibles en el mercado. Los parámetros utilizados para los análisis se basaron en los más modernos equipos disponibles para la evaluación, tales como: resistencia de aislamiento, tangente delta y descargas parciales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Técnicas para diagnóstico

Las técnicas utilizadas en la detección de fallas de aislamiento han presentado una evolución considerable y han reducido la frecuencia de fallas inesperadas. Es común encontrar varios métodos de diagnóstico, desde técnicas consolidadas hasta condiciones de prueba que no están muy extendidas en las comunidades internacionales. Es de suma importancia señalar que los métodos de diagnóstico no estandarizados generan una serie de divergencias entre fabricantes, usuarios y empresas especializadas en la venta de servicios de diagnóstico. Aquí no se discute la eficiencia de los métodos no estandarizados, pero se observa que técnicas que no han sido ampliamente discutidas generan fallas en la interpretación y, consecuentemente, un retraso en la toma de decisiones.

El diagnóstico del sistema de aislamiento depende de la disponibilidad de equipos, personal calificado y recursos por parte del usuario para contratar servicios especializados. Como se mencionó, las pruebas mínimas de aislamiento no están definidas en una norma, por lo que a continuación se presenta un enfoque seguro para diagnóstico del sistema de aislamiento.

Resistencia de aislamiento

El diagnóstico del sistema de aislamiento realizado según la norma IEEE43 es sin duda el más extendido y proporciona una respuesta rápida y accesible. La imposición de tensión en corriente continua y la medición de corriente de fuga permite determinar características importantes como el valor de la resistencia de aislamiento durante 1 minuto y el índice de polarización (IP). Aunque la ejecución de la prueba sea relativamente simple, la figura 3 muestra el circuito de aislamiento equivalente para una prueba de índice de polarización y resistencia de aislamiento.

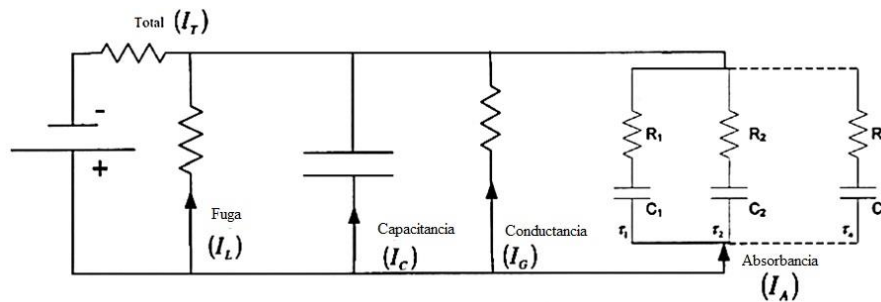


Figura 5 - Circuito equivalente de monitoreo del aislamiento durante la prueba de resistencia de aislamiento (Fuente: IEEE43; 2013).

La Figura 6 presenta el comportamiento de las corrientes del circuito equivalente del sistema de aislamiento. La corriente de fuga I_L es constante en el tiempo y normalmente fluye sobre la superficie del aislamiento. La corriente capacitiva I_C tiene alta magnitud durante un corto período de tiempo, ya que decae exponencialmente con el tiempo y la tensión aplicada y depende de la geometría del aislamiento.

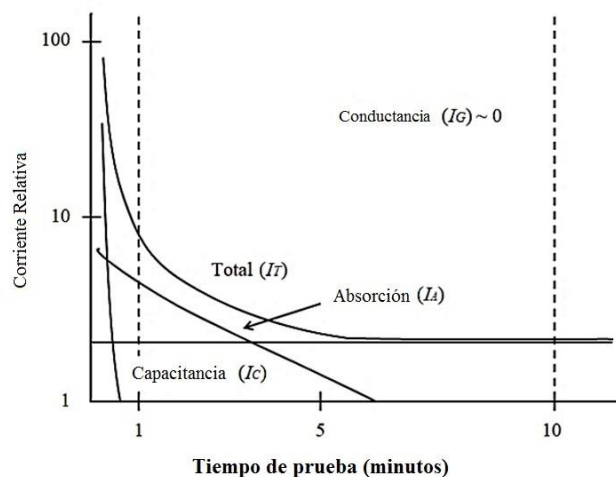


Figura 6 - Comportamiento de las corrientes del circuito equivalente del sistema de aislamiento.

La corriente I_G es constante en el tiempo y fluye desde la superficie en contacto con el núcleo hasta el conductor energizado y está directamente relacionada con el tipo del sistema de aislamiento. La corriente I_A es el resultado del proceso de polarización molecular y desplazamiento de electrones.

Descargas dieléctricas (DD)

La prueba de descarga dieléctrica mide la corriente de descarga 60 segundos después de finalizada la carga durante un período de 30 minutos.

$$DD = \frac{I_{descarga} (1min)}{U \cdot C_{Aislamiento}}$$

El sistema de aislamiento es sometido a un proceso de carga similar al dieléctrico en un condensador, como mostrado en la figura 5. El temporizador es estandarizado para 30 minutos de carga, que suele ser el tiempo suficiente para que ocurra la absorción total.

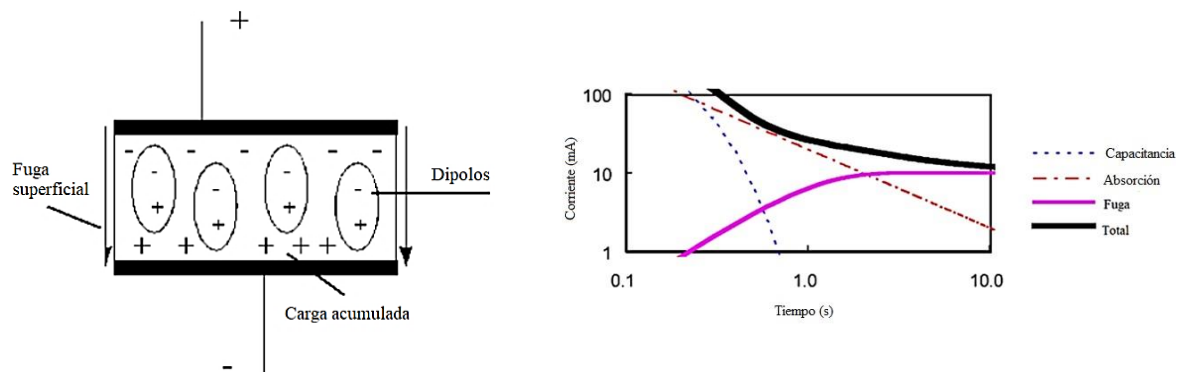


Figura 7 - Carga del sistema de aislamiento - Corrientes eléctricas involucradas (Fuente: Megger).

La carga que se almacena durante la prueba de aislamiento se descarga automáticamente al final de la prueba. La tasa de descarga depende solo del resistor de descarga y de la cantidad de carga almacenada en el aislamiento, conforme la figura 6.

La prueba de descarga dieléctrica mide las corrientes de descarga 1 minuto después de completar una prueba de aislamiento. En este momento, la corriente capacitiva generalmente se vuelve insignificante en comparación con la corriente de reabsorción. El nivel de reabsorción después de este período muestra el estado del material aislante, siempre que el aislamiento se haya cargado completamente para que se produzca la absorción total (generalmente de 10 a 30 minutos). Una corriente de reabsorción alta muestra que el aislamiento se ha contaminado, generalmente por humedad. Una corriente baja suele indicar que el aislamiento está limpio y no ha absorbido mucha agua.

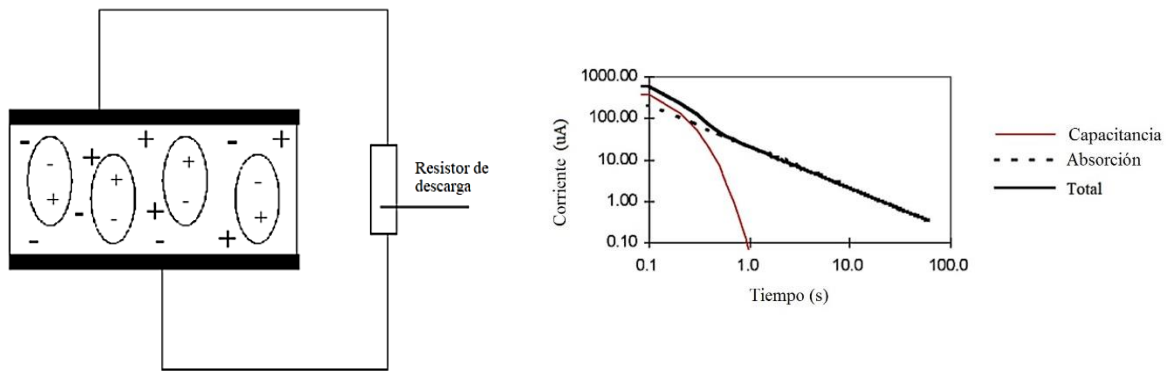


Figura 8 - Descarga del sistema de aislamiento - Corrientes eléctricas involucradas (Fuente: Megger).

Paso de tensión (Step Voltage)

La prueba de paso de tensión es aplicable a máquinas eléctricas con tensión nominal mayor o igual a 2300V. Esta prueba se puede realizar para evaluaciones en fábrica, así como para máquinas en campo. La aplicación de tensión para realizar esta prueba se puede realizar mediante pasos con tiempos recomendados de 1 a 3 minutos para cada paso. El incremento típico es de 1 kV por minuto. La prueba se traza en los ejes XY (corriente versus tensión aplicada), lo que resultada una respuesta de corriente progresiva y continua. La Figura 7 muestra un ejemplo de pasos de tensión y posibles resultados para evaluaciones.

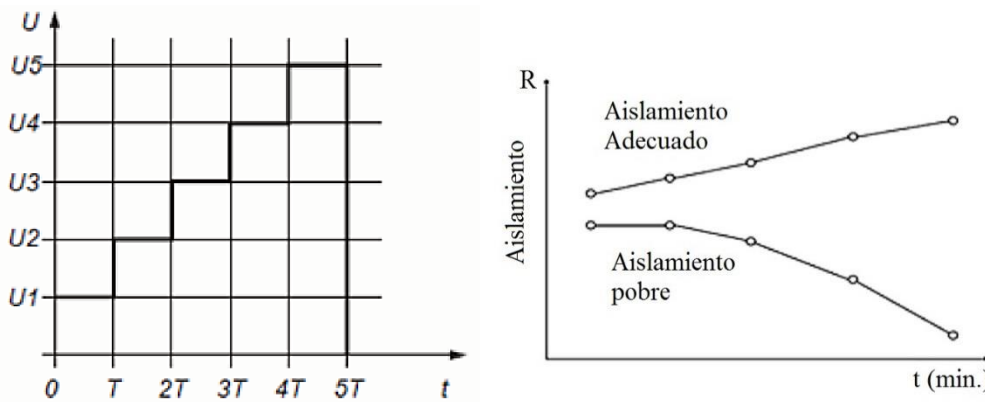


Figura 9- Típico paso de tensión y comportamiento del aislamiento bajo prueba de paso de tensión. (Fuente: BALAN H; 2010).

Pérdidas dieléctricas (tangente delta)

La determinación de las pérdidas dieléctricas en el diagnóstico del sistema de aislamiento de alta tensión ha demostrado ser uno de los métodos de evaluación más importantes. El método

está estandarizado, pero sin límite definido para devanados completos, lo que requiere la determinación de curvas de tendencia para monitorear la evolución de las pérdidas. Según la norma IEEE286, la causa del aumento de las pérdidas dieléctricas puede ser desde una falla de fabricación, caracterizada por una desviación en el proceso de curado, hasta la evolución de los niveles de descargas parciales. Similar al método presentado anteriormente, el ángulo de pérdidas varía según las corrientes dieléctricas I_o , corriente de carga de la capacitancia geométrica I_p , corriente de polarización I_{pd} , corriente de ionización de las descargas parciales y corriente de fuga I_L . La Figura 10 muestra cómo cada mecanismo puede afectar las pérdidas dieléctricas.

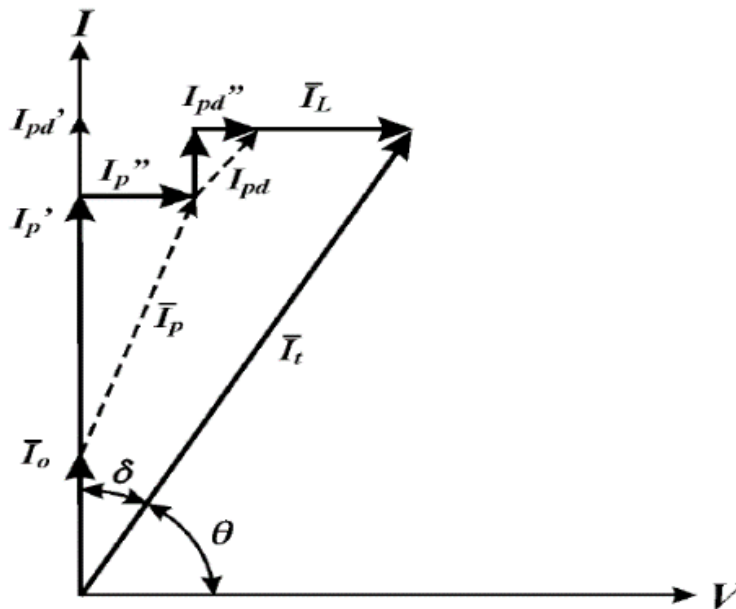


Figura 10 - Representación de los mecanismos de pérdida dieléctrica (Fuente: MORETTI; 2016).

Descargas parciales

El monitoreo de la tendencia de descargas parciales ha demostrado ser una herramienta eficiente para prevenir fallas prematuras del sistema de aislamiento. Es innegable que el método, ya estandarizado, tiene un papel destacado para permitir que el diagnóstico se realice de forma online. La Figura 11 presenta el ejemplo típico de montaje de acoplamiento capacitivo para monitoreo online de descargas parciales (DP). Se instala un acoplador capacitivo en cada una de las fases, generalmente mediante conexión individual. El acoplamiento genera una señal de baja tensión que luego se filtra y se trata mediante un software específico.

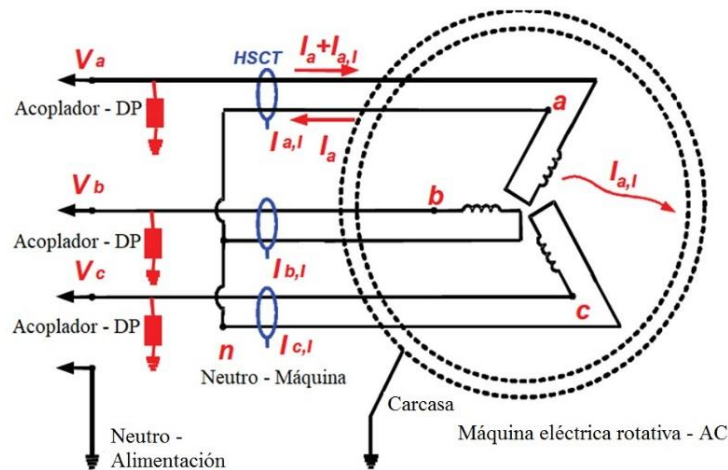


Figura 11- Ejemplo típico de instalación de acoplamiento capacitivo para monitoreo de descargas parciales. (Fuente: NETI, P; 2011).

La Figura 12 muestra la posición de las fuentes de descargas parciales dentro del espectro angular de la señal sinusoidal de tensión aplicada durante el diagnóstico. Para cada nivel de tensión durante la prueba se verifica la magnitud del predominio de las descargas parciales.

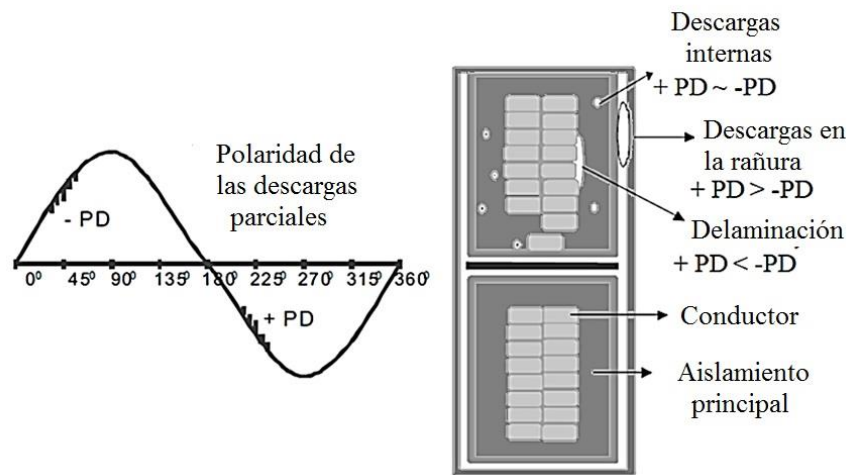


Figura 12 - Fuentes de descargas parciales en un aislamiento de alta tensión para máquinas eléctricas rotativas (Fuente: MORETTI; 2016).

2.2. Preparación de muestras experimentales

Para demostrar la relación entre la contaminación superficial y los efectos dañinos a los dieléctricos utilizados en los devanados estatóricos de las máquinas eléctricas rotativas de alta tensión, se fabricó un prototipo que contiene todas las características necesarias para

soportar una tensión nominal de 4,16 kV. Para que el comportamiento de la muestra fuera fiel al estator de alta tensión, se utilizaron todos los materiales necesarios, tales como: aislamiento individual de los conductores, aislamiento principal con mica y capa de acabado superficial. Para completar el proceso, el estator se sometió al proceso de impregnación VPI.

Por razones de viabilidad del proceso, no se utilizó la cinta contra efecto corona. Este hecho no tiene impacto en el estudio abordado ya que las conclusiones son relativas, es decir, los resultados se presentan comparando la muestra ideal con la muestra sometida al contaminante. La Figura 11 presenta la muestra en su forma original.

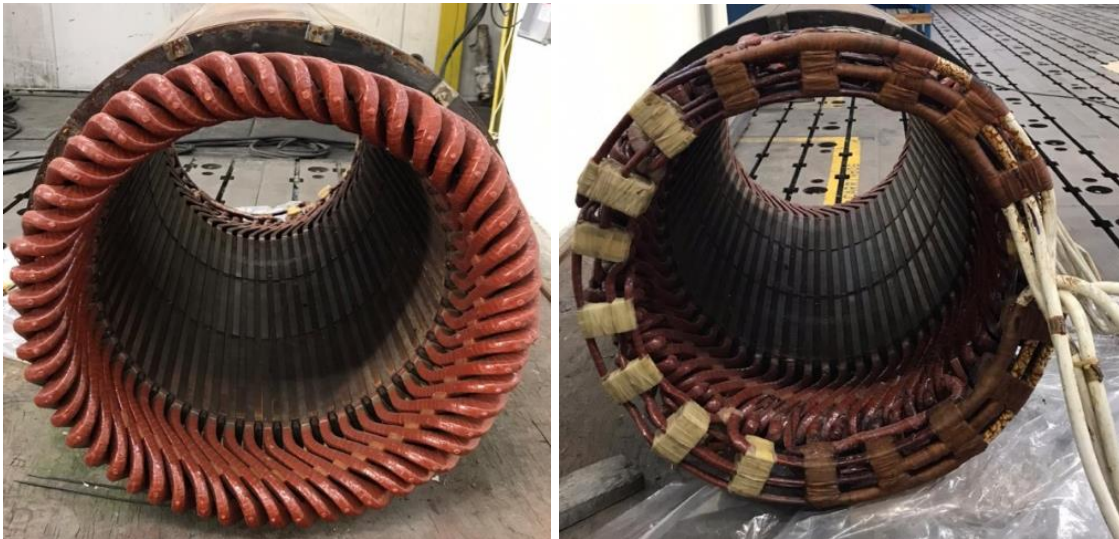


Figura 13 - Muestra de estator de alta tensión (Fuente: WEG).

La muestra en cuestión ha sido sometida a la prueba de envejecimiento a través de la prueba Voltage Endurance Test (VET) durante un período de 400 horas. El objetivo principal de ejecutar el VET es crear una condición de degradación similar a la que se encuentra con la máquina en operación. Los detalles del VET no se presentan aquí, ya que el objetivo principal es la evaluación de la contaminación superficial en un aislamiento ya degradado por condiciones operativas como temperatura y estrés eléctrico.

Con la muestra envejecida, primeramente, se realizaron mediciones de las condiciones iniciales sin contaminantes para realizar comparaciones. Luego, se seleccionaron los materiales contaminantes más comunes, buscando similitudes con los encontrados en aplicaciones, como agua salina y hollín húmedo.

Para simular el comportamiento dieléctrico de los devanados de máquinas eléctricas utilizadas en ambientes salinos (plataformas petrolíferas), se utilizaron alrededor de 35 g de sal por cada litro de agua, relación aproximada a que se encuentra en el agua de mar. La

Figura 14 presenta la muestra siendo rociada con el contaminante, en ambos lados de las cabezas de bobina.



Figura 14 - Muestra de estator de alta tensión - Contaminado (Fuente: WEG).

Justo después de finalizar las mediciones, para el análisis del efecto del contaminante del agua salina en un devanado envejecido, la muestra pasó nuevamente por un proceso de lavado, limpieza y respectivo secado en horno para volver a las condiciones iniciales. En estas condiciones, se hicieron nuevas mediciones para comparación con un nuevo proceso de contaminación.

Las máquinas eléctricas operan en las aplicaciones más diversas y, por lo tanto, también están sujetas a los más diversos contaminantes suspendidos en el aire. Estos hollines que contaminan los devanados en la operación fueron representados por la aplicación de aserrín fino y humedecido en la muestra, como muestra la Figura 15



Figura 15 - Muestra contaminada con aserrín fino húmedo (Fuente: WEG).

3. MEDICIONES Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1. Prototipo con aislamiento envejecido y contaminado con agua salina

Como condición inicial, una muestra de estator bobinado de 4,16 kV fue sometida al proceso de envejecimiento acelerado. El envejecimiento del aislamiento se simuló mediante el uso de dos factores: tensión y temperatura. Tras el término del envejecimiento, la muestra se sometió a un proceso de rejuvenecimiento y posteriormente a pruebas dieléctricas. La Tabla 1 muestra que los resultados presentados en la columna “Condiciones iniciales” demuestran que la muestra presenta parámetros ideales para ser utilizada como referencia.

Tras la aplicación de agua salina, se constató que la resistencia de aislamiento para la fase W presentó un nivel muy bajo y, por lo tanto, no se realizaron los demás ensayos para evitar daños mayores. Al evaluar la causa raíz de la falla en la muestra, se concluye que el alto nivel de contaminación superficial sumado a una posible grieta causada por los efectos operacionales simulados durante la prueba VET fueron las causas del bajo nivel de aislamiento.

Tabla 1 - Resultados de la prueba - Muestra contaminada con agua salina

Prueba		Muestras					
		Condiciones iniciales			Contaminado		
		U	V	W	U	V	W
R. óhmica	Ω	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Rlmin @ 40°C	G Ω	4.82	4.87	4,72	3,40	4.20	<u>0,02</u>
IA	-	1,9	1,9	1,9	-	-	-
IP	-	5,20	5,00	5,20	-	-	-
Tan δ @20°C	%	3,71	3,84	4.25	-	-	-
Media Tan δ (Tip-up)	%	0,24	0,18	0.46	-	-	-
Máx. Δ Tan δ	%	1,46	0,94	1.05	-	-	-
QM +	mV	181	191	-	-	-	-
QM -	mV	-	112	-	-	-	-
DD	-	1,50	1,60	1,50	-	-	-
DAR	-	4.20	4.20	4,80	-	-	-

3.2. Prueba 2 - Muestra revitalizada y contaminada con agua salina

Debido a la falla detectada en la prueba 1, la muestra fue sometida al proceso de revitalización. El proceso de revitalización consiste en rejuvenecer la parte superficial del

devanado, evitando que los contaminantes provoquen un déficit en el grado de aislamiento del estator. Tras la revitalización, la muestra de estator bobinado se sometió a nuevas pruebas para garantizar la condición inicial y luego ser sometida al efecto del contaminante superficial.

La Tabla , muestra que la contaminación por agua salina tiene impacto significativo en la resistencia de aislamiento provocando una caída considerable del índice de polarización para la fase W. Esta disminución, tanto en la resistencia de aislamiento como en el índice de polarización, está directamente relacionada con un aumento corriente de fuga superficial. Se destaca el aumento en las pérdidas dieléctricas $\tan \delta @ 20^\circ\text{C}$ para la fase W y la caída de la media del $\tan \delta$ (Tip-up) para las fases U y W. La caída en la media del $\tan \delta$ (Tip-up) puede estar relacionada al aumento de la corriente de fuga y, por lo tanto, un cambio en las pérdidas en todos los niveles de tensión de prueba.

No hubo cambios significativos en los niveles de descargas parciales al comparar la muestra revitalizada con la muestra contaminada. Este comportamiento indica que la contaminación superficial no permite de manera consistente la propagación del “tracking” cuando el campo eléctrico se mantiene por un corto período. El “tracking” es un fenómeno acumulativo y requiere la existencia constante de campo eléctrico para generar un impacto en las mediciones de descargas parciales.

