



**Propuesta de Eficiencia Energética para la Reducción de Consumo en Data Centers: Caso de estudio: LS Cable & System**

**Elaborado por:**

**Luis Fernando Pedroza Gonzalez**

**Santiago Cadavid Estrada**

**Tatiana Carolina Prieto Velandia**

**Presentado a:**

**William López Castrillón**

**Universidad EAN**

**Proyecto de Integración- Grupo 3**

**Bogotá D. C.**

**20 de Octubre, 2025.**

**Tabla de contenido**

<b>Resumen .....</b>	<b>3</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>4</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>6</b>
<b>Objetivo General.....</b>	<b>6</b>
<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>6</b>
<b>Definición del problema de investigación.....</b>	<b>7</b>
<b>Justificación.....</b>	<b>10</b>
<b>Análisis de Requerimientos .....</b>	<b>11</b>
<b>Marco Teórico.....</b>	<b>14</b>
<b>Normatividad y Compromisos Internacionales.....</b>	<b>16</b>
<b>Marco Institucional.....</b>	<b>17</b>
<b>Análisis de Restricciones .....</b>	<b>18</b>
<b>Metodología para la selección y desarrollo de la solución .....</b>	<b>21</b>
<b>Análisis de costos de diseño y prototipado .....</b>	<b>28</b>
<b>Plan de implementación.....</b>	<b>36</b>
<b>Conclusión .....</b>	<b>40</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>44</b>

## Resumen

El presente proyecto plantea una propuesta de eficiencia energética orientada a la reducción del consumo eléctrico en data centers, tomando como caso de estudio a LS Cable & System, empresa especializada en infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones. Los centros de datos se han convertido en piezas fundamentales de la economía digital, pero su operación demanda altos niveles de energía que representan un desafío tanto económico como ambiental. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, estas instalaciones consumen entre el 1 % y el 1,5 % de la electricidad mundial, y esta cifra podría aumentar de manera significativa en la próxima década. En América Latina, el sector presenta un crecimiento estimado del 10 % al 12 % anual hasta 2030, consolidándose como una región estratégica para el desarrollo de infraestructura digital. En el caso de Colombia, el país se ha posicionado como un hub regional gracias a inversiones extranjeras y a las políticas de transformación digital impulsadas por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Bajo este contexto, la investigación se estructura en tres componentes: diagnóstico del consumo energético, análisis de los impactos ambientales y formulación de estrategias de eficiencia adaptadas al contexto empresarial de LS Cable & System. Los resultados esperados buscan aportar a la reducción de costos operativos, mitigar la huella de carbono y contribuir al cumplimiento de compromisos internacionales como el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

**Palabras clave:** eficiencia energética, data centers, sostenibilidad, reducción de consumo, huella de carbono, LS Cable & System.

## **Introducción**

Los centros de datos se han consolidado como la columna vertebral de la economía digital moderna, al posibilitar el almacenamiento, procesamiento y distribución de grandes volúmenes de información en tiempo real. Estos sistemas sustentan operaciones críticas como servicios en la nube, telecomunicaciones, comercio electrónico, inteligencia artificial y transacciones financieras (Shehabi et al., 2018). Sin embargo, su rápido crecimiento plantea un desafío significativo: el elevado consumo de energía y los impactos ambientales asociados. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, los data centers consumen entre el 1 % y el 1,5 % de la electricidad mundial, cifra que podría incrementarse de manera considerable hacia 2030 si no se implementan estrategias efectivas de eficiencia energética (IEA, 2022). Esta situación ha motivado a gobiernos, organismos internacionales y empresas tecnológicas a impulsar políticas orientadas a optimizar el uso de la energía y reducir la huella de carbono del sector.

En América Latina, el mercado de data centers crece entre un 10 % y un 12 % anual, consolidándose como un polo atractivo para la inversión extranjera en infraestructura digital (IDC, 2023). En este contexto, Colombia se ha posicionado como un hub regional gracias a su ubicación geográfica, estabilidad regulatoria y políticas de transformación digital, factores que han atraído a compañías internacionales interesadas en instalar o ampliar sus operaciones en el país (MinTIC, 2023). No obstante, este crecimiento exige garantizar que las infraestructuras cumplan con estándares internacionales de eficiencia energética y sostenibilidad ambiental.

La expansión de los centros de datos en Colombia ocurre en un escenario de creciente demanda eléctrica y políticas estatales que promueven tanto la digitalización como la eficiencia energética. En este marco, la optimización del consumo energético se convierte en un factor clave para la sostenibilidad del sistema eléctrico y la competitividad empresarial. El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) ha

respaldado la construcción de infraestructura de data centers como parte de su estrategia para fortalecer las capacidades digitales e impulsar la inteligencia artificial en el país (MinTIC, 2023).

Adicionalmente, la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) incluye la demanda proyectada del sector TIC en sus estimaciones energéticas y programas de eficiencia, previendo que la demanda de electricidad crezca entre un 1,98 % y un 4,34 % anual en el periodo 2024-2038 (UPME, 2024). A escala global, adoptar tempranamente prácticas de eficiencia y fuentes renovables permite aliviar la presión sobre la red eléctrica y reducir la huella de carbono del crecimiento digital. En el ámbito nacional, el Ministerio de Minas y Energía, mediante el Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales (PROURE), establece marcos regulatorios e incentivos para impulsar el ahorro en sectores intensivos en consumo energético, alentando a los operadores de infraestructura digital a adoptar medidas de eficiencia que fortalezcan su competitividad (Ministerio de Minas y Energía, 2023).

En Colombia, la sostenibilidad ambiental y la eficiencia energética son ejes fundamentales para alcanzar un desarrollo económico compatible con la protección del medio ambiente. La Constitución y la Ley 697 de 2001, modificada por la Ley 1715 de 2014, establecen el uso racional y eficiente de la energía como un asunto de interés social, público y nacional. En consonancia, el PROURE define metas de ahorro y lineamientos técnicos para sectores productivos y servicios públicos, fomentando la adopción de tecnologías limpias y prácticas de gestión energética (Ministerio de Minas y Energía, 2023). Estas políticas no solo contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también fortalecen la competitividad empresarial al reducir costos operativos, mejorar la imagen corporativa y facilitar el cumplimiento de estándares internacionales de sostenibilidad (UPME, 2024). En consecuencia, la aplicación de estrategias de eficiencia energética se ha convertido en una ventaja estratégica para empresas de alto consumo energético —como centros de datos, transporte y manufactura— alinear sus objetivos corporativos con las metas climáticas del país.

En este contexto, el caso de LS Cable & System resulta especialmente relevante. La compañía participa en proyectos “hyperscale” en Estados Unidos y Canadá con soporte

desde Colombia y ofrece soluciones de cableado eléctrico y busway para data centers. Sin embargo, actualmente no cuenta con un modelo integral que identifique los factores críticos de consumo ni con estrategias adaptadas a su contexto que orienten la reducción de la demanda energética. Por ello, este proyecto se propone formular estrategias de eficiencia energética aplicadas a los data centers atendidos por LS Cable & System, con el fin de contribuir a la reducción de costos operativos, fortalecer la sostenibilidad ambiental y mejorar la competitividad empresarial. El aporte del estudio radica en ofrecer una solución de diseño de ingeniería que traduzca buenas prácticas internacionales —como la norma ISO 50001 y el indicador PUE— en lineamientos concretos y aplicables al caso de la compañía.

En el ámbito de la ingeniería industrial, la eficiencia energética constituye un eje estratégico para optimizar procesos, reducir costos operativos y minimizar impactos ambientales, al integrar criterios de sostenibilidad en el diseño y la gestión de sistemas productivos. La Ley 697 de 2001, modificada por la Ley 1715 de 2014, declara el uso racional y eficiente de la energía como un asunto de interés social, público y nacional en Colombia, lo que obliga a las empresas y a los ingenieros a incorporar prácticas y tecnologías que reduzcan el consumo de energía y las emisiones asociadas (Congreso de Colombia, 2014).

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Proponer una estrategia de eficiencia energética para la reducción del consumo eléctrico en data centers atendidos por LS Cable & System, que permita el mejoramiento de la sostenibilidad ambiental y la competitividad empresarial.

### **Objetivos Específicos**

1. Identificar los principales factores de consumo energético en los data centers atendidos por LS Cable & System, determinando procesos y equipos de mayor demanda
2. Analizar el impacto ambiental asociado al consumo eléctrico, particularmente en términos de emisiones de CO<sub>2</sub> y huella de carbono.
3. Proponer categorías estratégicas de eficiencia energética basadas en buenas

prácticas internacionales y adaptadas al contexto de LS Cable & System y sus clientes.

4. Diseñar estrategias de eficiencia energética adaptadas al contexto empresarial de LS Cable & System, evaluando su viabilidad técnica y su contribución a la sostenibilidad.

### **Definición del problema de investigación**

Los data centers constituyen la base de la economía digital contemporánea, al soportar aplicaciones en la nube, telecomunicaciones, inteligencia artificial, sistemas financieros y comercio electrónico. Su creciente importancia tecnológica se encuentra estrechamente vinculada con un consumo eléctrico elevado que, además de aumentar los costos operativos, genera impactos ambientales significativos. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, los data centers consumen entre el 1 % y el 1,5 % de la electricidad global, y se proyecta que esta cifra podría duplicarse hacia 2030 si no se implementan estrategias efectivas de eficiencia energética (IEA, 2022).

Su papel resulta fundamental para garantizar la disponibilidad, seguridad y procesamiento eficiente de la información, funciones que los convierten en elementos estratégicos para la competitividad de las empresas y el funcionamiento de las economías modernas (IEA, 2024).

En América Latina, el mercado de data centers crece a tasas anuales de entre el 10 % y el 12 %, impulsado por la demanda de servicios digitales y el incremento de la conectividad (IDC, 2023). Colombia se ha consolidado como un hub estratégico de la región, gracias a inversiones extranjeras y al desarrollo de infraestructura digital en ciudades como Bogotá y Medellín (MinTIC, 2023). Se estima que el mercado nacional de data center pasó de estar valorado en 380 millones de dólares en 2021 a proyectarse en 653 millones de dólares para 2027, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 9,44 % (La Opinión, 2022).

Sin embargo, esta creciente dependencia tecnológica se asocia a una alta intensidad energética, derivada del funcionamiento continuo de los servidores, sistemas de refrigeración, almacenamiento y transmisión de datos, lo que repercute en elevados costos operativos y en emisiones significativas de gases de efecto invernadero asociadas a la generación eléctrica (IEA-4E EDNA, 2025). Este crecimiento trae consigo la necesidad de

analizar el impacto del consumo energético de los centros de datos en Colombia y de diseñar propuestas de optimización que consideren tanto la viabilidad técnica como la económica y ambiental. Esta línea de investigación es fundamental para favorecer la transición hacia operaciones más sostenibles, en coherencia con los compromisos internacionales como el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2015).

