

**UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERIA**



**UNIVERSIDAD
DON BOSCO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

**"PROPUESTA DE MEJORAS PARA MAXIMIZAR LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA EN EDIFICIOS DE USOS MIXTOS"**

PARA OPTAR AL GRADO DE:

**MAESTRO(A) EN GESTIÓN ENERGÉTICA Y DISEÑO
AMBIENTAL**

PRESENTADO POR:

Nelson Wilfredo Vásquez Elías

Álvaro Antonio Rivera Torres

ASESOR:

MSc. Ing. Iris Ivette Rodríguez Villarán

ANTIGUO CUSCATLÁN, LA LIBERTAD, EL SALVADOR. C.A

JULIO DE 2025

Contenido

ABREVIATURAS.....	4
CAPÍTULO 1.....	5
INTRODUCCIÓN	5
1.1 Justificación.....	6
1.2 Antecedentes.....	6
1.3 Planteamiento del Problema.....	6
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivos Generales:.....	8
1.4.2 Objetivos Específicos:.....	8
1.5 Alcances y Limitaciones	8
1.5.1 Alcances:.....	8
1.5.2 Limitaciones:	9
1.6 Metodología:.....	9
CAPITULO 2, MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 Panorama Energético Global y local aplicable a Edificios de usos múltiples.	11
2.1.1 El Planeta: Tendencias Globales de Consumo Energético.....	11
2.1.2 Crecimiento Económico y Eficiencia Energética.	12
2.1.3 Distribución Sectorial de la Demanda Energética	14
2.1.4 Tendencias del Sector Residencial y Servicios.....	16
2.1.5 La Unión Europea (UE) y Políticas Energéticas	17
2.2 Energía y el Sector Edificación.....	19
2.2.1 La Edificación como Actor Energético	19
2.2.2 La Historia de las Energías Renovables en El Salvador.	20
2.2.3 Desigualdades Regionales y Consumo Energético Per Cápita	24
2.3 Innovaciones Tecnológicas y Políticas Aplicadas a Edificaciones.	26
2.3.1 Tecnologías Aplicadas en Edificaciones (Automatización, Sensores, Fotovoltaica, etc.)	27
2.3.2 Normativa Internacional: EPBD, ISO 50001, Directiva 2012/27/UE	29
2.3.3 Políticas Salvadoreñas: PIEG 2024–2038 y Marcos Normativos Nacionales	32
CAPITULO 3, METODOLOGÍA Y DEFINICIÓN DE LÍNEA BASE DE CASO DE ESTUDIO	35
3.1 Enfoque Metodológico (Análisis Técnico y Percepción Operativa)	35
3.1.1 Análisis Técnico	35

3.1.2	Percepción Operativa	36
3.2	Caso de Estudio: Centro Comercial operativo de uso Mixto, dentro de la zona de San Salvador.....	37
3.2.1	Descripción Arquitectónica y Operativa del Edificio.....	37
3.2.2	Otros Sistemas	41
3.2.3.	Análisis Detallado de Consumo Energético.....	41
3.2.4.	Diagnóstico de Eficiencia Energética.....	43
3.3	Recolección de Datos.....	47
3.3.1	Medición Eléctricas del Caso de Estudio.....	47
3.3.2	Bitácora Operativa	48
3.4	Indicadores Energéticos	50
3.4.1	Indicador de Consumo General.	50
3.4.2	Indicadores de Demanda y Carga.	52
3.4.3	Indicadores de Calidad de Energía.....	52
3.5	Línea Base Energética del Caso de Estudio.	53
3.5.1	Perfil de Consumo Mensual.....	54
3.5.2	Categorización de usos energéticos por tipo de local.	55
CAPITULO 4, PROPUESTA DE MEJORAS Y PLAN DE GESTIÓN ENERGÉTICA.		58
4.1	Oportunidades de Mejora Identificadas	59
4.1.1	Sistema de Iluminación	60
4.1.3	Sistemas de Gestión Energética.....	63
4.2	Medidas de Eficiencia Energética Propuestas	64
4.2.1	Controles Operacionales.....	64
4.2.2	Automatización y Sensores.....	65
4.2.3	Mejoras de Tecnología.....	66
4.3	Evaluación Técnico-Económica	68
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		72
5.1	Conclusiones Generales del Estudio	72
5.2	Líneas de investigación recomendadas	73
Referencias Bibliográficas		74
ANEXOS		75

Contenido Figuras.

Figura No. 1: Demanda de energía final por región.	12
Figura No. 2: Comparación proporcional del costo promedio de energía por toneladas equivalentes de petróleo (tep) entre regiones representativas. Fuente: AIE y Banco Mundial.	14
Figura No. 3 : Comparativa entre demanda energética residencial y número de hogares (2000–2024).....	15
Figura No. 4: Evolución del consumo energético por hogar y adaptación de tecnologías eficientes.	17
Figura No. 5: Evolución del consumo energético final por sector (2000–2024).	20
Figura No. 6 : Proyección de la participación de renovables en la generación eléctrica Fuente: Elaboración propia.....	22
Figura No. 7: Proyección de crecimiento Económico y demanda de Energía.	24
Figura No. 8: Proyección de Distribución relativa del consumo energético per Cápita.	25
Figura No. 9: Diagrama de ISO 50001.	31
Figura No. 10: Planta de distribución edificio Centro Comercial Bambú. Fuente: Proporcionada por Centro Comercial Bambú.....	39
Figura No. 11: Gráfico que registra la demanda real en KW para una de las subestaciones...	46
Figura No. 12: Gráfico de pastel muestra la distribución estimada del consumo energético Fuente: Elaboración Propia.	46
Figura No. 13: Gráfico perfil mensual de consumo y demanda	54
Figura No. 14 : Gráfico de distribución del consumo energético por tipo de Local	55
Figura No. 15: Balance y Consumo de Energía. Fuente: Elaboración Propia.	56
Figura No. 16: Plano Sección AA, Fuente: Elaboración Centro Comercial Bambú.....	57
Figura No. 17: Plano Sección EE, Fuente: Elaboración Centro Comercial Bambú.....	57

Contenido Tabla.

Tabla 1: Horario de operaciones. Fuente: Elaboración Propia.....	48
Tabla 2: Eventos operativos. Fuente: Elaboración Propia	49
Tabla 3: Observaciones operativas. Fuente: Elaboración Propia.....	49
Tabla 4: Valores Promedio Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP).	51
Tabla 5: Resumen de consumo mensual total (2025). Fuente: Elaboración Propia	54
Tabla 6: Revisión anual de desempeño. Fuente: Elaboración propia.....	59
Tabla 7: Detalle de luminarias instaladas. Fuente: Elaboración propia	60
Tabla 8: Propuesta de Consumo Ajustable. Fuente: Elaboración propia.	61
Tabla 9: Matriz de Medidas de Eficiencia Energética. Fuente: Elaboración propia.....	67
Tabla 10: Matriz de Medidas de Eficiencia Energética y ahorro anual. Fuente: Elaboración propia.....	69
Tabla 11: Resumen de Ahorros y Costos de Oportunidad. Fuente: Elaboración propia.	70

ABREVIATURAS

IRENA: International Renewable Energy Agency

FV: Fotovoltaico

SFV: Sistema fotovoltaico

DGEHM: Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas

kWp: Kilovatio-pico

Wp: Vatios-pico

kW: Kilovatio

MPPT: Maximum Power Point Tracker

Voc: Tensión de circuito abierto

Isc: Corriente de cortocircuito

Imp: Corriente del punto de máxima potencia

Vmp: Tensión del punto de máxima potencia

Pmax: Máxima potencia que entrega el panel

Vm: Tensión máxima

Im: Intensidad máxima

FF: Factor de Forma

Hz: Hercio o Hertz

DC: Corriente directa

AC: Corriente alterna

BCC: Bambú City Center

USD: Dólar Estadounidense

TDR: Términos de Referencia

UE: Unión Europea

EE. UU: Estados Unidos de América

W/m²: Vatios por Metro Cuadrado

O&M: Operación y Mantenimiento

Mtoe: Millones de toneladas equivalentes de petróleo

OECD: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

Ktep: Kilotoneladas equivalentes de petróleo

t CO₂: Tonelada de CO₂ (factor 0.4161 t CO₂/MWh)

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como propósito central proponer una serie de mejoras técnicas y operativas que contribuyan a maximizar la eficiencia energética en edificaciones de uso mixto, tomando como caso de estudio el Centro Comercial en operación ubicado en una zona comercial de San Salvador. Este tipo de edificaciones, caracterizadas por combinar áreas comerciales, corporativas y de servicios, presentan desafíos particulares en la gestión energética debido a su alta diversidad de cargas, horarios extendidos de operación y condiciones climáticas locales exigentes.

A través de un enfoque metodológico técnico-operativo, se desarrolló un diagnóstico integral que incluyó la evaluación de los sistemas de iluminación, climatización, equipos eléctricos y automatización. Se emplearon auditorías energéticas, revisión de planos técnicos, mediciones con analizadores de red y termografía infrarroja. Asimismo, se realizaron entrevistas al personal técnico operativo para complementar la información cuantitativa con percepciones cualitativas del funcionamiento diario del edificio.

Los resultados evidencian un alto consumo energético asociado a sistemas de climatización sobredimensionados, baja eficiencia en luminarias, ausencia de sensores de ocupación y escasa automatización en la gestión de cargas. En consecuencia, se identificaron múltiples oportunidades de mejora que incluyen la modernización del sistema de HVAC, migración a iluminación LED con sensores inteligentes, incorporación de sistemas de gestión energética (EMS) y el rediseño de la distribución de cargas críticas.

Se estima que, de implementarse las mejoras sugeridas, el edificio podría reducir su consumo energético hasta en un 25%, con un retorno promedio en menos de cinco años.

Este estudio no solo ofrece una hoja de ruta aplicable al caso específico del Centro Comercial, sino que también propone una metodología replicable para otras edificaciones de uso mixto en contextos urbanos similares. La integración de herramientas de eficiencia energética, sostenibilidad y automatización posiciona este trabajo como una contribución estratégica al desarrollo urbano sostenible de El Salvador.

1.1 Justificación

La eficiencia energética en edificaciones de uso mixto representa una oportunidad estratégica para disminuir el consumo de energía, reducir costos operativos y mitigar el impacto ambiental. En El Salvador, el crecimiento urbano y comercial ha provocado un aumento sostenido de la demanda energética, situación que exige intervenciones estructuradas en los edificios existentes y en los nuevos desarrollos urbanos. Considerando que los edificios representan cerca del 40% del consumo energético global, el presente estudio busca maximizar la eficiencia energética del Centro Comercial como un modelo replicable a nivel nacional.

1.2 Antecedentes

Diversos estudios internacionales han demostrado que los edificios de uso mixto concentran una proporción significativa del consumo energético urbano, siendo responsables de hasta el 40% de la demanda global. En El Salvador, investigaciones recientes han abordado la eficiencia energética en edificios institucionales y de oficinas, con propuestas de retrofit y aplicación de normativas como ASHRAE 90.1 y LEED. Sin embargo, existe un vacío técnico en cuanto a estudios integrales en edificaciones de uso mixto que combinen áreas comerciales y corporativas.

El Centro Comercial representa un caso representativo, donde se ha identificado una alta demanda energética y oportunidades claras de mejora, lo que motiva de esta investigación orientada a aplicar soluciones prácticas, sostenibles y económicamente viables.