La respuesta a la descarga dieléctrica indica que el aislamiento no absorbió el contaminante. Este comportamiento está coherente con el hecho de que la muestra ha sido sometida al proceso de rejuvenecimiento, es decir, la muestra se encuentra encapsulada.

Los datos de DAR muestran que la contaminación no tiene un impacto directo sobre la absorción. Esto se debe a que la corriente de absorción está directamente relacionada con la polarización molecular y, por tanto, implica en la medición de corrientes con magnitudes superiores que la corriente de fuga.

Es importante destacar que el aislamiento epoxi-mica posee una característica no higroscópica, por lo que, al aplicar el contaminante se verificó mediante las pruebas de descarga dieléctrica (DD) y relación de absorción (DAR), que no hubo cambios significativos ya que no se esperaba absorción de la humedad presente en el contaminante.

Tabla 2 - Resultados de las pruebas – Muestra revitalizada y contaminada con agua salina

Prueba		Muestras					
		Condiciones iniciales			Contaminado		
		U	V	W	U	V	W
R. óhmica	Ω	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
R1min @ 40°C	G Ω	7.04	6.44	7.27	6.21	<u>3.78</u>	<u>1.77</u>
IA	-	1,9	2.0	2.1	1.8	1,9	1.4

IP	-	5.5	5.5	4.4	3.9	4.6	1.0
Tan δ @20°C	%	3.36	4.26	4.26	3.38	4.28	<u>4.80</u>
Media Tan δ (Tip-up)	%	0,16	0,15	0,12	<u>0,07</u>	0,14	<u>0,04</u>
Máx. Δ Tan δ .	%	0,80	0,94	0,77	0,66	0,74	0,58
QM +	mV	251.0	242.0	146,0	200,0	289.0	129,0
QM -	mV	53,0	233.0	131,0	171,0	293.0	117,0
DD	-	0,8	0,8	0,9	1.0	1.0	1.0
DAR	-	4.2	4.6	4.2	4.2	4.5	4.2

3.3. Prueba 3 - Muestra revitalizada y contaminada con aserrín húmedo

Tras la realización de las pruebas con muestra contaminada con agua salina, la muestra fue sometida a un nuevo proceso de lavado para eliminar la contaminación. Tras el procedimiento de limpieza, el estator fue sometido a nuevas pruebas para evaluar el impacto de la contaminación por aserrín húmedo.

La Tabla 3 presenta los resultados de las pruebas antes y después de la contaminación por aserrín húmedo. Los resultados presentados en la columna “Condiciones iniciales”, demuestran que el prototipo presentó mejores resultados para la resistencia de aislamiento (R_{lmin} @40°C) y el índice de polarización (IP). Hubo caída en las pérdidas dieléctricas (Tan δ @20°C) y pequeña mejora en la respuesta al (DAR). Este comportamiento es consistente ya que el prototipo fue sometido al proceso de limpieza para eliminar el contaminante.

En la columna denominada “Contaminado” se observa una caída en el valor de la resistencia de aislamiento (R_{lmin} @40°C), posiblemente causada por exceso de material contaminante. Al insertar un material contaminante en cantidad suficiente para obstruir los canales de ventilación, hubo una variación en el valor de capacitancia de fase que afectó la corriente capacitiva durante el proceso de polarización. Considerando que las otras características, absorción y fuga, no han sido afectadas, hubo un aumento en los valores de (IA), (IP) y (DAR). Por otro lado, hubo un aumento de las pérdidas dieléctricas (Tan δ @ 20°C), lo que puede demostrar que la corriente de fuga es más expresiva cuando la prueba se realiza en corriente alterna. El hecho de que los valores de media del Tan δ (Tip-up) y (Max Δ tan δ) indican que el contaminante utilizado no afectó significativamente la magnitud de las descargas parciales.

Los niveles de descarga dieléctrica (DD) presentaron un aumento considerable. Este aumento indica pérdida de homogeneidad del aislamiento provocada por la inserción del material contaminante entre los canales de ventilación del estator.

Los niveles de descargas parciales representan una tendencia de caída en las magnitudes al comparar la prueba antes y después de la contaminación. Este comportamiento puede estar relacionado con la alta humedad aplicada al aserrín durante la simulación de contaminación. La alta humedad provoca un aumento de la corriente de fuga entre los devanados de diferentes fases "ecualizando" la diferencia de potencial sobre el material contaminante. El efecto del camino de fuga (tracking) se produce cuando la región contaminada presenta elevada diferencia de potencial y esto ocurre solo en regiones contaminadas y secas, según el modelo de la figura 2. Un comportamiento similar fue verificado por Soltani (2009). En el estudio sobre el efecto de la humedad sobre la actividad de descargas parciales, Soltani (2009) identificó que después de días sucesivos de exposición a alta humedad, se suprimió la actividad de descargas parciales.

Tabla 3 - Resultados de las pruebas - Muestra revitalizada y contaminada con aserrín húmedo

Prueba		Muestras					
		Condiciones iniciales			Contaminado		
		U	V	W	U	V	W
R. óhmica	Ω	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Rlmin @ 40°C	G Ω	9,73	9.59	14.05	<u>8.40</u>	<u>7.31</u>	<u>11.05</u>
IA	-	1,80	1,74	1,50	<u>1,9</u>	<u>1,8</u>	<u>2,1</u>
IP	-	4.43	4.29	3.37	<u>5,7</u>	<u>5,0</u>	<u>4,8</u>
Tan δ @20°C	%	2,60	2,50	3,40	<u>2,75</u>	<u>2,88</u>	<u>4,00</u>
Media Tan δ (Tip-up)	%	0,04	0,15	0,10	0,06	0,06	0,06
Máx. Δ Tan δ .	%	0,70	0,70	0,60	0,70	0,88	0,75
QM +	mV	206,0	310,0	243.0	108,0	147,0	182,0
QM -	mV	53,0	175,0	287.0	85,0	128,0	175,0
DD	-	0,9	0,9	1.0	<u>1,71</u>	<u>1,74</u>	<u>1,77</u>
DAR	-	3,70	3,65	3,67	4.2	4.7	4.9

4. CONCLUSIONES

El principal objetivo de este artículo es presentar los efectos de los contaminantes en el sistema de aislamiento de media tensión aplicado a los devanados de máquinas eléctricas rotativas. Para eso, en un prototipo de estator bobinado con tensión nominal de 4,16 kV, se aplicaron dos contaminantes que se encuentran habitualmente en las más diversas aplicaciones. Las pruebas elegidas para la evaluación han sido seleccionadas por referencia normativa, metodología y capacidad para diagnosticar tendencias en fallas. El prototipo fue sometido a un ciclo de VET para envejecimiento acelerado, pero manteniendo los parámetros del sistema de aislamiento dentro de los criterios de aceptación. En la primera contaminación

con agua salina, el aislamiento fue afectado, llevando a cero las altas tasas de aislamiento en una de las fases (W) del devanado, por lo que fue necesario interrumpir los experimentos. Esta absorción del contaminante se produjo a través de microfisuras en el aislamiento.

Para la repetición de este contaminante, fue necesario rejuvenecer el prototipo y posteriormente realizar una nueva medición, devolviendo los valores de aislamiento. Por tratarse de una contaminación superficial, se verificó un impacto significativo en la corriente de fuga, comportamiento que se puede validar a través de la caída del índice de polarización después de la contaminación. El aumento de la corriente de fuga también presentó cambio en el comportamiento de las pérdidas dieléctricas, que se pudo ver en el aumento de $\tan \delta @ 20^\circ\text{C}$ para la fase W y en la caída de la Media $\tan \delta$ (Tip-up) de las fases U y W. La caída de la Media $\tan \delta$ (Tip-up) está relacionada con el aumento de las pérdidas en los pasos menores de la tensión de prueba.

Tras la revitalización del prototipo, se aplicó el segundo contaminante, aserrín húmedo, en cantidad suficiente para obstrucción completa de los canales de ventilación del estator. Esta situación afectó el valor de la capacitancia de fase y, por lo tanto, aumentó la corriente capacitiva durante la polarización dieléctrica. El aumento de la corriente capacitiva redujo la resistencia de aislamiento, pero provocó un efecto contrario al esperado para (IA), (IP), (DAR). Es intuitivo concluir que los devanados contaminados presentan valores bajos de (IA), (IP) y (DAR), pero posibles cambios en la capacitancia geométrica pueden afectar significativamente estos índices. El índice (DD) presentó una respuesta significativa, demostrando que la inserción del contaminante provocó una pérdida de homogeneidad del aislamiento del estator.

La tendencia de caída en las descargas parciales puede estar alineada con la publicación “*Electrical insulation for rotating machines*”, STONE C.G., 2014. Esta publicación muestra que las regiones contaminadas y denominadas “húmedas” no provocan la aparición de elevada diferencia de potencial, por lo que no permite que descargas eléctricas provoquen la aparición de daños por caminos de fuga. A medida que la temperatura de la máquina aumenta debido al funcionamiento, la humedad superficial disminuye y permite la aparición de descargas, desencadenando otros fenómenos como efecto corona y camino de fuga.

Los experimentos han demostrado que los sistemas de aislamiento envejecidos son fácilmente afectados por contaminantes, incluso con buenos parámetros de aislamiento cuando están limpios y secos. Con rejuvenecimiento, el sistema de aislamiento demostró ser más resistente a los contaminantes, pero con variaciones en algunos parámetros medidos. Los factores de estrés, inherentes al funcionamiento de la máquina eléctrica, combinados con contaminantes, aceleran la degradación del sistema de aislamiento y pueden hacer que el equipo pierda su nivel de confiabilidad. La pérdida de confiabilidad está directamente relacionada con el riesgo de disponibilidad reducida y, en consecuencia, tiempo de inactividad inesperado en la producción, donde está involucrada la máquina eléctrica. Se recomienda monitorear los parámetros de la máquina eléctrica rotativa y realizar los mantenimientos predictivos necesarios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a WEG Equipamentos Elétricos S.A. por el prototipo utilizado en los experimentos, por la posibilidad de utilizar la estructura y equipos, así como, por todo el apoyo en el desarrollo de este trabajo. También agradecemos al profesor Dr. Julio Carlos Teixeira de la UFABC, por su revisión en la propuesta de estudio.

REFERENCIAS

- [1]. BALAN H., BUZDUGAN M., MUNTEANU R. A., BOTEZAN A., COZORICI I., AVRAM V.; Insulation resistance testing of the medium voltage switches, 2010. Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering, N 34, 2010.
- [2]. INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE 43: Recommended practice for testing insulation resistance of rotating machinery, New York, 2000. Disponible em: < <https://standards.ieee.org/findstds/standard/43-2000.html>>. Acesso em: 15 Jun. 2014. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.
- [3]. INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE 56:IEEE Guide for Insulation Maintenance of Electric Machines, New York, 2016. Disponible em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7830766>>. Acesso em: 7Out. 2019. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.
- [4]. INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE 95:IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300 V and Above) With High Direct Voltage, 2002. Disponible em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/996345>>. Acesso em: 28Jul. 2020. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.
- [5]. INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE 1434:Guide for the measurement of partial discharges in AC electric machinery, New York, 2000. Disponible em: < <http://standards.ieee.org/findstds/standard/1434-2000.html>>. Acesso em: 15 Jun. 2014. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.
- [6]. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION 60505: Evaluation and qualification of electrical insulation system, Switzerland, 2011. Disponible em: <<https://webstore.iec.ch/publication/2276>>. Acesso em: 29 Ago. 2019. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.
- [7]. LIN, L; KANG, A; SONG, J; LEI, Z; ZHAO, Y; ISENBERG, A; Effect of Water Vapor on Oil-contamination Discharge of Stator Windings. China, 2016. Disponible em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7736828>>. Acesso em: 7Out. 2019. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.
- [8]. MEGGER; User guide - MIT515, MIT525 and MIT1025, 2008. Disponible em: <<https://megger.com/10-kv-diagnostic-insulation-resistance-tester-mit1025#overview>>. Acesso em: 28 Jul. 2020. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.
- [9]. MEGGER; Dielectric discharge test. Disponible em: <<https://megger.com/support/technical-library/application-notes/dielectric-discharge-test>>. Acesso em: 28 Jul. 2020. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.
- [10]. MORETTI, D,R; Investigação experimental sobre faltas em isolação de alta tensão aplicada em estatores de máquinas elétricas, 2016. Dissertação (mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2016.

- [11]. NETI, P.; ZHANG, P.; QI, X.; ZHOU, Y.; YOUNSI, K.; SHAH, M.; WEEBER, K.; Online detection of endwinding contamination in industrial motors, 2011. Disponible em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/05996159>>. Acceso em: 26 Nov. 2019. Acceso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.
- [12]. SPEZIA, F. R.; MORETTI, D. R.; Effects of the lubrication oil over the endurance of na insulation systema of medium voltage turbogenerators. INSULEC International Conference on Electrical & Electronic Insulating Materials & Systems, 2015.
- [13]. SOLTANI, R.; DAVID, E.; LAMARRE, L.; LAFORTUNE, L.; Effect of humudity on charge and discharge current of large rotating machines bar insulation. Canada, Disponible em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7736828>>. Acceso em: 7Out. 2019. Acceso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.
- [14]. STONE C. G.; CULBERT I.; BOULTER E.A.; DHIRANI, H.; Electrical insulation for rotating machines. USA, 2014.
- [15]. VON ROLL; Fundamentals of Insulation Technology, 2008.



Sociedad Antioqueña de
Ingenieros y Arquitectos
La Fuerza de la Razón - 1913

PARTICIPA EN MARTES SAI O JUEVES CULTURAL

ENVÍANOS AL CORREO subdireccionestrategica@sai.org.co

**con el asunto "Martes sai" o "Jueves cultural" y nos
propones un tema o un ciclo temático.**

JUNTOS SOMOS LA FUERZA DE LA RAZÓN

EDIFICACIONES QUE PRODUCEN ENERGÍA: LA INTEGRACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL FUTURO URBANO DE COLOMBIA

Edwin Ramírez Pérez, 1; José Uribe, 2; Camilo Pérez 3; Franklin Jaramillo 4

¹ Ing., PhD. Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

² PhD Física, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

³ arquitecto, Universidad, Nacional de Colombia, Medellín, Colombia

⁴ Ing., PhD, Universidad de Manchester, Manchester, UK

proyectointegra.siu@udea.edu.co

Resumen: El aumento sostenido de la demanda energética en las ciudades, impulsado por el crecimiento urbano, exige soluciones innovadoras de generación eléctrica de manera descentralizada. En Colombia, la expansión vertical de las ciudades reduce el potencial de autogeneración por superficie urbana. Sin embargo, la integración fotovoltaica en edificaciones (BIPV) surge como alternativa para aprovechar superficies de construcción subutilizadas. Esta tecnología permite transformar fachadas, ventanas y otros elementos arquitectónicos, haciendo que cada metro cuadrado de construcción en la superficie de los edificios sea también una planta generadora de energía, silenciosa y estética.

Por otra parte, Colombia cuenta con un potencial solar privilegiado y se identifican iniciativas locales orientadas a la caracterización de las tecnologías BIPV para la evaluación de desempeño en condiciones climáticas tropicales y análisis de integración arquitectónica. Estos avances, permiten fortalecer la investigación aplicada y la cooperación entre universidades, sector privado y entidades gubernamentales en torno a la implementación de tecnologías BIPV.

El artículo concluye con recomendaciones desde diferentes frentes: impulsar políticas públicas de incentivo, fomentar normas técnicas de calidad y seguridad, estimular la inversión privada mediante beneficios económicos y fortalecer la capacitación profesional. De esta forma, el BIPV se proyecta como un eje clave en la transición energética y en la construcción de ciudades sostenibles y resilientes.

Palabras clave: Energía solar, Bioclimática, BIPV, Construcción sostenible, eficiencia energética.

1. INTRODUCCIÓN

Un incremento en la demanda de energía eléctrica está estrechamente relacionado con el crecimiento urbano y esta demanda de energía en los países en desarrollo crece cada año

cerca del 7%, mientras que la oferta no se incrementa en la misma medida, lo que produce un evidente desequilibrio y pone de manifiesto la necesidad de encontrar opciones para fomentar la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables en las zonas urbanas (ONU-Hábitat, 2025). Adicionalmente, el rápido crecimiento de la inteligencia artificial y los centros de datos, junto con el uso intensivo de dispositivos electrónicos en hogares y oficinas, supone una carga significativa: según la Agencia Internacional de la Energía (IEA), el consumo eléctrico de los centros de datos podría duplicarse hasta alcanzar los 945 TWh para 2030, con una contribución adicional de la IA entre 200 y 400 TWh durante ese periodo (IEA, 2024). Simultáneamente, la electrificación del transporte provoca que la curva de demanda se acelere: en 2024, la flota global de vehículos eléctricos que operativamente se recarga en centros urbanos, tuvo un consumo de 180 TWh y se prevé que este número aumente significativamente para el año 2030, logrando ser más del 4% de la demanda eléctrica regional en Europa y cifras parecidas en naciones con una alta penetración (IEA, 2024). En este contexto, el mercado de vehículos eléctricos en Colombia se expandió, en comparación con el año anterior, un 194% en 2022, gracias a ventas de aproximadamente 4.500 unidades nuevas (ANDEMOS, 2022). Si tomamos como referencia el automóvil BYD Yuan up, el más vendido en el mercado nacional hasta abril del 2025 con un sistema de baterías de 45 kWh, se requiere para su carga completa el equivalente de 6 días de consumo de energía eléctrica de una familia típica de 4 miembros (alrededor de 7 kWh/día), esto permite dimensionar la necesidad de suplir una demanda energética creciente en áreas urbanas.

A esto se suma el fenómeno de las islas de calor urbanas, que intensifican la necesidad de refrigeración que se ha visto en aumento por el calentamiento global: la IEA estima que el consumo eléctrico para refrigeración se triplicará a nivel mundial hacia 2050 si no se adoptan medidas de eficiencia, siendo uno de los principales motores del aumento de demanda eléctrica en climas cálidos y densamente urbanizados (IEA, 2023). En conjunto, estos factores muestran que la demanda de electricidad en las ciudades no solo crece por el desarrollo económico, sino también por nuevos hábitos digitales, la electrificación del transporte y la adaptación climática, reforzando la urgencia de diversificar la matriz energética y de aprovechar alternativas innovadoras como la integración fotovoltaica en edificaciones de manera descentralizada.

A nivel nacional si comparamos el número de unidades de viviendas según el destino “Casa” o “Apartamentos”, en el histórico del Censo de edificaciones (CEED) (DANE, 2025), se muestra un claro aumento en la tendencia de construcción de apartamentos. En la Figura 1 se muestra un crecimiento en la relación unidades de vivienda Apartamentos/Casa para las ciudades principales del país. En Medellín, por ejemplo, la relación alcanza aproximadamente 250 apartamentos por cada casa, lo que muestra un patrón consolidado de crecimiento en vertical. Este crecimiento vertical de las ciudades implica una mayor población por metro cuadrado y por consiguiente una mayor demanda de energía eléctrica por unidad de área, que se traduce en mayor concentración de carga eléctrica y menor disponibilidad de suelo. En este contexto un edificio de 20 pisos puede tener 500 m² de cubierta, albergar unos 140 apartamentos y requerir 28000 kWh/mes (Cada apartamento

consume en promedio 200 kWh/mes) mientras que esta misma área de suelo disponible puede albergar 5 casas y demandar solamente 1000 kWh/mes.

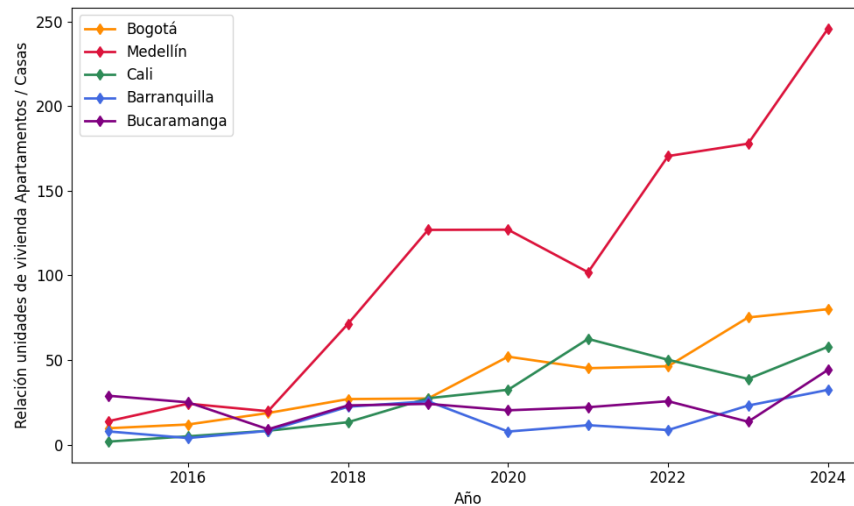


Figura 1. Crecimiento de la relación de unidades de vivienda Apartamentos/ Casas, para las principales ciudades del país. Datos del CEED, 2015. Fuente: Elaboración propia

Esta expansión de las ciudades de manera vertical implica que el área de superficie disponible en cubiertas para la implementación de proyectos solares disminuye y con esto el potencial de autogeneración de energía eléctrica por unidad de vivienda. Sin embargo, retomando el ejemplo del edificio de 500 m² de cubierta, este podría tener alrededor de 4.000 m² de fachadas con potencial implementación de sistemas de generación fotovoltaica no convencionales. En este contexto, surge el concepto de Integración Fotovoltaica en Edificaciones (BIPV, por sus siglas en inglés), que consiste en integrar tecnología fotovoltaica (FV), no solamente de silicio monocristalino, sino de otros tipos de tecnologías fotovoltaicas, en la envolvente del edificio tipo fachadas, ventanas, balcones o cubiertas no tradicionales, de manera que no solo cumplen funciones estructurales y estéticas, sino que también generen energía limpia. Esta solución aprovecha superficies existentes que hoy permanecen subutilizadas o aprovechar el área de nuevas edificaciones, además de aportar al aislamiento térmico y a la iluminación natural, contribuyendo a la eficiencia energética de la edificación y a la descentralización para producir energía eléctrica dentro de las zonas urbanas. Esto permitiría que cada metro cuadrado de construcción en la superficie de los edificios sea también una planta generadora de energía, silenciosa y estética.

En este documento se abordará el panorama energético nacional, el potencial de radiación solar y el crecimiento urbanístico de las ciudades, con el fin de determinar la pertinencia de la implementación de BIPV, como estrategia de generación descentralizada en entornos urbanos, resaltando su papel en la eficiencia energética de edificaciones, las estrategias de mitigación del cambio climático y la diversificación de la matriz energética a partir de fuentes no convencionales de energías renovables (FNCR). Finalmente, se expondrá el camino por construir mediante una serie de recomendaciones orientadas a acelerar la adopción del BIPV

en Colombia, como alternativa clave para avanzar hacia una transición energética sostenible y adaptada a las demandas locales.

2. PANORAMA ENERGÉTICO NACIONAL Y POTENCIAL DE RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA

Debido al alto crecimiento en la demanda energética en ciudades densas o con alta industrialización, la red de interconexión eléctrica se ve sometida a un estrés que pone a prueba su resiliencia energética y sostenibilidad, más aún si su capacidad depende en gran medida de algunas fuentes de generación centralizada como lo son las grandes hidroeléctricas. En Colombia cerca del 65% el panorama energético se compone principalmente de la generación hidroeléctrica, complementado con plantas térmicas fósiles entre el 25-30% y una creciente participación de fuentes renovables no convencionales, que en 2024–2025 no superan el 5% (XM, 2025; UPME, 2024). La composición de la matriz energética hace que haya una dependencia elevada de los embalses y, por lo tanto, estos son muy vulnerables a sucesos climáticos como El Niño. Es en este sentido que cobra importancia la descentralización y diversificación de la generación energética. Esta permite, que el lugar de generación energética sea cerca del punto de consumo, evitando el aumento de pérdidas por la transmisión y distribución, permitiendo mecanismos de mejora de seguridad en la infraestructura, empoderando a los consumidores y mejorando la resiliencia (Ignacio Romero and F. Borrello, “La oportunidad de negocio de la Generación Solar Distribuida en Colombia,” 2021).

Gracias a su posición geográfica, Colombia tiene un potencial solar excepcional, con índices promedio de radiación de 4,5 kWh/m²-día, superando el promedio global (3,9 kWh/m²-día) (Benavides, 2017). Este recurso es muy estable durante todo el año debido a que se encuentra en la zona ecuatorial, lo cual contrasta con los países europeos o de América del Norte, donde las estaciones marcadas producen más oscilaciones. Los sistemas FV en este sentido pueden funcionar tanto como una fuente centralizada, en el caso de las grandes granjas solares o como una fuente distribuida al instalarla en las edificaciones donde se consume directamente. En Colombia se ha proyectado incrementar la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica hasta los 10 GWp para el año 2027 (UPME, “Plan Energético Nacional 2020-2050,” 2020). Esto es una gran meta en términos de la transición energética y se puede lograr en buena medida mediante la implementación de granjas solares, pero para evitar una carga insostenible a la infraestructura eléctrica sobre todo en entornos urbanos, es vital incorporar sistemas no centralizados. Surge allí, cómo se mencionó anteriormente, el problema de disponibilidad de superficie en las zonas urbanas y es una alternativa los sistemas BIPV, ya que para su implementación se pueden usar una amplia diversidad de superficies como ventanas, fachadas, pérgolas, en el mismo lugar de consumo.