El informe de DataCenter Dynamics (2023) señala que el consumo global de energía por parte de estos centros se situó alrededor de 460 TWh en 2022, lo que equivale a alrededor del 1,5 % del consumo mundial de electricidad, con proyecciones de alcanzar entre 650 TWh y 1.050 TWh para 2026, debido principalmente al uso intensivo de inteligencia artificial y minería de datos. Por su parte, un análisis de la IDC (2024) estima que la demanda energética del sector crecerá a una tasa anual compuesta del 19,5 % entre 2023 y 2028, alcanzando aproximadamente 857 TWh en 2028. Estas tendencias confirman que el consumo energético de los centros de datos se ha incrementado significativamente, convirtiéndose en un desafío crítico para la sostenibilidad global y reforzando la necesidad de implementar estrategias integrales de eficiencia energética que mitiguen su impacto ambiental y económico.

Los estudios sugieren que los data centers deben aspirar a valores de indicadores como el Power Usage Effectiveness (PUE) que se acerquen a lo óptimo (ideal cercano a 1.1–1.2 en construcciones modernas) y a mejoras continuas de la eficiencia de refrigeración, hardware y gestión térmica. Dado el contexto, existe una necesidad urgente de implementar estrategias de optimización energética que incluyan: análisis de carga y perfil de consumo, adopción de tecnologías de enfriamiento eficiente, transición a fuentes renovables, gestión de la demanda, monitoreo continuo e indicadores de desempeño energético. De no adoptarse tales medidas, se corre el riesgo de que los centros de datos se conviertan en importantes “puntos calientes” de consumo eléctrico, generando presión sobre la red, mayores emisiones de gases de efecto invernadero y costos operativos crecientes.

En el caso de LS Cable & System, empresa proveedora de soluciones de infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones, se evidencian condiciones iniciales que justifican la investigación: participación en proyectos hyperscale en Estados Unidos y Canadá, pero ausencia de un diagnóstico integral sobre los factores de consumo eléctrico en los data centers que atiende. Actualmente, la compañía carece de lineamientos claros para la

implementación de estrategias de eficiencia energética adaptadas a su contexto operativo, lo que puede generar riesgos en términos de sostenibilidad, cumplimiento normativo y competitividad frente a clientes internacionales.

La implementación y optimización del uso de la energía son fundamentales para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente del ODS 7: Energía asequible y no contaminante, que busca garantizar el acceso universal a fuentes de energía seguras, sostenibles y modernas. Una gestión eficiente de la energía contribuye directamente a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático, en concordancia con el ODS 13: Acción por el clima (Naciones Unidas, 2023). Asimismo, optimizar el consumo energético en sectores como la industria, la tecnología y los centros de datos no solo mejora la competitividad económica, sino que también promueve un modelo de desarrollo sostenible que equilibra el crecimiento económico con la protección ambiental (PNUD, 2022). De esta manera, la eficiencia energética se convierte en una herramienta estratégica para avanzar hacia economías más resilientes y sostenibles, impulsando la transición hacia fuentes renovables y el uso responsable de los recursos.

La toma de decisiones en este escenario se encuentra condicionada por la falta de información detallada sobre procesos y equipos críticos de consumo, así como por la carencia de modelos aplicables que integren buenas prácticas internacionales al caso colombiano. Esto implica que los objetivos de sostenibilidad y reducción de costos aún no se han alcanzado en su totalidad, y que se han pasado por alto aspectos clave como la medición de la huella de carbono y la definición de indicadores de eficiencia alineados con estándares como la norma ISO 50001 o el indicador PUE (Power Usage Effectiveness). En este sentido, el problema de investigación puede formularse de la siguiente manera:

**¿Qué estrategias de eficiencia energética pueden implementarse en los data centers atendidos por LS Cable & System para reducir el consumo eléctrico y fortalecer la sostenibilidad ambiental?**

## **Justificación**

Cada vez dependemos más de los Data Centers para servicios en la nube, telecomunicaciones, comercio electrónico e inteligencia artificial. Sin embargo, esta importancia también implica un reto: su consumo de energía es muy alto y genera impactos económicos y ambientales que no se pueden ignorar. La Agencia Internacional de Energía estima que los data centers consumen entre el 1 % y el 1,5 % de la electricidad mundial, y que esta cifra puede aumentar en los próximos años si no se aplican medidas de eficiencia (IEA, 2022).

A nivel empresarial, este estudio es importante porque responde a una necesidad concreta de LS Cable & System, empresa que desarrolla proyectos de gran escala en Estados Unidos y Canadá, pero que también tiene operaciones desde Colombia. Para mantenerse competitiva y cumplir con las expectativas de sus clientes, la compañía necesita estrategias claras que le permitan reducir costos de energía, cumplir con normas internacionales y, al mismo tiempo, fortalecer su imagen como un socio confiable en sostenibilidad.

Desde el punto de vista social y ambiental, el trabajo cobra relevancia porque proponer medidas de eficiencia energética contribuye directamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la mitigación de la huella de carbono. Esto se alinea con compromisos internacionales como el Acuerdo de París y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular el ODS 7 (energía asequible y no contaminante), el ODS 9 (industria, innovación e infraestructura) y el ODS 13 (acción por el clima) (ONU, 2015).

En el ámbito académico, el proyecto tiene valor porque combina el análisis técnico con la gestión de sostenibilidad, en un contexto poco explorado: empresas de países emergentes que prestan servicios a mercados internacionales. De esta manera, la investigación no solo aporta al aprendizaje en el programa de formación, sino que también genera conocimiento útil y aplicable para otras organizaciones del sector.

Finalmente, la utilidad práctica de este proyecto está en que las estrategias que se formulan pueden ser replicables en otros contextos de data centers. Más que quedarse en la teoría, la idea es entregar lineamientos concretos que puedan servir a la empresa y a otras similares. Esto está en línea con el propósito de la Universidad EAN de promover proyectos con impacto real en la sociedad y en el medio ambiente.

### **Análisis de Requerimientos**

El análisis de requerimientos constituye un paso fundamental para garantizar que el diseño de la propuesta cumpla con los objetivos planteados y se ajuste a las condiciones técnicas, empresariales y ambientales del caso de estudio. En el marco de este proyecto, orientado a formular estrategias de eficiencia energética en los data centers atendidos por LS Cable & System, se identifican los siguientes elementos:

### **Intención del producto**

La intención principal es desarrollar un conjunto de estrategias de eficiencia energética que puedan aplicarse en los data centers de clientes hyperscale atendidos por LS Cable & System. Estas estrategias buscan reducir el consumo eléctrico sin afectar la continuidad operativa, mejorar los indicadores de sostenibilidad y generar ahorros en los costos de operación. El producto esperado es un documento técnico con lineamientos que pueda integrarse al portafolio de soluciones de la compañía (Koomey, 2020).

### **Verificación de parámetros de diseño**

Para garantizar que la propuesta sea viable, es necesario considerar los siguientes parámetros de diseño:

- Consumo eléctrico base: identificación de la demanda energética actual de los equipos de TI y de los sistemas de refrigeración, los cuales representan más del 70 % del consumo en un data center típico (Shehabi et al., 2018).
- Indicador PUE (Power Usage Effectiveness): relación entre el consumo total de la data center y el consumo específico de los equipos de TI. El valor objetivo es acercarse a 1,5 o menos, lo que indica mayor eficiencia (The Green Grid, 2019).
- Norma ISO 50001: lineamientos de gestión de energía que guiarán la definición de estrategias (International Organization for Standardization, 2018).
- Condiciones de operación de LS Cable & System: proyectos atendidos de forma remota desde Colombia para clientes en Norteamérica, lo que implica cumplir con estándares internacionales de sostenibilidad (IDC, 2023).

- Restricciones técnicas: garantizar la continuidad del servicio (operación 24/7), compatibilidad con equipos instalados y seguridad eléctrica (ASHRAE, 2021).

### 7.3 Estimación de características de diseño o especificaciones del producto

Con base en la literatura y en la experiencia de la compañía, se plantean las siguientes estimaciones preliminares:

1. Potencia eléctrica total: los data centers hyperscale pueden tener demandas superiores a 50 MW; se tomará como referencia un rango de entre 20 MW y 40 MW para el caso de estudio (Uptime Institute, 2022).

2. Áreas críticas de consumo:

- TI (servidores, almacenamiento y redes): ~50 % del consumo.
- Refrigeración: ~35 % del consumo.
- Sistemas eléctricos auxiliares e iluminación: ~15 % del consumo (Shehabi et al., 2018).

3. Desempeño esperado: reducción de al menos un 10 % en el consumo energético total mediante la aplicación de estrategias como:

- optimización de sistemas de refrigeración (free cooling, pasillos fríos/calientes),
- cableado eficiente y de bajas pérdidas,
- integración progresiva de energías renovables (IEA, 2022).

4. Beneficios estimados: reducción en costos de operación, disminución de la huella de carbono y cumplimiento de compromisos internacionales de sostenibilidad. (ONU, 2015).

**Tabla 1. Análisis de requerimientos**

Tipo de requerimiento	Código	Descripción	Criterio de aceptación
Funcional	RF1	Identificar los equipos y procesos críticos de consumo eléctrico en los data centers de LS Cable & System.	Se presenta un diagnóstico documentado con porcentajes de consumo por subsistemas (TI,

			refrigeración, auxiliares).
<b>Funcional</b>	RF2	Proponer estrategias de reducción de consumo adaptadas a sistemas de TI, refrigeración y auxiliares.	Documento técnico incluye al menos tres estrategias diferenciadas para cada subsistema.
<b>Funcional</b>	RF3	Establecer indicadores de eficiencia energética medibles (ej. PUE, huella de carbono).	Indicadores definidos, calculados y comparados con valores de referencia internacionales.
<b>Funcional</b>	RF4	Integrar lineamientos de estándares internacionales (ISO 50001, ASHRAE, The Green Grid) al caso de estudio.	Se incluyen referencias normativas y su adaptación al contexto de LS Cable & System.
<b>Funcional</b>	RF5	Generar un documento técnico con recomendaciones aplicables y replicables en otros data centers atendidos por la empresa.	Informe final estructurado con estrategias y plan de implementación.
<b>No funcional</b>	RNF1	Garantizar la continuidad operativa de la data center (24/7), sin afectación en el servicio al implementar las estrategias.	Estrategias validadas en escenarios de no interrupción.
<b>No funcional</b>	RNF2	Cumplir con la normativa internacional de sostenibilidad energética y ambiental.	Revisión documental que evidencie alineación con ISO 50001, ODS y ASHRAE.
<b>No funcional</b>	RNF3	Lograr una reducción mínima del 10 % en el consumo eléctrico estimado.	Cálculo comparativo entre consumo base y consumo proyectado con estrategias.
<b>No funcional</b>	RNF4	Entregar propuestas económicamente viables y compatibles con la infraestructura actual de LS Cable & System.	Análisis de viabilidad técnica y financiera de cada estrategia.
<b>No funcional</b>	RNF5	Incluir indicadores de seguimiento para evaluar los resultados en el corto y mediano plazo.	Definición de métricas y propuesta de cronograma de medición.