1.3 Planteamiento del Problema

El consumo energético mundial de los edificios ronda el 40 % de la demanda final; este peso se vuelve crítico en Latinoamérica, donde la urbanización impulsa el consumo del sector servicios con más rapidez que la expansión de la oferta eléctrica en El Salvador, la tarifa para grandes usuarios incluye un cargo fijo por potencia (16,11 USD/kW-mes) que penaliza a instalaciones con picos elevados y bajo factor de carga, como ocurre con muchos centros comerciales.

El Centro Comercial reproduce ese patrón de ineficiencia: durante 2025 registró un promedio de 393 710 kWh mensuales y una demanda máxima de 1 133 kW; al dividir el consumo entre las 730 h del mes, el factor de carga es apenas 0.47. Además, las áreas comunes concentran 42,55 % del uso total iluminación, ventilación, bombas y ascensores que operan hasta 24/7, durante todo el año.

Las mediciones de calidad de energía detectaron distorsión armónica de corriente de 18-25 % y factores de potencia inferiores a 0,90 en varios ductos barra, junto con desbalances y puntos calientes en BW-5/BW-6 y en la subestación de 2,000 kVA. Estas anomalías incrementan pérdidas técnicas, aceleran el desgaste de transformadores y elevan el riesgo de fallos que podrían paralizar operaciones comerciales y comprometer la seguridad.

En paralelo, la intensidad energética del edificio (110,5 kWh/m²·año) está por encima del objetivo local de edificios de consumo casi nulo (≤ 100 kWh/m²·año) y lejos de la meta corporativa de descender a 80 kWh/m²·año en tres años. Sin un sistema de gestión energética integral que permita medir, analizar y actuar sobre estas cargas, el complejo seguirá absorbiendo cerca de medio millón de dólares anuales en electricidad, emitirá unas 1 650 t CO₂ por año y se expondrá a penalizaciones técnicas por bajo factor de potencia.

Por lo tanto, el problema central de esta tesis radica en que el Centro Comercial opera con un consumo eléctrico elevado, picos de demanda desproporcionados y deficiencias de calidad de energía, debido a infraestructura sobredimensionada, control limitado y ausencia de automatización integral. Esta situación repercute negativamente en los costos operativos, la confiabilidad de los sistemas y la competitividad ambiental del inmueble. Se requiere un estudio que diagnostique con precisión las causas de estas ineficiencias y proponga un paquete de mejoras técnicas y de gestión capaz de reducir consumo, demanda y emisiones, alineando al edificio con los estándares de eficiencia (ISO 50001, LEED v4) y con el Plan Indicativo de Expansión de Generación 2024-2038 del país.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos Generales:

Proponer un conjunto de mejoras técnicas y de gestión que permitan maximizar la eficiencia energética del edificio de uso mixto Centro Comercial, contribuyendo a la reducción del consumo energético, las emisiones asociadas y los costos operativos.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Caracterizar detalladamente el perfil energético del edificio, a través de mediciones eléctricas, análisis de cargas por sistema (iluminación, climatización, equipos, ventilación) y revisión de registros operativos, para comprender el comportamiento energético real en condiciones normales de uso.
- Establecer una línea base energética robusta, que permita segmentar los consumos por tipo de usuario y sistema, identificar patrones de demanda mensual y facilitar el monitoreo de futuros ahorros energéticos.
- Identificar e interpretar oportunidades de mejora energética, mediante el análisis técnico de soluciones de automatización, implementación de controles inteligentes, modernización de sistemas HVAC e iluminación, y optimización de prácticas operativas.

1.5 Alcances y Limitaciones

1.5.1 Alcances:

- El estudio se enfoca en el Centro Comercial, evaluando instalaciones eléctricas, sistemas HVAC e iluminación.
- Se desarrollarán propuestas compatibles con normativas nacionales y estándares internacionales (ASHRAE, LEED).
- Se incluye un análisis técnico-económico preliminar de las medidas propuestas.

1.5.2 Limitaciones:

- Los resultados estarán condicionados por la disponibilidad y confiabilidad de los datos de consumo energético.
- El estudio no contempla remodelaciones arquitectónicas estructurales mayores.
- No se consideran medidas de generación distribuida (como fotovoltaica), aunque podrían sugerirse en recomendaciones.

1.6 Metodología:

Esta metodología busca no solo optimizar el desempeño energético del edificio evaluado, sino también generar un modelo replicable en otras edificaciones de características similares.

Primera fase: caracterización del caso de estudio. Se recopila información general del edificio (Centro Comercial) incluyendo planos arquitectónicos, memoria de operación, bitácoras de mantenimiento y reportes de consumo eléctrico. Se identifican los sistemas energéticos críticos: iluminación, climatización, ventilación, equipos eléctricos y automatización.

Segunda fase: diagnóstico energético. A través de auditorías in situ se realizan mediciones eléctricas con analizadores de red y cámaras termográficas para evaluar parámetros como cargas máximas, factores de potencia, distorsión armónica y desbalances de fase. También se analizan consumos históricos a partir del balance energético mensual del año 2025, estableciendo una línea base.

Tercera fase: análisis y propuesta de mejoras. Se identifican las ineficiencias y se proponen medidas correctivas como sustitución de luminarias, mejora de sistemas HVAC, incorporación de sensores y automatización. Cada medida se evalúa técnica y económicamente mediante criterios como el periodo de retorno (Payback), valor presente neto (VPN) y ahorro energético estimado.

Cuarta fase: validación y plan de implementación. Se priorizan las mejoras según su impacto y viabilidad. Se plantea una hoja de ruta para su ejecución progresiva y un sistema de indicadores de seguimiento, alineado con estándares internacionales (ASHRAE, ISO 50001).

CAPITULO 2, MARCO TEÓRICO.

En el contexto salvadoreño, el sector eléctrico refleja claramente una tendencia global, mostrando incrementos significativos en capacidad instalada y generación mediante recursos renovables como solar fotovoltaica, hidroeléctrica y geotérmica. Según datos del boletín estadístico de (*Unidad de Transacciones, 2024*). estos recursos representan una proporción creciente del mix energético nacional, con políticas públicas y regulaciones adaptadas para fomentar inversiones en energías limpias.

La evolución del sector energético está marcada por el crecimiento sostenido en la demanda eléctrica y la urgente necesidad de adoptar tecnologías sostenibles. La teoría de la transición energética explica cómo las economías están migrando gradualmente hacia sistemas energéticos basados en fuentes renovables, eficiencia energética y bajas emisiones de carbono. Este proceso es impulsado tanto por políticas internacionales orientadas a reducir el impacto ambiental como por las innovaciones tecnológicas y económicas que permiten competitividad en costos.

El marco teórico enfatiza la necesidad de considerar factores como la estabilidad regulatoria, incentivos económicos, desarrollo tecnológico local y cooperación regional. Estos elementos no solo garantizan una transición energética efectiva, sino que también fortalecen la seguridad energética y promueven un desarrollo económico sostenible, especialmente en contextos nacionales específicos como El Salvador (*International Energy Agency, 2025*).

Por último, se consideran las proyecciones y lineamientos estratégicos de organismos como la Agencia Internacional de Energía (IEA) y la Alianza Global para los Edificios y la Construcción (GlobalABC), los cuales advierten que el cumplimiento de los objetivos climáticos globales no será posible sin una transformación profunda del sector de las edificaciones, promoviendo estándares más exigentes en eficiencia energética, el fortalecimiento de capacidades institucionales y el uso intensivo de tecnologías limpias y digitales.

En este contexto, resulta fundamental contextualizar dichos lineamientos en países con características específicas, como El Salvador, donde la rápida urbanización, el crecimiento

económico moderado y las vulnerabilidades frente al cambio climático imponen desafíos particulares para el sector construcción. La adaptación de las estrategias globales implica considerar aspectos socioeconómicos locales, tales como la disponibilidad de recursos financieros y técnicos, marcos regulatorios específicos y la cultura energética de la población salvadoreña (*Consejo Nacional de Energía, 2024*).

2.1 Panorama Energético Global y local aplicable a Edificios de usos múltiples.

2.1.1 El Planeta: Tendencias Globales de Consumo Energético.

El constante incremento del consumo energético global ha generado desafíos significativos para el suministro sostenible y la administración eficiente de los recursos energéticos disponibles. De acuerdo con datos proporcionados por la Agencia Internacional de Energía (IEA), la demanda global de energía aumentó un 2,2 % durante 2024, cifra considerablemente superior al promedio anual del 1,3 % registrado entre 2013 y 2023. Este incremento estuvo influenciado especialmente por eventos climáticos extremos, responsables de un aumento adicional del 0,3 % en la demanda mundial (*Castrillón Mendoza, s. f.*).

Aunque los combustibles fósiles continúan predominando en la matriz energética global, es evidente una transición gradual hacia fuentes de energía más limpias. En 2024, las fuentes renovables constituyeron casi el 75 % del incremento total en la producción mundial de energía, destacándose particularmente la generación fotovoltaica solar (480 TWh) y la eólica (180 TWh). Por su parte, la generación hidroeléctrica experimentó una recuperación significativa tras la sequía ocurrida en 2023, aumentando en un 4,4 %, mientras que la producción de energía nuclear creció aproximadamente un 4 %.

Respecto a las emisiones, durante 2024 se registraron niveles sin precedentes de 37,8 Gt de CO₂ (equivalentes a 422,5 ppm), reflejando un aumento del 50 % comparado con los niveles preindustriales. Las emisiones derivadas de la combustión de combustibles fósiles aumentaron en un 1 %, mientras que aquellas procedentes de procesos industriales se redujeron en un 2,3 %.

2.1.2 Crecimiento Económico y Eficiencia Energética.

Continúa observándose un desacoplamiento entre el crecimiento económico global y las emisiones de carbono: mientras el PIB mundial creció un 3,2 %, las emisiones relacionadas con la energía solo aumentaron un 0,8 %. Este fenómeno evidencia la efectividad de las políticas de eficiencia energética y la incorporación creciente de tecnologías con bajas emisiones de carbono.

A nivel regional, China lideró el crecimiento de la demanda energética debido a un incremento del PIB del 5 % en 2024. India también tuvo un papel determinante, con un crecimiento económico del 6,5 % y un significativo aumento en el consumo de gas natural. Según las estimaciones de la IEA, India podría superar a China como principal impulsor del crecimiento energético hacia el final de la presente década, impulsada por una rápida urbanización, expansión industrial y evolución tecnológica (Castrillón Mendoza, s. f.). Como se puede apreciar en la siguiente figura.