3. BIPV COMO ESTRATEGIA DE GENERACIÓN DESCENTRALIZADA EN ZONAS URBANAS

Los sistemas FV son dispositivos que convierten radiación electromagnética (Luz) en energía eléctrica. En edificaciones, algunas tecnologías fotovoltaicas pueden además de generar

energía eléctrica cumplir otro objetivo: integrarse a la arquitectura del recinto como un elemento constructivo, cumpliendo alguna función como elemento arquitectónico. Las aplicaciones de BIPV dependiendo de las características de los módulos FV, pueden integrarse con características tales como transparencia, flexibilidad o color y pueden cumplir determinadas funcionalidades como elementos en ventanas, fachadas, tejas o elementos de sombreado, tal como se observa en la Figura 2 (Chen et al., 2024; Ghosh, 2020).

Adicionalmente aparte de su funcionalidad los elementos BIPV varían según la tecnología fotovoltaica de la cual está hecha y las características físicas que poseen. En este sentido pueden ser semi-translúcidos, de colores, flexibles, rígidos, y tener diferentes funcionalidades que pueden tener según sus características físicas (Figura 3). La translucidez de los módulos FV semitransparentes permite la transmisión parcial de la radiación electromagnética hacia el interior de la edificación. La fracción de luz que no se transmite es aprovechada para la generación de energía eléctrica, lo que convierte a estos sistemas en una solución multifuncional. Por un lado, contribuyen a la **producción de electricidad** a partir de la radiación solar; por otro, actúan como un elemento de **control solar y térmico**, ya que parte de la energía que normalmente se transformaría en calor es desviada hacia la conversión fotovoltaica (Ng & Mithraratne, 2014). En este sentido, los módulos pueden instalarse no solo en ventanas, sino también en lucernarios, cubiertas, pérgolas y fachadas acristaladas, ofreciendo a la vez iluminación natural controlada, reducción de cargas térmicas internas y aprovechamiento energético. Esto les otorga un papel clave en el diseño arquitectónico contemporáneo, donde la envolvente del edificio ya no se concibe únicamente como una barrera física, sino como un sistema activo de generación energética. Aunado a esto, su potencial se ve reforzado por la tendencia de crecimiento vertical de las ciudades (Figura 1), donde las fachadas o envolventes, en torres de gran altura y complejos residenciales o comerciales, representa una superficie disponible de gran escala que puede ser aprovechada para la integración de estos módulos. Por ejemplo, la Torre Atrio en Bogotá, con 3600 m² de cubierta de vidrio podría generar con vidrios FV del 10% de transmitancia alrededor de 0.35 MWh/año. De esta manera, las edificaciones no solo cumplen con criterios estructurales, estéticos y de confort interior, sino que también se transforman en infraestructuras productoras de energía descentralizada, contribuyendo a la sostenibilidad urbana y a la reducción de la huella de carbono del sector de la construcción.

Otro tipo de tecnología BIPV, son los módulos FV de colores, opacos o con texturas (Figura 3). A diferencia de los tradicionales paneles de silicio monocristalino, cuya estética rígida y uniforme limita las posibilidades de diseño, estas soluciones ofrecen una adaptabilidad visual que permite armonizar el sistema fotovoltaico con el entorno urbano y con la identidad arquitectónica de cada proyecto (Basher et al., 2023). Gracias a su versatilidad de personalización, esta tecnología se convierte no solo en un componente tecnológico, sino también en un recurso de expresión estética y de personalización arquitectónica, lo que amplía las oportunidades creativas para arquitectos y diseñadores. Ahora bien, más allá de la estética, su implementación en fachadas ventiladas o separadas de la envolvente principal tiene el potencial de brindar beneficios adicionales: al crear una cámara de aire intermedia, se favorece la ventilación natural, se reducen las cargas térmicas sobre la estructura y se mejora el aislamiento térmico y acústico del edificio. Esto no solo incrementa el confort

interior, sino que también disminuye la necesidad de climatización artificial, generando un doble ahorro energético: por un lado, al reducir la demanda de sistemas de refrigeración y calefacción; y por otro, al producir electricidad limpia a partir de la radiación solar.

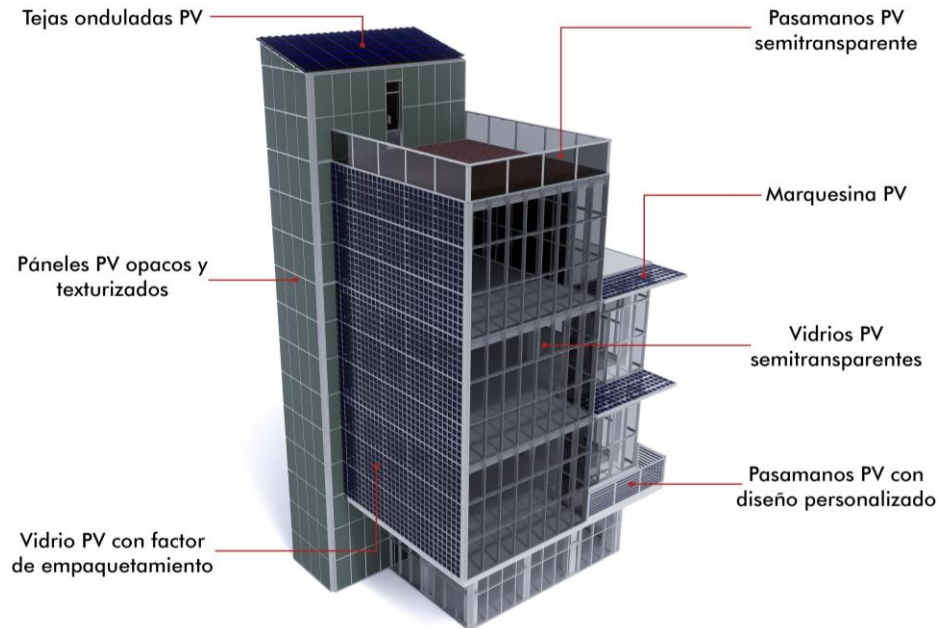


Figura 2. Tipos de Elementos BIPV

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, aunque se pueda tener área disponible en techos, algunos de éstos no pueden soportar grandes cargas, o tienen curvatura que imposibilita la instalación de módulos FV típicos usualmente de (500- 600 W) cuyas áreas son de 3m^2 aproximadamente. Estos paneles convencionales tienen un peso específico aproximado de ($20\text{-}30\text{ kg/m}^2$) (<https://www.longi.com/en/>) (<https://www.trinasolar.com/us>) lo cual es muy alto para ciertos tipos de estructuras como cubiertas plásticas o de policarbonato, tejas de fibrocemento delgadas o de varios años de antigüedad de fabricación. Como solución a este problema surgen los módulos flexibles de tecnologías como módulos flexibles CIGS y semiflexibles de m-Si (como se muestra en la Figura 3), el peso específico de éstos es aproximadamente de 2 Kg/m^2 (<https://www.renogy.com/collections/flexible-solar-panel>) lo cual permite su instalación en casi todo tipo de cubiertas adecuándose a sus características estructurales y geométricas.

Otra propiedad de los sistemas BIPV es que tienen las características adecuadas para favorecer certificaciones de construcción sostenible y acceder a créditos verdes. Los dos tipos de certificación más reconocidos en el mundo de la construcción sostenible son la certificación EDGE y la LEED. La certificación EDGE se enfoca en fomentar edificaciones más eficientes y es generada por la Corporación Financiera Internacional (IFC), miembro del Grupo del Banco Mundial <https://edge.gbci.org/>. Por otro lado, LEED es una certificación

generada por la U.S. Green Building Council (USGBC) y su organismo técnico Green Business Certification Inc. (GBCI), es el sistema de “puntaje verde más reconocido a nivel mundial” <https://www.usgbc.org/leed> . En Colombia la USGBC tiene como aliado al Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS) cuya función es acompañar el proceso, pero el certificado siempre es otorgado por el GBCI.

Los sistemas LEED tienen diferentes categorías dentro de las cuales las edificaciones pueden obtener puntos según las diseños y prácticas que se realicen. En este sentido los sistemas BIPV pueden ser calves para obtener puntos principalmente en tres categorías: Energía y Atmósfera (EA), INN innovación y Calidad ambiental interior (EQ – Indoor Environmental Quality) IEQ. En la categoría (energía y atmósfera) por generar energía de tipo renovable integrada al propio edificio, y mejorando la resiliencia energética. Al sustituir materiales de construcción tradicionales también se generan puntos por innovación. Adicionalmente en el caso de ventanas fotovoltaicas semitransparentes se puede con estas controlar la ganancia solar ayudando al confort térmico y visual.


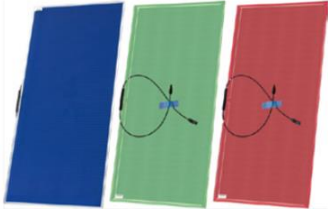

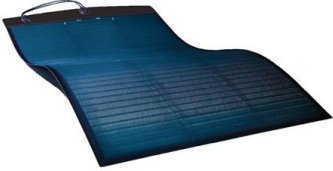
Propiedad física	Tecnología	Funcionalidad	Módulos FV
Translucidez	CdTe, a-Si, Perovskita, m-Si	Ventanas, pérgolas, lucernarios	
Coloreados	CdTe, orgánicas	Fachadas, pérgolas	
Texturización	CdTe	Fachadas	
Flexibilidad y bajo peso	CIGS CIGS, m-Si	Tejas, vehículos, carpas Cubiertas que no soporten altas cargas, vehículos, carpas	

Figura 3. Tecnologías BIPV, sus propiedades y funcionalidad. Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se ha demostrado en varios casos de estudio en el mundo como la implementación de sistemas BIPV disminuye la huella de carbono al reemplazar elementos constructivos tradicionales por elementos BIPV tales como tejas o fachadas construidas a base de materiales como lo es el fibrocemento; se ha simulado en edificaciones cual podría ser la ganancia en términos de disminución de la huella de carbono al implementar BIPV alcanzando una reducción de emisión del CO₂ de alrededor de un 30 % (Popp et al., 2025; Tiagarajan & Go, 2024)

4. PROYECTOS APLICADOS DE BIPV



Figura 4. a) Implementación de módulos BIPV coloreados en la Escuela Internacional de Copenhague, b) Lucernario a base de módulos semitransparentes BIPV EN mercado de San Antón en España, c) fachada BIPV Frodeparken en Upsala Suecia, d) Módulos semitransparentes en el teatro nacional en Tongzhou Begin.

En la Figura 4a se observa la implementación por parte de la empresa Kromatix de una fachada BIPV en la Escuela Internacional de Copenhague, en ésta se incorpora en un área de 6000 m² módulos FV coloreados, teniendo la doble funcionalidad como cubierta contra vientos, lluvia y demás características constructivas y a su vez generar energía eléctrica con una potencia nominal de 700 kWp (<https://kromatix.com/technology>). En la Figura 4b se muestra la implementación de módulos semitransparentes de silicio monocristalino del 20 % de transmitancia por parte de la empresa Onix solar en un lucernario en el mercado de San Antón en España, cuya área es de 168 m² y una capacidad instalada de 6.5kWp, en la imagen se muestra claramente como las características de esta tecnología BIPV permite el paso de la luz necesaria que necesita el recinto a su vez que aporta en gran medida al consumo

energético. En la Figura 4c se observa un proyecto de la empresa Soltech Energy en el edificio residencial Frodeparken en Upsala (Suecia) en el cual implementó módulos de silicio monocristalino coloreados en un área de 900 m² con una potencia eléctrica de 100 kWp (<https://soltechenergy.com/>). Por último, en la Figura 4d se muestra la implementación de módulos semitransparentes de CdTe en fachada y techo de 608 kWp, en el teatro nacional en Tongzhou Beijing Power (<https://www.advsolarpower.com/en/>), por parte de la empresa Advance Solar.

Los anteriores ejemplos dan una referencia del contexto mundial y la madurez de estas tecnologías fotovoltaicas, y nos permiten definir una perspectiva de las posibles implementaciones que se podrían realizar en Colombia. Si se toma como ejemplo la instalación realizada en la escuela internacional de Copenhague, allí se tiene en promedio una disponibilidad de radiación de 3 horas sol al día, con lo cual, de los 700 kW instalados en fachada se podrían producir como máximo 1050 kWh de energía al día, tomando la disponibilidad de radiación en fachada (módulos FV dispuestos verticalmente) como el 50% de radiación en una cubierta horizontal. Un proyecto con un área de fachada equivalente en una ciudad como Medellín que tiene aproximadamente 5.5 horas sol promedio al día, la cantidad máxima de energía generada sería de 1625 kWh/día (aproximadamente 0.7 GWh/año) lo cual podría equivaler aproximadamente al 15% del consumo promedio de una edificación con un área de 6000 m². (Nota: el valor de consumo dependerá de la destinación del recinto). Adicionalmente, estos **módulos FV semitransparentes** presentan una larga vida útil y, aunque su potencia disminuye al **80 %** a los **25 años**, a diferencia de los paneles tradicionales de silicio tradicionales que al final de su vida útil se convierten en desecho, los módulos de vidrio permanecen como **elemento constructivo funcional** (conservan la función arquitectónica de cubierta/trasluz), conservando su función arquitectónica y requiriendo únicamente inspecciones eléctricas y mantenimiento básico asociado a cualquier cubierta acristalada, como la limpieza periódica. Estos datos muestran que la multifuncionalidad de los módulos BIPV puede además de cumplir como elemento típico de construcción, suministrar un porcentaje considerable de la demanda energética de la construcción.

A nivel nacional, se están adelantando iniciativas desde la academia para dar a conocer las tecnologías fotovoltaicas BIPV, la potencia eléctrica generada y caracterizar su funcionamiento en condiciones locales de operación con medición de variables en tiempo real. Los proyectos Integra y Perseo de la Universidad de Antioquia, financiados por el Sistema General de Regalías (SGR) y Minciencias, respectivamente, están evaluando tecnologías de módulos FV semitransparentes, coloreados y semi flexibles en condiciones reales de operación (InnovaVoz, 2025). En la Figura 5 se muestra un esquema del diseño de un piloto de pruebas que se desarrolla en el marco de estos proyectos para la integración de módulos FV en una edificación existente y un montaje de pruebas de módulos de CdTe semi transparentes ubicado en la empresa Sumicol (Sabaneta, Antioquia), para correlacionar la potencia generada por los módulos FV en función de la orientación, inclinación, porcentaje de transmisión y las variables climatológicas. Estas pruebas de laboratorio están diseñadas para medir la potencia eléctrica generada y a su vez evaluar la cantidad de radiación que atraviesa los módulos FV, con el objetivo de medir experimentalmente y correlacionar con

simulaciones, aspectos de confort térmico y lumínico en el interior de las edificaciones. Los resultados de estas mediciones son un punto de partida para que la industria fotovoltaica y de la construcción pueda conocer el funcionamiento real de estas tecnologías en el contexto local, y en un futuro próximo se pueda ofrecer un paquete de soluciones fotovoltaicas emergentes para edificaciones que busquen ser auto generadoras o carbono neutras.



Figura 5. Pilotos de pruebas de tecnologías BIPV en el marco de los proyectos Integra y Perseo de la Universidad de Antioquia. Fuente: Elaboración propia

5. CAMINO POR CONSTRUIR: RECOMENDACIONES PARA ACELERAR LA ADOPCIÓN DEL BIPV EN COLOMBIA

La integración fotovoltaica a través de la tecnología BIPV ofrece a una economía emergente como Colombia, una oportunidad de innovación única. Pues la doble funcionalidad de ser un elemento de generación eléctrica activa al mismo tiempo que sirve como un cerramiento con alta integración arquitectónica, puede facilitar todo tipo optimizaciones técnicas y económicas para el desarrollo de proyectos en un país donde la alta radiación solar se presenta tanto como un reto a resolver en temas de confort térmico, como un recurso a aprovechar en términos energéticos y lumínicos.

A pesar de estas virtudes, la tecnología todavía se encuentra en una etapa muy experimental, y sin un panorama completamente claro para convertirse en una práctica extendida en el mercado local, por lo que resulta necesario traer a colación y evaluar que ofrece actualmente la legislatura colombiana en términos de incentivos fiscales, regulación y tipificación de la tecnología, si esta es suficiente o hace falta expandir y plantear nuevas políticas que agilicen la adopción de esta tecnología.

En materia de incentivos fiscales, Colombia ya cuenta con un marco normativo favorable. Principalmente destaca la **Ley 1715 de 2014** la cual define las FNCE y donde están incluidos los sistemas FV. La norma establece en sus artículos 11, 12 y 13, una serie de beneficios que

pueden acceder los proyectos que integren estos tipos de tecnología como es el caso de una deducción de la renta de hasta el 50% de la inversión durante 15 años, la exclusión de IVA en la adquisición de bienes y servicios relacionados a la instalación de la FNCE, y la exención arancelaria para la importación de equipos y otros elementos que no sean producidos por la industria nacional (Congreso de Colombia, 2014), y que serán aplicados una vez la inversión sea evaluada por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) (Ministerio de Hacienda, 2022).

Estos instrumentos resultan bastante útiles no solo para facilitar la adquisición de esta tecnología que sigue teniendo un costo relativamente elevado y es exclusivamente importada, sino que también reduce el valor de los materiales y sistemas necesario para su instalación, como soporte metálicos, sellantes, adecuación de superficies y otras labores típicas de obra, permitiendo entonces que una intervención con BIPV pueda ser un poco más competitiva frente a otras soluciones más convencionales del mercado.

A esto se le suma la **Ley 2407 de 2024** que introdujo un nuevo marco de acción en materia de construcción sostenible y eficiencia energética que resulta bastante pertinente para continuar promoviendo la adopción de la tecnología. Esta norma establece que todas las entidades públicas deben implementar Planes de Gestión Eficiente de Energía, fomentando la inclusión de criterios de sostenibilidad y la búsqueda de certificaciones ambientales en todos sus proyectos a desarrollar o renovar, incluyendo la realización de auditorías energéticas con cálculos de ahorros estimado y la definición de metas a cumplir año tras año en edificaciones existentes (Congreso de Colombia, 2024). De modo que esta nueva norma no se configura como un simple mandato, sino como una gran oportunidad donde la integración con BIPV se convierte en una solución idónea para responder a estas exigencias y tener un posible campo de acción permanente dentro del ámbito del desarrollo y readecuación de la infraestructura estatal.

En complemento a este marco normativo, también resulta oportuno hablar sobre la **Hoja de Ruta Nacional de Edificaciones Neto Cero Carbono**, encabezada por el Ministerio de Vivienda y con una importante participación del sector privado a través de Camacol y el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS). Este documento traza una serie de metas a cumplir en 2030, 2040 y 2050, con el fin de reducir las emisiones tanto operacionales como embebidas en el medio de la construcción en Colombia, por medio de diferentes acciones transformadoras en las que la tecnología BIPV encuentra gran potencial y pertinencia.

En temas de política pública el documento enfatiza en la necesidad de invertir en programas de investigación y desarrollo, así como elaborar un marco legal más estricto y progresivo, con aun más incentivos tributarios para acelerar la transición, lo cual mejoraría a futuro la compleja situación de asequibilidad que presenta el BIPV para el medio.

En lo que se refiere a prácticas y procesos de diseño se promueve la adopción de metodologías de ciclo de vida completo de las edificaciones, optimizando el diseño arquitectónico con fuentes de energía in-situ y materiales con baja huella de carbono y

carbono embebido, donde el BIPV contiene el potencial de ser generador eléctrico y regulador térmico evitando el posible uso de sistemas mecánicos.

Respecto a acciones de tecnología, se resalta la importancia de adoptar softwares con interoperabilidad para el desarrollo integral de proyectos desde la metodología BIM, con diseños bioclimáticos, simulaciones del desempeño energético, térmico y lumínico de materiales, cosa que resulta fundamental para poder demostrar la viabilidad técnica y financiera del BIPV según las variables propias del contexto colombiano. Aunado a esto, acciones enfocadas al desarrollo de capacidades para fortalecer el conocimiento técnico y la formación de profesionales en nuevas tecnologías, cosa que resultaría neurálgica y debería empezar a llevarse a cabo desde ahora en la fase experimental del BIPV, de tal modo que pueda divulgarse y capacitarse con capital humano local en el mediano plazo.

En suma, la Hoja de Ruta permite entrever que la tecnología BIPV no es una alternativa más dentro de las fuentes de energía renovable, sino un pilar estratégico en la transición hacia edificaciones de carbono neutro y así impulsar la descarbonización de la industria de la construcción

Por otro lado, la adopción del BIPV también facilita el cumplimiento de certificaciones ambientales como EDGE o LEED. Si se toma como referencia esta última, se encuentra que la tecnología BIPV por su versatilidad puede aportar puntos en diversas categorías como: Energy & Atmosphere (EA) gracias a la generación de energía in-situ, Sustainable Sites (SS) en casos que se implemente dispositivos opacos o con baja transmitancia que ayuden a mitigar islas de calor, e Innovación (IN) por la inclusión de elementos arquitectónicos con tecnologías limpias (U.S. Green Building Council, 2019). Cosa que se traduce para los promotores de estos proyectos en una mayor competitividad e interés de inversionistas extranjeros, y para sus usuarios en una significativa reducción de costos operativos reflejados en la renta.

No obstante, una legislación propicia para la adopción masiva de la tecnología no es suficiente por sí misma, menos cuando hay una clara carencia de productos con certificación nacional y una cantidad de barreras regulatorias asociadas al Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Estas constituyen, en el plano técnico, uno de los mayores obstáculos para la correcta implementación del BIPV, pues son pocos los elementos que actualmente cuentan con esta certificación y la cual es indispensable para poder circular en el mercado local.

Actualmente el RETIE no tiene tipificado entre sus categorías elementos BIPV según su función o diversidad tipológica (vidrios, tejas, paneles, pasamanos), únicamente se identifica de manera genérica como paneles solares FV y se remite a normas técnicas internacionales como la IEC 61215, IEC 61701, entre otras (Art. 2.3.25) (Ministerio de Minas, 2024). Si bien estas normas son aplicables a los módulos convencionales e, incluso, a ciertos dispositivos BIPV, solo cubren los aspectos eléctricos y de seguridad básica, pero no otras exigencias propias de un elemento constructivo como esfuerzos mecánicos, desempeño frente al fuego o disposiciones de la NSR 10 y de las normas técnicas colombianas en materia de cerramientos. De allí que haya una imperativa necesidad de actualizar el artículo citado,

reconociendo estas nuevas particularidades y exigencias en el reglamento y de esta forma tener una claridad regulatoria para que no haya posibles restricciones o ambigüedades por parte de los Organismos de Certificación de Producto (OCP) a la hora de clasificar y validar los productos.

Frente a esto en el corto plazo, resultaría pertinente que el Ministerio de Minas y Energía junto a la Organización Nacional de Acreditación (ONAC) implementen mecanismos transitorios de homologación, por los cuales se les acepte a los proveedores certificaciones internacionales de sus productos como la IEC, UV o TÜL, para otorgarles un certificado RETIE mientras se actualiza el reglamento y de ésta forma no solo acortar los tiempos de entrada de diferentes dispositivos al mercado sino también enviar una señal clara de apertura a la innovación tecnológica en el sector de la construcción y la consolidación de canales comerciales con diferentes proveedores.

Ahora bien, no todas las acciones necesarias para que el BIPV logre consolidarse en el mercado corren por cuenta de ajustes legislativos o de reglamentos técnicos. El principal reto que tiene la tecnología hoy en Colombia es quizás, su desconocimiento y falta de divulgación en el ámbito del diseño y la construcción. Pues, aunque existe un marco legal propicio y una amplia trayectoria en mercados extranjeros, gran parte de profesionales y especialmente, estudiantes, no saben de la existencia del BIPV ni siquiera como concepto.

Actualmente los pensum de varias facultades de arquitectura del país han avanzado al incluir asignaturas dedicadas al diseño bioclimático y la construcción sostenible, donde hay una instrucción sobre las nuevas prácticas sostenibles en la profesión de la arquitectura y la construcción, pero todavía no hay una mayor profundización en torno a las tecnologías fotovoltaicas y mucho menos una mención al BIPV. Lo cual resulta desafortunado debido a que son en los talleres de diseño donde más se podría empezar a descubrir el verdadero potencial que poseen estos dispositivos al poder ser implementados en una diversidad de tipologías, en diferentes disposiciones, en una variedad de proyectos académicos de manera experimental y pedagógica.

Con base en esto, se le hace un llamado a la academia y a las agremiaciones técnicas y de ingenieros para que asuma un papel activo no solo para propiciar espacios de divulgación de la mano de expertos, sino, en concordancia a lo que propone la Hoja de Ruta de MinAmbiente, promover equipos dedicados al desarrollo e investigación de BIPV en el país. Es fundamental la creación de grupos interdisciplinarios que, con apoyo y asesoría del sector privado, especialmente del sector de la construcción, desarrollen proyectos piloto que puedan otorgar un precedente claro y riguroso sobre la viabilidad técnica, el comportamiento frente a las variables del contexto colombiano y su compatibilidad con otros sistemas de la industria de la construcción. Experiencias como las que actualmente se gestan en la Universidad de Antioquia con otros aliados empresariales pueden convertirse en referentes claves para impulsar y acelerar esta transición.