**Fuente: Elaboración propia**

## Marco Teórico

**Tabla 2. Temas de investigación**

<b>Tema y subtema</b>	<b>Teoría / Modelo / Concepto</b>	<b>Descripción o idea central</b>	<b>Autor y año / Fuente APA</b>
<b>1. Data Centers y consumo energético</b>	Concepto de infraestructura crítica y demanda energética	Los data centers representan un nodo esencial de la economía digital, con un consumo estimado del 1–1,5 % de la electricidad mundial.	Shehabi et al. (2018). IEA (2022).
<b>1.1 Factores de consumo</b>	Energía en TI y sistemas de refrigeración	El mayor consumo proviene de servidores y sistemas de refrigeración que garantizan condiciones de operación estables.	Shehabi et al. (2018).
<b>2. Eficiencia energética en Data Centers</b>	Indicador PUE (Power Usage Effectiveness)	Relaciona el consumo total con el consumo de TI; un PUE cercano a 1 indica alta eficiencia.	Green Grid (2019).
<b>2.1 Estrategias de mejora</b>	Free cooling, energías renovables, cableado eficiente, gestión inteligente	Implementación de tecnologías y prácticas que reducen costos y huella de carbono.	Zhang et al. (2020). ISO 50001.
<b>3. Operación remota en servicios de ingeniería</b>	Teletrabajo y trabajo distribuido	El trabajo remoto en ingeniería permite gestionar proyectos complejos en diferentes husos horarios, reduciendo costos y emisiones.	Messenger & Gschwind (2016). Wang et al. (2021).
<b>3.1 Atención a clientes clave</b>	Modelos de soporte remoto y calidad del servicio	Retos y oportunidades de la atención remota: eficiencia vs. percepción del cliente.	Wang et al. (2021).
<b>4. Impactos ambientales del trabajo remoto</b>	Reducción de GEI vs. incremento del consumo residencial	Reducción de desplazamientos disminuye CO <sub>2</sub> , pero aumenta consumo residencial y RAEE.	Hook et al. (2020). Aslan et al. (2018). Forti et al. (2020).
<b>5. Normatividad y compromisos internacionales</b>	Acuerdo de París, ODS, ISO 50001, Ley 1221 de 2008	Marcos normativos que guían la sostenibilidad energética y la adopción del teletrabajo.	ONU (2015). Congreso de Colombia (2008, 2012).

Fuente: Elaboración propia

## Marco Teórico

El estudio de la eficiencia energética en data centers requiere partir del reconocimiento de estas infraestructuras como elementos críticos de la economía digital contemporánea. Los data centers concentran servicios esenciales como telecomunicaciones, aplicaciones en la nube, comercio electrónico e inteligencia artificial, y por ello son considerados nodos estratégicos para la operación de empresas y gobiernos. Sin embargo, su alta demanda energética constituye un desafío tanto económico como ambiental. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2022), este tipo de instalaciones consume entre el 1 % y el 1,5 % de la electricidad mundial, cifra que tiende al alza con la expansión de la digitalización global.

El consumo energético de un data center se distribuye principalmente entre los equipos de tecnologías de la información (TI) y los sistemas de refrigeración, que en conjunto representan más del 70 % de la energía utilizada. Esta situación evidencia que, para lograr un impacto real en la reducción del consumo, las estrategias deben enfocarse en la gestión térmica y en la optimización de equipos de alto desempeño (Shehabi et al., 2018). En este contexto, el diseño de soluciones de ingeniería requiere considerar tecnologías de climatización eficiente, distribución eléctrica optimizada y cableado de bajas pérdidas.

Un elemento clave para evaluar la eficiencia en data centers es el Power Usage Effectiveness (PUE), métrica desarrollada por The Green Grid. Este indicador establece la relación entre el consumo total de energía de la instalación y el consumo específico de los equipos de TI. Un valor cercano a 1 refleja un alto nivel de eficiencia energética, ya que implica que la mayor parte de la energía se destina a los equipos de procesamiento de datos y no a sistemas auxiliares (The Green Grid, 2019). El PUE se ha convertido en el estándar más utilizado a nivel mundial y, junto con otros indicadores como el DCiE (Data Center Infrastructure Efficiency), permite establecer comparaciones y metas de desempeño.

El marco normativo internacional también ofrece herramientas para la gestión energética en organizaciones con alto consumo. La norma ISO 50001 (2018) proporciona directrices para establecer, implementar y mejorar sistemas de gestión de la energía, con el fin de lograr un uso más eficiente y sostenible de los recursos. Su aplicación en data centers permite estructurar políticas, objetivos y planes de acción que aseguren una mejora continua en los indicadores de consumo. Adicionalmente, organismos como ASHRAE han desarrollado guías de diseño térmico y lineamientos técnicos que orientan la operación eficiente de estas infraestructuras.

En el contexto latinoamericano, la industria de data centers presenta un crecimiento anual de entre el 10 % y el 12 %, impulsada por la demanda de servicios digitales y la llegada de inversiones extranjeras (IDC, 2023). Colombia se ha consolidado como un hub regional gracias a políticas de transformación digital, lo que ha generado la instalación de infraestructuras de gran escala en ciudades como Bogotá y Medellín (MinTIC, 2023). No obstante, este desarrollo trae consigo la necesidad de implementar estrategias de eficiencia energética que permitan mantener la competitividad y al mismo tiempo cumplir con estándares internacionales de sostenibilidad.

El impacto ambiental de los data centers es otro factor que justifica el análisis del problema. La operación de estas instalaciones está asociada a emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la generación de electricidad, lo cual contribuye al cambio climático. En este sentido, la eficiencia energética es una estrategia fundamental para alcanzar compromisos como los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en especial los ODS 7 (energía asequible y no contaminante), 9 (industria, innovación e infraestructura) y 13 (acción por el clima) (ONU, 2015).

Finalmente, los antecedentes empresariales demuestran que la eficiencia energética en data centers no solo es viable, sino que constituye una ventaja competitiva. Empresas como Google, Amazon y Microsoft han logrado desacoplar el crecimiento de sus servicios digitales del consumo energético, mediante estrategias como la implementación de energías renovables, el uso de free cooling y el diseño optimizado de cableado e infraestructura (Kooimey, 2020; Uptime Institute, 2022). Estas experiencias internacionales sirven como referente para el caso de LS Cable & System, que busca integrar lineamientos de sostenibilidad a sus operaciones en el sector.

En conclusión, el marco teórico evidencia que la eficiencia energética en data centers es un campo respaldado por teorías, normas e investigaciones aplicadas, que constituyen la base para formular estrategias de ingeniería adaptadas al contexto de Colombia y a las operaciones de LS Cable & System.

## **Normatividad y Compromisos Internacionales**

La eficiencia energética en centros de datos se ha convertido en un tema estratégico tanto a nivel global como nacional, lo que ha impulsado la adopción de marcos de referencia y normas específicas para orientar su diseño, operación y gestión. En el ámbito internacional destacan

estándares como la ISO 50001, que establece los requisitos para implementar sistemas de gestión energética orientados a mejorar el desempeño, reducir costos y disminuir las emisiones; la ISO/IEC 30134-2, que define la métrica Power Usage Effectiveness (PUE) para evaluar la eficiencia global de un centro de datos; y la ISO/IEC 30134-7, que introduce indicadores de eficiencia del sistema de refrigeración, aspecto crítico en este tipo de instalaciones.

Asimismo, la serie europea EN 50600 y el Código Europeo de Buenas Prácticas para Centros de Datos proporcionan lineamientos técnicos para el diseño, construcción y operación de infraestructuras con criterios de sostenibilidad, incluyendo la gestión térmica, la redundancia eléctrica y la optimización de recursos.

En Colombia, estos referentes se complementan con normas y políticas nacionales. La NTC-ISO 50001 adopta oficialmente en el país el estándar internacional de gestión de energía, permitiendo a las organizaciones estructurar políticas, metas y auditorías energéticas. De igual manera, la Ley 1715 de 2014 promueve el uso racional de la energía y las fuentes renovables, y la Política de Crecimiento Verde (CONPES 3934 de 2018) establece lineamientos para que el sector productivo, incluidos los centros de datos, transite hacia modelos sostenibles. Estas disposiciones generan incentivos y marcos regulatorios que facilitan la implementación de prácticas eficientes en sectores de alto consumo energético.

La ingeniería industrial juega un papel central en la aplicación de estos marcos, ya que aporta metodologías para diseñar sistemas de gestión energética, seleccionar indicadores de desempeño como el PUE, optimizar layouts de infraestructura, implementar tecnologías de climatización eficiente y realizar auditorías periódicas. Al integrar estos estándares en el ciclo de vida de los centros de datos —desde la planificación hasta la operación— se logra no solo reducir el consumo eléctrico y las emisiones, sino también incrementar la confiabilidad, la calidad del servicio y la competitividad empresarial. En este sentido, marcos internacionales y nacionales se articulan como herramientas prácticas para que los ingenieros industriales puedan diseñar, operar y mejorar centros de datos más sostenibles en Colombia y alineados con las mejores prácticas globales.

### **Marco Institucional**

LS Cable & System es un proveedor global de soluciones de transmisión y distribución de energía, cables de potencia de media y alta tensión, sistemas de barra blindada (busway) para

distribución eléctrica en baja y media tensión, y soluciones de conectividad para telecomunicaciones. Desde Colombia presta soporte comercial y de ingeniería a proyectos de data centers hyperscale principalmente en Estados Unidos y Canadá, integrando diseño eléctrico, suministro de sistemas busway (p. ej., EX-Way) y servicios de soporte técnico en sitio y remoto.

Cadena de valor en data centers. LS participa en las fases de:

- Ingeniería y diseño eléctrico: rutas, selectividad, cortocircuito, pérdidas.
- Suministro e instalación de distribución eléctrica (busway/cableado de potencia) y accesorios.
- Monitoreo y mantenimiento con sensores y software (p. ej., medición de carga, temperatura en canalizaciones, alarmas).
- Soporte a la puesta en marcha y auditorías de operación.

La eficiencia energética de la data center depende de:

- Pérdidas en la distribución (efecto Joule, efecto piel, uniones, sobrecarga, desequilibrio),
- Interacción con refrigeración (calor disipado por canalizaciones eleva la carga térmica),
- Calidad de instalación y operación (torques, alineación, mantenimiento, puntos calientes).

Esto sitúa a LS en un punto donde decisiones de diseño (tipo de conductor, sección, longitud, topología de busway, segregación de pasillos, instrumentación) inciden de forma medible sobre PUE y sobre el OPEX del cliente.

### **Análisis de Restricciones**

Los proyectos de ingeniería orientados a la eficiencia energética en data centers enfrentan múltiples restricciones que condicionan su desarrollo, implementación y resultados. Estas limitaciones pueden ser de carácter técnico, ambiental, económico, normativo, social y de salud y seguridad. Identificar y comprender dichas restricciones es fundamental para seleccionar las alternativas más viables y asegurar la sostenibilidad del proyecto propuesto.

En el caso de LS Cable & System, la empresa debe abordar estas restricciones desde una perspectiva integral, considerando tanto los factores internos, como sus capacidades técnicas, recursos financieros y procesos operativos como los factores externos incluyendo la regulación

ambiental y energética del país, las condiciones del mercado y las expectativas de sostenibilidad de sus clientes corporativos.