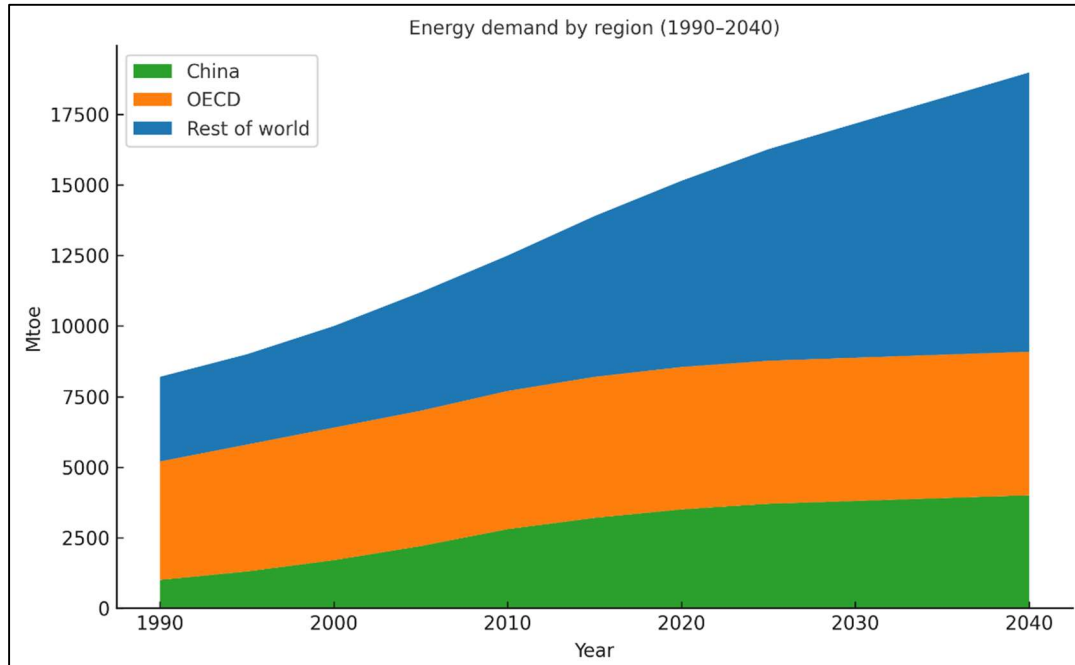


Figura No. 1: Demanda de energía final por región.
Fuente: AIE

Pese al continuo aumento en la demanda de energía en países fuera de la OCDE, el consumo energético por habitante en estas regiones sigue siendo considerablemente inferior al registrado en economías avanzadas. Según el (*International Energy Agency, 2025*) de la IEA, el costo promedio de energía en Centroamérica fue de \$950 por tonelada equivalente de petróleo (tep), lo que contrasta significativamente con los más de \$1,600 por tep que se pagan en regiones como Japón o la Unión Europea (ver Figura 2.).

En cuanto a las emisiones de CO₂ per cápita, China superó en un 16 % a las economías desarrolladas en 2024 y prácticamente duplicó el promedio mundial, reflejando tanto una intensa actividad industrial como una dependencia sostenida de combustibles fósiles. No obstante, la región también lideró en capacidad instalada de energías renovables, lo cual evidencia un proceso de transición aún en desarrollo (*Yandún Paredes, 2017*).

A pesar de este panorama, los avances tecnológicos y la adopción de soluciones energéticas limpias como sistemas fotovoltaicos, generación eólica, vehículos eléctricos y tecnologías de climatización eficiente han contribuido a desacoplar parcialmente el crecimiento económico del consumo energético. La intensidad energética global mejoró en un 1 % en 2024, aunque este avance fue más modesto en comparación con décadas anteriores, sigue representando una mejora importante en eficiencia.

Por ello, aunque se prevé que hacia el año 2040 las economías emergentes aumenten significativamente su consumo energético total, su consumo energético per cápita continuará por debajo de los niveles históricos de los países de la OCDE, incluso por debajo de los registrados en la década de 1970, debido a mejoras en eficiencia energética y transformaciones estructurales en sus modelos de desarrollo. Como se puede apreciar en la siguiente figura sobre el promedio de costo de la energía por región.

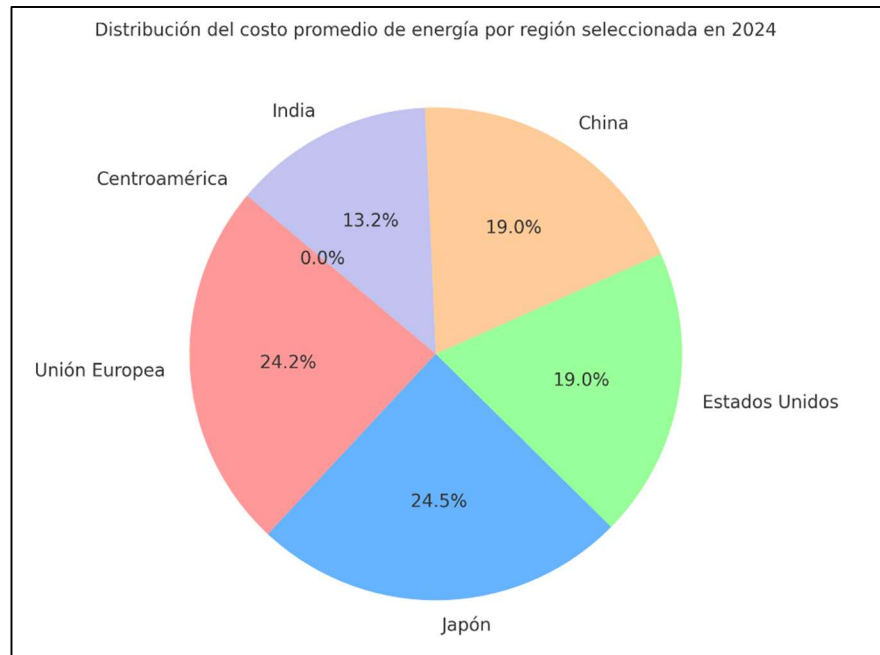


Figura No. 2: Comparación proporcional del costo promedio de energía por toneladas equivalentes de petróleo (tep) entre regiones representativas. Fuente: AIE y Banco Mundial.

2.1.3 Distribución Sectorial de la Demanda Energética

De acuerdo con los datos sectoriales más recientes, el transporte continúa siendo uno de los principales sectores consumidores de energía a escala mundial, representando cerca del 30 % del consumo final global. Muy próximo se encuentra el sector industrial, cuya importancia sigue siendo destacada debido al desarrollo económico en economías emergentes. Por otro lado, los sectores residenciales y de servicios han experimentado un crecimiento constante, convirtiéndose en los de mayor incremento porcentual reciente, impulsados por procesos de digitalización, mayor acceso a la electrificación y cambios en los patrones de consumo.

El sector residencial se posiciona como un elemento clave en el panorama energético actual, tanto en países desarrollados como en economías emergentes. La demanda de electricidad en edificaciones, especialmente en viviendas, creció por encima del 5 % en 2024, representando más del 60 % del incremento global en el consumo eléctrico, según datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA). Este aumento estuvo motivado por una

mayor demanda de sistemas de refrigeración, expansión en la conectividad digital y una mayor adopción de tecnologías avanzadas en los hogares.

En el ámbito salvadoreño, las proyecciones del PIEG 2024–2038 revelan una clara tendencia hacia la electrificación eficiente del sector residencial, incorporando políticas orientadas a reemplazar gradualmente iluminación, refrigeradores y aires acondicionados por equipos más eficientes. Se anticipa que para el año 2052, el 90 % de las luminarias sean tipo LED y que gran parte de los electrodomésticos esenciales cumplan con las regulaciones técnicas regionales. En la siguiente figura se puede ver que en la primera década(2,000-2,010) era proporcional el incremento de la demanda con los hogares, actualmente la tendencia es que los hogares demandan mucha más energía.

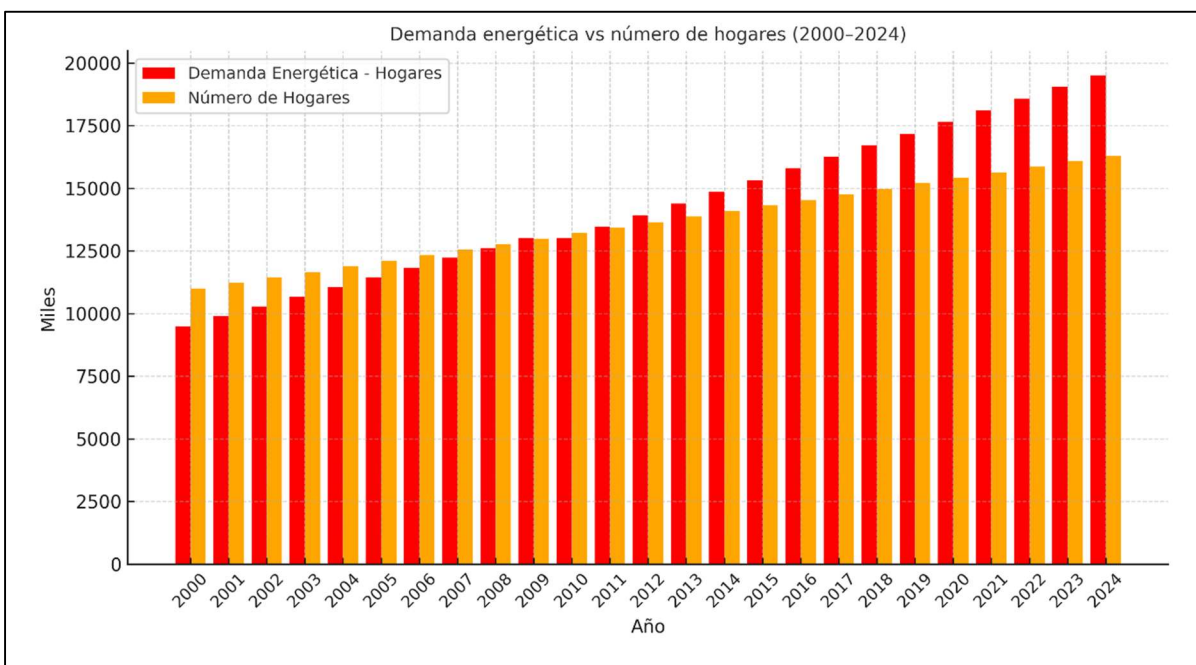


Figura No. 3 : Comparativa entre demanda energética residencial y número de hogares (2000–2024)
Fuente: Elaboración propia con base en tendencias del Global Energy Review 2025, International Energy Agency (IEA).

Si bien el consumo absoluto del sector residencial sigue siendo menor que el industrial o el transporte, su crecimiento proporcional y su considerable potencial para mejorar la eficiencia energética lo convierten en un foco estratégico para políticas públicas y esfuerzos de transición energética. El aumento en el número de hogares, combinado con la creciente

demanda de confort y nuevas tecnologías, fortalece su relevancia en el desarrollo de edificios sostenibles y ciudades inteligentes.

2.1.4 Tendencias del Sector Residencial y Servicios

En los últimos años, el incremento del consumo energético en el sector residencial ha comenzado a desacelerarse, debido principalmente a una reducción en la velocidad de creación de nuevos hogares y a una mejor eficiencia energética de los equipos domésticos. No obstante, se anticipa que el consumo por vivienda seguirá aumentando en la próxima década, especialmente en lo que respecta al uso eléctrico. Esta proyección se relaciona directamente con el crecimiento en la demanda de aire acondicionado, la adopción de tecnologías inteligentes, la recarga doméstica de vehículos eléctricos y las mayores expectativas de confort en las viviendas contemporáneas.

Simultáneamente, las políticas de eficiencia energética promovidas por organismos internacionales y gobiernos nacionales continúan fomentando el reemplazo de equipos poco eficientes por dispositivos más avanzados energéticamente. En El Salvador, por ejemplo, se estima que para 2052 todos los aires acondicionados y refrigeradoras domésticas cumplirán con las normativas nacionales y regionales de eficiencia. También se prevé una penetración significativa de iluminación LED, superando el 90 % para ese mismo año.

Por lo tanto, el sector construcción sigue consolidándose como un elemento clave para la formulación de políticas energéticas públicas (*Gavilán Casal, s. f.*). La Unión Europea ha implementado continuamente medidas alineadas con sus objetivos climáticos, como la renovación obligatoria anual del 3 % de los edificios públicos, fortaleciendo sistemas de certificación energética y promoviendo la construcción de edificios con consumo casi nulo de energía (nZEB), en línea con la Directiva 2012/27/UE y la EPBD (Energy Performance Of Buildings Directive) Recast.