De modo que se evidencia entonces, que la implementación de la tecnología BIPV en Colombia se enmarca en un entorno normativo cada vez más favorable que no solo busca impulsar la transición energética, sino también la innovación por parte de actores locales. Sin

embargo, para que esto realmente se materialice de forma sustancial, se debe promover un dialogo activo y permanente entre el estado, el sector privado y la academia, donde haya una agenda común en pro de la investigación y el desarrollo, con proyectos pertinentes y competitivos, acorde a las exigencias y retos que presenta hoy la nación.

6. CONCLUSIONES

La tecnología BIPV representa una oportunidad estratégica para Colombia, ya que combina la función arquitectónica con la capacidad de generar electricidad limpia en el mismo lugar de consumo. Este doble propósito lo convierte en una tecnología clave para avanzar hacia ciudades más sostenibles, la diversificación y la descentralización de la demanda energética en ciudades colombianas con tendencia al crecimiento vertical.

El país cuenta con un marco normativo de incentivo para las FNCER, encabezado por la Ley 1715 de 2014 pero resulta aún insuficiente para impulsar las tecnologías BIPV. Además, existen barreras técnicas y regulatorias que frenan la adopción del BIPV. Entre ellas se destacan la ausencia de tipificación explícita en el RETIE y la falta de normas de certificación nacionales que brinden confianza a los constructores e instaladores. Superar estos obstáculos es esencial para consolidar un mercado local sólido y competitivo.

Finalmente, la adopción de tecnologías BIPV requiere de una articulación multisectorial. El trabajo conjunto entre la academia, los entes Gubernamentales y el sector privado es indispensable para diseñar acciones que fomenten la investigación aplicada, incentiven la inversión y garantice mecanismos de financiamiento adecuados. Por ejemplo, es indispensable que las universidades integren en los programas de arquitectura e ingeniería, formación de profesionales con competencias técnicas y normativas que contribuyan a cerrar la brecha de conocimiento existente en las tecnologías BIPV. Solo así se podrá acelerar la transición hacia un modelo energético urbano descentralizado y un sector de la construcción alineado con la ruta trazada hacia una matriz energética diversa y edificaciones sostenibles.

AGRADECIMIENTOS

Los Autores agradecen de manera especial el apoyo financiero brindado por: SGR en el proyecto Integra: Desarrollo de capacidades para la generación de energía eléctrica, para enfrentar los retos de diversificación, descentralización y demanda en entornos urbanos y rurales de los departamentos de Antioquia, Risaralda, Caldas y Quindío. BPIN: 2023000100025. Aliados: Universidad de Antioquia, Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos – SAI, Sumicol, Andercol, Gobernación de Antioquia y Corantioquia.

Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación “Minciencias”, a través del "Patrimonio Autónomo Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, Francisco José de Caldas" (Perseo Alliance, Contrato No. 112721-392-2023). Aliados: Universidad de Antioquia, Industrias Haceb S.A., Promigas S.A. E.S.P., Celsia Colombia S.A E.S.P., Universidad Tecnológica del Chocó, PTI - Potencia y Tecnologías Incorporadas S.A. y Institución Universitaria Pascual Bravo

REFERENCIAS

- [1]. ONU-Hábitat. (s. f.). Urban energy. UN-Habitat. Recuperado de <https://unhabitat.org/topic/urban-energy#:~:text=Increasing%20population%20growth%2C%20rapid%20urbanization,frequent%20power%20rationing%20in%20cities>
- [2]. International Energy Agency. (2024). Electricity 2024: Analysis (IEA Executive Summary). IEA. <https://www.iea.org/reports/electricity-2024/executive-summary>
- [3]. Asociación Nacional de Movilidad Sostenible (ANDEMOS). (2022). Informe de ventas y matrículas de vehículos eléctricos e híbridos 2022. ANDEMOS. <https://www.andemos.org/informes-interactivos>
- [4]. International Energy Agency (IEA). (2023). Colombia 2023. Energy Policy Review. IEA. <https://www.iea.org/reports/colombia-2023>
- [5]. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2025, segundo trimestre). Censo de edificaciones (CEED) históricos: serie histórica VIS y No VIS [Base de datos]. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/censo-de-edificaciones/ceed-historicos>
- [6]. XM. (2025). Tipos de generación eléctrica en Colombia. XM. <https://www.xm.com.co/generacion/tipos>
- [7]. Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2024). Informe de gestión 2024. UPME. https://www1.upme.gov.co/InformesGestion/Informe_de_gestion_2024.pdf
- [8]. Benavides Ballesteros, H. O., Simbaqueva Fonseca, O., & Zapata Lesmes, H. J. (2017). Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM); Unidad de Planeación Minero Energética (UPME); Fundación Universitaria Los Libertadores; Colciencias. Imprenta Nacional de Colombia. <https://www.andi.com.co/uploads/radiacion.compressed.pdf>
- [9]. Congreso de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014: Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Diario Oficial No. 49.150. http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html
- [10]. U.S. Green Building Council. (2019). LEED v4.1 Building Design and Construction. USGBC. <https://www.usgbc.org>
- [11]. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (2022). Hoja de Ruta Nacional de Edificaciones Neto Cero Carbono. CCCS. https://www.cccs.org.co/wp/wp-content/uploads/2023/03/Hoja_de_Ruta_ENCC_compressed.pdf
- [12]. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2022). Decreto 829 de 2022: Por el cual se reglamenta la Ley 1715 de 2014 en lo relacionado con la deducción en el impuesto sobre la renta por inversiones en proyectos de energías renovables no convencionales. Diario Oficial No. 52.062.
- [13]. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Hoja de ruta nacional de edificaciones neto cero carbono. Gobierno de Colombia. <https://www.minambiente.gov.co>
- [14]. Congreso de Colombia. (2024). Ley 2407 de 2024: Por medio de la cual se establecen lineamientos para la transición energética en edificaciones públicas y privadas. Diario Oficial No. 52.314. <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%202407%20DEL%2021%20DE%20JUNIO%20DE%202024.pdf>

- [15]. Ministerio de Minas y Energía. (2024). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Resolución 40117 de 2024 y anexos.
<https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-instalaciones-el%C3%A9ctricas-retie/>
- [16]. Basher, M. K., Nur-E-Alam, M., Rahman, M. M., Alameh, K., & Hinckley, S. (2023). Aesthetically Appealing Building Integrated Photovoltaic Systems for Net-Zero Energy Buildings. Current Status, Challenges, and Future Developments—A Review. *Buildings*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/buildings13040863>
- [17]. Chen, L., Baghoolizadeh, M., Basem, A., Ali, S. H., Ruhani, B., Sultan, A. J., Salahshour, S., & Alizadeh, A. (2024). A comprehensive review of a building-integrated photovoltaic system (BIPV). In *International Communications in Heat and Mass Transfer* (Vol. 159). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2024.108056>
- [18]. Ghosh, A. (2020). Potential of building integrated and attached/applied photovoltaic (BIPV/BAPV) for adaptive less energy-hungry building's skin: A comprehensive review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 276). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123343>
- [19]. Ng, P. K., & Mithraratne, N. (2014). Lifetime performance of semi-transparent building-integrated photovoltaic (BIPV) glazing systems in the tropics. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 31, pp. 736–745). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.044>
- [20]. Popp, C., Uhlig, C., & Engelmann, M. (2025). Prospective life cycle analysis of a BIPV façade – Life cycle assessment of greenhouse gas emissions using future projections for a case study. *Energy and Buildings*, 330. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115336>
- [21]. Tiagarajan, T., & Go, Y. I. (2024). Integration of BIPV design and energy efficient technologies for low energy building in meeting net zero target. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100554>
- [22]. InnovaVoz. (2025, 16 junio). Ciudades sostenibles, un panel a la vez (Temporada 3, Episodio 48) [Archivo de audio]. Spotify. <https://open.spotify.com/episode/15bWYRcPSFjoqxIg3b6OKL>
- [23]. InnovaVoz. (2025, 25 febrero). Ciudades sostenibles, un panel a la vez (Temporada 3, Episodio 41) [Archivo de audio]. Spotify. <https://open.spotify.com/episode/7iB7I2Vpz64Uo3WnJQvWEb>

Si quieres participar — en nuestra — **REVISTA SAI**

Haznos saber que quieres ser parte y envía
un correo a **subdireccionestrategica@sai.org.co**



SISTEMA DE GERENCIAMIENTO INTEGRAL PARA LOGRAR ORGANIZACIONES COMPETITIVAS

Arturo Alejandro Briso Inostroza

*Ingeniero Civil Industrial, Universidad de Santiago de Chile
Experto en Riesgos Profesionales, Universidad de Santiago de Chile
Magister en Desarrollo Organizacional y Gestión Estratégica de Personas, Universidad
Diego Portales (UDP), Chile.
Gerente Consultor organizacional de CONSULTORÍA BRISO INTERNATIONAL
ingenierobrisoi@gmail.com*

Resumen: En el ámbito organizacional, los conceptos de gerente, gerencia, liderazgo y gestión aparecen de manera frecuente, aunque a veces utilizados indistintamente. Sin embargo, cada uno posee un significado particular que, en conjunto, permite articular un modelo coherente y efectivo de administración; en la búsqueda de la efectividad organizacional. La administración ha evolucionado a lo largo de los siglos desde enfoques centrados en la eficiencia operativa, el control y la productividad, hacia modelos más integrales que incluyen factores humanos, sociales y éticos. Hoy, en un entorno marcado por la incertidumbre, la transformación digital y la complejidad global, se requiere un modelo que no solo gestione recursos y procesos, sino que también inspire confianza, genere compromiso y sea coherente con valores compartidos.

Palabras clave: Gerente, Gerenciamiento, Gerencia, Liderazgo, Efectividad organizacional, Gestión.

1. INTRODUCCIÓN DE CONTEXTO

En el entorno actual, caracterizado por la globalización, la innovación tecnológica y los cambios sociales acelerados, las organizaciones enfrentan el desafío de adaptarse y evolucionar continuamente. Ya no basta con administrar recursos: se requiere gerenciar estratégicamente para lograr resultados en un contexto complejo, incierto y competitivo.

El sistema de gerenciamiento moderno integra cuatro dimensiones fundamentales: el Gerente, como actor personal que encarna las decisiones; la Gerencia, como estructura organizacional que planifica y coordina; el Liderazgo, como fuerza inspiradora que moviliza personas; y la Gestión, como proceso técnico que operacionaliza las estrategias. Estas cuatro dimensiones, cuando se integran de forma coherente, constituyen un Sistema de Gerenciamiento Integral (SGI), orientado a la sostenibilidad, la innovación y el desarrollo humano dentro de las organizaciones.

2. EL GERENTE: COMO FIGURA CLAVE DE LA ORGANIZACIÓN

El gerente es el actor principal que ocupa formalmente un cargo de responsabilidad en la organización. Su papel se centra en coordinar equipos de trabajo, tomar decisiones y responder por los resultados.

El Gerente es más que un cargo: *es una figura de conducción consciente, capaz de alinear su propósito personal con la misión institucional. Su papel se ha transformado del tradicional “administrador de recursos” hacia un “facilitador del cambio organizacional”.*

El gerente actual actúa como observador estratégico del entorno, interpreta tendencias y anticipa escenarios factibles y deseables para la competitividad de la organización. Entre sus principales competencias destacan la visión global, la adaptabilidad, la ética, la integridad y la capacidad de aprendizaje organizativo. Hoy, su éxito se mide tanto por los resultados económicos como por su capacidad de inspirar y construir cultura para un desempeño mayor en sus colaboradores.

Funciones principales de un gerente:

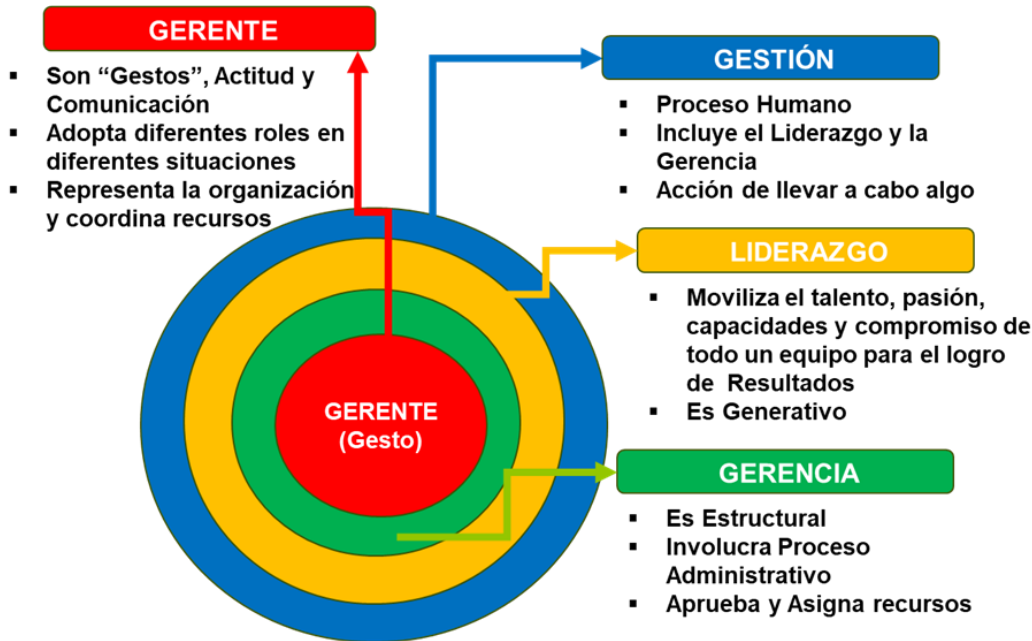
- ❖ Representar a la organización frente a actores internos y externos.
- ❖ Tomar decisiones estratégicas, tácticas y operativas para dirigir el negocio hacia sus clientes y partes interesadas.
- ❖ Asignar recursos humanos, financieros y tecnológicos, buscando siempre la efectividad de la organización.
- ❖ Monitorear el cumplimiento de objetivos y avances de los temas de mayor interés.
- ❖ Servir como nexo entre la alta dirección y los equipos de trabajo.

La figura N°1 siguiente muestra la integración virtuosa de los ámbitos de “*gerente-gerencia-liderazgo y gestión*”; en una perspectiva de esquema circular.

Un gerente representa a la persona encargada responsable de conducir un área estratégica o unidad de negocio; *la gerencia* es la estructura y el conjunto de responsabilidades que orientan el trabajo; *el liderazgo* constituye la capacidad de influir en las personas; *y la gestión* es el proceso que convierte recursos en resultados mediante planificación, organización, dirección y control de los diversos recursos y el potencial de las personas pertenecientes a la organización.

El Gerente: como generador de “Gestos Organizacionales”

Más allá de su rol técnico o estratégico, un gerente se define también por la “*calidad de los gestos*” *que entrega a los integrantes de su organización.* Estos gestos no son simples acciones superficiales, sino manifestaciones simbólicas y prácticas que transmiten reconocimiento, confianza y dirección.



*Figura 1 Integración modelo “gerente-gerencia-liderazgo y gestión”
Elaboración; Consultoría BRISO INTERNATIONAL*

Un gesto puede ser tan concreto como una felicitación en público, un correo de agradecimiento, una escucha atenta en una reunión o la disposición para comprender un error y convertirlo en aprendizaje. *Cada gesto configura una señal cultural que influye en la motivación, en la confianza y en el sentido de pertenencia de los equipos.*

Desde esta perspectiva, el gerente no solo administra recursos y coordina tareas, sino que se convierte en un constructor de vínculos.

Sus gestos son mensajes visibles e invisibles que:

- ❖ Reconocen la dignidad y el valor de cada persona.
- ❖ Generan cercanía emocional y disminuyen la distancia jerárquica.
- ❖ Crean un ambiente de respeto y colaboración.
- ❖ Inspiran a los equipos a comprometerse más allá de la obligación contractual.

Un gerente que entrega gestos auténticos consolida su liderazgo, ya que cada acción se convierte en un catalizador que puede ser de: confianza, escucha activa, reconocimiento, agradecimiento, inspiración y apoyo frente a las dificultades. La diferencia no está en el cargo, sino en la manera en que se humanizan las relaciones a través de pequeños actos cotidianos que transmiten coherencia y cuidado.

La figura N°2 muestra un esquema visual de los “gestos del gerente”, mostrando cómo se proyectan hacia la organización en sus prácticas y rutinas en su desempeño hacia sus colaboradores.



*Figura 2 Esquema visual “gestos del gerente”.
Elaboración; Consultoría BRISO INTERNATIONAL*

El gerente es un referente no solo por lo que decide, sino por lo que gesticula simbólicamente con sus palabras, actitudes y modos de relacionarse. En un mundo organizacional cada vez más consciente de lo humano, el valor de un gesto puede transformar tanto como una estrategia.

3. LA GERENCIA: ESTRUCTURA, PROCESOS Y DIRECCIÓN ESTRATÉGICA

La Gerencia constituye el núcleo coordinador donde se planifica, organiza, dirige y controla el funcionamiento institucional. *En una organización competitiva, la gerencia es un sistema dinámico que traduce los objetivos estratégicos en acciones concretas, articulando estrategia y operación.*

La gerencia moderna adopta herramientas contemporáneas como los sistemas de gestión basados en normas ISO (9001, 14001, 45001, 45003, 31000), el Balanced Scorecard, y metodologías ágiles como Lean o Scrum e Inteligencia Artificial (IA). *Una gerencia eficaz fomenta el trabajo colaborativo, la innovación y el aprendizaje organizacional.*

La gerencia no se limita solo a la figura del gerente. Es un concepto más amplio que comprende la estructura organizacional y las funciones que orientan la acción, el liderazgo y la gestión hacia el cumplimiento de los objetivos de la organización.

Características de la gerencia

- ❖ Tiene una visión institucional, es decir, busca la sostenibilidad y competitividad de la organización.
- ❖ Opera bajo principios de planificación estratégica, evaluación y control.
- ❖ Se plasma en políticas, reglamentos y procesos que permiten articular las actividades individuales con el propósito colectivo.

En este sentido, la gerencia constituye la “arquitectura administrativa” donde se definen las responsabilidades, los niveles de autoridad y los mecanismos de coordinación.

4. EL LIDERAZGO: ES EL FACTOR HUMANO EN LA ADMINISTRACIÓN, APORTA ENERGÍA MOVILIZADORA

El liderazgo se sitúa en el corazón del sistema de gerenciamiento integral. Si la gerencia define el “qué” y el “cómo”, el liderazgo inspira el “por qué” y el “para qué”. El líder organizacional genera sentido y propósito, movilizándolo a otros hacia una visión compartida.

El liderazgo contemporáneo se basa en la confianza, la empatía, la coherencia y el propósito. No se impone, sino que se co-crea, promoviendo espacios donde las personas se sientan valoradas y comprometidas con la misión institucional.

Mientras la gerencia organiza, el liderazgo moviliza. Liderar significa influir positivamente en las personas, inspirarlas y comprometerlas con una visión compartida para el progreso y desarrollo de la organización.

Rasgos distintivos del liderazgo en un modelo administrativo

- ❖ Capacidad de comunicación efectiva y escucha activa.
- ❖ Inspirar confianza y motivación.
- ❖ Favorecer la innovación y la creatividad.
- ❖ Gestionar conflictos y construir cohesión de equipo.
- ❖ Promover valores éticos y responsabilidad social.

Un gerente que carezca de liderazgo se limita a dirigir desde la autoridad formal; mientras que un gerente-líder consigue que su equipo trabaje con convicción y sentido de pertenencia, agregando valor más allá de lo requerido.

5. LA GESTIÓN: COMO PROCESO, MÉTODO, ACCIÓN Y MEJORA CONTINUA

La Gestión representa el componente operativo del sistema, donde las estrategias se traducen en resultados concretos. *Gestionar implica planificar, ejecutar, controlar y mejorar, bajo la “lógica del ciclo PHVA (Planificar – Hacer – Verificar – Actuar)”*.

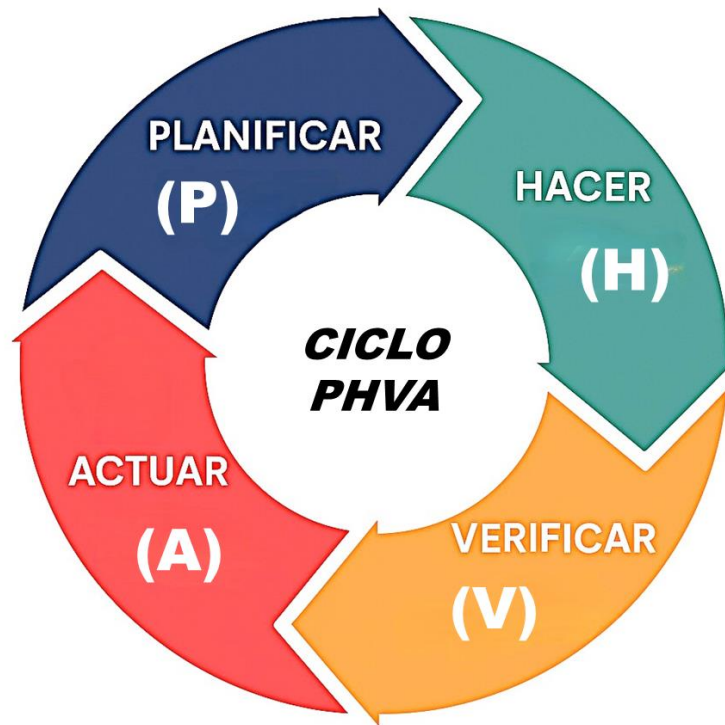


Figura 3 La lógica del ciclo PHVA (Planificar – Hacer – Verificar – Actuar)
Elaboración Consultoría BRISO INTERNATIONAL:

Una gestión efectiva integra las dimensiones técnicas, humana y del conocimiento, convirtiéndose en la traducción operativa del liderazgo y la estrategia.

La gestión se refiere al conjunto de actividades organizativas que convierten insumos en RESULTADOS. Se operacionaliza a través de cuatro funciones fundamentales:

1. Planificación: definición de objetivos, metas y estrategias.
2. Organización: estructuración de tareas, asignación de roles y uso de recursos.
3. Dirección: coordinación del trabajo, motivación y toma de decisiones.
4. Control: seguimiento y evaluación de los resultados frente a lo planificado.

La Gestión Inteligente: (Acción + Analítica) usando herramientas “IA”

Integrar la Inteligencia Artificial (IA) al gerenciamiento no significa sustituir al ser humano, sino amplificar sus capacidades de gestión organizativa. *El modelo integral evoluciona hacia una “organización inteligente”, donde la tecnología potencia la visión del gerente, la precisión de la gerencia, la inspiración del liderazgo y la efectividad de la gestión. El desafío clave es mantener la centralidad del ser humano en un entorno cada vez más digital, ágil y consciente.*

La gestión operativa se apoya en IA para monitorear desempeño, automatizar tareas rutinarias y detectar oportunidades de mejora en los procesos productivos y organizacionales. Puede introducir tableros predictivos, sistemas de soporte a decisiones y herramientas de retroalimentación en tiempo real.

En síntesis, el Modelo Integral potenciado por IA permite complementar de una gestión reactiva a una gestión anticipatoria y adaptativa.

Dimensión	Valor Agregado por la IA	Resultado Esperado
Gerente	Inteligencia aumentada y ética digital	Decisiones más ágiles e informado
Gerencia	Optimización predictiva de recursos	Eficiencia y sostenibilidad
Liderazgo	Personalización e inspiración basada en datos	Cultura innovadora y motivada
Gestión	Automatización y mejora continua inteligente	Agilidad y aprendizaje organizacional

La gestión es dinámica y requiere retroalimentación constante de la organización *Su eficacia depende tanto de los recursos disponibles como de la capacidad de liderazgo del gerente y de la coherencia de la gerencia como institución.*

6. INTEGRACIÓN SISTÉMICA: DEL GERENTE INDIVIDUAL A LA ORGANIZACIÓN INTELIGENTE

El Sistema de Gerenciamiento Integral (SGI) cobra sentido cuando las cuatro dimensiones —Gerente, Gerencia, Liderazgo y Gestión— operan de forma sinérgica. Esta integración genera una organización inteligente, capaz de aprender, adaptarse y evolucionar.

El SGI promueve la sostenibilidad organizacional en sus tres pilares: *económico, social y ambiental*. La comunicación abierta, la innovación continua y el conocimiento compartido son claves de este modelo.

El modelo integra los cuatro conceptos: “Gerente, Gerencia, Liderazgo y Gestión” en un esquema articulado autosostenido *que permite dar “Coherencia y Efectividad” organizativa para la Administración:*

- ❖ *El gerente* es la persona que encarna la responsabilidad de la organización.
- ❖ *La gerencia* es la estructura que le da sustento a la acción.
- ❖ *El liderazgo* es la dimensión humana que moviliza a las personas de la organización.
- ❖ *La gestión* es el proceso que convierte las decisiones en resultados.

Representación del modelo

1. *Nivel Personal:* el gerente como actor responsable.
2. *Nivel Institucional:* la gerencia como marco organizativo.
3. *Nivel Relacional:* el liderazgo como vínculo de influencia y motivación.
4. *Nivel Operativo:* la gestión como proceso administrativo.