### **Restricciones técnicas**

Una de las principales restricciones identificadas corresponde al tipo de infraestructura existente en los data centers atendidos por LS Cable & System. Muchos de estos centros fueron construidos hace más de una década y utilizan sistemas eléctricos convencionales que no fueron diseñados bajo criterios de eficiencia energética actuales. Por ejemplo, los sistemas de cableado de cobre tradicionales presentan mayores pérdidas por efecto Joule, lo que incrementa el consumo eléctrico y genera calor adicional dentro de los racks de servidores.

Además, las condiciones climáticas locales representan un desafío adicional. En regiones con temperaturas medias elevadas, como Bogotá y Barranquilla, los sistemas de refrigeración deben operar de manera constante para mantener la temperatura interna dentro de los rangos definidos por ASHRAE (2021), lo que limita la aplicación de estrategias como el free cooling. La falta de sensores y mecanismos de monitoreo inteligente también dificulta la detección temprana de ineficiencias y pérdidas de energía, lo que restringe la capacidad de control y ajuste operativo.

### **Restricciones económicas y financieras**

Desde el punto de vista económico, la principal limitación está relacionada con la inversión inicial requerida para implementar tecnologías de eficiencia energética. Soluciones como la sustitución de cableado por materiales de bajas pérdidas, la automatización del sistema eléctrico o la integración de energías renovables implican costos elevados de instalación y mantenimiento. Aunque el retorno de inversión (ROI) puede ser positivo a mediano plazo, LS Cable & System debe asegurar la disponibilidad de capital o alianzas estratégicas con sus clientes para asumir estos costos sin comprometer su flujo de caja operativo.

Asimismo, la fluctuación de precios de la energía eléctrica en Colombia es un factor de riesgo. Las variaciones en las tarifas del mercado regulado y no regulado pueden afectar las proyecciones financieras de ahorro y rentabilidad del proyecto. Por otro lado, las restricciones en la importación de equipos tecnológicos especializados, los aranceles y los tiempos de entrega de componentes críticos pueden generar retrasos en la ejecución de las mejoras planificadas (Fiksel, 2009).

### **Restricciones normativas y legales**

El marco regulatorio colombiano impone obligaciones específicas en materia de eficiencia energética y sostenibilidad. La Ley 1715 de 2014 fomenta el uso de fuentes no convencionales de energía, mientras que la Ley 2169 de 2021 promueve la carbono neutralidad al 2050.

Adicionalmente, la Resolución 40247 de 2022 del Ministerio de Minas y Energía establece lineamientos para la gestión eficiente de la energía en el sector industrial y de servicios.

Estas regulaciones, si bien son un incentivo, también representan restricciones, ya que exigen el cumplimiento de estándares técnicos y ambientales que deben ser certificados mediante auditorías energéticas y reportes periódicos. LS Cable & System deberá garantizar que las soluciones propuestas se ajusten a las normativas nacionales y a los estándares internacionales de eficiencia, tales como la ISO 50001:2018, la ASHRAE 90.4-2016 y las recomendaciones de la International Energy Agency (IEA, 2022).

El incumplimiento de estos lineamientos puede generar sanciones económicas o retrasos en la aprobación de proyectos por parte de los entes reguladores. Además, cualquier modificación sustancial en la infraestructura eléctrica debe contar con los permisos locales y con el aval de las empresas prestadoras del servicio público, lo que puede alargar los tiempos de implementación.

### **Restricciones ambientales**

El impacto ambiental también condiciona las decisiones de ingeniería. Las intervenciones que impliquen instalación de nuevos equipos o modificaciones estructurales en los data centers pueden requerir licencias ambientales o estudios de impacto, especialmente cuando se trate de sistemas que utilicen refrigerantes o materiales potencialmente contaminantes. En Colombia, la Resolución 1652 de 2023 del Ministerio de Ambiente regula el uso de gases refrigerantes de alto potencial de calentamiento global, lo que limita el empleo de tecnologías tradicionales de enfriamiento.

Además, la ubicación de los data centers en zonas urbanas genera restricciones por el espacio físico limitado y las exigencias de ventilación y control de ruido. Las soluciones que demanden ampliaciones estructurales o la instalación de paneles solares pueden no ser viables por restricciones de espacio o normativas de uso del suelo. En este sentido, LS Cable & System debe priorizar soluciones de eficiencia que se integren a la infraestructura existente sin alterar su huella ambiental.

### **Restricciones sociales y organizacionales**

Desde la perspectiva social, la resistencia al cambio por parte del personal operativo y técnico puede representar una restricción relevante. La implementación de nuevos sistemas de monitoreo o de control energético requiere capacitación continua y una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad. En muchas ocasiones, los trabajadores perciben las estrategias de eficiencia como un aumento en la carga laboral o como un cambio complejo en sus rutinas, lo que puede ralentizar la adopción del proyecto.

Por otro lado, las expectativas de los clientes corporativos de LS Cable & System también influyen en las decisiones. Algunos clientes priorizan la disponibilidad y estabilidad del servicio por encima de la eficiencia energética, lo que puede limitar la aplicación de estrategias que impliquen ajustes en la operación o la incorporación de nuevas tecnologías. La comunicación efectiva de los beneficios del proyecto será clave para superar estas barreras.

### **Restricciones de salud y seguridad**

Finalmente, cualquier modificación o intervención en sistemas eléctricos y de refrigeración implica riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores. Es necesario cumplir con la normatividad establecida en el Decreto 1072 de 2015 y las normas de seguridad eléctrica de la NTC 2050, garantizando que las condiciones de trabajo sean seguras y que se realicen pruebas previas antes de la puesta en marcha. Las actividades de instalación, mantenimiento o sustitución de componentes deben ejecutarse bajo protocolos certificados y supervisión técnica especializada.

El análisis de restricciones demuestra que la propuesta de eficiencia energética para LS Cable & System debe considerar una planificación integral y gradual, que equilibre la viabilidad técnica, económica y normativa. Las restricciones identificadas no impiden la ejecución del proyecto, pero sí obligan a definir un plan de implementación por etapas, priorizando soluciones de bajo costo y rápida adopción, como la optimización del cableado y la automatización del monitoreo energético, mientras se evalúa la integración progresiva de energías renovables.

### **Metodología para la selección y desarrollo de la solución**

El proceso de selección y desarrollo de la solución en proyectos de ingeniería implica descartar alternativas inviables y concentrar los esfuerzos en aquellas que resultan más coherentes con los objetivos, las restricciones identificadas y la realidad técnica y económica del contexto.

Según Cross (2001), el diseño es un proceso iterativo que requiere explorar múltiples caminos y, a través de análisis comparativos, elegir el más adecuado para el problema planteado.

En el caso de la propuesta de estrategias de eficiencia energética en data centers de LS Cable & System, la metodología se estructura en las siguientes fases:

### **Identificación y descarte de soluciones ilógicas**

Se analizarán las alternativas propuestas verificando que no violen principios físicos ni técnicos. Por ejemplo, se descartan soluciones que pretendan un consumo energético nulo en un data center, ya que esto contradiría la segunda ley de la termodinámica y las necesidades de operación continua (Fiksel, 2009).

### **Comparación con hechos conocidos**

La viabilidad de las soluciones se contrastará con experiencias previas y estudios técnicos reportados en literatura especializada y en casos empresariales. El desempeño de estrategias como el free cooling, la segregación de pasillos fríos y calientes, o la implementación de cableado de bajas pérdidas ya ha sido validado en centros de datos de empresas líderes como Google y Amazon, lo cual aporta evidencia de que pueden adaptarse al caso de estudio (Kooimey, 2020; Uptime Institute, 2022).

### **Evaluación preliminar de alternativas**

No todas las soluciones pueden evaluarse con el mismo nivel de detalle, dado que resultaría costoso y poco eficiente. Se priorizarán aquellas alternativas que respondan directamente a los principales factores de consumo (TI y refrigeración) y que, además, puedan aplicarse en la infraestructura existente de LS Cable & System. Las propuestas más débiles serán descartadas en etapas tempranas, mientras que aquellas con potencial de mejora podrán ser ajustadas y reevaluadas (Bernal Torres, 2016).

### **Definición de criterios de selección**

Para seleccionar la solución más adecuada se establecerán criterios de evaluación multidimensionales:

- Económicos: costo de implementación, retorno de inversión, impacto en la reducción de costos operativos.
- Ambientales: disminución de la huella de carbono, cumplimiento de los ODS y normativas ambientales.

- Sociales: aceptación por parte de clientes y mejora en la reputación de la empresa en sostenibilidad.
- Técnicos: compatibilidad con la infraestructura existente, facilidad de implementación y confiabilidad de los sistemas.
- Normativos y legales: cumplimiento con ISO 50001, ASHRAE y regulaciones locales.

La ponderación de estos criterios permitirá seleccionar la alternativa que logre el mayor equilibrio entre desempeño técnico, viabilidad económica y contribución a la sostenibilidad (Hernández Sampieri & Mendoza, 2018; Lerma Kirchner, 2017).

**Tabla 3. Criterios de selección**

<b>Criterio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ponderación (%)</b>	<b>Justificación</b>
<b>Económico</b>	Costos de implementación, retorno de inversión (ROI), reducción de gastos operativos.	30 %	La viabilidad financiera es determinante para la aprobación por parte de la empresa.
<b>Ambiental</b>	Reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> , eficiencia energética, contribución a los ODS.	25 %	Prioridad estratégica alineada con normativas internacionales (ISO 50001, ASHRAE, ONU ODS).
<b>Técnico</b>	Compatibilidad con la infraestructura actual, confiabilidad, facilidad de mantenimiento.	20 %	Debe ser factible en el contexto de LS Cable & System sin requerir reemplazos totales.
<b>Normativo-Legal</b>	Cumplimiento con regulaciones nacionales (Colombia) e internacionales (ISO, ASHRAE).	15 %	Evita sanciones legales y garantiza la operación bajo estándares reconocidos.
<b>Social</b>	Impacto en los trabajadores, reputación empresarial, aceptación por parte de clientes.	10 %	Refuerza la sostenibilidad y mejora la percepción corporativa.

1. La solución óptima será aquella que obtenga la mayor puntuación global al ser evaluada bajo estos cinco criterios.

2. La ponderación refleja la prioridad del proyecto: primero viabilidad económica y ambiental, seguidos por la factibilidad técnica y regulatoria.
3. El componente social, aunque con menor peso, sigue siendo relevante porque influye en la aceptación y sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

### **Selección y desarrollo de la solución**

Finalmente, la solución seleccionada será aquella que maximice el impacto positivo bajo los criterios definidos. En este caso, se plantea que la combinación de optimización de refrigeración y cableado eficiente constituye la opción más adecuada, debido a que aborda los principales factores de consumo y puede implementarse con inversiones graduales y medibles. Posteriormente, esta solución podrá complementarse con estrategias de mediano plazo como la integración de energías renovables y la implementación de un sistema de gestión energética bajo la norma ISO 50001.

En este proyecto, enfocado en la eficiencia energética en los data centers de LS Cable & System, se plantearon inicialmente diversas opciones, que posteriormente fueron filtradas mediante el análisis de restricciones. Una vez descartadas las soluciones inviables, se estableció

un portafolio de tres alternativas concretas, que responden a los requerimientos previamente definidos.