A su vez, el sector servicios mantiene un crecimiento constante tanto en términos económicos como en consumo energético. A pesar de los esfuerzos en eficiencia, su intensidad energética disminuye más lentamente que en otros sectores, principalmente

debido al auge de actividades que requieren grandes cantidades de electricidad, como centros de datos, telecomunicaciones, turismo y servicios médicos. Esta realidad posiciona al sector terciario como un área con amplio potencial para mejoras significativas en eficiencia energética, especialmente en climatización y automatización de edificios y oficinas inteligentes. En la siguiente figura se puede ver como los hogares tienen más tendencia a utilizar más tecnologías eficientes.

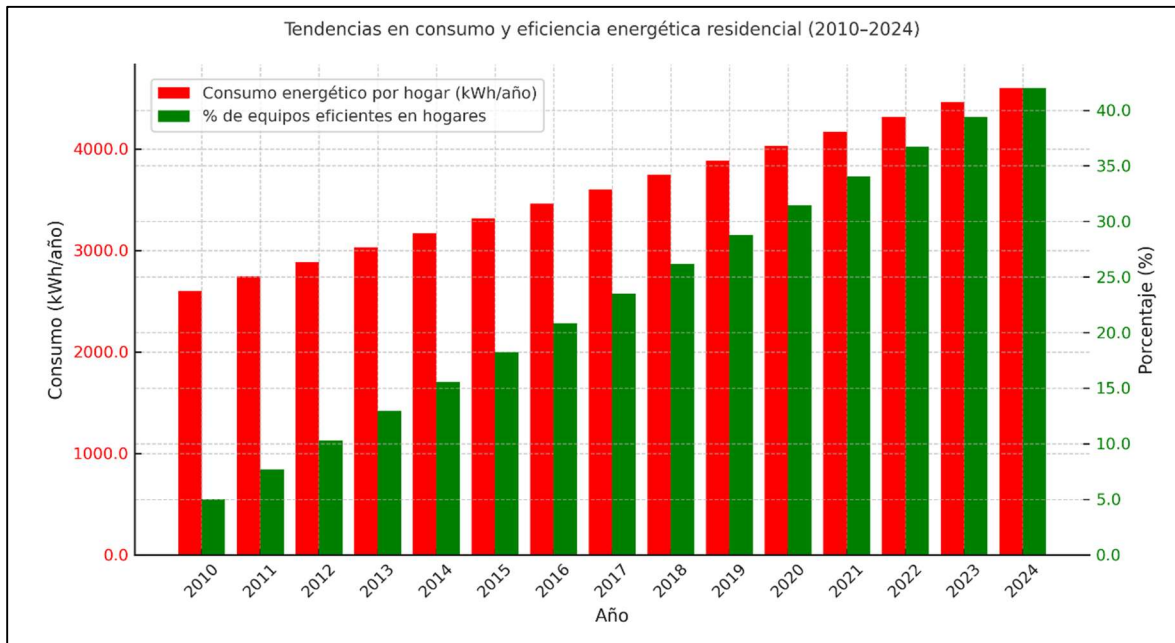


Figura No. 4: Evolución del consumo energético por hogar y adaptación de tecnologías eficientes.
Fuente: Elaboración propia con base en tendencias del Global Energy Review 2025, International Energy Agency (IEA).

2.1.5 La Unión Europea (UE) y Políticas Energéticas

A pesar de las circunstancias económicas actuales, Europa aborda la problemática energética y el cambio climático con una estrategia triple centrada en:

- Seguridad energética: impulsando una política exterior unificada y estableciendo diálogos efectivos entre los Estados miembros y sus socios internacionales.
- Competitividad: asegurando que las economías europeas cuenten con un suministro energético accesible y económicamente viable.

- Sostenibilidad ambiental: reforzando el papel de liderazgo de la Unión Europea mediante la adopción de planes concretos para mejorar la eficiencia energética y el desarrollo continuo de fuentes renovables.

La política energética y la acción climática permanecen como prioridades fundamentales para la Unión Europea, teniendo un rol clave en la Estrategia de Lisboa para el crecimiento y empleo, así como en las relaciones internacionales europeas. En este contexto, la UE ha desarrollado políticas energéticas y normativas específicas para edificaciones, establecidas a través de directivas que cada país miembro adapta a su legislación nacional.

Las directivas europeas fijan metas obligatorias para los Estados miembros, permitiendo a estos definir los métodos y medidas específicas para su cumplimiento. Cada nación debe incorporar estas directivas a su normativa interna dentro del plazo establecido, con un margen suficiente para adaptarse a sus particularidades nacionales.

Entre las estrategias destacadas de la UE en relación con el sector residencial están:

Compromiso de los “Cinco Veintes”: Para el año 2020, la UE debía alcanzar:

- Una reducción del 20% en emisiones de gases de efecto invernadero respecto a los niveles de 1990.
- Una reducción del 20% en el consumo energético comparado con los datos de 1990, mediante la promoción de la eficiencia energética.
- Un 20% de energía primaria procedente de fuentes renovables.

Compromisos sobre reducción del consumo en edificios:

- Establece métodos para calcular la eficiencia energética en edificios.
- Fija requisitos mínimos de eficiencia energética según tipo de edificio (nuevo o existente).
- Establece el objetivo de edificios con consumo energético casi nulo.
- Desde el 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos deben tener un consumo energético cercano a cero. Desde el 31 de diciembre de 2018, los nuevos edificios ocupados por autoridades públicas debieron cumplir esta normativa.

- Directiva 2012/27 sobre eficiencia energética:
- Promueve la eficiencia en calefacción y refrigeración.
- Obliga a los Estados miembros a desarrollar una estrategia de largo plazo para la renovación energética del parque de edificios residenciales y comerciales.

2.2 Energía y el Sector Edificación

2.2.1 La Edificación como Actor Energético

En tiempos recientes, el sector construcción ha ganado relevancia en los análisis energéticos internacionales, no solo por su nivel creciente de consumo, sino por el potencial que ofrece para la descarbonización. Según datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA), en 2024 el sector residencial que agrupa principalmente edificaciones consumió más de 77 mil ktep, ubicándose como el segundo mayor consumidor energético, después del sector transporte, que lideró con 92 mil ktep (*Gavilán Casal, s. f.*).

Este aumento en el consumo residencial se atribuye a la expansión urbana, el crecimiento del parque habitacional y una mayor demanda de confort, especialmente en climas extremos. Tecnologías como bombas de calor, cocinas de inducción y climatización inteligente han impulsado el uso de electricidad en edificios, mientras que el auge de centros de datos, edificios inteligentes y hogares conectados también ha intensificado la demanda energética.

El consumo energético final se distribuye entre cinco sectores principales: transporte, residencial, agricultura, industria y servicios. El sector agrícola alcanzó 74 mil ktep, reflejando un incremento por la mecanización y la electrificación del riego. La industria registró 65 mil ktep, beneficiándose de medidas de eficiencia, y los servicios se mantuvieron en 53 mil ktep, influenciados por la automatización de oficinas y edificaciones comerciales.

En las economías modernas, el sector de la edificación representa entre el 20 % y el 40 % del consumo total, con una tendencia creciente debido a la densificación urbana y la digitalización. Aunque las políticas de eficiencia han reducido el consumo por vivienda, el aumento del número de edificaciones ha generado un incremento neto en la demanda energética.

Por lo tanto, la construcción se posiciona como un actor clave en la transición energética global, no solo por su impacto en la demanda, sino también por las oportunidades para implementar soluciones como generación distribuida, eficiencia energética y energía solar in situ, que pueden transformar el modelo energético hacia uno más limpio y resiliente, se puede notar en la siguiente figura cual es el sector energético más demandante como el transporte que aun depende mucho de los combustibles fósiles y como el sector residencial se mantiene como el segundo que más demanda energía.

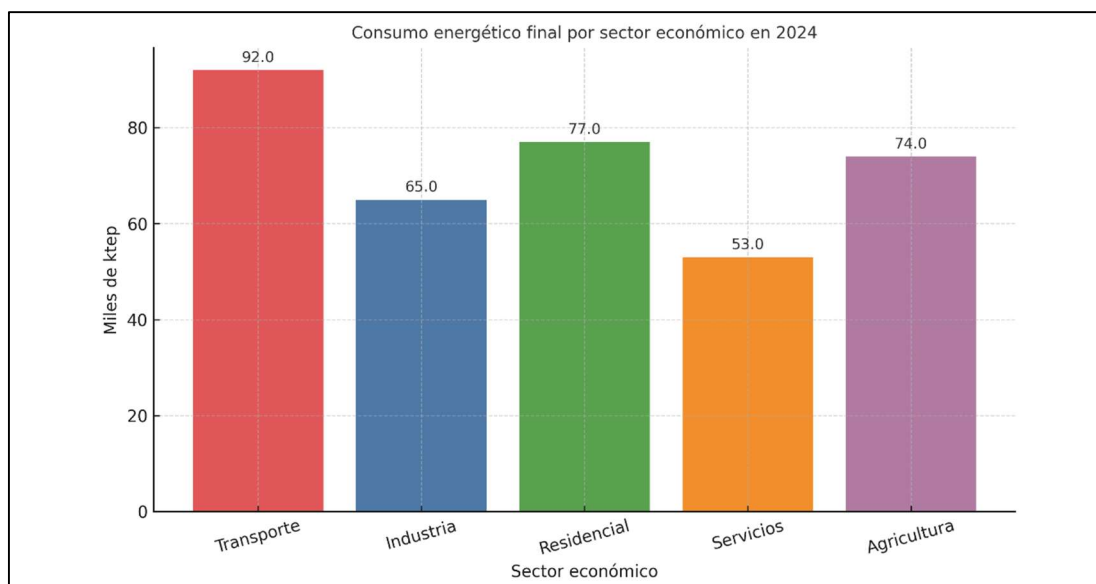


Figura No. 5: Evolución del consumo energético final por sector (2000–2024).

Fuente: Elaboración propia con base en tendencias del Global Energy Review 2025, International Energy Agency (IEA).

2.2.2 La Historia de las Energías Renovables en El Salvador.

La evolución del sector energético en El Salvador ha estado marcada por una transición progresiva hacia una matriz energética más sostenible, motivada principalmente por la histórica dependencia del petróleo importado. A partir de mediados del siglo XX, se comenzaron a desarrollar proyectos hidroeléctricos como principal fuente de generación, a los que posteriormente se incorporaron iniciativas geotérmicas, aprovechando el potencial volcánico del país.

Durante la década de 2010, bajo el impulso de políticas públicas más ambiciosas, se intensificó la integración de fuentes renovables no convencionales como la energía solar

fotovoltaica, la biomasa y, en menor medida, la energía eólica. Este cambio estructural respondió tanto a la necesidad de reducir la vulnerabilidad ante la volatilidad de los precios del crudo como al cumplimiento de compromisos ambientales internacionales, tales como los establecidos en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC). Actualmente, más del 60 % de la capacidad instalada del país proviene de fuentes renovables, posicionando a El Salvador como uno de los referentes regionales en materia de transición energética (*Cáceres Alvarado et al., 2022*).

Primeros pasos y contexto normativo

A partir de la década de 2000, el Estado salvadoreño comenzó a incorporar progresivamente consideraciones energéticas dentro de su legislación ambiental. En 2012 se aprobó la Política Nacional del Medio Ambiente, y se reformó la Ley del Medio Ambiente con el fin de incluir aspectos relacionados con el cambio climático. Posteriormente, en 2013, se presentó la Estrategia Nacional del Medio Ambiente, la cual incorporó una estrategia nacional de cambio climático alineada con las prioridades de sostenibilidad y reducción de emisiones del país.