Este modelo reconoce que el éxito organizacional no se alcanza únicamente por la autoridad formal, sino por la integración equilibrada de estructura, influencia y procesos.

7. IMPLICACIONES SOBRE EL QUEHACER DIARIO: GESTIÓN VIVA EN ACCIÓN

En la práctica, el sistema organizacional se expresa en reuniones participativas, decisiones basadas en datos y diálogo, evaluación de desempeño, gestión de riesgos y aprendizaje continuo. Cada jornada se convierte en una oportunidad de ejercer gerencia, liderazgo y gestión con propósito, en los diferentes ámbitos de la organización.

El modelo propuesto de administración coherente con valores y liderazgo gerencial se articula en cuatro componentes interdependientes en aplicación organizativa:

Gestión de identidad y cultura organizacional

- ❖ Definir y consolidar un conjunto de valores compartidos.
- ❖ Promover prácticas de coherencia entre lo que se declara y lo que se hace.
- ❖ Establecer sistemas de reconocimiento vinculados al vivir los valores organizacionales.

Liderazgo ético y ejemplar

- ❖ Los gerentes son “portadores de gestos”, en tanto transmiten mensajes simbólicos a través de sus decisiones y conductas.
- ❖ Se busca coherencia entre el discurso y la acción, evitando liderazgos autoritarios o meramente técnicos.
- ❖ La comunicación abierta y el respeto son pilares fundamentales de este modelo.

Innovación y aprendizaje organizacional

- ❖ El modelo favorece la experimentación, la creatividad y el aprendizaje colectivo y colaborativo.
- ❖ Se fomenta una cultura que convierte los errores en oportunidades de mejora.
- ❖ La capacitación permanente es una inversión estratégica, no un gasto; en pro de potenciar sus talentos para lograr Altos Desempeños organizacionales.

Responsabilidad social y sostenibilidad empresarial

- ❖ **La administración** orienta sus acciones hacia el bien común, incluyendo a comunidades, clientes y medio ambiente.
- ❖ **El éxito empresarial** se mide no solo por utilidades, sino por el impacto positivo que la organización genera en su entorno.
- ❖ **La eficiencia y efectividad organizacional** permite aprovechar mejor los recursos y alinear los esfuerzos en todo ámbito de la organización.
- ❖ **El Clima Laboral** favorece la motivación y la cohesión de los equipos de trabajo; generando espacios de colaboración y compromiso organizacional.
- ❖ **La Competitividad** asegura innovación y capacidad de respuesta frente a cambios externos del mercado y mayor desempeño organizativo de su personal.

Para lograr su implementación se requiere diseñar estructuras de gerencia claras, flexibles y adaptables, Promover sistemas de evaluación y retroalimentación continua. Al mismo tiempo, contar con gerentes y ejecutivos clave que tengan habilidades de liderazgo y gestión, Integrando y promoviendo valores éticos como base fundamental de la administración.

8. CONCLUSIONES Y REFLEXIONES: HACIA UNA GERENCIA HUMANA, ÉTICA Y TRANSFORMADORA

El objetivo de escribir este documento ha sido aportar nuevas y mejores distinciones en un modelo integrado coherente y efectivo de **“Gerente, Gerencia, Liderazgo y Gestión”** para la administración de hoy; ayudando al fortalecimiento de las organizaciones en un entorno dinámico y competitivo, buscando siempre el mejor apalancamiento en la toma de decisiones para lograr la sostenibilidad organizacional y viabilidad empresarial.

El nuevo modelo de administración coherente con valores y liderazgo gerencial no pretende reemplazar los avances de teorías previas, sino integrarlos en una visión más amplia que responda a los desafíos del siglo XXI y la realidad del mundo imperante en estos nuevos tiempos. *En este modelo, los valores son la brújula, el liderazgo gerencial es el motor, las personas son el centro, y la sostenibilidad es el horizonte.*

La implementación de este modelo ofrece beneficios concretos para las organizaciones y la sociedad; en el cumplimiento de su responsabilidad empresarial:

Un Mayor compromiso de los colaboradores, al sentirse parte de un proyecto significativo y coherente en su administración.

Una Mejora en la reputación institucional, al ser percibida como una organización ética, transparente y confiable.

Facilita la Innovación continua, derivada de un clima de confianza y aprendizaje colectivo en la organización.

Logra una Sostenibilidad a largo plazo, gracias a la integración de la responsabilidad social en la estrategia organizacional.

Se puede decir que la administración deja de ser sólo un conjunto de técnicas para convertirse en un “proceso humano y ético”, capaz de generar resultados duraderos y un impacto positivo en la sociedad. Así, el rol del gerente trasciende el control de procesos para convertirse en un líder que inspira, guía y da coherencia a las acciones organizacionales.

Finalmente, el Sistema de Gerenciamiento Integral (SGI) constituye una propuesta viva para las organizaciones del siglo XXI. Su fortaleza radica en la integración armónica entre estrategia, cultura y acción. El gerente contemporáneo es un constructor de sentido, catalizador del talento colectivo y guardián de la coherencia institucional. Así, el gerenciamiento se convierte en un proceso de transformación continua donde el pasado aporta experiencia, el presente exige acción y el futuro invita a innovar con propósito.

REFERENCIAS

- [1]. Chiavenato, I. (2017). “Introducción a la teoría general de la administración”. McGraw-Hill.
- [2]. Drucker, P. (2008). “La gerencia efectiva”. Editorial Sudamericana.
- [3]. Mintzberg, H. (2019). “Gerencia: viajes al centro de las organizaciones”. Paidós.
- [4]. Senge, P. (2010). “La quinta disciplina: el arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje”. Granica.
- [5]. Northouse, P. (2021). “Leadership: Theory and Practice”. Sage Publications.
- [6]. Normas internacionales de gestión: ISO 9001:2015, 14001:2015, 45001:2018, 45003: 2021y 31000:2018.

ENFOCADOS EN EL VALOR: ESTRATEGIAS EMPRESARIALES Y PERSONALES**Rodrigo Posada Pineda**

*Contador público. Especialista en Finanzas. Universidad EAFI
rodrigo.posada@grupopospin.com*

Resumen: Desde hace años he estado dedicado, a través del trabajo en la empresa GRUPO POSPIN SAS, un emprendimiento que va saliendo adelante y que gerencio, a la búsqueda del valor, siguiendo el lema que hemos escogido: Enfocados en el Valor. En este artículo presento una discusión sobre lo que sería una teoría del valor sencilla, aplicable a la vida personal y a los trabajos de apoyo empresarial que hemos venido desarrollando.

Palabras clave: Valor, Logro, Negociación, Gestión, Resultados, Beneficios, Estrategia.

1. LA MAESTRÍA DE LA VIDA Y LAS OPORTUNIDADES PARA ENCONTRAR Y GENERAR VALOR

Hay que disfrutar la vida y ser felices, esto es de suma importancia. Esto no es una simple verdad autoevidente. Es la clave para lograr la evolución personal. El logro en cualquier cosa surge a través de la felicidad.

¿Es posible experimentar la felicidad como un estado dominante? Allí es donde entra a jugar la búsqueda del valor y el evitar la degradación y el demérito, es decir lo que está asociado con la negatividad. Esto como decisión consciente en la vida, como actitud de vida.

Nos desconciertan las circunstancias, nos acosan los juicios y nuestra tendencia a juzgar con lo que creemos es una necesaria e inteligente dureza, una sabia severidad, unos deseos de corregir al otro. En esto podemos perder la visión del valor, llegando más bien a la negatividad y al rechazo

Por ello, para que en todas las circunstancias podamos ser felices, vale la pena enfocar bien, descubrir el valor oculto, trabajarse a sí mismo y moverse en la dirección de la vida diaria, alejándose de la negatividad y el demérito, incluso si hay que forzarse un poco para cambiar algunos hábitos y juicios que arrastran hacia la negatividad.

Decía un sabio maestro [1] que debemos considerar y pensar en cualquier negatividad que se nos ocurra como una gota de lluvia en el océano de tu dicha.

¿Existe tal océano de dicha? ¿Existe tal inmenso valor? Acá es donde opera la maestría de la vida. Porque, aunque pareciera ser cierto que no siempre se tenga acceso a tal océano de dicha, tal maestría consiste en tener la creencia, la idea, el pensamiento de que en verdad tal

océano siempre existe como valor inagotable, que se puede alcanzar. El pensar así, el sentir esto, de todos modos, ayudará a llegar, a sentirlo muy real.

La aparente sabiduría racional nos dice que no nos engañemos, que no son tan abundantes los valores, que la vida es dura, que está repleta de tragedias, de mediocridad; que es más racional dudar de todo, rechazar, juzgar con severidad. Pero ¿es esta una visión sabia? Dice el mismo maestro que dudar no es maravilloso, que no crea felicidad, que es mejor ser feliz y saludable y dejar que todo ese amor fluya a través de nuestro corazón. Asevera el maestro que tenemos una infinidad de razones para ser felices. Son la base del valor. Nuestra creatividad consiste en la habilidad para apreciar el valor y para no caer en la trampa de la negatividad. Es esta también una seria responsabilidad. Cuando la asumimos, cambia positivamente el mundo para nosotros y para los demás.

La idea es enfocarse preferencialmente en las buenas cualidades, en esa vida preciosa, que cada minuto contribuye al progreso futuro. ¿Entonces, de qué vale sacar tiempo para pensar en cosas malas, para demeritar y destruir? Es corto el tiempo que tenemos y no contamos con tiempo suficiente para dilapidarlo entreteniéndonos con la negatividad. Mejor destinarlo a descubrir lo valioso, todo lo bueno que existe en la tierra y en el cielo.

2. ESCAPÁNDOSE DE LA NEGATIVIDAD Y LOCALIZANDO EL VALOR

En la experiencia que he venido desarrollando, en las buenas iniciativas y contactos que he desarrollado en esta permanente empresa de la búsqueda del valor, he encontrado algunas formas de fluir desde la dureza y desde la severidad, desde el juicio destructivo, desde el rechazo, hacia la aceptación, el disfrute y el descubrimiento del valor [2].

Elaborar listas de las cosas que nos gustan como vía hacia el valor. Se puede hacer por temas, por ejemplo, el trabajo, la ciudad, la familia, nuestra vida, nuestros hijos. Podemos listar lo que nos gusta de eso. Lo podemos compartir con otros. Podemos preguntar a otros lo que le gusta más de esas cosas.

Para ellos aconsejo tomar una hoja en blanco. Colocarla en forma horizontal. Colocar en su centro el tema, incluyendo algún sencillo dibujo como símbolo del tema. Luego ir llenando la hoja con las cosas que nos gustan del tema, alrededor del centro, hasta llenar la hoja de gustos. Estos se pueden ilustrar también con dibujos, colores, símbolos. Podemos fotografiar la hoja y compartirla y admirar nuestro buen gusto.

Buscar las buenas motivaciones. A veces el entorno es negativo y puede ser difícil encontrar los aspectos bellos y atractivos, las buenas motivaciones. Sin embargo, el sabio sabe que siempre hay belleza en todo. Miremos las cosas y los ambientes desde tres puntos de vista: lo que se ve; lo que está oculto; lo que podría ser. Con esas miradas ampliadas podemos descubrir los valores, la belleza, el gozo, el océano de dicha donde se disuelve la mediocre negatividad. Esta es la ruta de la creatividad. Usando la imaginación, la intuición, el poder

del pensamiento generoso, la observación encontramos las profundas respuestas que dan sentido y evitan las frustraciones.

Superar la negatividad y elevar el punto de referencia. Con frecuencia observamos en los grupos humanos o en los ambientes la tendencia a que sean influenciados por pensamientos o acciones negativas. Podemos asumir el liderazgo y contribuir a disolver y a evitar la negatividad en tales ambientes, por ejemplo, hablando y dialogando con personas, exponiendo las ventajas de la mirada apreciativa. Esto debería hacerse con delicadeza, evitando que las actitudes negativas y la conversación que se deriva de ello dominan el ambiente. Con nuestro poder creativo, podemos levantar el nivel del grupo y de sus conversaciones, ofreciendo como alternativa una visión valiosa, creativa y apreciativa de los temas. La belleza y el buen juicio tienden a ser evidentes cuando iluminan en forma respetuosa los ambientes.

Evitar contribuir a las exageraciones y a los dramas. La negatividad prospera en ambientes donde dominan los rumores y los chismes; en escenarios de víctima, salvador y victimario; en juicios donde se busca que haya culpables y acusaciones. Podemos aportar en tales situaciones la transparencia y la sinceridad. Contribuir a que haya responsabilidad, aprecio, cordura, generosidad y aprecio por los demás y sus circunstancias, poniéndose en el lugar del otro, sintiendo lo que el otro siente, desde nuestra callada conciencia personal, sin manipular ni condicionar.

Establecer comunidades creativas positivas. Conviene encontrar espíritus afines, invitar a construir juntos la vida que vale la pena vivir, compartiendo miradas, propósitos, amistad, liderazgo, servicio compartido, contemplación compartida.

Crear zonas de excelencia creativa. Si se está en medio de ambientes complejos, dominados por la negatividad y la destrucción de valor, vale la pena avanzar estableciendo zonas de comodidad, de fortaleza, donde se renueven las energías personales y grupales. A partir de estas zonas se va avanzando y se ve generando el cambio. Son cabezas de playa para conquistar los espacios valiosos. La meditación, la contemplación, personal y grupal son efectivas para ello. Igualmente establecer la generación de productos y de valores agregados en el grupo y en los ambientes conduce hacia la felicidad y el gozo grupal.

Celebrar. Cuando domina la negatividad, lo bueno se vuelve pan comido, se convierte en algo transparente, que no se nota y así pueden surgir la indiferencia y la negatividad por todas partes. Por ello conviene hacer todo lo posible para reconocer y celebrar los logros y las victorias, aunque sean pequeñas. Nuestro lenguaje es vital para crear un ambiente de gozo y de celebración, hasta llegar a la zona del logro colectivo e individual. Nos debe encantar lo que sucede, sintiendo, en todo, la magia creativa, el encantamiento.

Contar con una mirada estratégica. Esta contempla la realidad desde cuatro puntos de vista, enfocados todos en descubrir y fortalecer valores **Oportunidades** (valiosas opciones que se aprovechan y se convierten en realidades felices y gozosas); **Fortalezas** (que son

aspectos preciosos, valores reales y potenciales, realidades que tenemos y que podemos usar para el bien, para lograr los objetivos superiores), **Debilidades** (que son los puntos a tener en cuenta para progresar y evitar caer en la visión negativa) y **Amenazas** (que son los riesgos que existen, que deben tenerse en cuenta con buen sentido, para mitigarlos y evitarlos, sin caer en el miedo y en la negatividad)

Esto se puede hacer, en grupo o individualmente, con hojas en blanco en las cuales se coloca en el centro el tema a examinar estratégicamente y en los cuatro cuadrantes, se hace una lista de los cuatro elementos reseñados: Oportunidades. Fortalezas. Debilidades. Amenazas. Se pueden compartir las distintas hojas preparadas por el grupo y luego hacer un trabajo colectivo para concluir. Con frecuencia se deben lograr aprendizajes, recorriendo el camino hasta lograr sensaciones de positividad como estado normal, inclusive en los momentos más difíciles.

Buscar estados físicos de felicidad y de gozo. Hay profundas relaciones entre la mente y el cuerpo. Sonreír y reír convocan pensamientos de felicidad y al contrario, pensar felizmente trae sonrisas. Por otra parte, el drama y la rígida seriedad se pueden matizar con la comedia y la risa. Siempre podemos dar un paso atrás y reconoce los aspectos divertidos que tienen los comportamientos, para tomar una distancia saludable desde la cual responder de manera más adecuada. Siempre es posible alternar puntos de vista, describir otros objetos, alternar estados de conciencia, para mantener alerta la atención despierta, apreciativa y amoroso, que es la energía creativa que no aleja de la negatividad. Estos estados son fuentes inagotables de valor agregado.

Mantener el avance y la profundidad en el desarrollo de los temas. En períodos de incertidumbre y de negatividad se puede perder la sensación de control, el sentido de pertenencia y de conexión. Aquí se requiere liderazgo, es decir, sentido de compromiso y de servicio para que fluyan las conversaciones y las actividades hacia niveles crecientes, que desafíen al grupo, que nos desafíen a elevar nuestras miras, hacia la localización de los valores, hacia la generación del valor agregado. Es la oportunidad para plantear sueños, motivaciones, esperanzas y sueños; para salir de los miedos y de los sustos con la creatividad: imaginación, intuición, decisiones creativas, observación y aprecio. Recuperar la esencia de seres humanos reales que se preocupan por otros seres humanos reales.

Al final, podemos evitar que ganen los detractores, los destructores, los negativos, los que siembran las noticias falsas, las exageraciones, los chismes y los rumores. Seamos chispas divinas positivas que encendemos posibilidades por doquier.

3. EL SENTIR COMO APROXIMACIÓN A LA BELLEZA, AL VALOR Y AL GOZO DEL CONTACTO CON LOS OBJETOS

De otro de mis maestros aprendí la práctica del sentir como herramienta creativa [3,4]. El sentir es la fuente de la empatía, con lo cual se estimula el aprecio por los objetos que nos rodean. Con el sentir descubrimos la fuente interior reflejada en los objetos y nos alejamos

de la negatividad y de la indiferencia. Estos son los pasos para sentir y lograr la empatía. Son pasos cortos, pero poderosos.

**EL SENTIR
APROXIMACIÓN CREATIVA A LA
NEGATIVIDAD**



**Observar hasta ver detalles
que no se han visto antes**

Damos atención a los objetos aprendiendo a observar detalles. Dejamos que nuestros sentidos y nuestros pensamientos se posen sobre ellos durante algún tiempo.

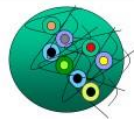
**APROXIMACIÓN CREATIVA A LAS FRONTERAS,
CON FRECUENCIA FUENTES DE LA INCERTIDUMBRE
, DE LA INDIFERENCIA Y LA NEGATIVIDAD**



**Definir los bordes, las fronteras
del objeto, saber hasta dónde
llega, en dónde existe**

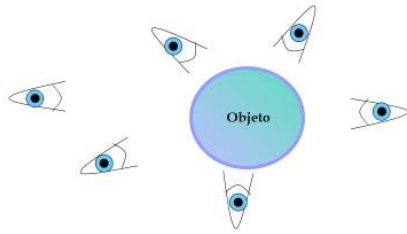
Nos aproximamos a la totalidad de los objetos advirtiendo sutilmente, de una pasada por sus bordes, que tienen fronteras, que tienen relaciones. Se empiezan a percibir posibilidades.

**NOS MOVEMOS HACIA EL OBJETO, DEJANDO DE
LADO NUESTRA INDIFERENCIA, CON UNA
APROXIMACIÓN CREATIVA IMAGINATIVA Y
CREATIVA**



**Experimentamos el Sentir, es decir:
convertirse en el objeto. Identificarse
con él, experimentarlo.**

Experimentamos la novedosa y renovada realidad del objeto, venciendo la mediocre indiferencia y sintiendo mundos nuevos a través del contacto. Con ello se experimentan nuevos sentimientos, emociones y gozos. En ese interior pulula el valor.



**Ensayar puntos de vista
variados para ver la totalidad
del objeto**

Aprovechamos nuestra imaginación para ensayar variados puntos de vista y para experimentar una riqueza de sensaciones, de etiquetas, de contactos. Nos llenamos de maravillas, de señales, de sabiduría, de equilibrio y de balance. Nos dejamos inundar de la armonía.

Experimentamos lo que se ve, lo que está escondido, lo que pudiera ser.
Por esos espacios transita el valor



**Jugar con etiquetas y sentirlas
hasta etiquetar tal como es y
suspender el juicio**

Nos volvemos hábiles en jugar con definiciones, con etiquetas, con posibilidades. Y poco a poco experimentamos una sensación de equilibrio, de sabiduría, de totalidad. Sentimos que se suspenden los juicios y nuestra necesidad de ser rígidos, severos, castigadores y negativos. La belleza y la armonía iluminan nuestro ser. Brilla el valor.



**Asumir las responsabilidad y
crear nuevas realidades**

Es así como sentimos que somos capaces de asumir nuevas responsabilidades creativas ante los objetos, descubriendo y generando valor, disipando la negatividad y la indiferencia en el océano de la dicha.

4. LA BÚSQUEDA DE VALOR EN EL ENTORNO EMPRESARIAL.

Las empresas están conformadas por personas. Es la presencia de las personas, de hecho, un valioso punto de partida y base para crear valor. Las empresas están dirigidas al suministro de bienes que tengan aceptación social y que, por lo tanto, sean valiosos para el mercado y la sociedad. Los bienes son temas, asuntos, objetos, que se pueden examinar. Las empresas funcionan en un ambiente social, en una comunidad, en un mercado, con unos clientes, con

una regulaciones, con deberes y derechos; con servicios que se reciben. Las empresas poseen uno conocimientos, una tecnología, una sabiduría e inteligencia particulares que aportan fortaleza, exclusividad, potencia. Tienen entonces relaciones de dependencia con muchos actores, con muchos sistemas. Personas, bienes, tecnología, clientes, ambientes, normas, servicios. Entonces hay que aprender a encontrar los valores en todos esos aspecto y temas. Si se logra que las personas dediquen ciertos espacios a localizar valores y a convertirlos en valor real agregado, ellas y la organización irán por la senda valiosa.

La idea es que todas las persona que hacen parte de la empresa, en cuanto sea posible, y especialmente aquellos tengan responsabilidades de manejo y liderazgos en la organización, aprendan a dedicar espacios para descubrir valores, para enfocarse cotidianamente en el valor. Eso se logra distinguiendo los diversos elementos, conceptos, bienes, relaciones, todo los que existe en la vida corporativa (y personal en cuanto haya relaciones de interés) como elementos con los cuales hay que encontrar valore. Se trabaja con la con la gente, con los productos, con las normas, con el dinero, con los procedimientos, con los equipos, con los proyectos y planes; con los riesgos, con las inversiones. En cada elemento hay valores para encontrar y resaltar.

Mediante trabajos en grupo, denominados ideaciones creativas, es posible generar espacios para la búsqueda del valor empresarial. Se provoca a las personas, debidamente motivadas, a localizar valores relacionados con temas o asuntos específicos, de modo que se pueda lograr el enfoque individual y colectivo.

La idea central es lograr que las personas sean capaces de producir una lista de valores, 2,5 o 10, extraída con imaginación, intuición y observación creativa, de la observación de un tema, de un asunto, de un objeto de interés. Para ello puede ser útil emplear la herramienta del sentir ya explicada, complementada con una pregunta de alineación que hace el facilitador del proceso: ¿Qué valor existe en ...?

Corresponde a los responsables de la organización en aprovechar esas listas, y otros comentarios, elementos y aportes que resulten del proceso, para poner en marcha las valorizaciones, es decir, los procesos para aprovechar al máximo práctico y realista los valores descubiertos, para generar valores agregados y bienes para la empresa, servicios para la comunidad, mejores ambientes, expansiones, procedimientos mejorados, crecimiento, desarrollo, calidad, todo resultante del enfoque en el valor.

Obviamente el punto de partida en todo esto es que el elementos principal que se tiene que aprender a valorar en las empresas son las personas. Esto se da por hecho. Pero ¿es real? La verdad es que existe como realidad frecuente que se menosprecie a las personas y se las juzgue como poco hábiles para ser creativas y aportar valores. Esto no es nada conveniente para las organizaciones. A las personas hay que ponerles cuidado, hay que tener como declaración empresarial el propósito de reconocer el valor, pasar luego a la generación de valor, es decir al valor agregado. No basta con reconocer el valor de lo humano como principio universalmente aceptado, como algo que ya existe. En la realidad práctica ese valor

se reconoce hablando de él, caracterizándolo, estableciendo categorías y generando actividades y proyectos para crear valor agregado, a partir del reconocimiento de que este valor existe como potencial, que se puede aprovechar y estimular. Este es el camino que se podría denominar cadena del valor humano empresarial.

Todos podemos tener acceso a documentos que exploran el tema, a descripciones, a ejemplos, Existen cursos, seminarios, videos, ejemplos que se pueden seguir. Entonces es importante aprovechar estos recursos para convertir esas categorías en valor añadido, en valor agregado. Como cuando uno estudia materias en la universidad. Existe la libertad de olvidarlas, de no aprovecharlas. Pero también se puede tomar la decisión, de aplicar lo que se nos ha enseñado, dando valor a esas enseñanzas, buscando la oportunidad para generar algún tipo de producto que se pueda comercializar, que se pueda vender, que se pueda entregar a la sociedad; la oportunidad de mirar los trabajos que consigamos como espacios para aplicar eso, buscando formas de que nos permitan valorizar esos conocimientos. Esa es la idea inicial. Reconocer el valor. La segunda idea, la verdadera teoría del valor es de encontrar el valor agregado, la de convertir el valor en un producto.

Cuando las empresas exploran este campo, cuando las personas lo hacen también, cuando se conoce que hay una ruta entre el valor que se descubre y el valor agregado que resulta como sistema productivo, entonces se puede generar riqueza, ya sea comercializando el producto del valor, sacando rentabilidad o proyectándolo mediante algún tipo de emprendimiento. Así nos convertimos en emprendedores de los valores y producto valiosos.