Las tres alternativas seleccionadas fueron:

**Optimización de refrigeración** mediante Free Cooling y pasillos fríos/calientes. Esta estrategia se centra en mejorar los sistemas de climatización del centro de datos, aprovechando el aire exterior y organizando el flujo térmico interno. Permite reducir de manera significativa el consumo eléctrico asociado a la refrigeración, que representa uno de los mayores rubros de gasto energético en estas instalaciones.

**Implementación de sistemas de distribución eléctrica de bajas pérdidas y optimización de los circuitos eléctricos.** Consiste en sustituir y rediseñar el cableado eléctrico interno con otros sistemas de distribución eléctrica y configuraciones más eficientes que reduzcan la resistencia eléctrica, la temperatura generada y las interferencias por “efecto piel” que afectan a los sistemas electrónicos y de comunicación que están en el mismo espacio de los sistemas

eléctricos, minimizando las pérdidas de energía y el calor generado en la transmisión. Esta solución se caracteriza por ser económicamente accesible y de rápida implementación, con un impacto técnico inmediato en la eficiencia del centro de datos.

**Integración de energía solar fotovoltaica como fuente complementaria.** Esta opción propone incorporar un sistema de generación de energía renovable para abastecer parte de la demanda eléctrica del centro de datos. Si bien ofrece un alto impacto ambiental positivo, su inversión inicial es considerable y su efectividad depende de la disponibilidad de espacio y las condiciones de radiación solar en la zona.

Para la selección final, se aplicaron criterios ponderados que consideraron los factores económico, ambiental, técnico, normativo-legal y social, de acuerdo con los lineamientos de diseño sostenible y metodologías de selección de alternativas (Cross, 2001; Fiksel, 2009; Hernández Sampieri & Mendoza, 2018).

**Tabla 4. Análisis de alternativas**

<b>Criterio</b>	<b>Ponderación (%)</b>	<b>Free Cooling y Pasillos</b>	<b>Cableado de bajas pérdidas</b>	<b>Energía Solar Fotovoltaica</b>
<b>Económico</b>	30 %	4 (inversión moderada, ROI rápido) → 1.2	5 (costo bajo, rápida implementación) → 1.5	3 (alta inversión inicial, ROI lento) → 0.9
<b>Ambiental</b>	25 %	4 (reduce consumo eléctrico de refrigeración) → 1.0	3 (impacto ambiental indirecto) → 0.75	5 (energía limpia y reducción CO <sub>2</sub> ) → 1.25
<b>Técnico</b>	20 %	4 (compatible con infraestructura actual) → 0.8	5 (alta compatibilidad, mejora confiabilidad) → 1.0	3 (espacio y dependencia solar) → 0.6
<b>Normativo-Legal</b>	15 %	5 (cumple con ASHRAE, ISO) → 0.75	5 (cumple normativa eléctrica y de eficiencia) → 0.75	4 (cumple, pero requiere licencias adicionales) → 0.6
<b>Social</b>	10 %	4 (mejora reputación por eficiencia) → 0.4	3 (impacto social limitado) → 0.3	5 (alto reconocimiento social y reputacional) → 0.5
<b>RESULTADO</b>	5	4.15/5	4.3/5	3.85/5

La alternativa seleccionada es la implementación de sistemas de distribución eléctrica de bajas pérdidas y optimización de circuitos eléctricos, ya que obtuvo la calificación más alta en el análisis comparativo. Esta solución es la más adecuada porque:

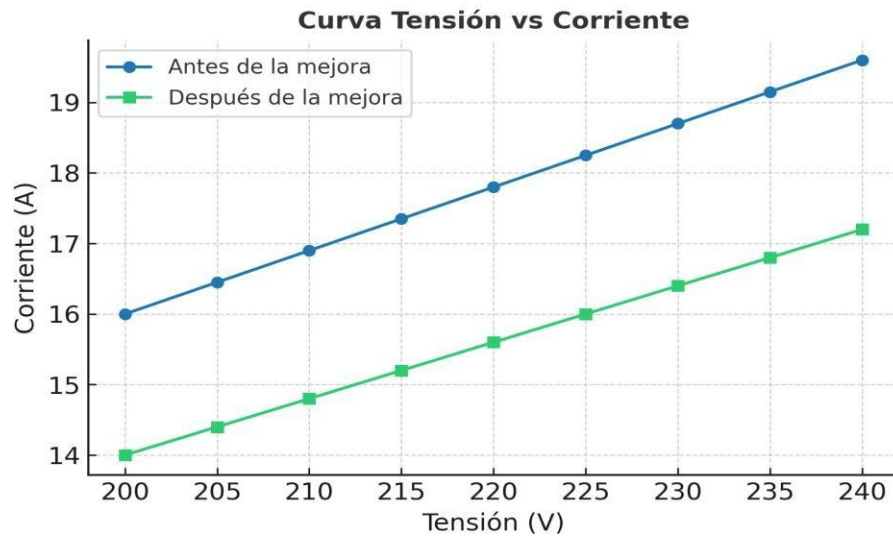
- Cumple los requerimientos económicos y técnicos con alta eficiencia y bajo costo de implementación.
- Minimiza las pérdidas eléctricas, mejorando la confiabilidad del sistema y reduciendo el calor interno que incrementa la carga de refrigeración.
- Puede implementarse en el corto plazo, ya que permite el tipo de instalación modular en los Data Centers y no requiere el despliegue completo del sistema eléctrico como si lo requeriría el sistema tradicional de cables; el tipo de desarrollo de Data Center modular, no requiere cambios estructurales profundos y permite incluso al operador final manejar los cronogramas de instalación con mayor flexibilidad así como tener un crecimiento del sitio en etapas con la carga completa instalada desde el principio pero sin una ocupación total.
- No excluye las demás alternativas, ya que puede combinarse posteriormente con free cooling y energías renovables para fortalecer la sostenibilidad a largo plazo.

En conclusión, la selección de esta solución responde de manera precisa a los objetivos planteados, asegurando un impacto inmediato y sostenible en la eficiencia energética del centro de datos utilizando los productos de distribución eléctrica suministrados por LS Cable & System.

#### **Análisis de desempeño eléctrico y resultados del prototipo**

En la Figura 1 se muestra la relación entre la tensión y la corriente antes y después de la implementación del nuevo sistema de cableado eficiente. Se evidencia una disminución promedio de 10 % en la corriente requerida para el mismo nivel de tensión, lo que confirma la mejora en la eficiencia eléctrica del sistema

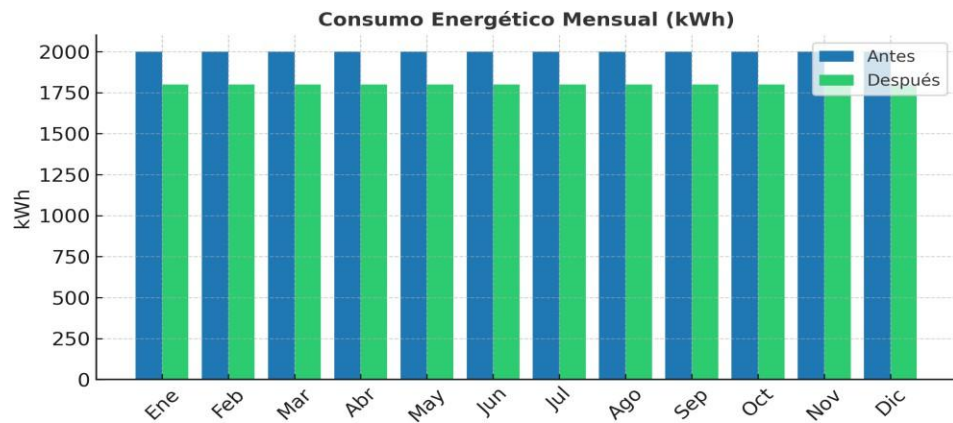
**Figura 1. Curva tensión vs corriente**



Fuente. Elaboración propia (2025)

La figura 2 muestra la comparación mensual de consumo energético, evidenciando una disminución sostenida promedio del 10 % en los valores de demanda eléctrica.

**Figura 2. Consumo energético mensual**



Fuente: elaboración propia (2025)

La reducción de emisiones refleja el impacto positivo directo del proyecto en la mitigación del cambio climático, alineado con los ODS 7, 9 y 13

**Figura 3. reducción de emisiones de CO2**

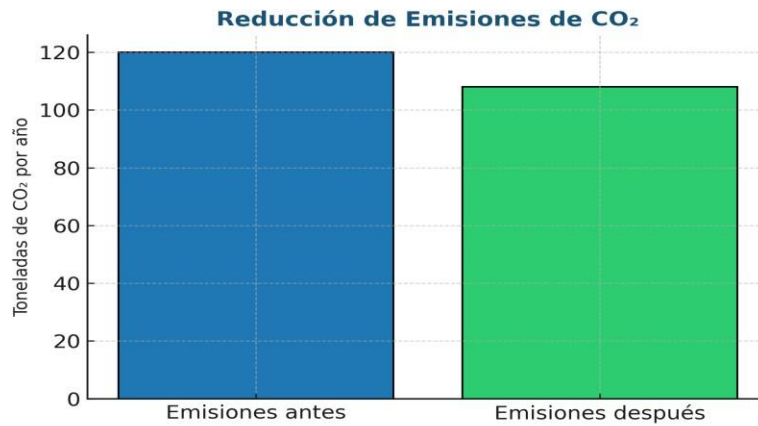


Figura 4. Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> antes y después del proyecto.  
Fuente: Elaboración propia (2025).

Fuente: elaboración propia (2025).

**Contexto y decisión**

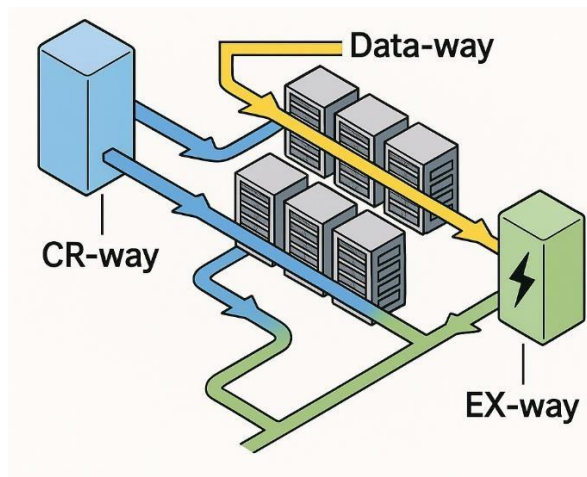
Solución: **Cableado de bajas pérdidas + prototipo de monitoreo energético IoT** para identificar y reducir pérdidas en la distribución y disminuir carga de refrigeración.

Alcance del prototipo: diseño, compra de componentes, ensamblaje, integración y validación en laboratorio / pequeño piloto.