Formulación de la Política Energética Nacional 2020–2050

La Política Energética Nacional 2020–2050 se consolidó como el principal instrumento de planificación energética a largo plazo, estableciendo una hoja de ruta para la transformación del modelo energético. Dicha política plantea, entre sus ejes estratégicos, el impulso de fuentes renovables, la promoción de la eficiencia energética y el fortalecimiento de la seguridad energética nacional (*Unidad de Transacciones, 2024*)

Crecimiento de la capacidad instalada renovable

Entre los años 2011 y 2022, El Salvador experimentó un incremento significativo en su capacidad instalada de generación a partir de fuentes renovables, destacando los siguientes valores:

- Hidroeléctrica: de 472 MW a 571.3 MW.
- Biomasa: de 109.5 MW a 298.4 MW.

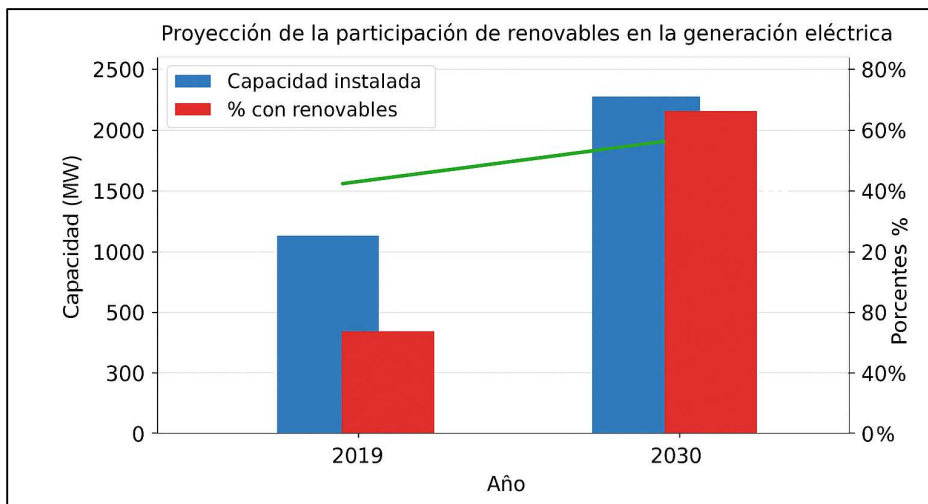
- Solar fotovoltaica: de 0 a 213.9 MW.
- Eólica: de 0 a 54 MW.
-

Participación renovable en la generación eléctrica

En el año 2021, la matriz de generación eléctrica presentó una distribución favorable hacia fuentes limpias. La energía hidroeléctrica representó el 26 % del total generado, seguida por la geotérmica con un 21.8 %, y las tecnologías solar y biomasa con un 17.8 % combinadas. Estas cifras superaron ampliamente la generación a partir de combustibles fósiles como el búnker y el diésel, evidenciando una transformación estructural hacia una generación más sostenible.

Proyecciones a mediano plazo

De acuerdo con estimaciones oficiales, se espera que para el año 2030 las energías renovables representen un 86 % de la generación eléctrica nacional, con una capacidad instalada proyectada de 2,222 MW. Esta cifra representa un incremento del 50 % en comparación con el año 2019. En la siguiente figura se puede ver la tendencia de la participación de las energías renovables en la matriz energética.



*Figura No. 6 : Proyección de la participación de renovables en la generación eléctrica
Fuente: Elaboración propia*

El crecimiento económico suele estar acompañado de un aumento en la demanda energética, lo cual históricamente ha implicado un mayor consumo de recursos y una mayor emisión de contaminantes. No obstante, la eficiencia energética permite desacoplar ambas variables, promoviendo un uso racional y optimizado de la energía.(International Energy Agency, 2025)

Este enfoque ha sido adoptado por la Política Energética Nacional 2020–2050, que propone la incorporación de tecnologías limpias y prácticas eficientes en los sectores productivo, comercial y residencial. Se proyecta que una mejora sostenida en eficiencia energética contribuirá no solo a la reducción de emisiones y costos, sino también al fortalecimiento de la competitividad industrial y a la seguridad energética del país, configurando así un modelo de crecimiento resiliente y bajo en carbono (*Unidad de Transacciones, 2024*).

Según el Plan Indicativo de Expansión de Generación Nacional 2024–2038, bajo un escenario base se proyecta un crecimiento promedio anual del 2.4 % del Producto Interno Bruto (PIB), acompañado de un incremento del 3.5 % anual en la demanda energética durante los próximos 15 años (International Energy Agency, 2025). Este crecimiento está siendo gestionado mediante la implementación de medidas como:

- Sustitución de luminarias convencionales por tecnología LED
- Reemplazo de electrodomésticos por modelos de alta eficiencia
- Modernización de motores industriales
- Promoción del uso de cocinas eléctricas en el sector residencial

Estas acciones contribuyen a moderar la curva de demanda, a reducir costos operativos en sectores clave, y a ampliar el acceso a servicios energéticos modernos. A continuación, se detalla la proyección del crecimiento económico vs. la demanda energética en El Salvador

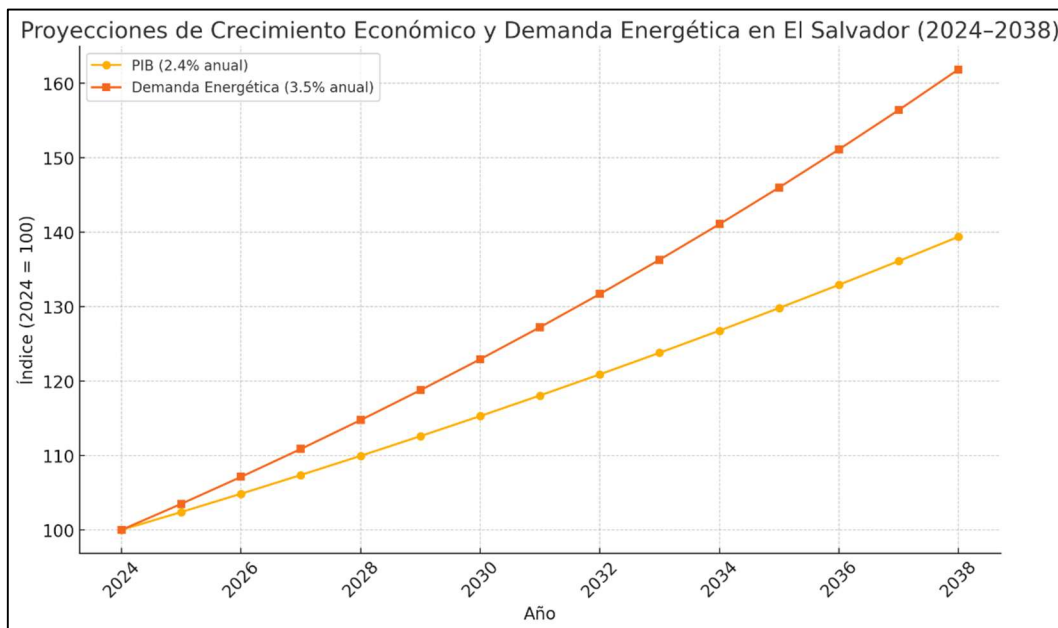


Figura No. 7: Proyección de crecimiento Económico y demanda de Energía.
Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Desigualdades Regionales y Consumo Energético Per Cápita

El análisis del consumo energético per cápita a nivel global revela patrones persistentes de desigualdad entre las regiones industrializadas y aquellas en vías de desarrollo. A pesar del crecimiento sostenido en economías emergentes como China e India, el consumo per cápita en estos países aún no alcanza los niveles que registraron los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en décadas anteriores. Se estima que, incluso para el año 2040, el consumo energético per cápita en las economías no pertenecientes a la OCDE permanecerá por debajo del promedio de dicha organización en 1970, a pesar de un notable aumento en su población y actividad económica.

En el caso de América Latina y el Caribe, región altamente urbanizada con más del 80 % de su población residiendo en zonas urbanas, persisten importantes desafíos en términos de eficiencia y acceso energético. Las ciudades concentran aproximadamente el 80 % del consumo energético regional y generan cerca del 75 % de las emisiones de carbono, lo que evidencia un patrón de consumo intensivo, aunque frecuentemente ineficiente. Según proyecciones teóricas, la región podría alcanzar un índice de consumo energético per cápita estimado en 42% para el año 2040, posicionándose por encima de otras economías emergentes como China e India, siempre que se mantenga una trayectoria de crecimiento sostenido en eficiencia y acceso (Castrillón Mendoza, s.f.). Lo anterior se resume en un grafico de pastel.

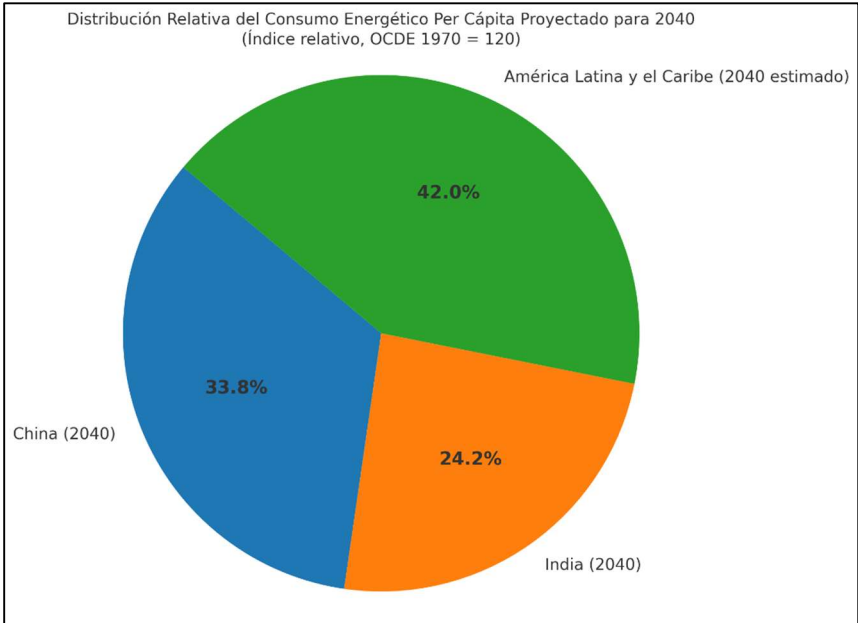


Figura No. 8: Proyección de Distribución relativa del consumo energético per Cápita.
Fuente: Elaboración propia

En contraste, regiones como Europa han logrado estabilizar o incluso reducir su consumo energético per cápita gracias a políticas robustas de eficiencia energética, renovación del parque edificatorio y adopción de energías renovables. Cerca del 40% de la energía en la UE es consumida por edificios, sin embargo, estos han mejorado en eficiencia y renovabilidad, lo que ha contribuido a disminuir su huella energética.