Pero, en el fondo, ¿en qué consiste el proceso para tomar decisiones y reconocer y crear valores? Se trata del resultado de movimientos de conciencia personales y colectivos. Es una mentalización, que se basa en flujos de atención. La atención es la energía creativa y creadora que permite caer en cuenta, vislumbrar, advertir. Se basa en la observación, siguiendo procesos como los que se han descrito acá al hablar del sentir.

Para lograr que se genere el valor, hay que dirigir la atención y mantenerla abierta y dispuesta. Ello se logra mediante ejercicios de observación personales y colectivos. Ya tenemos una rica experiencia en el Grupo Pospin, realizando trabajo de este tipo. La idea es entonces dirigir la atención hacia la generación de valor.

Contamos con muchas herramientas. Una de ellas es establecer una cadena de valores, un encadenamiento virtuoso alrededor de un tema, con la idea básica de tener hojas en blanco que se van llenando con mapas mentales en los cuales se responden preguntas de alienación sobre aspectos del valor. Eventualmente se hace un alto en el camino y se extraen conclusiones prácticas y relevantes, estableciendo proyectos de naturaleza estratégica y exploratoria que eventualmente van a desencadenar rutas reales de generación de valor.

Una idea valiosa y fácil de aplicar, es la de la utilización de las herramientas de inteligencia artificial, para hacer preguntas de este tipo, estableciendo procesos refinados y recurrentes para categorizar y profundizar, descubriendo y explorando, de alguna forma, el estado del

arte en el campo; los principios que lo gobiernan; los estudios, ensayos y experiencia existente; los retos; las empresas que comercializan bienes relacionados; las referencias que se pueden consultar; los expertos que han trahinado por el campo.

En esta forma, personal, consultada, referenciada, basada en observación consciente, en atención enfocada, es posible desarrollar conocimientos y criterios y eventualmente establecer el valor que subyace y atreviéndose a proponer una teoría personal del valor. Esto confiere autoridad y permite expandir el ámbito del servicio empresarial y personal.

5. EXPERIENCIAS DE BÚSQUEDAS DE VALOR

A lo largo de estos años, he tenido la oportunidad de acompañar y observar de cerca distintos procesos empresariales y personales donde el valor se convierte en el centro de la acción. Más allá de los números y los resultados, lo que verdaderamente define el éxito de una organización es la conciencia con la que se toman las decisiones, la claridad sobre lo que se quiere construir y la capacidad de aprender en medio de las dificultades. En cada experiencia, el concepto de “estar enfocados en el valor” ha cobrado un significado distinto: a veces surge desde la mejora económica, otras desde la comprensión humana, la confianza o el trabajo en equipo.

En todos los casos, el valor aparece como una fuerza que une, impulsa y transforma. En este capítulo presento tres experiencias reales que reflejan esa búsqueda:

- En la primera, una empresa redescubre su valor al atreverse a aumentar precios con base en datos, confianza y mejora continua.
- En la segunda, una compañía de alimentos supera una crisis al recuperar la pasión y la claridad financiera, confiando en sus asesores y en su propio propósito.
- En la tercera, se evidencia cómo la relación entre socios puede ser fuente de crecimiento o destrucción, y cómo la confianza, la transparencia y el propósito compartido son claves para sostener el valor en el tiempo.

Estas historias no son solo ejemplos empresariales, sino reflexiones vivas sobre cómo el valor se construye desde el compromiso, la comprensión y la acción consciente.

Caso 1: Aumento de valor mediante la pasión por lo que se hace y la confianza en los asesores

Una empresa del sector de alimentos, con más de quince años de trayectoria, atravesaba un momento crítico debido al aumento del endeudamiento, especialmente con la DIAN. La situación financiera parecía insostenible, y varios asesores externos recomendaron cerrar la empresa y empezar de nuevo.

Sin embargo, el propietario mantenía un compromiso profundo con su proyecto: no se trataba solo de un negocio, sino de **su proyecto de vida**. La idea de cerrar era emocionalmente devastadora, por lo que se optó por analizar con detalle la situación antes de tomar una decisión definitiva.

Durante las sesiones de trabajo, se inició un proceso de revisión y fortalecimiento del sistema de información contable y financiero, con mejoras mensuales. En una de las reuniones, surgió la confusión sobre la naturaleza de la deuda con la DIAN. Para aclararla, se construyó un modelo sencillo en Excel, utilizando un ejemplo de venta:

Venta de \$100.000 + IVA de \$19.000 = \$119.000.

A través de este ejercicio, se elaboró un flujo de caja, un estado de resultados y un balance proyectado. De inmediato, el empresario comprendió que el IVA no era un ingreso de la empresa, sino un valor que pertenecía al Estado. Ese momento de comprensión marcó un punto de inflexión: reconoció la deuda, asumió la responsabilidad y comenzó a enfrentar el problema con determinación.

Con el acompañamiento adecuado, se acercó a la DIAN, formalizó un acuerdo de pago, y empezó a utilizar la información financiera como herramienta de gestión, no solo de control. Paralelamente, la empresa rediseñó su estrategia: se enfocó en los negocios de mayor rentabilidad, invirtió en sistemas de congelación que extendieron la vida útil de los productos y reforzó su presencia en el mercado.

El resultado fue notable: la empresa logró ponerse al día con la DIAN en menos de un año, fortaleció su liquidez y recuperó la confianza del equipo. El propietario y sus colaboradores celebraron el logro como un renacimiento empresarial.

Este caso demuestra que la pasión, la claridad financiera y la confianza en los asesores adecuados pueden transformar una crisis en una oportunidad de aprendizaje y crecimiento. Cuando se recupera la comprensión del valor, también se recupera la esperanza.

Caso 2: Aumento del Valor por medio del aumento de precios

Una empresa de nuestra ciudad, con más de treinta años de trayectoria y reconocida por la calidad de sus productos, atravesaba una etapa de estancamiento. Durante sus primeros años había logrado importantes avances en el proceso de producción, pero en el último tiempo los resultados no eran satisfactorios: se habían detenido las inversiones, la motivación del personal disminuía y los márgenes se reducían.

A pesar de ello, la empresa contaba con fortalezas importantes: un equipo humano competente, productos de buena reputación y un sistema de información actualizado. Solo faltaba retomar el impulso estratégico.

Se realizó entonces un trabajo conjunto con el equipo directivo basado en mediciones frecuentes, la aplicación de un modelo de punto de equilibrio y de capacidad actualizado, y un proceso de mejoramiento continuo. Se estudiaron las condiciones del mercado, se escuchó activamente a los clientes para identificar problemas de calidad y se fortaleció el cumplimiento en las entregas.

Con estas acciones, la empresa ganó nuevamente confianza y posicionamiento. Esto permitió acceder a nuevos mercados con precios más altos y, al mismo tiempo, justificar un incremento gradual de precios a los clientes actuales, sin perder competitividad.

Meses después, gracias a los ahorros generados y a la recuperación de la rentabilidad, se adquirió una máquina moderna que impulsó la productividad. El ambiente empresarial cambió: volvió la innovación, se renovó la motivación del equipo y se fortaleció la visión de futuro.

El resultado fue una empresa con mayor valor económico y humano, donde el crecimiento financiero se acompañó de satisfacción, orgullo y felicidad entre los empleados.

Caso 3: Los socios pueden aumentar o destruir el valor

En los proyectos de valoración de empresas que hemos desarrollado, se observa con frecuencia que el papel de los socios es determinante: pueden ser la mayor fuente de crecimiento o la principal causa de destrucción del valor.

Existen empresas de un solo propietario que avanzan con claridad y decisión, mientras otras, con varios socios, enfrentan conflictos internos que limitan su desarrollo. También hay casos en los que los socios se convierten en un verdadero motor de innovación y sostenibilidad, generando un entorno de confianza, creatividad y crecimiento.

En un proyecto específico, debíamos establecer el valor de una empresa para facilitar un acuerdo entre dos familias propietarias. Se trabajó intensamente hasta definir un valor razonable de transacción. Sin embargo, la etapa siguiente —centrada en la negociación y la gestión del cambio— no se contrató.

Las relaciones entre las partes estaban deterioradas por años de desencuentros y desconfianza mutua. Ninguna reconocía los logros de la otra, y la comunicación era casi inexistente. El resultado fue una destrucción significativa de valor, tanto económico como emocional. El proyecto, que tenía el potencial de unir a las familias y fortalecer la empresa, terminó generando desgaste, pérdida de oportunidades y debilitamiento de la organización.

En otros casos, hemos observado que algunos empresarios no logran vender su empresa a tiempo, o que las nuevas generaciones de la familia no muestran interés en continuar el negocio. Cuando esto ocurre, el tiempo se convierte en un factor crítico: si no se actúa con visión y planificación, el valor de la empresa se diluye.

A veces, la falta de sucesión o de acuerdos claros lleva a que la empresa termine entregándose a los empleados a bajo costo, con alto riesgo de continuidad y sin una estructura que garantice su futuro.

En contraste, existen casos de éxito donde los socios son verdaderos aliados estratégicos. Cuando hay liderazgo claro, confianza mutua, cuentas transparentes y una cultura organizacional compartida, el valor crece de manera sostenida.

Durante diez años viví una experiencia así: un modelo ganador basado en convertir a empleados estratégicos en accionistas, desarrollar proveedores y colaboradores, mantener una gestión financiera sólida, cuidar la caja y las inversiones, trabajar con juntas directivas activas y mantener una relación cercana con los clientes.

Este tipo de cultura empresarial genera un ciclo virtuoso donde el valor se multiplica. Es claro que un socio, en lo posible, debe aportar de manera equilibrada en varios frentes: capital económico, trabajo de calidad, actitud positiva, compromiso con el ambiente laboral y buena salud física y emocional.

Cuando un socio no cumple con varios de estos aspectos, la carga para el líder se vuelve pesada y el proceso de crecimiento se hace mucho más complejo.

En síntesis, los socios son multiplicadores o destructores del valor según su grado de compromiso, coherencia y madurez emocional. Una sociedad sólida no solo comparte utilidades, sino también propósito, confianza y visión de largo plazo. Cuando esos elementos se alinean, la empresa no solo crece en cifras, sino también en sentido, estabilidad y bienestar colectivo.

REFERENCIAS

- [1]. Maharishi Mahesh Yogi. Science of Being and Art of Living. 1963.
- [2]. Tchiki Davis, Ph.D. Ocho Maneras de vencer la negatividad, según la ciencia. En <https://www.psychologytoday.com/co/blog/8-manera-de-vencer-la-negatividad-segun-la-ciencia>
- [3]. Harry Palmer. The Avatar Path: The Way We Came. Stars Edge International, 2011
- [4]. Posada, Enrique. La enseñanza y el aprendizaje de la creatividad. Amazon. Edición 2019
- [5]. Tobón, José Ignacio. Bases y fundamentos de la Negociación. 1994
- [6]. Tobón, José Ignacio. Value Selling (2014)
- [7]. Posada, Enrique. La maestría de la vida y la superación de la negatividad. Julio de 2020. <https://es.slideshare.net/slideshow/la-maestria-de-la-vida-y-la-superacion-de-la-negatividad/237470104>

HAZTE SOCIO SAI

Visita nuestra página web y nuestras redes sociales,
llama al celular **3192896603** o visítanos en la dirección
CRA 43B # 16-95 of. 510-2, El Poblado-Medellín.



Juntos somos la fuerza de la razón



LOS MÉTODOS GRÁFICOS PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE CERCHAS O ARMADURAS

Tomás Castrillón Oberndorfer

Ingeniero civil

tomascastrillon@hotmail.com

Resumen: El caso más elemental de Estructuras Esqueletales, o Vigas, es aquel que en un espacio 3D, utiliza elementos con una dimensión, la longitud (x), mucho mayor que las otras dos, de la sección transversal (y, z), y además, los elementos están sometido únicamente a carga axial o longitudinal. Se presenta, muy someramente y a modo de introducción o de repaso del tema, el considerado principal Método Gráfico de Análisis para estructuras planas de nudos no rígidos, Cerchas y Armaduras, mediante la utilización de elementos mínimos de dibujo. En la práctica, son muchas los casos de estructuras que pueden ser analizadas, mediante una idealización conveniente, para poder aplicar la metodología presentada, permitiendo procesos simples de dimensionamiento preliminar y comprobación de resultados. Desafortunadamente, en muchas de las escuelas técnicas no se estudian en la actualidad, ni siquiera aún desde su valor histórico. Se considera que el lector está familiarizado con la Mecánica Analítica Elemental, en los conceptos de las Condiciones de Borde, Linealidad, Estabilidad y Grado de Redundancia.

Palabras clave: Estructuras planas. Estabilidad estática, Estabilidad elástica, Determinación e Indeterminación. Deflexiones.

1. INTRODUCCIÓN

Solo se trata de estructuras estables, estáticamente determinadas, elásticamente deformadas, en el ámbito de “las pequeñas deformaciones”, que no afectan la topología estructural. Se considera en estos casos, que la base de un sistema planar reticular de nudos no rígidos, articulados, es el triángulo, o sea, conformado por 3 barras y 3 nudos, y que la estructura restante está conformada en forma sucesiva por nuevos triángulos adicionales formados agregando 2 barras por cada nudo.

Resumiendo: Si se requieren S barras para fijar k nudos debe cumplirse que:

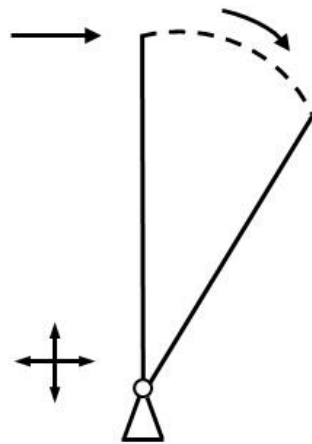
$$S = 3 + (k - 3)2 = 2k - 3$$

Es importante repasar algunos conceptos elementales básicos:

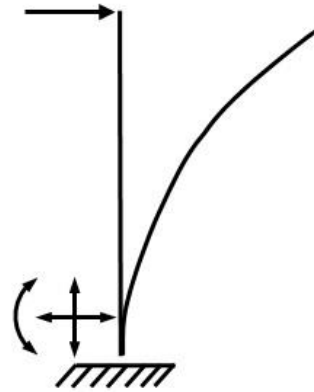
Se consideran únicamente las estructuras que actúan en el plano, bien sea porque se presentan en la realidad, o porque se presentan en las idealizaciones o modelaciones adoptadas, porque su análisis facilita la comprensión y análisis de estructuras más complejas.

Recordando que: en el plano, el movimiento de un objeto tiene 3 componentes, se llega a la conclusión que en el dominio de la estática se requiere dotar a la estructura de un número necesario de restricciones que impidan el desplazamiento. Deben distinguirse dos tipos de desplazamientos.

En la figura 1, se presentan 2 columnas con condiciones de borde diferentes. En (1a) la columna está articulada en su base y puede tener desplazamientos como mecanismo: Estructura Inestable. En (1b) se presenta una columna empotrada en la base, que puede deformarse, pero la deformación se debe a esfuerzos internos: Estructura Estable.

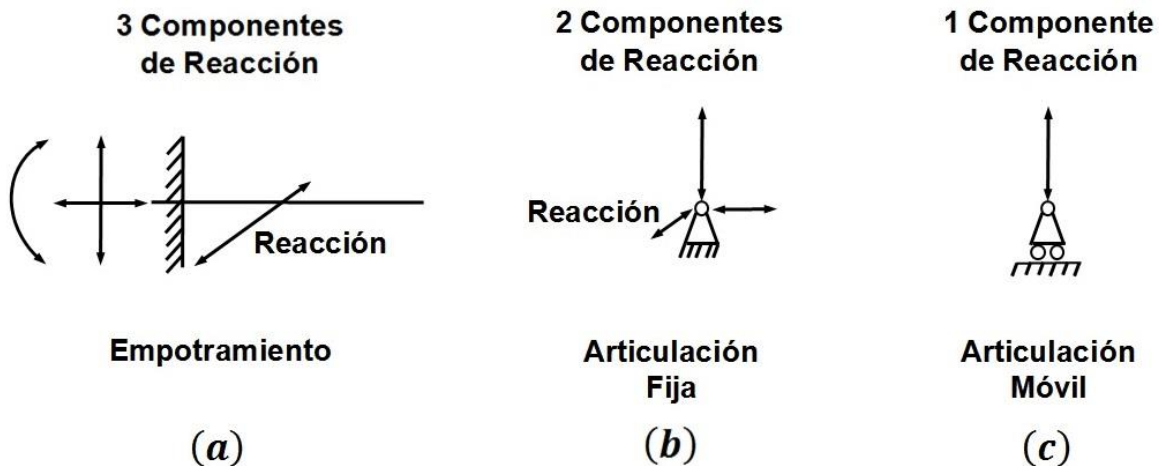


Estructura Inestable
Fig.1a



Estructura Estable
Fig. 1b

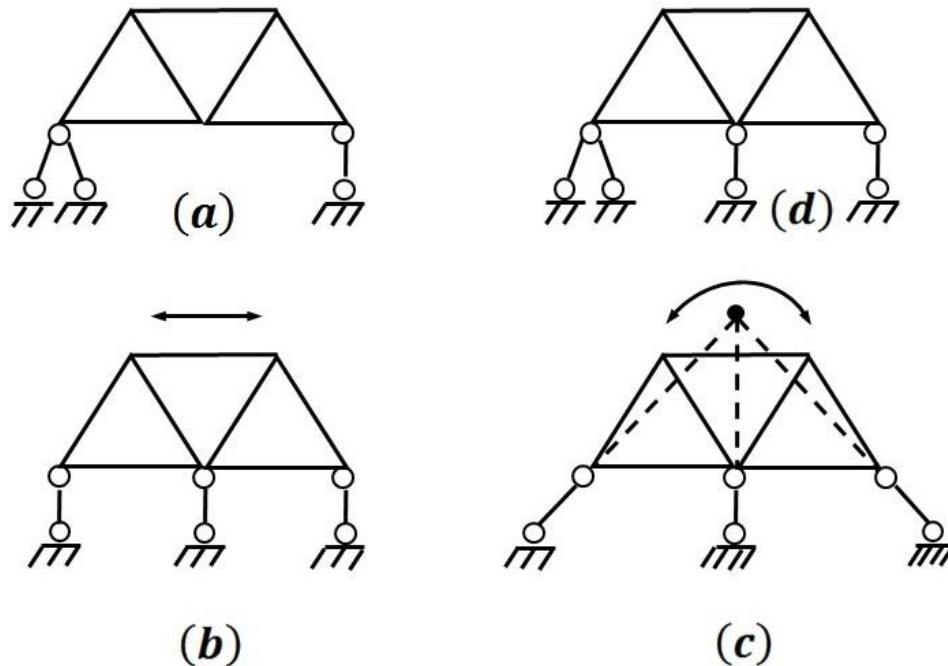
Se consideran los principales tipos de soportes, vínculos o apoyos en el plano.



Tipo de apoyos en el plano
Fig. 2

En la figura 2, se presentan 3 tipos de soporte en el plano. En (a) se muestra el empotramiento que restringe todo movimiento y cuya reacción no pasa por el apoyo y tiene, en consecuencia, 3 componentes de reacción. En (b) se presenta la articulación fija que no impide el giro, pero si el desplazamiento, por lo tanto, tiene 2 componentes de reacción. Dicho de otra forma, la reacción pasa por la articulación. En (c) se presenta la articulación móvil que permite giro y un desplazamiento. La restricción del otro desplazamiento implica una reacción normal a la superficie de desplazamiento.

Es claro que existen otros tipos de soportes que no restringen totalmente algunas de las componentes del movimiento, permitiendo desplazamientos parciales, que implican reacciones o restricciones parciales también. Se suelen representar mediante resortes que responden a una relación Fuerza -Deformación, como la Ley de Hooke. En esta nota no se considera este tipo de vínculos.



Estabilidad externa de cerchas planas.

Fig. 3

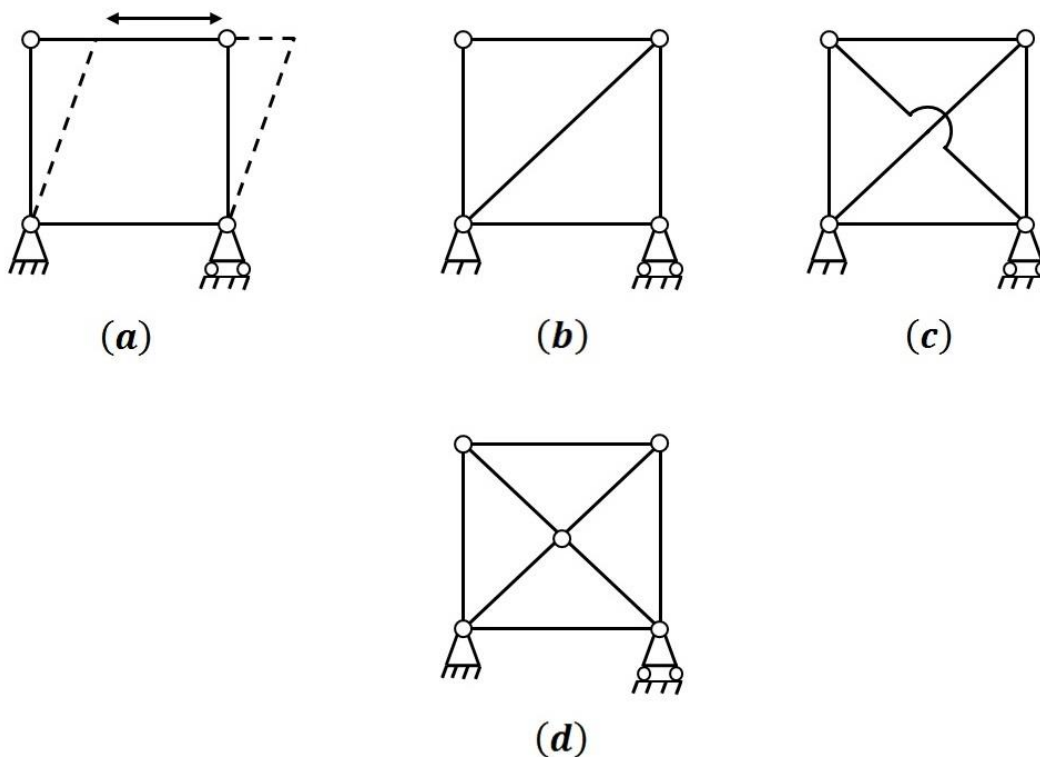
Utilizando como soportes un sistema de bielas, o barras articuladas, que sólo transmiten carga axial, figura 3, es muy ilustrativo analizar los casos mostrados. Cada barra o biela suministra una reacción colineal. En (a) se muestra una estructura con las 3 componentes de reacción externa. En (b) se tienen también 3 componentes, pero son paralelas y la estructura es inestable porque puede moverse libremente como se muestra con la flecha. En (c) se tienen

también 3 componentes de reacción pero las líneas de acción se encuentran en un punto. La estructura es inestable porque puede girar alrededor de ese punto.

Y ¿qué pasa cuando la estructura tiene una componente de reacción adicional a las necesarias para su estabilidad? Caso (d). Se dice entonces que la estructura tiene una reacción superabundante o una redundancia. Desde el punto de vista del análisis no puede obtenerse la evaluación de las reacciones, mediante la utilización única de las ecuaciones de la estática y se dice que la estructura es externamente estáticamente indeterminada. En este caso de grado de indeterminación 1.

Conclusión: Para la Estabilidad externa en el plano se requiere un mínimo de 3 componentes de reacción que no pueden ser paralelas ni concurrentes.

Es necesario también analizar la estabilidad interna (fig.4).



Estructuras planas de nudos no Rígidos

Fig. 4

En la figura 4 se muestra una estructura de nudos no rígidos en forma de cuadro. Se ilustran los tipos de soporte en una forma alterna que suele ser la más utilizada. En (a) se tiene una disposición claramente inestable. En (b) se tiene una estable y corresponde a lo expuesto en el sentido de que: al disponer de un triángulo base, basta agregar dos barras adicionales por cada nudo adicional. En (c) se ve que hay otra diagonal que no es necesaria para la estabilidad y que constituye una magnitud superabundante o redundancia. Se dice además que la

estructura tiene un grado de indeterminación. En (d) se muestra otra disposición que no implica inestabilidad. Se pregunta: ¿es determinada o indeterminada?

Es muy importante, entonces, definir desde un principio el tipo de estructura, estableciendo, claramente, su estabilidad. Habiendo superado esa instancia, se establece la determinación o indeterminación estática, para proceder a elegir los métodos aplicables del análisis estructural.

2. EL ANÁLISIS GRÁFICO DE CERCHAS

2.1 Introducción

Se presenta, muy resumidamente, el método gráfico para el análisis de estructuras planas de nudos no rígidos (cerchas) estáticamente determinadas. Se considera, como hipótesis fundamental, que, si se buscan las condiciones para que toda una estructura y cada una de sus partes esté en equilibrio estático, se requiere que la resultante de todas las fuerzas que actúan en cada caso sea nula. En otras palabras, que el polígono de fuerzas para cada elemento sea cerrado. La parte operativa, se logra mediante la utilización de elementos de dibujo básicos como las escuadras y las escalas.