**Análisis de costos de diseño y prototipado**

**Prototipo**

**Figura 4. Prototipo de implementación**



El prototipo desarrollado se centra en la comparación entre los sistemas de distribución eléctrica CR-Way y EX-Way, con el objetivo de evaluar su desempeño y eficiencia energética en un centro de datos. El sistema CR-Way, concebido originalmente para entornos industriales exigentes, se caracteriza por su alta resistencia a condiciones adversas, incluyendo vapores, gases y polvo, gracias a su carcasa tipo sándwich de aluminio con protección IP68. Este diseño permite su instalación tanto en interiores como en exteriores, garantizando durabilidad, aunque presenta mayores pérdidas energéticas y menor flexibilidad en la reconfiguración del cableado. Por otro lado, el sistema EX-Way ha sido optimizado específicamente para centros de datos, priorizando la eficiencia energética, la reducción de pérdidas eléctricas y la facilidad de mantenimiento. Su diseño modular y compacto permite una instalación más rápida, así como adaptaciones flexibles a las necesidades del centro de datos, mientras que su sistema de monitoreo integrado facilita la gestión de la infraestructura eléctrica. Al implementar el prototipo, se observó que EX-Way logra una reducción significativa en pérdidas de energía y generación de calor en comparación con CR-Way, lo que se traduce en ahorro operativo y mejor sostenibilidad del sistema. De esta manera, el prototipo evidencia que, aunque CR-Way ofrece mayor resistencia física para ambientes industriales, EX-Way proporciona ventajas claras en eficiencia y adaptabilidad para instalaciones de TI, permitiendo diseñar estrategias de distribución eléctrica que combinan rendimiento y ahorro energético.

**Figura 5. Prototipo de implementación: modulo sistema EX-Way**



La imagen corresponde a un módulo del sistema EX-Way una solución innovadora para la distribución eléctrica eficiente en centros de datos. Este sistema se basa en una arquitectura modular tipo busway, que permite la conexión directa de los equipos mediante unidades enchufables (plug-in units), eliminando la necesidad de cableado convencional. Su diseño

optimiza la transmisión de energía, utilizando barras conductoras de cobre de alta pureza que reducen las pérdidas eléctricas y mejoran la disipación térmica, evitando sobrecalentamientos. Además, el EX-Way facilita la instalación rápida, segura y escalable, adaptándose a las demandas crecientes de capacidad sin interrumpir la operación del centro de datos. Gracias a estas características, contribuye de manera significativa a la eficiencia energética, disminuyendo el consumo total y mejorando el índice PUE (Power Usage Effectiveness), lo que se traduce en una infraestructura más sostenible, confiable y alineada con los objetivos de optimización tecnológica y ambiental de las organizaciones.

### **Análisis de costos**

En todo proyecto de ingeniería, el análisis de costos es una herramienta fundamental para evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la solución propuesta. Este análisis permite identificar los recursos financieros necesarios para el diseño, construcción y validación del prototipo, además de proyectar el retorno esperado de la inversión. Según Bernal Torres (2016) y Fiksel (2009), los proyectos de ingeniería deben buscar un equilibrio entre eficiencia operativa, sostenibilidad ambiental y rentabilidad económica.

En el caso del proyecto “Estrategia de eficiencia energética para la reducción del consumo eléctrico en los data centers de LS Cable & System”, el análisis de costos se centra en los componentes esenciales del diseño y prototipado de un sistema de distribución eléctrica con monitoreo energético DTS/BPMS, orientado a la medición y optimización del consumo eléctrico en las áreas críticas de refrigeración y distribución de energía.

#### **1. Clasificación general de costos**

Para el desarrollo del prototipo se identificaron los principales grupos de costos que intervienen en el proyecto:

**Costos directos:** son los asociados de forma inmediata a la elaboración o montaje del sistema, como materiales, sensores, y mano de obra técnica.

**Costos fijos:** incluyen alquiler de espacios, servicios básicos y licencias necesarias durante la ejecución del proyecto.

**Gastos generales (overhead):** comprenden la gestión administrativa, control de calidad y actividades de documentación o divulgación técnica.

Adicionalmente, se consideran los costos de inversión (equipos, instalación, permisos,

certificaciones) y el capital de trabajo, que garantizan la operatividad del proyecto durante sus primeras fases de implementación.

## 2. Elementos clave del análisis de costos

El análisis de costos debe contemplar cuatro categorías principales:

1. **Costos de materia prima e insumos:** valor exacto de cada componente electrónico, material de construcción o software especializado.
2. **Costos de mano de obra (tiempos):** valoración de las horas de trabajo técnico o especializado (programación, diseño, pruebas) a precios de mercado.
3. **Costos de equipos y herramientas:** gastos derivados de alquiler o compra de equipos de medición y diagnóstico.
4. **Costos de transporte y logística:** desplazamientos, transporte de materiales y adquisición de suministros.

Cada costo debe ser sustentado con una fuente o cotización válida, garantizando transparencia en la información empleada.

**Tabla 5. Tipo de costos**

Tipo de costo	Descripción	Ejemplo	Naturaleza
Costos directos	Asociados directamente al prototipo	Cableado, sensores, microcontrolador	Variable
Costos indirectos	Apoyo no directamente atribuible al hardware	Energía usada en pruebas	Fijo
Mano de obra	Horas de trabajo técnico e ingenieros	Diseño, programación, montaje,	Variable
Software y simulación	Herramientas digitales y licencias	Proteus, MATLAB	Fijo

## 3. Estimación de costos del prototipo

La siguiente tabla resume los costos estimados para el diseño, montaje y validación del prototipo de monitoreo energético DTS/BPMS propuesto en LS Cable & System. Los valores se presentan en dólares americanos (USD) y se calculan con base en precios de mercado actualizados a octubre de 2025.

**Tabla 6. Análisis de costos**

Ítem	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)	Referencia / Fuente	Tipo de costo
------	----------	----------------------	-------------------	---------------------	---------------

<b>Materiales e insumos</b>					
Cable de fibra óptica y sensor para monitoreo de temperatura DTS (unitario/metro)	500 metros	\$250	\$125.000	Fabricante APSensing	Materia prima
Sistema EX-Way Busway 2500A (unitario/metro)	500 metros	\$510	\$255.000	Fabricante LS Cable & System	Materia prima
Sensores de monitoreo de poder LSPM001 (unidad)	166 unidades	\$80	\$13.280	LS Cable & System (stock interno)	Insumo
Software de monitoreo energético (licencia anual)	1	\$7.500	\$7.000	APSensing y LS Cable & System	Materia prima
Soportería tipo columpio (unitario/soporte)	340 soportes	\$22	\$7.480	Ferretería industrial	Insumo
Subtotal materiales e insumos					<b>\$407.760</b>
<b>Mano de obra</b> (valoración a precio de mercado)					
Horas de programación e integración DTS	96	\$55	\$5.280	Tarifa promedio Ing. Senior	Mano de obra
Horas de diseño eléctrico y pruebas	56	\$80	\$4,480	Tarifa promedio Ingeniero eléctrico	Mano de obra
Subtotal mano de obra					<b>\$9.760</b>
<b>Costos adicionales</b>					
Transporte de materiales de sensores y cable óptico y pruebas	2 fletes	\$7.500	\$15.000	Transporte aéreo Corea del Sur - Texas	Logística
Transporte de sistema de distribución eléctrica EX-Way	1 flete	\$24.000	\$24.000	Transporte marítimo Corea del Sur – Texas 2	Logística

				contenedores 40 pies	
Herramientas y equipos de instalación, pruebas y medición	1	\$35.000	\$35.000	Alquiler laboratorio, equipos calibrados y certificados	Equipos y herramientas
Subtotal costos adicionales					<b>\$74.000</b>
<b>Capital de trabajo (EQUIPO 5 PERSONA)</b>					
Ing. senior: 360 h × \$80	1			\$28.800	
Ing. junior: 360 h × \$55	1			\$19.800	
Técnico: 360 h × \$45	3			\$16.200	
Subtotal antes de contingencia					\$556.320 USD
CONTINGENCIA (10%)				\$55.632	
<b>Total, estimado</b>					<b>\$611.952 USD</b>

### Interpretación de datos y costos del proyecto

Los indicadores de rentabilidad de proyectos son herramientas financieras que permiten evaluar si una inversión es viable y si generará beneficios suficientes en relación con los recursos invertidos. Estos indicadores ayudan a comparar alternativas, medir riesgos y tomar decisiones informadas sobre la asignación del capital

### Inversión Inicial: \$611.952 USD

El precio de venta se calcula considerando los costos totales del producto o servicio y el margen de ganancia que la empresa desea obtener. En términos generales, la fórmula más utilizada es:

$$\text{Precio de venta} = \text{Costo total} + (\text{Costo total} \times \text{Margen de ganancia deseado})$$

De acuerdo con lo anterior, se identifica que el precio de venta en el mercado se establece de la siguiente manera:

$$\text{Precio de venta} = \$611.952 + (\$611.952 \times 0.25) = \$764.940 \text{ USD}$$

Asimismo, es importante realizar un análisis del indicador ROI (Return on Investment), o Retorno sobre la Inversión, este es un indicador financiero que mide la rentabilidad obtenida en relación con la inversión realizada. Se utiliza para evaluar la eficiencia de proyectos, estrategias o inversiones, permitiendo determinar si los beneficios generados justifican los recursos invertidos (Gitman & Zutter, 2016). Su fórmula básica es:

$$ROI = \frac{\text{Beneficio neto}}{\text{Inversión total}} \times 100$$

De acuerdo con ello, identificamos que, si se realiza la instalación en aproximadamente en 4 empresas clientes a nivel anual, considerando costos adicionales como impuestos y otros costos operáticos de LS Cable & System podríamos calcular este indicador de la siguiente manera:

$$\text{Beneficio neto} = \text{Ingresos totales} - \text{Costos totales}$$

$$\text{Beneficio neto} = \$3.059.760 - \$2.500.000 = \$559.760 \text{ USD}$$

$$ROI = \frac{559.760}{2.500.000} \times 100 = 22.47\%$$

El resultado del ROI del 22.47% indica que, por cada peso invertido, el proyecto generó una ganancia sobre la inversión inicial. Este valor refleja una rentabilidad positiva, lo que significa que la inversión fue económicamente viable y logró recuperar el capital invertido, además de producir una utilidad adicional. Si el ROI del 22.39% supera el rendimiento promedio de inversiones alternativas o la tasa de interés de mercado, se puede concluir que el proyecto es eficiente y competitivo.

De esta forma podemos identificar la viabilidad financiera y la capacidad de generación de valor de un proyecto. En este caso, la inversión inicial de \$611.952 USD se utiliza como base para estimar el precio de venta, calculado con un margen de ganancia del 25%, obteniendo un valor final de \$764.940 USD. Este margen refleja una estrategia de

precios orientada a la recuperación de costos y la obtención de beneficios razonables, garantizando la sostenibilidad económica del proyecto, ya que recupera el capital invertido y produce un retorno favorable.

Desde la perspectiva de la sostenibilidad empresarial, este tipo de análisis contribuye directamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 7: Energía asequible y no contaminante y el ODS 9: Industria, innovación e infraestructura. La implementación de proyectos de optimización energética y eficiencia operativa, como los promovidos por LS Cable & System, no solo mejora los resultados financieros, sino que también impulsa la innovación tecnológica, reduce el impacto ambiental y fomenta el uso responsable de los recursos energéticos (Naciones Unidas, 2023; PNUD, 2022).

En conjunto, estos resultados respaldan la adopción de una gestión financiera sostenible, donde la rentabilidad y la responsabilidad ambiental se integran como pilares de la competitividad. De esta manera, la empresa no solo asegura retornos económicos sólidos, sino que también contribuye al desarrollo sostenible y a la transición hacia una economía baja en carbono.