En el contexto salvadoreño, el consumo energético per cápita evidencia marcadas desigualdades sectoriales y territoriales, propias de un país en vías de desarrollo. En 2018, el

92.5% del consumo energético total se concentró en tres sectores: transporte (48.4%), industria (29.9%) y residencial (14.2%), mostrando una fuerte dependencia del petróleo, especialmente en el parque vehicular, y un uso limitado de electricidad en términos porcentuales (19.1%) dentro del consumo total de energía final. Esta realidad se ve agravada por las diferencias de acceso entre zonas urbanas y rurales, donde aún persisten brechas en la cobertura eléctrica, a pesar de los esfuerzos de la Política Energética Nacional 2020–2050 por promover el acceso equitativo y sostenible en todo el territorio. Asimismo, la desigualdad no solo se presenta a nivel geográfico, sino también institucional: en 2022, mientras el Ministerio de Hacienda registraba consumos eléctricos mensuales cercanos a los 200,000 kWh, otras carteras como Economía apenas alcanzaban los 25,000 kWh. Estas diferencias reflejan no solo disparidades en infraestructura y operación, sino también en la asignación de recursos energéticos. Ante ello, la transición hacia una matriz diversificada y renovable, con énfasis en generación distribuida, se presenta como una oportunidad para reducir brechas históricas y democratizar el acceso a la energía en El Salvador.

2.3 Innovaciones Tecnológicas y Políticas Aplicadas a Edificaciones.

La evolución del sector edificación hacia modelos sostenibles y energéticamente eficientes ha estado impulsada por dos grandes vectores: el desarrollo tecnológico y la adopción de marcos normativos rigurosos. Las edificaciones modernas integran tecnologías avanzadas que permiten optimizar el uso de energía, reducir las emisiones y mejorar el confort de los ocupantes. Entre estas tecnologías se destacan los sistemas de automatización y control inteligente, el uso de sensores para gestión operativa en tiempo real, iluminación LED, sistemas HVAC de alta eficiencia, cocinas de inducción y generación distribuida basada en energía solar fotovoltaica (*Cáceres Alvarado et al., 2022*).

A nivel normativo, destacan las directivas europeas como la 2010/31/UE y la 2012/27/UE, que han establecido un marco de exigencia progresiva para la eficiencia energética en edificaciones, promoviendo estándares de consumo casi nulo (nZEB) y obligando a los países miembros a renovar su parque edificado. Estos lineamientos han sido replicados en distintas regiones mediante legislaciones equivalentes o inspiradas en tales modelos.

En el caso de El Salvador, la Política Energética Nacional 2020–2050 y el Plan Indicativo de Expansión de la Generación 2024–2038 (PIEG) reconocen el papel estratégico del sector

edificación en la transición energética. Estas políticas proponen acciones concretas como la promoción del etiquetado energético, la sustitución de electrodomésticos ineficientes y la integración masiva de luminarias LED, así como incentivos para la electrificación eficiente de viviendas y edificios del sector servicios (Rodríguez *et al.*, 2024).

2.3.1 Tecnologías Aplicadas en Edificaciones (Automatización, Sensores, Fotovoltaica, etc.)

En el contexto actual de cambio climático y presión sobre los recursos energéticos, las edificaciones de usos mixtos, aquellas que integran funciones residenciales, comerciales, corporativas o recreativas en un mismo complejo, se enfrentan al desafío de mantener altos niveles de funcionalidad y confort, con un consumo energético optimizado. Para lograrlo, han emergido múltiples tecnologías que permiten maximizar la eficiencia energética, alineándose con principios de sostenibilidad ambiental y criterios normativos internacionales como LEED, BREEAM o EDGE.

Estas tecnologías no sólo buscan reducir el consumo energético en términos absolutos, sino también mejorar la inteligencia operativa del edificio, permitiéndole adaptarse dinámicamente a las condiciones internas (ocupación, actividad) y externas (clima, radiación solar). A continuación, se destacan las principales herramientas tecnológicas implementadas en este tipo de infraestructuras:

Automatización de Sistemas y Control Inteligente

La automatización en edificaciones sostenibles incluye sistemas centralizados de gestión energética (BMS - Building Management Systems) que permiten regular automáticamente el funcionamiento de los equipos críticos como iluminación, climatización, ventilación y ascensores. Estos sistemas utilizan datos en tiempo real para operar de manera más eficiente, ajustando el consumo de energía en función de la necesidad real del edificio. En edificaciones

de usos mixtos, donde los patrones de uso varían por zona y por hora del día, estos sistemas permiten una respuesta personalizada y eficiente.

Sensores y Dispositivos IoT (Internet de las cosas)

Los sensores de ocupación, temperatura, luz natural, humedad y CO₂, integrados en la infraestructura, permiten que el edificio aprenda del comportamiento de sus usuarios. Al recopilar estos datos y procesarlos mediante algoritmos de control, el sistema puede apagar sistemas innecesarios, ajustar la ventilación según la calidad del aire interior, o adaptar la iluminación a la luz natural disponible. Esta sonorización es clave para alcanzar el concepto de "edificio inteligente", fundamental en edificaciones sostenibles.

Generación de Energía In Situ con Sistemas Fotovoltaicos

Los sistemas solares fotovoltaicos, integrados en techos, fachadas o estacionamientos, permiten a los edificios producir una parte significativa de su propia energía (Cáceres Alvarado et al., 2022). En muchas edificaciones de usos mixtos, esta generación distribuida se combina con sistemas de almacenamiento energético, lo que permite reducir la dependencia de la red eléctrica y mejorar la resiliencia operativa. La incorporación de estas tecnologías se ve incentivada por políticas públicas, y su impacto es valorado positivamente en sistemas de certificación ambiental.

Medición Avanzada y Analítica Energética

El uso de medidores inteligentes y plataformas de monitoreo energético en tiempo real permite visualizar, analizar y optimizar el consumo en cada zona del edificio. Estas herramientas facilitan el diagnóstico de ineficiencias, la elaboración de líneas base energéticas y la toma de decisiones para implementar medidas de ahorro. Además, permiten realizar un seguimiento continuo y cuantificable de las mejoras aplicadas.

Integración de Tecnologías Complementarias

En edificaciones sostenibles se están incorporando también tecnologías como:

Iluminación LED regulable con sensores de presencia y luminancia, bombas de calor para agua caliente sanitaria, mucho más eficientes que calderas tradicionales.

Simulación energética mediante software como DesignBuilder, TRNSYS o EnergyPlus para prever el comportamiento térmico y energético del edificio en distintas condiciones operativas y tecnologías pasivas (como ventilación cruzada, fachadas bioclimáticas o sombreados móviles) que complementan el sistema activo de eficiencia.

2.3.2 Normativa Internacional: EPBD, ISO 50001, Directiva 2012/27/UE

El marco normativo internacional proporciona lineamientos esenciales para fomentar el diseño, construcción, operación y rehabilitación de edificaciones con alta eficiencia energética. A continuación, se detallan tres de las normativas más influyentes y su relevancia para edificaciones sostenibles y de usos mixtos:

1. EPBD – Directiva Europea sobre el Rendimiento Energético de los Edificios

La Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), adoptada inicialmente en 2002 y actualizada en 2010 (2010/31/UE) y posteriormente en 2018, constituye el pilar regulador más importante en la Unión Europea para la eficiencia energética en edificaciones.

Establecer requisitos mínimos de eficiencia energética para edificios nuevos y existentes, promover la certificación energética y fomentar la rehabilitación energética del parque edificado.

Requisitos Clave:

- Obligación de emitir certificados de eficiencia energética.
- Revisión periódica de sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado).

- Promoción de edificios de consumo casi nulo (nZEB).
- Integración de energías renovables en nuevos desarrollos.

Aplicabilidad: Aunque nace en Europa, su estructura normativa y técnica ha servido como modelo para políticas de eficiencia energética en países de Latinoamérica, incluyendo programas piloto en El Salvador y Colombia.

2. ISO 50001 – Sistemas de Gestión de la Energía

La norma ISO 50001:2018 establece los requisitos para implementar, mantener y mejorar un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn) en cualquier tipo de organización, incluido el sector edificación.

Principios Fundamentales:

- Ciclo PHVA (Planificar–Hacer–Verificar–Actuar).
- Desarrollo de una línea base energética y de indicadores clave (EnPI).
- Identificación de usos significativos de la energía (USE).

Establecimiento de objetivos medibles y planes de acción para mejorar el desempeño energético.

Beneficios:

- Reducción sistemática del consumo energético.
- Mejora continua basada en datos verificables.
- Cumplimiento de metas institucionales, ambientales y normativas.

A continuación, se resume los apartados en un diagrama ISO 50001 y como en su ciclo siempre vela por la mejora continua.

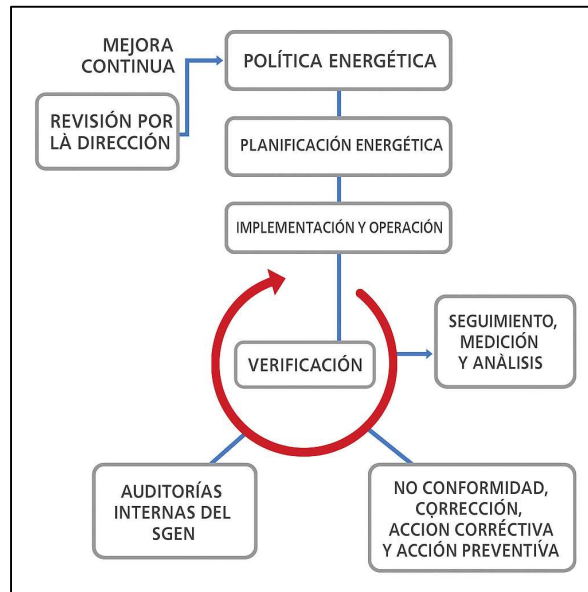


Figura No. 9: Diagrama de ISO 50001.

Fuente: ISO 50001, Para la Gestión de la Energía.

Relevancia para edificaciones mixtas: Es particularmente útil para infraestructuras complejas (como centros comerciales, hospitales o edificios corporativos), donde la variedad de usos requiere estrategias diferenciadas por zona o actividad.

3. Directiva 2012/27/UE – Eficiencia Energética.

Esta directiva complementa a la EPBD y tiene como objetivo establecer un marco común de medidas para garantizar la eficiencia energética dentro de la Unión Europea.

Puntos clave, obliga a los Estados miembros a establecer planes nacionales de acción de eficiencia energética.

Requiere auditorías energéticas periódicas para grandes empresas.

Exige mejoras en la eficiencia energética de edificios públicos.

Promueve el desarrollo de mercados de servicios energéticos y contratos de rendimiento energético (ESCOs).

Impacto global: Aunque de aplicación directa en la UE, sus disposiciones han sido replicadas en iniciativas latinoamericanas, como las Estrategias Nacionales de Eficiencia Energética y Planes Indicativos de Expansión de Generación (PIEG) en países como El Salvador.

2.3.3 Políticas Salvadoreñas: PIEG 2024–2038 y Marcos Normativos Nacionales

La planificación energética en El Salvador ha evolucionado hacia un enfoque más integral, reconociendo la importancia de la eficiencia energética no sólo como una herramienta de ahorro económico, sino como una estrategia clave para la sostenibilidad ambiental y la seguridad energética. En este contexto, destacan dos instrumentos fundamentales: el Plan Indicativo de Expansión de la Generación Nacional 2024–2038 (PIEG) y la Política Energética Nacional 2020–2050, que delinean el camino hacia un sistema energético resiliente, diversificado y bajo en emisiones (*International Energy Agency, 2025*).

Plan Indicativo de Expansión de la Generación Nacional 2024–2038 (PIEG)

El PIEG, elaborado por la Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas (DGEHM), establece una hoja de ruta técnica y económica para la expansión de la capacidad de generación eléctrica nacional. Esta planificación tiene como finalidad anticipar la demanda eléctrica futura, identificar tecnologías competitivas y guiar las inversiones del sector público y privado.