La metodología es muy útil para el dimensionamiento preliminar propio de los estudios iniciales, y también, en la necesaria verificación de los diseños, sin recurrir a procedimientos más extensos y tediosos y fue, además, muy utilizada desde mediados del siglo XIX antes del advenimiento del cálculo electrónico.

2.2 La Convención de Bow

En primer término, es importante definir un sistema para la denominación de los elementos constitutivos lo mismo que de las fuerzas. Se presenta la metodología más difundida en el medio, conocida como la Convención de Bow. Las fuerzas, tanto las externas como las internas, se designan por los espacios que las limitan. Así, en la figura 5, se denominan los espacios internos con números y los externos entre las cargas y reacciones con letras.

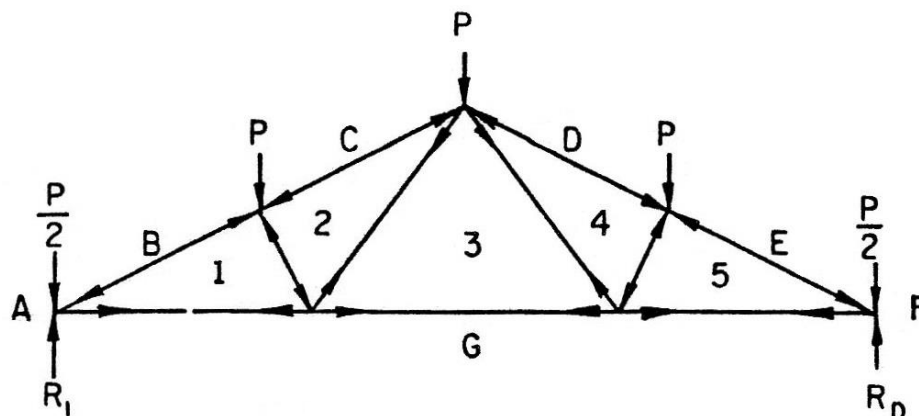


Diagrama de la cercha

Fig. 5

Entonces, por ejemplo: la reacción de la izquierda será la fuerza GA . La fuerza aplicada en la corona será la fuerza CD . La fuerza en el centro del cordón inferior será la fuerza $3 - G$ ó $G - 3$ y así sucesivamente. Los nudos se designan numerando, en sentido del giro de las manecillas del reloj, los espacios que les son vecinos.

2.3 Cálculo de las Fuerzas en los elementos

Cerchas con cargas verticales aplicadas en el cordón superior (fig. 5)

Se calculan, en primer término, las reacciones bien sean por medio de las ecuaciones de la estática, o mediante el uso de los métodos gráficos. Se procede luego, al dibujo a una escala convenientemente elegida, de todas las fuerzas externas; en la figura 6, los tramos $a - b$, $b - c$, $c - d$, $d - e$, $e - f$, y las reacciones $f - g$ (*Reacción Derecha*) y $g - a$ (*Reacción Izquierda*). Claramente, constituyen un polígono de fuerzas cerrado por estar en equilibrio.

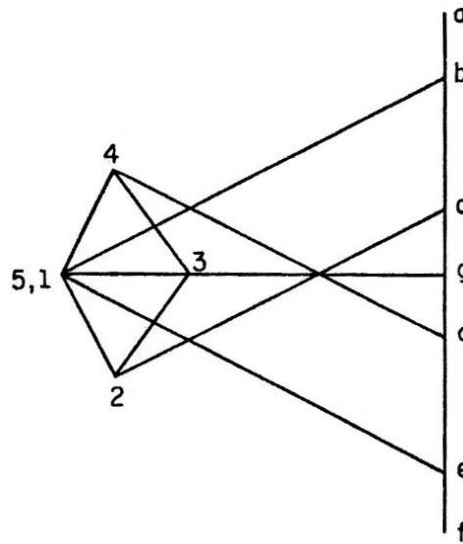


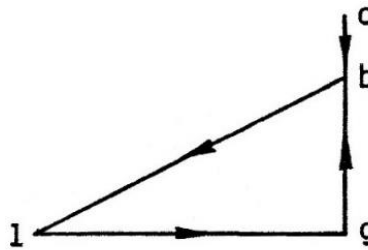
Diagrama de fuerzas

Fig. 6

Seguidamente, se considera la condición necesaria de equilibrio, analizando nudo por nudo. Debe recordarse que el método gráfico no es otro que el del equilibrio de los nudos; entonces, es necesario plantear la condición de que las fuerzas que concurren a un nudo estén en equilibrio o sea que su polígono de fuerzas sea cerrado.

Se empieza con el nudo izquierdo $A - B - 1 - G$; ya está dibujada la fuerza aplicada $a - b$ en el polígono de fuerzas (minúsculas) y también la reacción $g - a$. Para la construcción del

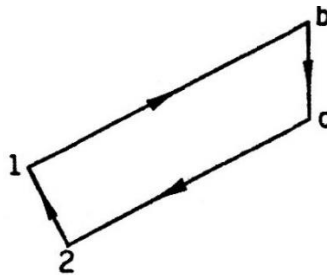
resto del polígono para este nudo, se traza por el punto b una paralela a la cuerda $B - 1$ y por el punto G una paralela a la cuerda $1 - G$, las cuales se cortan en el punto 1 del polígono de fuerzas. En la figura 7 se presenta el gráfico para este nudo únicamente. Siempre se analizará cada nudo en el sentido de las agujas del reloj. En el polígono de fuerzas, las rectas $b - 1$ y $1 - g$ dan las fuerzas en magnitud y sentido en los elementos correspondientes de cercha.



Polígono de fuerzas para nudo ABIC

Fig. 7

Para analizar el nudo $B - C - 2 - 1$, se tendrán en cuenta a las fuerzas $1 - b$ y $b - c$ en el polígono de fuerzas. Por el punto 1 se traza una paralela a la cuerda $1 - 2$ y por el punto c una paralela a la cuerda $C - 2$. El punto de intersección determina el punto 2 en el polígono de fuerzas; las rectas $2 - 1$ y $c - 2$, dan las fuerzas en dirección y sentido para los elementos correspondientes. En la figura 8 se presenta el polígono para este nudo únicamente.



Polígono de fuerzas para nudo BC 21

Fig. 8

Se procede luego con el nudo $1 - 2 - 3 - G$ y luego con los demás. En la figura 6 se presentan conjuntamente todos los polígonos de fuerza.

Cerchas con cargas verticales aplicadas en el cordón superior y en el cordón inferior.

En la figura 9 se presenta un caso en el cual existen cargas aplicadas tanto en el cordón superior como en el inferior; y en la figura 10 se presenta el diagrama de fuerzas correspondiente.

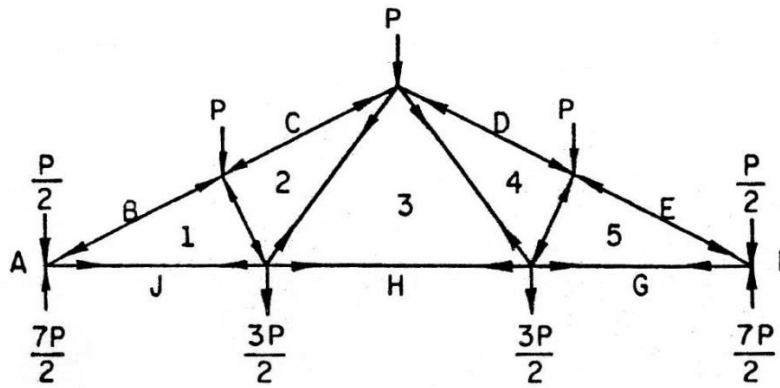


Diagrama de la cercha

Fig. 9

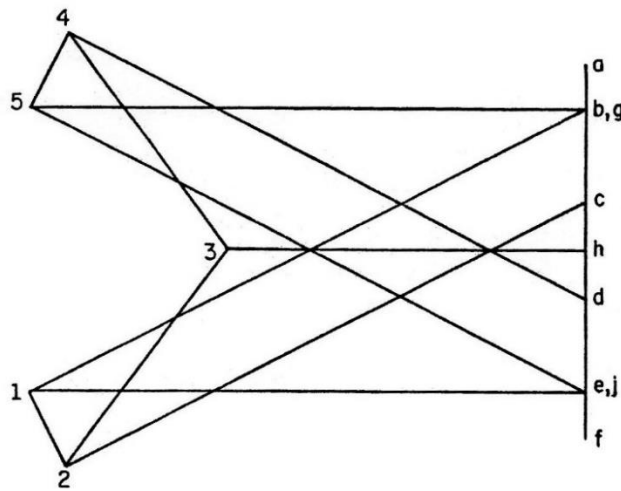


Diagrama de fuerzas

Fig. 10

Cerchas con cargas de viento en un lado con un apoyo fijo y un apoyo móvil (figura 11).

En primer término, se procede al cálculo de las reacciones. En la figura 11, el apoyo de la izquierda es móvil entonces la reacción R_I debe ser vertical. Esta línea de acción encontrará a las resultantes de las fuerzas en el punto P . La reacción R_D debe concurrir con las fuerzas P y con R_I . Entonces uniendo el apoyo fijo derecho con el punto P , se obtiene la línea de acción de la reacción R_D obteniéndose así, fácilmente, la magnitud y dirección de las reacciones.

Seguidamente se hace el cálculo de las fuerzas en los elementos mediante la construcción del diagrama de fuerzas (fig. 12).

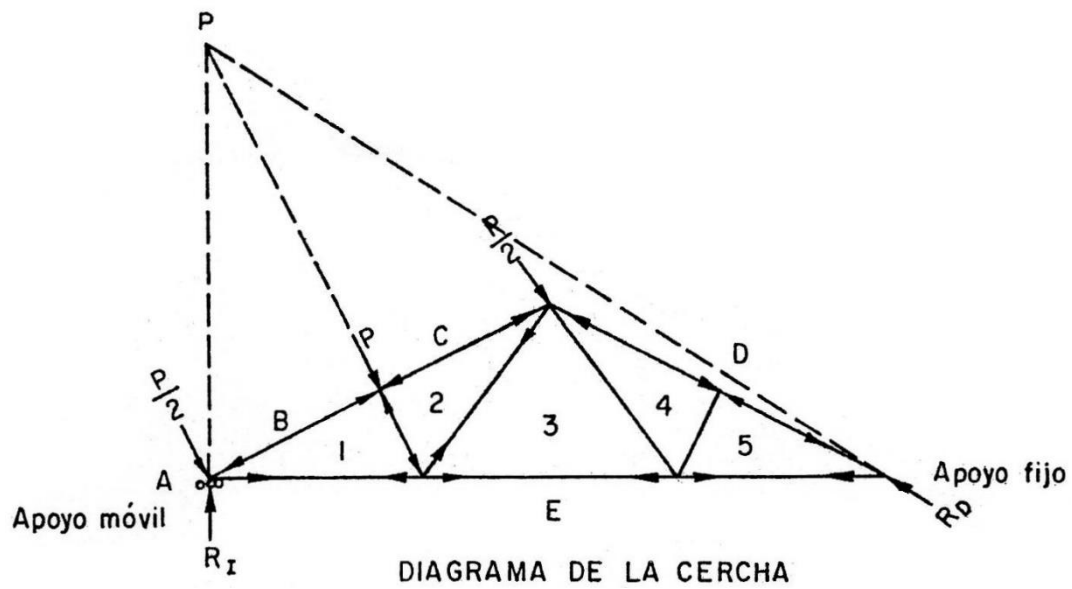


Fig. 11

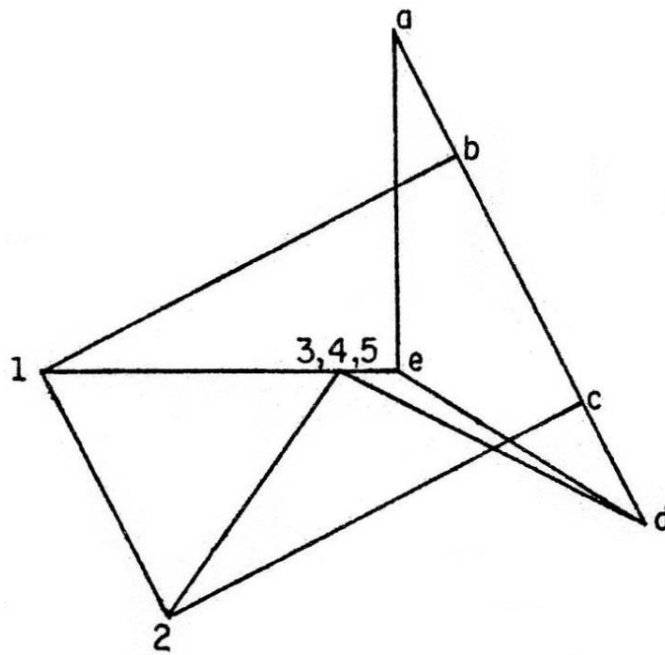


Diagrama de fuerzas

Fig. 12

$a-b$, $b-c$, $c-d$, son las fuerzas externas; $d-e$ y $e-a$ son las reacciones RD y RI respectivamente.

Para analizar el nudo $A - B - I - E$ teniendo ya dibujadas las fuerzas $e - a$ y $a - b$. Se traza por b una paralela a la línea $B - 1$ de la cercha y por e una paralela a línea $1 - E$ de la misma cercha. Estas líneas se encuentran en el punto 1. Las líneas $b - 1$ y $1 - e$ determinan en magnitud y sentido las fuerzas en las barras correspondientes y así sucesivamente.

Es interesante notar que para esta estructura y para las cargas estudiadas, las fuerzas en los elementos $3 - 4$ y $4 - 5$, es nula, puesto que los puntos 3, 4 y 5 del diagrama de fuerzas coincide.

Cerchas con cargas de viento: en un lado compresión y en la otra succión (fig. 13).

En primer término, se calculan las reacciones, lo cual puede hacerse gráficamente como se ilustra en la figura 13. Primero se calculan los resultantes de las fuerzas aplicadas P normal al agua de la izquierda y $2P$ a la de la derecha.

La resultante de estas fuerzas es XZ y se corta con RD (Reacción derecha) la cual tiene que ser normal a la horizontal, por ser un apoyo móvil, en el punto P . Seguidamente se une el punto P con el apoyo izquierdo obteniéndose la dirección de RI (Reacción izquierda).

A continuación, puede construirse el diagrama de fuerzas como se ilustra en la figura 14.

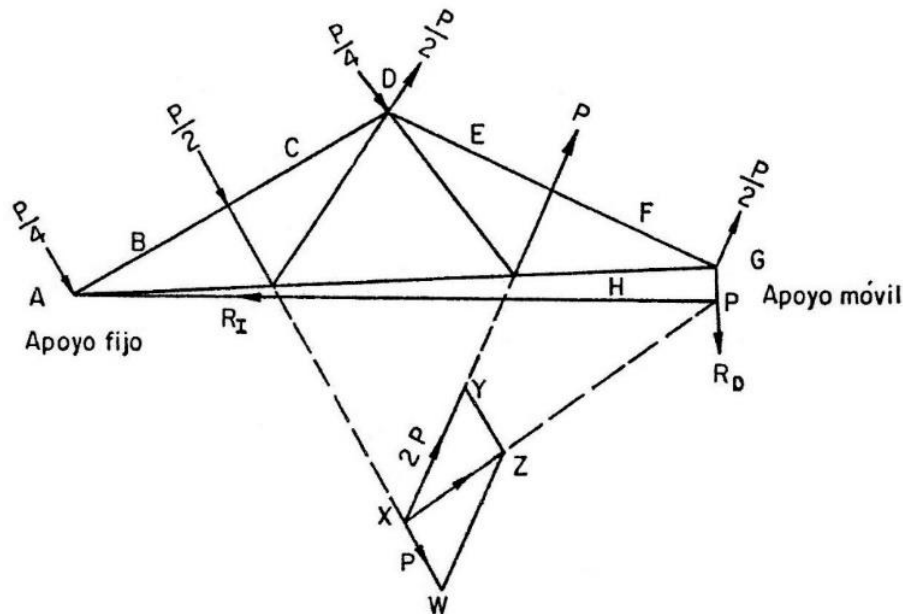


Diagrama de fuerzas externas

Fig. 13

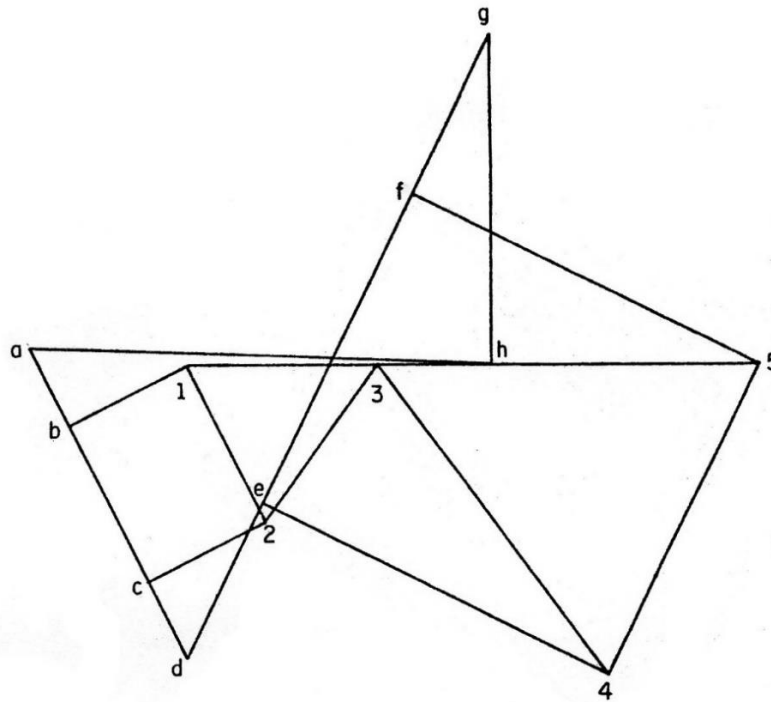


Diagrama de fuerzas internas Fig.14

Otros Casos

Con fines ilustrativos, en las figuras 15a, 15b, 16a, 16b, 17^a y 17b, se presentan algunos casos muy simples y de común ocurrencia de cerchas sometidas a cargas verticales.

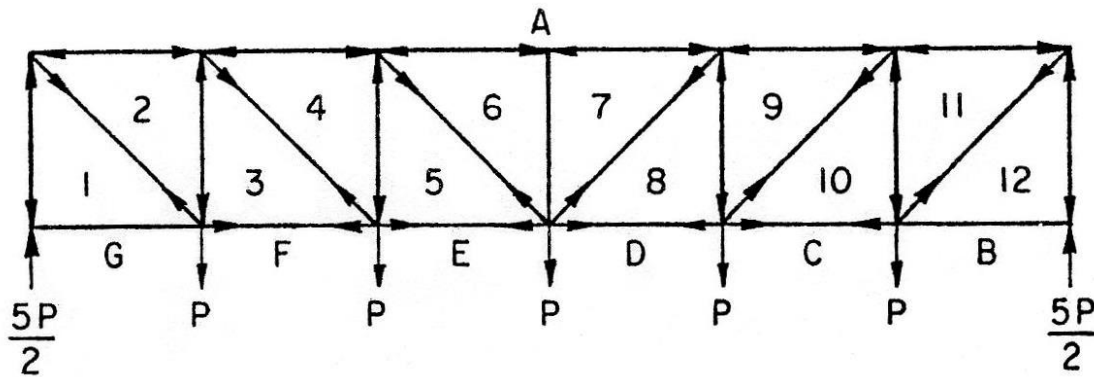


Diagrama de la cercha Fig. 15a

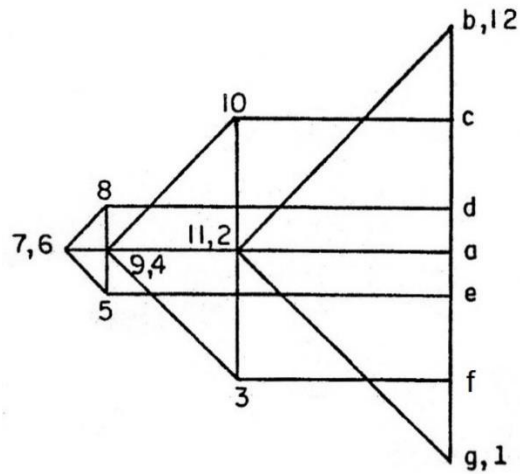


Diagrama de fuerzas
Fig. 15b

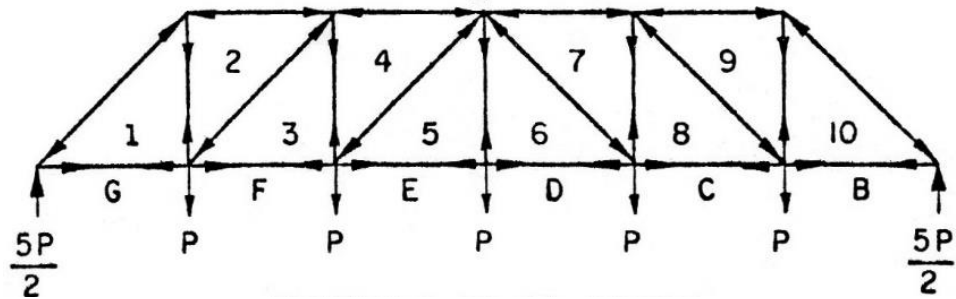


Diagrama de la cercha
Fig. 16a

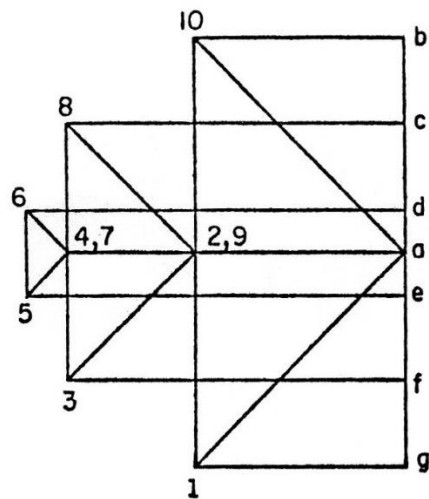


Diagrama de fuerzas
Fig. 16b

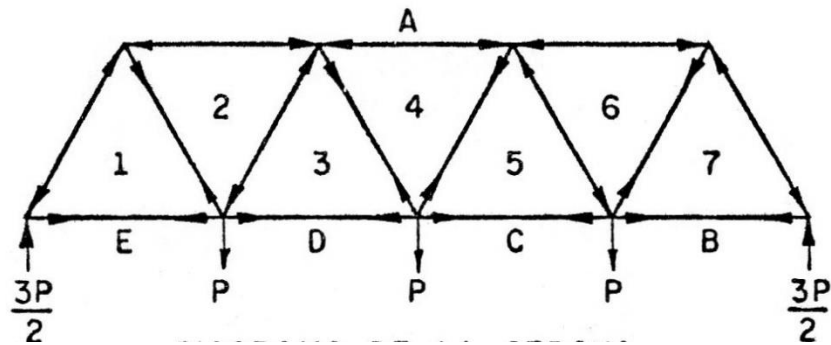


Diagrama de la cercha

Fig. 17a

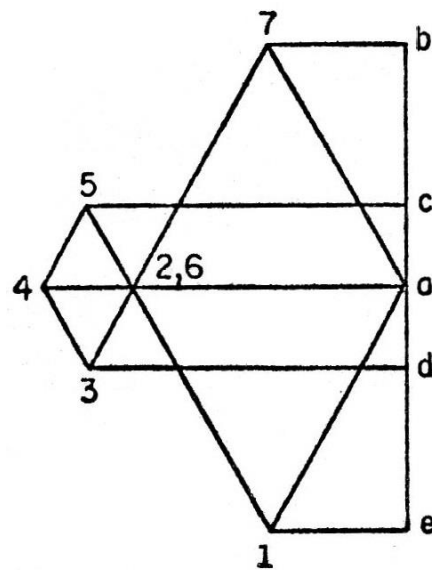


Diagrama de fuerzas

Fig. 17b

2.4 El diagrama de Williot – Mohr

Una vez obtenidas las fuerzas en las barras, es preciso determinar las deformaciones axiales o alargamientos de las barras, mediante la relación conocida $\Delta L = PL \div AE$. También es necesario calcular las deflexiones de la estructura, que pueden obtenerse por métodos energéticos como el de la Carga Ficticia derivado de la aplicación de la ley de los Trabajos Virtuales que pueden resultar muy tediosos. (Referencias 8 y 9)

Existen también, procedimientos gráficos que pueden resultar más expeditos para estructuras de baja complejidad y más útiles en el dimensionamiento previo propio del estudio de alternativas.

En la figura 18(a) se presenta una porción de estructura elemental de nudos no rígidos, ABC.

Se suponen conocidos los desplazamientos BB' y CC' de los nudos B y C ; asimismo las deformaciones de las barras 1 y 2.

Se busca determinar el desplazamiento del nudo A . (Referencias 7 y 9)

Suponiendo que las barras están sueltas, la posición $A'B'$ corresponde al desplazamiento del nudo B . Asimismo $A''C'$ corresponde al desplazamiento del nudo C .