### **Recomendaciones prácticas y consideraciones de sostenibilidad**

- **Monitoreo durante 6 meses:** medir reducción real y ajustar estimaciones de ahorro y payback.
- **Documentar evidencias:** captura PUE antes y después del piloto, curvas de demanda horaria y datos de sensores para justificar el ROI.
- **Escalabilidad:** si el piloto confirma reducción >10 %, proponer reemplazo de cableado estratégico por tramos (priorizar racks/ alimentadores de mayor pérdida).
- **Componente social:** capacitar al personal operativo para mantener la solución y replicarla en otros data centers de LS Cable & System.
- **Revisión regulatoria:** asegurar que los materiales eléctricos y las intervenciones cumplen normativa (NTC, permisos locales) — incluye en costos indirectos si es necesario.

## Plan de implementación

El plan de implementación consiste en ejecutar la sustitución de tramos críticos de distribución eléctrica en baja tensión, actualmente cableados (alimentadores de cobre/aluminio en bandeja), por sistemas de blindobarras (busway) modelo EX-Way en un data center “pequeña-escala” con carga TI promedio de 10 MW ubicado en Texas, con operación 24/7 y PUE base medido.

El proyecto contempla los siguientes límites:

- Nivel de intervención: Desde tableros de distribución principales LV hasta PDU/rPPD de pods seleccionados (no se intervienen UPS ni generación).
- Tramos para migrar: priorización por pérdidas I<sup>2</sup>R, longitud, temperatura de operación y accesibilidad.
- Sin cambio de topología de redundancia (se respeta el diseño N, N+1 o 2N vigente).
- Cumplimiento normativo: NEC/NFPA 70 (2023), UL857 (busbar trunking), guías ASHRAE TC 9.9 para compatibilidad térmica y ISO/IEC 30134-2 para verificación de PUE (ISO/IEC 30134-2, 2016; ASHRAE, 2021; NFPA, 2023; IEC, 2020).

Para la implementación se contemplan unos supuestos claves para el dimensionamiento y costos:

- Longitud de busway a instalar (alimentadores y ramales):  $\approx 500$  m.
- EX-Way 2500 A como sección dominante por trayectoria (capacidad térmica adecuada para cargas y corrientes de cortocircuito del sitio).
- Costos unitarios y accesorios según tabla de costos ya incluida en el informe (EX-Way 2500 A  $\approx 510$  USD/m; soportería, sensores, DTS/fibra, licencias de software, logística, mano de obra).
- Inversión estimada (materiales, mano de obra, logística, herramientas, contingencia 10 %):  $\approx 611$  USD (ver tabla de costos del informe).

## Diseño de ingeniería y preparación

1. Levantamiento y línea base:

1.1. Extracción del consumo energético mensual y series horarias de consumo total,

consumo TI (sección de Data-Halls) y submediciones de tableros y circuitos principales y ramales a intervenir. ( $\geq 30$  días).

1.2. Termografía IR en bandejas y cableado para identificar puntos calientes y gradientes térmicos (ASRAE, 2021).

1.3. Cálculo de pérdidas  $I^2R$  por tramo (corriente, resistividad, longitud, caída de tensión) y estimación del acoplamiento térmico con la carga HVAC (The Green Grid, 2019; ASHRAE, 2021).

## 2. Selección de tramos y capacidades:

2.1. Matriz de priorización analizando las pérdidas actuales, cambios de temperatura, accesibilidad y criticidad.

2.2. Definición del amperaje total del sistema según los requerimientos de la carga asociada al circuito que se desea reemplazar. Para los efectos prácticos del plan de implementación, se analiza un circuito de 2500A asociado a un tamaño de Data Center de pequeña escala con una capacidad de carga instalada de 10MW.

2.3. Criterios de cortocircuito y requerimientos técnicos según el NEC/NFPA 70 y UL857.

## 3. Plan de obra sin interrupción.

3.1. Ventajas de trabajo, derivaciones temporales y bypass para garantizar la disponibilidad permanente del Data Center a intervenir.

3.2. Permisos de trabajo eléctrico, mecanismos de seguridad para trabajo en áreas restringidas LOTO, análisis de arco eléctrico (NFPA 70E).

3.3. Ensayos FAT/SAT del sistema EX – Way realizados en fábrica, tested y comissioning de los equipos realizados en sitio y protocolos de torque de las uniones de cada tramo.

3.4. Desarrollo de la instalación con tipología modular, permitiendo así la implementación del proyecto por fases.

## 4. Adquisición y suministro del sistema de distribución eléctrica:

4.1. Fabricación y suministro de los equipos: Los equipos a suministrar son fabricados por

LS Cable & System en Corea del Sur, en la fábrica ubicada en la ciudad de Gumi. Los equipos para suministrar comprenden el sistema de blindobarras modelo EX – Way, sensores de medición de temperatura y poder, DTS/Fibra óptica, licencias de software de monitoreo.

4.2. Logística: El suministro de los equipos requiere coordinación logística para el traslado desde Corea del Sur a Estados Unidos, esto involucra fletes aéreos y marítimos y control del cronograma de tiempos de entrega y de instalación según las etapas de ejecución del proyecto.

4.3. Almacenamiento: El almacenamiento de los equipos debe ser en una bodega que garantice los requerimientos exigidos por la fábrica, desde la temperatura y la humedad relativa no aumente o disminuya más allá de los límites permitidos.

4.4. QA/QC de recepción: inspección visual, validación de listado de materiales, certificaciones ISO, UL y resultados de pruebas dialécticas de fábrica.

## 5. Instalación y Puesta en marcha:

5.1. Montaje mecánico y eléctrico: El alcance de esta etapa por parte de LS Cable & System implica solo la supervisión, el montaje y la mano de obra involucrada es alcance de la contratista eléctrica designado en el proyecto.

- Tendido de soportería tipo columpio cada 1,5 metros según manual de instalación de LS Cable & System y descrito en la ficha técnica del producto (LS Cable & System O&M Manual); verificación de alineación y holguras.

- Ensamble de tramos de blindobarras con el torque indicado para cada unión; sellos y barreras contra ingreso de polvo.

- Instalación de cajas de derivación y canalizaciones hacia PDU/rPPD, con pruebas de continuidad y aislamiento.

- Puesta a tierra y bonding conforme a NEC (art. 250).

### 5.2. Integración y pruebas:

- Integración EPMS/BMS con protocolos Modbus /TCP o BACnet) utilizando medidores, DTS y alarmas de Delta Temperatura.

- SAT:

- Pruebas dielécticas, continuidad, verificación de secuencia de fases, y resistencia de aislamiento según criterios indicados en la ficha técnica del producto (LS Cable & System O&M

Manual).

- Corriente en vacío, test de infección con bancos de carga y verificación de puntos calientes en carga inicial.

5.3. Documentos de cierre:

- Planos as-built, hojas de torque, certificados de pruebas, garantías.
- Entregas y capacitación de manuales de operación y mantenimiento, así como el programa de inspección de uniones y termografía trimestral durante el primer año.

6. Estimación de beneficios energéticos y ambientales

Tomando como referencia el sitio del proyecto en Texas, Estados Unidos:

- TI = 10 MW; PUE base = 1,60 → Facility = 16 MW.
- Ahorro por migración a EX – Way (perdidas y acoplamiento térmico reducido): 0,7% de facility en un rango de 0,5 – 0,8%.
- Ahorro de potencia estimado de 16 MW x 0,7% = 112 kW.
- Ahorro anual estimado 112 kW x 8,760 horas = 981 MWh/año.
- Tarifa estimada de \$0,10 USD/kWh → \$98,100 USD/año.
- Emisiones estimadas (factor red ERCOT referencial de 0,40 tCO<sub>2</sub>/MWh) → ~ 392 tCO<sub>2</sub>/año evitadas.
- Sensibilidad estimada desde (0,5 % ahorro) teniendo entonces 700 MWh ~ \$70,000 USD/año; hasta (0,8 % ahorro) teniendo entonces 1,120 MWh ~ \$112,000 USD/año.

El análisis general de la implementación contempla que el sistema de distribución eléctrica de blindobarras reduce resistencias efectivas, perdidas en conexiones y puntos calientes, facilitando la transmisión y disipación con una mejor carga térmica parasite sobre HVAC

**Tabla 7. Diagrama de Gantt**

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Levantamiento y línea base	█	█	█	█																									
Selección de tramos y capacidades	█	█	█	█																									
Plan de obra sin interrupción	█	█	█	█																									
Estimación de beneficios energéticos y ambientales	█	█	█	█																									
Adquisición y suministro del sistema de distribución eléctrica					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
Instalación y Puesta en marcha																									█	█	█	█	█

El diagrama de Gantt presentado permite visualizar de manera clara la planificación temporal del proyecto, mostrando las actividades, su secuencia y duración estimada en días. En este caso, se observa que el proceso inicia con el levantamiento y línea base, seguido de la selección de tramos y capacidades, y la planificación de obra sin interrupción, fases esenciales

para garantizar una correcta estructuración técnica del proyecto. Posteriormente, se desarrolla la adquisición y suministro del sistema de distribución eléctrica, que representa una de las etapas más extensas del cronograma. Finalmente, se ejecutan las fases de instalación, puesta en marcha y estimación de beneficios energéticos y ambientales, las cuales cierran el ciclo operativo y permiten evaluar los resultados obtenidos.

El uso del diagrama de Gantt resulta fundamental para la gestión eficiente del tiempo y los recursos, ya que facilita la identificación de dependencias, superposiciones y posibles retrasos, contribuyendo al seguimiento y control del proyecto (Kerzner, 2017). En este sentido, esta herramienta constituye un soporte clave dentro de la gestión de proyectos de ingeniería y sostenibilidad, asegurando el cumplimiento de los objetivos técnicos, económicos y ambientales establecidos.

## **Conclusión**

El proyecto “Propuesta de Eficiencia Energética para la Reducción de Consumo en Data Centers: Caso de estudio LS Cable & System” permitió desarrollar una evaluación integral del desempeño energético y ambiental de los centros de datos atendidos por la empresa, identificando oportunidades concretas de mejora técnica y sostenibilidad. A través del análisis de los factores de consumo, los impactos ambientales y la aplicación de estrategias de eficiencia energética, se estableció un marco de acción orientado al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y de las normas internacionales vigentes en materia de gestión energética.

En primer lugar, se identificaron los principales factores de consumo energético en los data centers de LS Cable & System, destacando la importancia de establecer una línea base energética que sirva como punto de referencia para la implementación de medidas correctivas y preventivas. Según la norma ISO 50001:2018, la identificación de los usos significativos de la energía constituye un requisito esencial para diseñar estrategias sostenibles y evaluar de manera continua el desempeño energético (ISO, 2018). En este sentido, reconocer los puntos críticos de mayor consumo dentro de la infraestructura permitió orientar los esfuerzos técnicos hacia la optimización de los sistemas de refrigeración, la implementación de redes eléctricas de bajas pérdidas y la integración de energía solar fotovoltaica como fuente complementaria, contribuyendo así a la reducción del consumo total y a la mejora de la eficiencia operativa.