Dentro del PIEG se promueve explícitamente la incorporación de tecnologías limpias, como la solar fotovoltaica, la eólica y la geotérmica, previendo que estas sean fundamentales para satisfacer la demanda creciente. Además, se fomenta el despliegue de sistemas de generación distribuida en edificaciones —residenciales, comerciales e institucionales— como parte de una estrategia descentralizada de sostenibilidad energética. (*Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas (2024). Plan Indicativo de Expansión de la Generación Nacional 2024–2038. Ministerio de Economía de El Salvador.*)

Relevancia para Edificaciones de Usos Mixtos:

- Incentiva la integración de paneles fotovoltaicos en techos y fachadas.
- Favorece proyectos con enfoque en eficiencia energética y automatización.

- Promueve el desarrollo de infraestructura resiliente ante la variabilidad climática.
- El PIEG también destaca que el aumento de la participación de energías renovables debe ir acompañado de una reducción sistemática de la demanda mediante la implementación de medidas de eficiencia energética en todos los sectores económicos, incluido el de edificaciones.

Política Energética Nacional 2020–2050

La Política Energética Nacional 2020–2050 del Ministerio de Economía constituye el marco estratégico de largo plazo que articula objetivos, estrategias y acciones para transformar el sistema energético salvadoreño.

Se basa en cinco ejes estratégicos, de los cuales dos están directamente vinculados a edificaciones:

- Consumo eficiente de energía.
- Energías limpias y bajas en emisiones de carbono.

Entre las acciones específicas relacionadas con edificaciones se incluyen:

- Promoción de la construcción sostenible y ecoeficiente.
- Establecimiento de reglamentos técnicos obligatorios para sistemas de iluminación, ventilación, aire acondicionado y envolvente térmica.

Impulso de programas de gestión energética en edificios públicos, como modelo replicable para el sector privado. (*Política energética. El Salvador 2020—2050: construyendo un futuro energético sostenible* | *Ariae*, S. F.).

Estas directrices están alineadas con los compromisos internacionales adquiridos por El Salvador en el marco del Acuerdo de París, las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) y el ODS 13 (Acción por el clima).

Normativa Nacional Vinculada

Si bien El Salvador aún no cuenta con un código de eficiencia energética en edificaciones plenamente desarrollado como la EPBD europea, se han dado pasos importantes en la normativa sectorial y técnica:

- Normas Técnicas Salvadoreñas Obligatorias (NTSO) en iluminación eficiente y productos eléctricos.
- Reglamento de Operación del Mercado Eléctrico (ROBCP), que establece incentivos y regulaciones para la generación distribuida conectada a red.

En la práctica, muchos proyectos adoptan voluntariamente estándares internacionales, como ISO 50001 para gestión energética o LEED para certificación de edificios verdes, dada la ausencia de una certificación nacional obligatoria.

Perspectiva crítica y oportunidades de mejora, a pesar de los avances, aún existen vacíos normativos importantes en el sector edificación. No se dispone de una legislación integral que regule el desempeño energético de los edificios nuevos y existentes, ni de una certificación energética oficial nacional (*Unidad de Transacciones, 2024*).

Por ello, se identifica la necesidad urgente de desarrollar una norma nacional de eficiencia energética en edificaciones, que establezca criterios mínimos de diseño pasivo, sistemas HVAC eficientes, uso de sensores y automatización, e integración de energías renovables, alineada con las directivas internacionales como la EPBD y la Directiva 2012/27/UE.

CAPITULO 3, METODOLOGÍA Y DEFINICIÓN DE LÍNEA BASE DE CASO DE ESTUDIO

3.1 Enfoque Metodológico (Análisis Técnico y Percepción Operativa)

El enfoque metodológico adoptado para la presente investigación combina un análisis técnico detallado con una aproximación basada en la percepción operativa de los usuarios y administradores del edificio. Esta dualidad metodológica permite obtener una caracterización integral del desempeño energético de un Centro Comercial ubicado en una zona de San Salvador, a fin de establecer con rigor la línea base energética del inmueble.

3.1.1 Análisis Técnico

El análisis técnico se fundamenta en tres ejes principales:

1. *Inspección física y diagnóstico Eléctrico del Sistema Existente:*

Se realizó una auditoría energética que incluyó mediciones eléctricas mediante analizadores de redes (MYeBOX 1500) y termografías (Fluke Ti401P Pro). Estas inspecciones abarcaron las dos subestaciones tipo Pad Mounted de 2000 kVA y 1500 kVA, los ductos barra, tableros generales y de nivel, así como paneles de medición eléctrica.

2. *Recolección de Datos Operativos:*

Se recopilaron registros operativos del sistema eléctrico, tales como perfiles de demanda, carga máxima, caídas de tensión, desbalances de fases y armónicos. Las mediciones se efectuaron durante un periodo representativo (7 días), con muestreos cada 10 y 15 minutos según el tipo de variable.

3. *Revisión de Documentación Técnica del Edificio:*

Se analizaron planos arquitectónicos y eléctricos del edificio, incluyendo las plantas arquitectónicas de los diferentes niveles y detalles de sistemas eléctricos e infraestructura de soporte, a fin de entender la distribución de cargas y su relación con el diseño físico del edificio.

3.1.2 Percepción Operativa

Complementariamente al análisis técnico, se llevó a cabo una evaluación cualitativa de la percepción de los operadores y personal administrativo. Para ello se aplicaron entrevistas estructuradas y revisión de la bitácora operativa del edificio con el objetivo de identificar:

El proceso metodológico utilizado para evaluar la **percepción operativa** en el contexto del estudio de eficiencia energética del edificio. Esta herramienta permite visualizar de forma secuencial los elementos clave que intervienen en el diagnóstico operativo.

1. ***Inicio del Análisis:*** El proceso se activa a partir del levantamiento de información cualitativa mediante entrevistas, encuestas y revisión de bitácoras operativas.
2. ***Evaluación de Comportamientos de Consumo no Óptimos:*** Se identifican patrones de uso energético ineficientes, como operación simultánea innecesaria de equipos, horarios extendidos sin supervisión o baja concientización energética de usuarios.
3. ***Identificación de Problemas Técnicos:*** Se examinan deficiencias en el uso de iluminación, sistemas HVAC y otros equipos eléctricos, especialmente aquellos con altos índices de mantenimiento o quejas frecuentes.
4. ***Detección de Necesidades de Confort y Calidad:*** Se recogen percepciones relacionadas con el confort térmico, lumínico y acústico, así como con la confiabilidad y estabilidad del suministro eléctrico.
5. ***Análisis de Prácticas y Barreras:*** Se estudian las rutinas operativas vigentes y las posibles barreras culturales, técnicas o económicas que podrían limitar la implementación de mejoras en eficiencia energética.
6. ***Resultado del Diagnóstico:*** La información obtenida en cada etapa alimenta un diagnóstico operativo integral, el cual complementa el análisis técnico y orienta las propuestas de mejora.

3.2 Caso de Estudio: Centro Comercial operativo de uso Mixto, dentro de la zona de San Salvador

El Centro Comercial se ubica una de las zonas comerciales de mayor dinamismo en la ciudad de San Salvador, El Salvador.

La región presenta un clima tropical con estación seca y húmeda bien diferenciadas. La temperatura media anual ronda los 24–30 °C, con niveles de humedad relativa elevados, lo que incide directamente en la demanda energética para sistemas de climatización.

3.2.1 Descripción Arquitectónica y Operativa del Edificio

El edificio se ubica en San Salvador, una zona estratégica de alto valor comercial y corporativo en la capital salvadoreña; que comprende un área de construcción de 45,742.04m². El edificio está conformado por un complejo arquitectónico de usos mixtos que incluye:

Áreas de comercio distribuidas en varios niveles llamados de comercio (N1, N2, N3), oficinas corporativas que consta de 4 niveles, estacionamientos subterráneos, áreas comunes y técnicas azoteas técnicas con sistemas HVAC y paneles solares en desarrollo.

En los cuatro niveles de sótanos del edificio, el sistema de ventilación mecánica está compuesto principalmente por extractores centrífugos de doble entrada tipo BIDW, instalados en cada nivel subterráneo para garantizar la renovación de aire y evacuación de contaminantes (como monóxido de carbono).

El diseño permite ventilación forzada horizontal y vertical hacia rejillas de extracción; el sistema opera de forma continua o activado manualmente, lo que genera consumo energético constante. Hay potencial de mejora al incorporar sensores de concentración de CO y temporizadores automáticos por horario de ocupación (Informe Auditoria , 2025).

En cuanto a la iluminación se especifica que en los niveles de sótano (S1 a S4) se utilizan luminarias del tipo HERLUX HL215 LED de 18W, con una distribución lineal a lo largo de las vías vehiculares y zonas peatonales. Estas luminarias están diseñadas para operación continua en zonas de parqueo. En sótanos se encuentran 18 bombas, 3 de agua potable (60 HP), 7 de pluviales (132 HP) y 8 de aguas negras (65 HP) en total suman una capacidad instalada solo de bombeo de 257 HP de potencia nominal distribuida en el proyecto.

Localización Geográfica y Condiciones Climáticas Locales.

El Centro Comercial se ubica en la Colonia San Benito, municipio de San Salvador, El Salvador. Esta área es considerada un polo de desarrollo urbano y comercial de alta densidad, con una mezcla funcional que incluye establecimientos comerciales, oficinas corporativas, oferta gastronómica y servicios turísticos.

Esta ubicación estratégica ofrece conectividad vial directa con arterias principales y accesibilidad para peatones y transporte público, lo que genera un flujo constante de visitantes y empleados, especialmente en horarios pico. La intensa actividad diaria influye directamente en la demanda energética, principalmente en climatización, iluminación y ventilación mecánica (*Informe Auditoria, 2025*).

Desde el punto de vista climático, San Salvador se ubica dentro de la zona tropical húmeda, con características propias de la clasificación climática. Las principales condiciones climáticas observadas en la zona son:

- Temperatura media anual: entre 24 °C y 30 °C.
- Humedad relativa promedio: entre 65 % y 85 %.
- Radiación solar promedio diaria: aproximadamente 5.5 kWh/m².
- Estación seca: de noviembre a abril.
- Estación lluviosa: de mayo a octubre.
- Altitud: alrededor de 670 m s.n.m., lo que genera una menor oscilación térmica nocturna.

Estas condiciones implican una carga térmica constante a lo largo del año, lo que exige un sistema de climatización robusto, especialmente en los niveles superiores del edificio y en locales con exposición directa a fachadas de vidrio o alta ocupación.

Además, la elevada humedad relativa influye en el confort térmico interior y en la eficiencia de los sistemas HVAC, al requerir mayor trabajo de deshumidificación. También contribuye al desgaste prematuro de algunos componentes eléctricos y mecánicos si no se realiza un mantenimiento adecuado.

Características Constructivas y Sistemas Existentes:

El Centro Comercial ha sido diseñado como una edificación de uso mixto, integrando funciones comerciales, corporativas y de servicios, con una arquitectura contemporánea que prioriza la eficiencia espacial y la flexibilidad funcional. Su diseño se adapta a un entorno urbano de alta densidad y combina estructura robusta, tecnologías constructivas modernas y distribución de sistemas técnicos para una operación continua.