Sobre la barra $B'A'$ se traza la deformación $\Delta L_1 = A'A_1'$ y sobre la barra $A''C'$, se traza $A''A_1'' = \Delta L_2$. Notar que se tienen alargamiento y acortamiento, respectivamente.

Como es necesario restaurar la continuidad, deben girarse las barras 1 y 2. Tratándose de pequeñas deformaciones, los arcos que describirían los puntos A_1' y A_1'' pueden reemplazarse por cuerdas perpendiculares a las barras, que se cortan en el punto A_1 .

AA_1 da el desplazamiento buscado. Por facilidad se suele utilizar un cambio de escala y hacer esquemas como el mostrado en la figura 18b correspondiente al área sombreada, definiendo un polo O coincidiendo con el punto A .

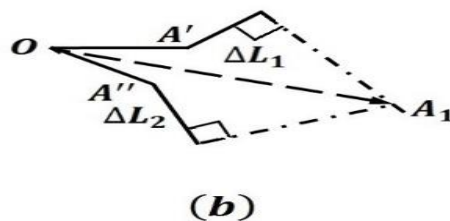
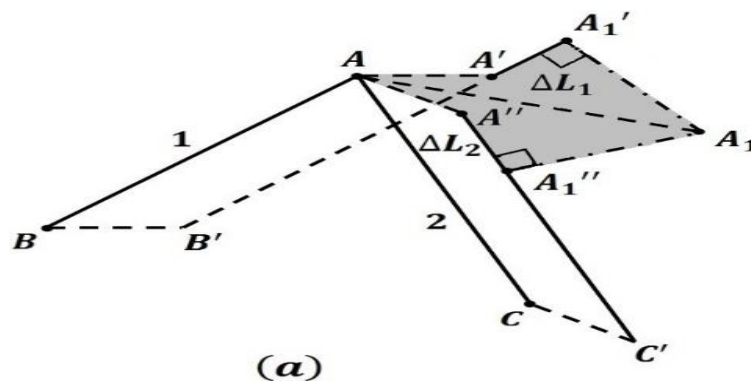
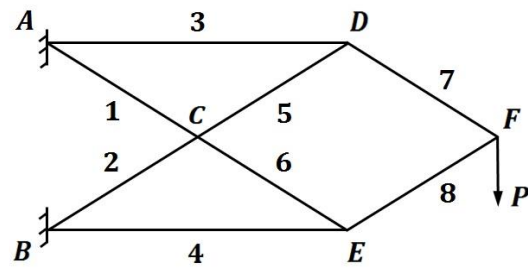
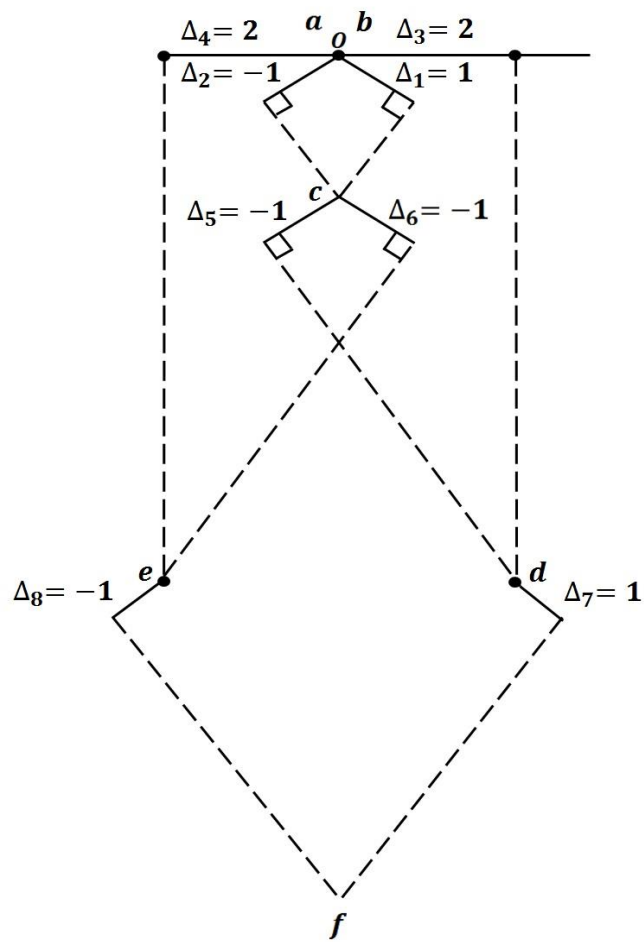


Diagrama de Williot – Mohr
Fig. 18



(a)



(b)

Diagrama de Williot-Mohr- Ejemplo.

Fig. 19

Para mayor ilustración, se repasa un ejemplo presentado por Timoshenko (Referencia 9.).

Luego de analizar la estructura de la figura 19 (a), se tienen las siguientes deformaciones relativas:

Elemento	ΔL_i	Elemento	ΔL_i
1	1	5	-1
2	-1	6	1
3	2	7	1
4	-2	8	-1

El procedimiento vale para estructuras formadas de acuerdo con la hipótesis inicial del triángulo base estable, agregando 2 barras por cada nudo adicional. Considerando que el polo, punto fijo O coincide con a, b correspondientes a los nudos fijos A y B .

Partiendo del punto O , se trazan paralelas a las barras 1 y 2, que conforman con los apoyos, el triángulo inicial, y se miden sobre ellas los alargamientos Δ_1 y Δ_2 . Luego se trazan las perpendiculares, punteadas, y se determina su intersección c , que da la recta Oc el desplazamiento del nudo c . Partiendo del punto c , se traza una paralela a la barra 5 y se marca sobre ella la deformación Δ_5 .

Asimismo, partiendo del nudo a sobre la paralela a la barra 3 se marca Δ_3 . Trazando las respectivas normales, punteadas, se determina la posición del nudo d dada por el vector Od . También, para determinar la posición del nudo E , se mide Δ_4 sobre la paralela a la barra 4 y Δ_6 sobre la paralela a la barra 6, partiendo del nudo c determinando el punto e .

Siguiendo el procedimiento se determina la posición final del punto f dado por el vector \overline{Of} . Para fijar los conceptos, se repasa el ejemplo analizado por Timoshenko, Referencia 9, mostrado en la figura 20a en donde se presenta una cercha plana $ABCDE$ sometida a una carga vertical P , aplicada en el nudo E .

Una vez finalizado el análisis, con la obtención de las fuerzas en los elementos, se calculan los alargamientos $\Delta L_i \quad i = 1, 2 \dots 7$.

En la figura 20b, se ilustra el procedimiento ya expuesto.

Se empieza por el nudo A , punto fijo, y se asume que la barra AE permanece horizontal, o sea que el punto E se desplaza horizontalmente, el alargamiento de la barra AE a partir del polo O . Conocidos los desplazamientos de A y E puede determinarse el desplazamiento del nudo B , trazando por e' una paralela a la barra 4 y midiendo el alargamiento Δ_4 a partir del polo O, a' ; se traza la paralela a la barra 1 y se mide el acortamiento Δ_1 ; notar que se mide de B hacia A por ser acortamiento. Trazando las normales mostradas punteadas y se determina su intersección en b' definiendo el vector $\overline{Ob'}$ que da el desplazamiento del nudo B . Procediendo

similarmente partiendo de los puntos b' y e' midiendo Δ_3 el alargamiento de la barra 3 y Δ_5 el alargamiento de la barra 5, respectivamente. Trazando las normales, se determina a la intersección c' , y el vector $\overline{Oc'}$ da el desplazamiento del nudo C .

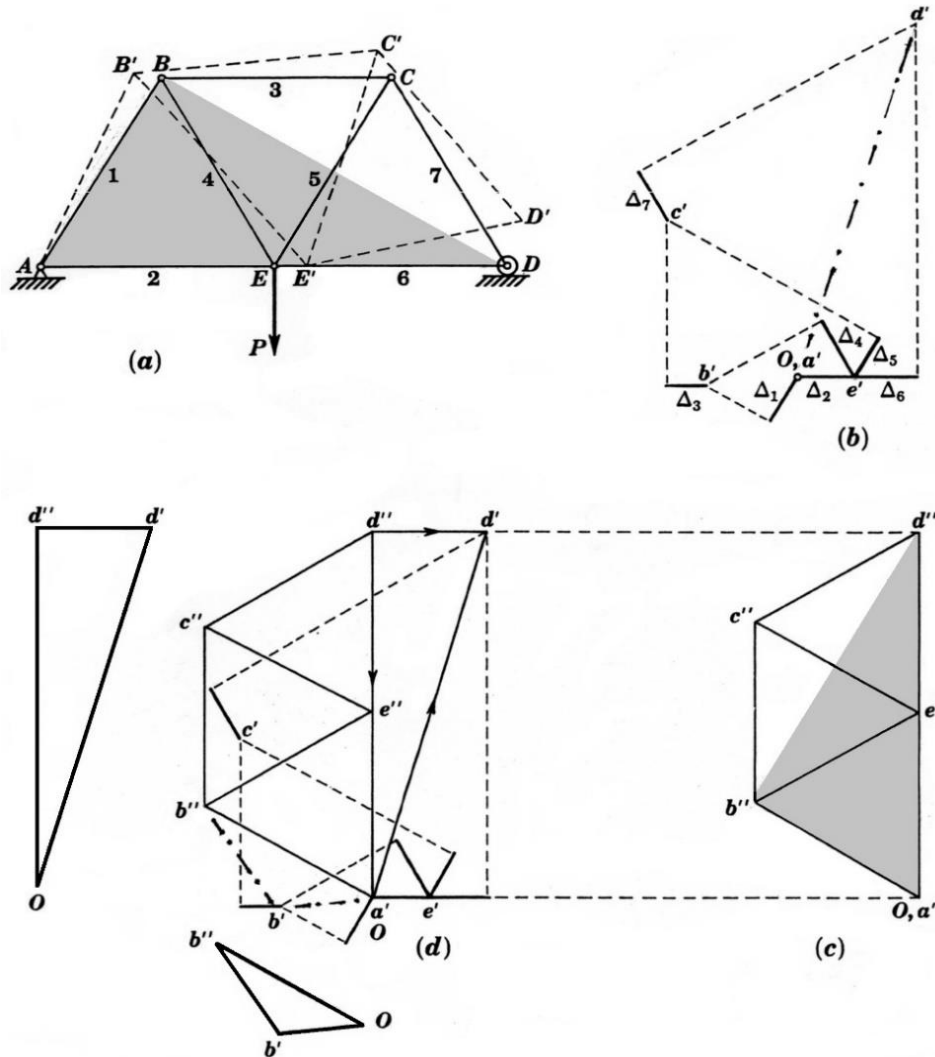


Diagrama de Williot - Mohr

Fig. 20

Finalmente, se determina el punto d' y el vector $\overline{Od'}$ da el desplazamiento del nudo D . Con los vectores de posición $\overline{Oe'}$, $\overline{Ob'}$, $\overline{Oc'}$, $\overline{Od'}$ puede construirse la deformada de la estructura que se muestra punteada en la figura 20a. Claramente, se ve que el desplazamiento del nudo D no corresponde con la realidad, porque el soporte en D , articulación móvil, exige que su desplazamiento sea horizontal. Entonces, debe girarse la estructura punteada para que D' coincida con el punto D . De tal giro, se obtienen unos desplazamientos que deben superponerse a los ya obtenidos para obtener así, los desplazamientos reales.

Se asume que el giro es “pequeño” puesto que la estructura $AB'C'D'E'$ se aproxima a la real. En lugar de arcos se consideran cuerdas normales a la barra.

Al girar alrededor del punto A , el punto D' se mueve perpendicularmente a la barra AD y asimismo los demás puntos, por ejemplo, el punto C' se desplaza normal a la longitud AC . Los desplazamientos son, entonces, proporcionales a las distancias o sea las longitudes o radios AD, AC , etc. La rotación requerida por el punto D' , es igual a la componente vertical del desplazamiento $\overline{Od'}$.

En la figura 20c, Od'' es la componente vertical del vector $\overline{Od'}$.

Se construye entonces $Ob''c''d''e''$ semejante a la cercha original girada 90° . Los vectores $\overline{b''O}, \overline{c''O}, \overline{d''O}, \overline{e''O}$ dan los desplazamientos debidos al giro, porque tales vectores son perpendiculares y proporcionales a los radios. El vector $\overline{b''O}$ de la figura (c) es normal a la barra AB de la figura (a) y de la semejanza de los triángulos sombreados $\frac{\overline{b''O}}{AB} = \frac{\overline{d''O}}{AD}$.

Asimismo, $c''O$ es perpendicular a AC y $\frac{\overline{c''O}}{AC} = \frac{\overline{d''O}}{AD}$.

Seguidamente, se superponen las figuras (b) y (c), como se muestra en (d), haciendo coincidir los polos O .

Como se indica para los nudos b y d , los vectores $\overline{b''b'}, \overline{c''c'}, \overline{d''d'}$ y $\overline{e''e'}$ dan los desplazamientos totales de los nudos B, C, D y E . Para el nudo b , se superpone $\overline{Ob'}$ de la figura (b) con Ob' de la figura (c). Para el nudo d , se superpone $\overline{Od'}$ de la figura (b) con Od'' de la figura (c).

También, se plantea en la referencia 9, otro ejemplo, en donde se ilustra cómo se complica la solución gráfica al tener un número relativamente considerable de barras. Figura 21.

Según se presenta en dicha referencia, al elegir como punto fijo, por ejemplo, al nudo H , el diagrama de los desplazamientos debidos a los alargamientos determinados es muy extenso y propenso a la comisión de errores, sugiriendo en consecuencia la utilización de nudo A como punto fijo y, además, que la barra AB se deforma verticalmente.

Así entonces, en el diagrama de alargamientos y giros se tiene el polo Oa' .

Ob' es el alargamiento de la barra 1, $\Delta 1$. Partiendo de Ob' se trazan $\Delta 8$ y $\Delta 9$ alargamientos de las barras 8 y 9 y sus normales se intersectan en f' . Para determinar c' se parte de Oa' y b' , se localizan $\Delta 2$ a partir de b' y $\Delta 3$ a partir de Oa' y sus normales se encuentran en c' y así sucesivamente; $\overline{Of'}$ y $\overline{Oc'}$ son vectores de posición de los nudos f' y c' .

Así, para la parte derecha de la barra 1 se obtienen los puntos c', d', e' y para la izquierda f', g', h' .

mismo para los demás nudos. Para efectuar la segunda corrección, se requiere que se gire alrededor de H obteniendo $\overline{e''h'}$ del nudo E que sumado con $\overline{h'e'}$ da como resultante $\overline{e''e'}$ en la horizontal. Ver Figura 21.

Para obtener los demás desplazamientos debidos al giro, se construye la figura $e''h''f''b''c''$ semejante geoméricamente a la cercha original, girada 90° . Los vectores $\overline{a''a'}, \overline{b''b'}, \overline{c''c'}$... dan los desplazamientos finales como se ve en el ejemplo anterior.

Las proyecciones de estos vectores sobre las verticales trazadas por los puntos H, G, D, A, E dan los desplazamientos verticales. Claramente $\overline{h'h'}$ y $\overline{e'e'}$ no tienen proyección. Para los puntos G, A, D , debe medirse a partir de la línea h_0e_0 .

Con fines ilustrativos, se muestran en las Figuras. 22 y 23 dos ejemplos tomados de la referencia número 8.

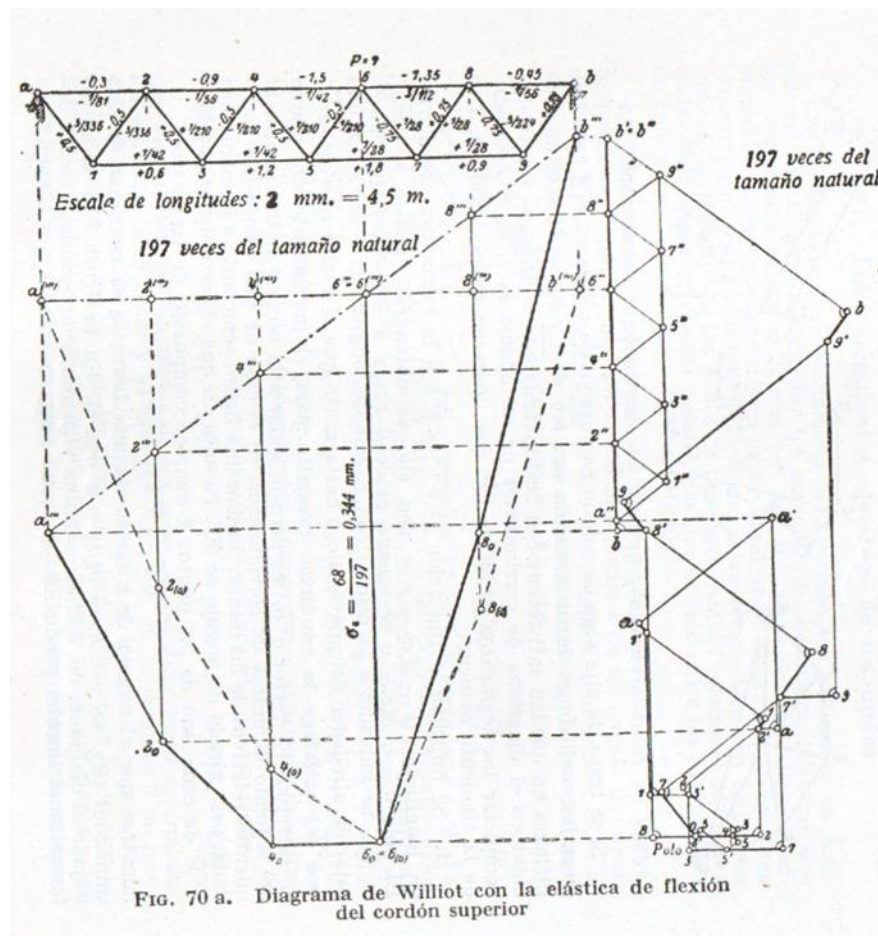


Fig. 22

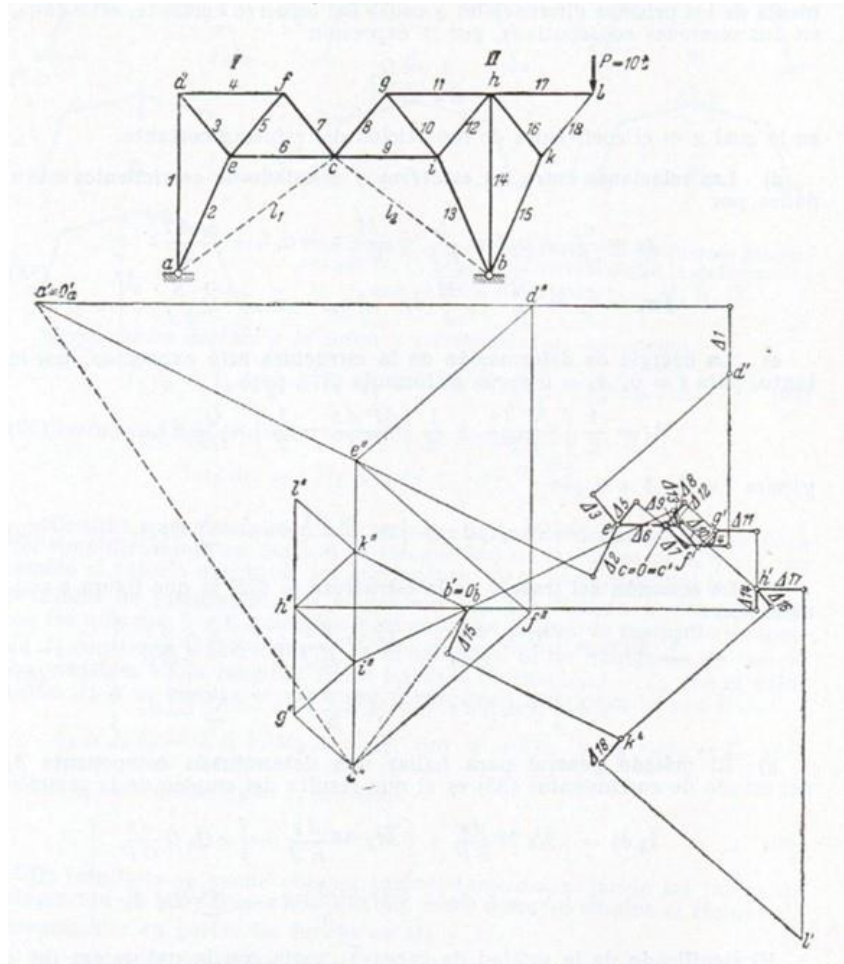


Fig. 23

REFERENCIAS

- [1].
- [2]. Belluzzi O., Ciencia de la Construcción. Aguilar 1977.
- [3]. Beyer K., Estática del Hormigón Armado. Librería y Editorial Nigar. 1957.
- [4]. Firmage. D.A., Fundamental Theory of Structures. John Wiley and sons. Inc. 1963.
- [5]. Henkel O. Estática Gráfica. Editorial Labor S.A. 1959.
- [6]. Norris Ch.H., Wilbur J.B., Elementary Structural Analysis. McGraw Hill Book Co. Inc. 1960
- [7]. Rodón E., Lo que no encontré en los tratados de construcción. Editorial Reverté S.A. 1957.
- [8]. Saliger R., Estática Aplicada. 3ª edición. Editorial Labor S.A. 1959.
- [9]. Schleicher F., Manual del Ingeniero Constructor. Editorial Labor S.A. 1960
- Timoshenko S., Young D.H., Theory of Structures. McGraw Hill Book Co. Inc. 1965

INSTRUCCIONES PARA PUBLICAR EN LA REVISTA SAI

Autor

*Títulos y afiliación
email*

Resumen: Incluir un resumen de no más de 200 palabras

Palabras clave: Palabra Clave 1, Palabra Clave 2, Palabra Clave 3, Palabra Clave 4, Palabra Clave 5,

1. 1CONTENIDO

1.1 TIPO DE ARTÍCULOS

Queremos publicar en cada edición:

- Artículos con opiniones, ensayos y reflexiones de fondo sobre temas esenciales y vitales para la ingeniería y la arquitectura, los proyectos importantes y los asuntos de importancia.
- Notas históricas, crónicas, notas sobre personajes importantes, sobre empresas y entidades, y sobre proyectos importantes, para registrar hitos de nuestras profesiones, de sus proyectos y de la actividad empresarial e institucional.
- Notas culturales que ilustren y amplíen la visión interdisciplinar e integral y que destaquen los ricos aspectos estéticos, artísticos, literarios, históricos que dan calidad de vida a la región y a las actividades de nuestras profesiones.
- Notas técnicas y científicas ilustrativas, que destaquen y divulguen los avances en la ciencia, en la tecnología, en el estado del arte de los temas que atañen a nuestras profesiones.
- Artículos técnicos y científicos que se refieran a estudios, investigaciones, avances, desarrollos, sean originales o de divulgación. En el primer caso, serán sometidos a revisión de pares.

Los trabajos deben ser originales de los autores.

Nuestra revista será publicada digitalmente, con la posibilidad futura de imprimir cantidades limitadas, en caso de lograr el patrocinio respectivo, para distribución limitada. Nuestra idea es evolucionar continuamente con la revista, registrarla dentro de los sistemas que acogen este tipo de revistas, para llevarla cada vez más a lograr una posición valiosa en nuestro medio, como un vehículo de expresión de todos aquellos que deseen compartir sus conocimientos, experiencias valiosas y reflexiones en temas relacionados con nuestro gremio y nuestras profesiones y sus proyecciones y logros. Igualmente deseamos que sea un medio

para divulgar a nuestros empresarios y a sus proyectos comerciales y negocios, a través de la publicidad, con la idea también de generar algunos recursos para la SAI, además de cubrir los costos que pueda tener este esfuerzo editorial.

1.2 INSTRUCCIONES VARIAS

El contenido debe elaborarse con este formato en tipo de letra Times New Roman, a un solo espacio.

Las figuras deben ir numeradas consecutivamente en el siguiente formato, colocado debajo de la figura

Figura xxx nombre origen (si no es de elaboración propia)

Las tablas deben ir numeradas consecutivamente en el siguiente formato, colocado antes de la tabla

Tabla yyy nombre origen (si no es de elaboración propia)

Las tablas deben entregarse en formato editable, para que los editores puedan revisar que su formato se alinee bien con la revista. No se aceptan tablas demasiado extensas (de más de una página) y deben caber en la disposición vertical que tiene la revista.

Si se desea señalar referencias numeradas y listadas en las referencias finales, usar [ZZ] este formato, vigilando que el número corresponda a la de la lista de referencias al final. En lo posible listar primero las referencias señaladas en el texto

Cada autor deberá firmar una autorización de derechos de autor según formato entregado por la SAI

2. CONCLUSIONES

Señalar las conclusiones significativas.

REFERENCIAS

Deben incluirse al menos tres referencias

[1] Autores, Título del trabajo, fuente.

[2] Para referencias basadas en internet y páginas web señalar la fuente, el enlace en versión corta y la fecha de consulta



Sociedad Antioqueña de
Ingenieros y Arquitectos

L a F u e r z a d e l a R a z ó n - 1 9 1 3

     @SAIAntioquia