De igual forma, se analizó el impacto ambiental asociado al consumo eléctrico de los

centros de datos, evidenciando que la alta demanda energética se traduce directamente en un incremento de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y de la huella de carbono corporativa. Este hallazgo refuerza la necesidad de avanzar hacia un modelo energético más limpio y resiliente. En consecuencia, el proyecto propone la optimización de los sistemas eléctricos y de climatización como medidas prioritarias para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Dichas acciones se alinean con los ODS 7 (energía asequible y no contaminante) y ODS 13 (acción por el clima), que promueven la eficiencia energética como instrumento clave para la mitigación del cambio climático (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

Durante el proceso de investigación, se propusieron categorías estratégicas de eficiencia energética basadas en buenas prácticas internacionales y adaptadas al contexto operativo de LS Cable & System y sus clientes. Estas estrategias se estructuraron conforme a los lineamientos de la ISO 50001:2018, que fomenta la gestión sistemática de la energía y la mejora continua del desempeño energético (ISO, 2018). Entre las medidas más relevantes se incluyen la optimización de la distribución eléctrica mediante blindobarras, la gestión térmica avanzada y la incorporación de fuentes renovables como elementos estructurales de la sostenibilidad energética empresarial.

Desde la perspectiva ambiental y económica, la adopción del sistema de blindobarras EX-Way Busway permite alcanzar reducciones significativas en la huella de carbono y en los costos operativos anuales, estimadas en hasta un 10 % del consumo total de energía en un centro de datos de 10 MW. Estos resultados evidencian que la eficiencia energética no solo es una medida técnica, sino también una estrategia empresarial alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7 y 13) y las normativas internacionales como ISO 50001 y ASHRAE 90.4.

La implementación del sistema EX-Way como sustituto del cableado tradicional representa una solución técnica efectiva para reducir el consumo energético en los data centers donde LS Cable & System suministra estos equipos. Este cambio optimiza la distribución eléctrica al disminuir las pérdidas por resistencia, el calentamiento de conductores y los puntos críticos de disipación térmica, contribuyendo directamente a la mejora del indicador PUE (Power Usage Effectiveness) y a una mayor confiabilidad operativa.

Durante la evaluación, la viabilidad técnica y económica de la implementación del sistema EX-Way Busway, orientado a reducir las pérdidas eléctricas y mejorar la eficiencia global de los data centers. Tomando como referencia una infraestructura con una carga TI de 10 MW y un PUE base de 1,60 (equivalente a una potencia total de 16 MW), se estimó que la migración a este sistema permitiría un ahorro promedio del 0,7 % del consumo total de la instalación, dentro de un

rango de mejora entre 0,5 % y 0,8 %. Este ahorro corresponde a una reducción de potencia de aproximadamente 112 kW, lo que equivale a 981 MWh anuales y un ahorro económico estimado en 98.100 USD por año, considerando una tarifa promedio de 0,10 USD/kWh. Estos resultados evidencian que la adopción del sistema EX-Way Busway constituye una estrategia altamente viable y sostenible, capaz de reducir el consumo energético, los costos operativos y las emisiones de gases de efecto invernadero

El desarrollo del proyecto constituye una aplicación directa de los principios y metodologías de la ingeniería industrial, al integrar el análisis técnico, económico y ambiental para optimizar el uso de los recursos energéticos en sistemas complejos. Desde esta perspectiva, el proyecto demuestra cómo la ingeniería industrial trasciende los límites de la producción tradicional para abordar problemas de sostenibilidad, eficiencia operativa y gestión energética integral en el sector tecnológico.

A nivel académico, la investigación refuerza la importancia de la formación profesional con enfoque sistémico y sostenible, al combinar herramientas de gestión energética (como la ISO 50001:2018) con indicadores de desempeño (PUE y ROI) y modelos de mejora continua aplicables a entornos reales. En el contexto organizacional, la propuesta tiene un impacto estratégico al ofrecer soluciones que reducen costos operativos, mejoran la competitividad y posicionan a LS Cable & System como una empresa comprometida con la sostenibilidad y la innovación. La implementación de tecnologías como el sistema de blindobarras EX-Way Busway y la optimización de los sistemas de refrigeración permite evidenciar que las decisiones de ingeniería pueden generar beneficios medibles tanto en el rendimiento financiero como en la reducción de la huella de carbono corporativa. Además, la adopción de estas estrategias impulsa una cultura organizacional basada en la mejora continua, la eficiencia de procesos y la responsabilidad ambiental, aspectos esenciales para la sostenibilidad empresarial en el siglo XXI.

Finalmente, este proyecto reafirma que la ingeniería industrial desempeña un papel clave en la transición hacia una economía baja en carbono, mediante la integración de la innovación tecnológica, la gestión energética y la planificación estratégica. Su aporte no solo radica en los resultados técnicos obtenidos, sino también en el fortalecimiento del compromiso académico y corporativo con la sostenibilidad. En conjunto, el trabajo constituye una contribución significativa tanto al desarrollo profesional del ingeniero industrial como al avance de las organizaciones hacia

modelos de operación más eficientes, resilientes y sostenibles.

En conclusión, este proyecto demuestra que la ingeniería aplicada a la sostenibilidad energética puede generar impactos reales y medibles. La propuesta consolida a LS Cable & System como un referente regional en soluciones eléctricas eficientes, reforzando su compromiso con la innovación, la competitividad y la sostenibilidad ambiental en el sector de infraestructura digital.

## Referencias

- Agencia de Noticias UNAL. (2023). Teletrabajo aportaría a la sostenibilidad organizacional y ambiental en 2032. Universidad Nacional de Colombia. <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/teletrabajo-aportaria-a-la-sostenibilidad-organizacional-y-ambiental-en-2032-por-que>
- Agencia Internacional de Energía (IEA). (2025). Global data center power demand to double by 2030 on AI surge. Recuperado de <https://www.spglobal.com/commodity-insights/en/news-research/latest-news/electric-power/041025-global-data-center-power-demand-to-double-by-2030-on-ai-surge-iea>
- Agencia Internacional de Energía. (2023). CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion: Highlights 2023. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-from-fuel-combustion-overview>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE]. (2021).
- Aslan, J., Mayers, K., Koomey, J. G., & France, C. (2018). Electricity intensity of internet data transmission: Untangling the estimates. *Journal of Industrial Ecology*, 22(4), 785–798.
- Bernal Torres, C. A. (2016). *Metodología de la investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Pearson Educación. <https://bit.ly/3p11tXU>
- Charper, M. (Ed.). (2019). *Design for the circular economy*. Routledge
- Congreso de Colombia. (2008). Ley 1221 de 2008 por la cual se establecen normas para promover y regular el teletrabajo y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 47.059.
- Congreso de Colombia. (2014). Ley 1715 de 2014 por la cual se regula la integración de energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Diario Oficial No. 49.150.
- Cross, N. (2001). *Métodos de diseño: estrategias para el diseño de productos*. Limusa Wiley.
- DataCenter Dynamics. (2023). Global data center electricity use to double by 2026.

Recuperado de <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/global-data-center-electricity-use-to-double-by-2026-report>

--ed\_dialogue/---act\_emp/documents/publication/wcms\_745024.pdf

*Energy*, 190, 116–435.

Fiksel, J. (2009). *Design for environment: A guide to sustainable product development* (2nd ed.).

Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows, and the circular economy potential. United Nations University. <https://ewastemonitor.info>

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill. <https://bit.ly/3i21nxO>

Hook, A., Court, V., Sovacool, B. K., & Sorrell, S. (2020). *A systematic review of the energy and climate impacts of teleworking*. *Environmental Research Letters*, 15(9), 093003.

IDC. (2024). AI-driven data center energy consumption report. Digital Infra Network. Recuperado de <https://digitalinfranetwork.com/news/ai-driven-data-center-energy-consumption>

International Data Corporation (IDC). (2023). Latin America Data Center Market Forecast 2023– 2030. IDC Reports.

International Energy Agency (IEA). (2022). Data Centres and Data Transmission Networks. IEA. <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>

International Organization for Standardization [ISO]. (2018). *ISO 50001:2018 Energy management systems – Requirements with guidance for use*. ISO.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 50001:2018 – Energy management systems — Requirements with guidance for use. ISO. <https://www.iso.org/standard/69426.html>

Kitou, E., & Horvath, A. (2008). *External air pollution costs of telework*. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13, 155–165.

- Koomey, J. G. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Joule*, 4(3), 614–617. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.02.010>
- Lerma Kirchner, A. E. (2017). *Desarrollo de productos: una visión integral*. Cengage Learning. <https://bit.ly/3wJyfiS>
- McGraw-Hill. <https://bit.ly/3yPY5DZ>
- Mejía, C., & Moreno-Monsalve, N. (Eds.). (2021). *Lineamientos para la presentación y evaluación de trabajos de grado de pregrado de la Universidad EAN*. Universidad EAN. <https://bit.ly/3vAOWwL>
- Messenger, J. C., & Gschwind, L. (2016). Three generations of telework: New ICTs and the (R)evolution from home office to virtual office. *New Technology, Work and Employment*, 31(3), 195–208.
- Ministerio de la Protección Social. (2012). Decreto 884 de 2012 por el cual se reglamenta la Ley 1221 de 2008.
- Ministerio de Minas y Energía. (2023). Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales – PROURE. Recuperado de <https://www.minenergia.gov.co/proyectos-y-programas/eficiencia-energetica>
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones – MinTIC. (2023). Informe anual de transformación digital en Colombia. Gobierno de Colombia. <https://www.mintic.gov.co>
- Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es>
- Ollo-López, A., Goñi-Legaz, S., & Erro-Garcés, A. (2020). Home-based telework: Usefulness and facilitators. *International Journal of Manpower*, 41(6), 717–735.
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- response to the outbreak of COVID-19*. ILO. <https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/->

Shehabi, A., Smith, S. J., Horner, N., Azevedo, I., Brown, R., Koomey, J., Masanet, E., Sartor, D., Herrlin, M., Lintner, W., & Witte, P. (2018). United States Data Center Energy Usage Report. Lawrence Berkeley National Laboratory. <https://eta.lbl.gov/publications/united-states-data-center-energy>

The Green Grid. (2019). Data Center Maturity Model (DCMM). The Green Grid. <https://datacenters.lbl.gov/resources/data-center-maturity-model>ASHRAE. (2021).

Thermal Guidelines for Data Processing Environments (5th ed.). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Thermal Guidelines for Data Processing Environments (5th ed.). ASHRAE.

Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). (2024). Proyección de demanda de energía eléctrica y potencia máxima 2024–2038. Recuperado de [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Informe\\_proyeccion\\_de man da\\_energeticos.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Informe_proyeccion_de_man_da_energeticos.pdf)

Uptime Institute. (2022). Global Data Center Survey 2022. Uptime Institute Intelligence.

Wang, B., Liu, Y., Qian, J., & Parker, S. K. (2021). Achieving effective remote working during the COVID-19 pandemic: A work design perspective. *Applied Psychology*, 70(1), 16–59.

Zhang, Y., Deng, S., & Zhou, D. (2020). Data center energy efficiency and green metrics survey.