Estructura y Distribución Arquitectónica

El edificio se compone de los siguientes niveles:

- Sótanos (4 niveles): destinados a estacionamientos, bodegas, cuartos eléctricos, áreas de ventilación mecánica y circulación vehicular.
- Niveles superiores: conformados por locales comerciales, áreas de oficina, zonas comunes y núcleos verticales de circulación (gradas eléctricas, ascensores y escaleras presurizadas).
- Azotea: espacio técnico para instalación de equipos HVAC, bombas, extractores y otros servicios auxiliares.

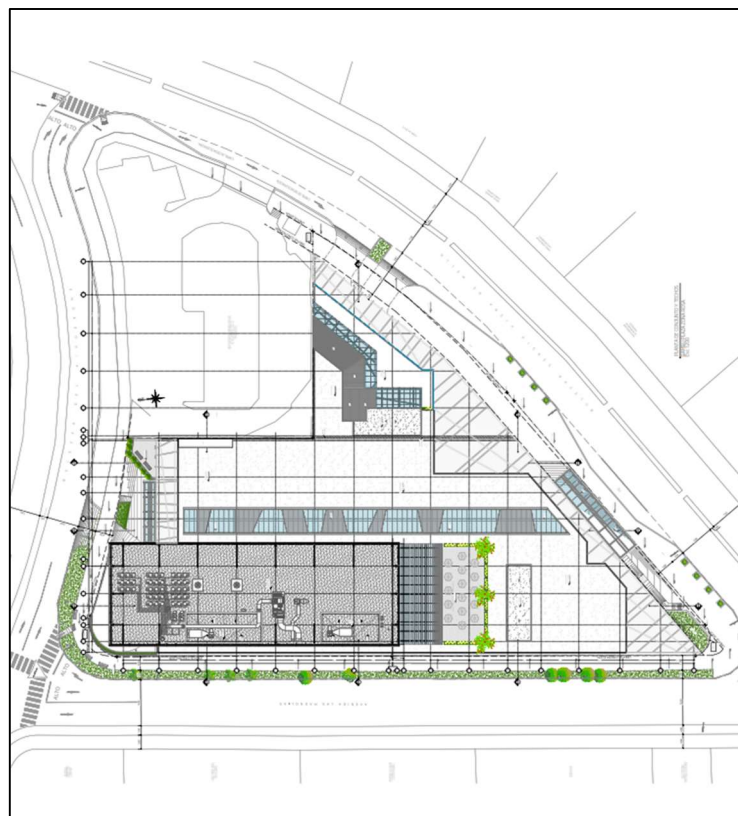


Figura No. 10: Planta de distribución edificio Centro Comercial Bambú. Fuente: Proporcionada por Centro Comercial Bambú.

Elementos Constructivos Principales:

Estructura: concreto reforzado (columnas, vigas y losas), combinado con elementos de acero estructural en cubiertas y fachadas.

Divisiones interiores: paneles de yeso para oficinas y locales; block de concreto en áreas técnicas y de servicio.

Fachadas: sistema ventilado con vidrio templado-laminado, marcos metálicos, parasoles y louvers para control solar pasivo.

Cubiertas: losas impermeabilizadas y acondicionadas para soportar equipos pesados (condensadoras, ductos, etc.).

Sistemas Energéticos y Operativos Existentes

Sistema Eléctrico:

Alimentación principal: dos subestaciones tipo Pad Mounted:

- T103095 (2000 kVA)
- T103100 (1500 kVA)

Distribución eléctrica, Mediante ductos barra (BW-1 a BW-10) que conectan con cuartos eléctricos distribuidos por nivel.

Tableros de distribución presentes en cada nivel, con protecciones independientes para locales, sistemas comunes y equipos críticos.

Medición existe un sistema de medidores individuales por local arrendado, lo que permite monitoreo por consumo unitario (*Informe Auditoria, 2025*).

Iluminación:

Predominancia de tecnología LED en áreas comunes y comerciales.

Zonas específicas utilizan luminarias decorativas, principalmente en áreas de vitrinas.

Ausencia de sensores automáticos o control programado centralizado, lo que incrementa la carga en horarios de bajo tráfico.

HVAC y Ventilación:

Sistema descentralizado: cada local cuenta con unidades de aire acondicionado tipo split, con condensadoras ubicadas en áreas técnicas o azotea.

Zonas comunes climatizadas con sistemas por ducto o fan coil, sin integración a un sistema de automatización.

Ventilación mecánica forzada en sótanos y servicios sanitarios; extracción mediante ductos verticales y ventiladores centrífugos (*Informe Auditoria BCC, 2025*).

3.2.2 Otros Sistemas

- Sistemas de bombeo y presurización hidráulica, especialmente en sótanos y zonas altas.
- Sistemas de supresión de incendios automáticos (aspersores), gabinetes CI y detectores de humo.
- Gradas eléctricas y elevadores, operando de forma independiente por bloques funcionales.

3.2.3. Análisis Detallado de Consumo Energético

El análisis de consumo energético del Centro Comercial se fundamenta en las mediciones efectuadas durante auditorías especializadas, así como en el monitoreo mensual registrado por medio del sistema de medición eléctrica y transformadores instalados. Se consideraron los principales subsistemas de carga eléctrica del edificio: sistemas de iluminación, climatización, equipos eléctricos y cargas comunes, distribuidos en diversos niveles y zonas del edificio (*Informe Auditoria BCC, 2025*).

a) Iluminación

Los sistemas de iluminación representan un componente relevante del consumo, especialmente en zonas comunes, locales comerciales y áreas de parqueo subterráneo. Según el estudio de campo y registros operativos son más de 2000 luminarias instaladas, muchas de

ellas no están operando con control automático, tampoco existe controles mediante sensores de movimiento u ocupación, excepto áreas de baños públicos y pasillos de oficinas que si están con sensores de movimiento.

b) Climatización y Ventilación Mecánica

El sistema de climatización central se da mediante dos chiller de 320 toneladas cada uno, junto con el sistema de bombeo de agua helada realizado por tres bombas de 50hp con sus variadores de frecuencia que trabajan según la demanda del edificio, cada local tiene instalado UMAS que varían en tamaño según el área de cada local, las oficinas corporativas son independientes a los chiller y tiene su propio sistema de climatización que son de tipo Minisplit, VRF y otros.

La ventilación mecánica esta principalmente en los sótanos con los sistemas de inyección, extracción y recirculado de aire.

c) Equipos Eléctricos y Automatización

El edificio cuenta con sistemas de automatización parcial en subestaciones, tableros generales y tableros en cada nivel, además tienen dos plantas de emergencia que suman un total de 2,000KVA, estas cubren el área común y todos los niveles de oficinas.

El monitoreo reveló que los Busway(BW) en conductores principales y desbalances de corriente en ductos barra (BW-5 y BW-6) solo que están más cargados y en ciertas horas del día se ven afectados por bajo factor de potencia (baja demandan) y armónicos, lo cual indica una distribución no homogénea de la carga, actualmente se ha terminado un proyecto de unificar las mediciones eléctricas para los Chiller, con esto se evitaría el pagar doble por la potencia contratada cuando se alternaban los equipos, esto ya es un realidad y se estima que los ahorros sean entre \$20,000 a \$25,000 por año.

d) Cargas Comunes

Las cargas comunes abarcan ascensores, gradas eléctricas, sistema central de aire acondicionado, luminarias, bombas, ventilación de parqueos y equipos de seguridad. Estos consumos muestran un comportamiento constante durante todo el mes, y su monitoreo demostró la presencia de picos de arranque especialmente en los sótanos debido sistemas de ventilación mecánica de sótanos y sistema de bombeo de aguas residuales que es más frecuente según la cantidad de visitas, además en invierno se agregan trabajo más continuo de todas las bombas de aguas lluvias Estas cargas representan un consumo base esencial, que requiere ser gestionado mediante estrategias de eficiencia operacional (*Informe Auditoria BCC, 2025*).

e) Distribución Mensual y Análisis por Local

Se consume mensualmente en todo el edificio cerca de los 400,000kWh; de los cuales el 40% aproximadamente lo consume el área común que incluye sótanos, pasillos, áreas administrativas, baños, sistemas de bombeo, luminarias y otros, los locales de servicio y restaurantes tienen un consumo similar representan un poco más del 20% cada uno del total, solo que locales de áreas de servicio son más del doble que los restaurantes, el nivel que registra mayor consumo de energía es el nivel 3 de comercio, ya que ahí están la mayoría de restaurantes y también conectado el sistema de aire central.

3.2.4. Diagnóstico de Eficiencia Energética.

El diagnóstico de eficiencia energética se fundamenta en la evaluación operativa y técnica de los sistemas principales consumidores de energía en el edificio. Este análisis identifica las principales ineficiencias, pérdidas y oportunidades de mejora tecnológica y operativa, con énfasis en tres componentes críticos: iluminación, climatización/ventilación y automatización eléctrica (*Informe Auditoria BCC, 2025*).

3.2.4.1 Descripción del Sistema de Iluminación

El sistema de iluminación del Centro Comercial comprende instalaciones distribuidas en áreas comunes, locales comerciales, zonas de parqueo y oficinas administrativas. Se identificaron los siguientes elementos:

Tecnologías instaladas: coexistencia de luminarias fluorescentes T8, halógenas y LED, siendo estas últimas predominantes en todo el edificio.

La operación principalmente manual o por horarios fijos, sin integración general de sensores de presencia o luxómetros automáticos.

Zonas críticas: los sótanos 1, 2 y 3 presentan niveles de iluminación constante durante todo el día, con luminarias sin zonificación ni sensores, lo que genera un consumo continuo incluso en horarios de baja ocupación.

Este diseño contribuye a una carga base innecesariamente elevada, con potencial de mejora mediante modernización tecnológica (LED de alta eficiencia, sensores de ocupación y sistema DALI de control).

3.2.4.2 Descripción de Sistemas HVAC y Ventilación Mecánica

El sistema de climatización del Centro Comercial se basa en una planta central de agua helada: un chiller produce agua a unos 7 °C y la envía mediante un juego de bombas con variadores de frecuencia que modulan su velocidad para mantener la presión diferencial requerida en la red. El agua fría circula por tuberías primarias y secundarias hasta llegar a las Unidades Manejadoras de Aire (UMAS) York modelos de las series FXH y AHI/AVI, con capacidades que oscilan aproximadamente entre 1,200 y 9,200 CFM distribuidas por todos los niveles del edificio. Cada UMA recibe el agua helada y, gracias a una válvula de control de dos vías, regula el caudal para sostener la temperatura de impulsión entre 13 y 15 °C; dentro de la UMA, el ventilador mezcla aire exterior con aire recirculado, lo filtra, lo enfría y lo impulsa hacia los conductos que abastecen locales y áreas comunes. El aire exterior ingresa por compuertas motorizadas y los volúmenes de extracción se gestionan con ventiladores mecánicos dedicados (extractores e inyectores) que mantienen las tasas de

renovación y la presión diferencial adecuada en baños, cocinas y cuartos técnicos. Para maximizar la eficiencia, tanto las bombas de agua helada como los ventiladores principales operan con VFD, y un control central alterna diariamente la bomba líder para equilibrar las horas de operación y prolongar su vida útil. El sistema de supervisión (BMS/PLC) coordina el arranque y paro secuencial de equipos, ajusta la velocidad de los motores según la demanda real y genera alarmas ante desviaciones de temperatura, presión o caudal. Cuando la ocupación es baja, un tanque presurizado en la red amortigua los arranques frecuentes y ayuda a mantener la estabilidad térmica. En conjunto, esta arquitectura permite ofrecer condiciones de confort uniformes, cumplir los caudales de aire exterior exigidos por ASHRAE y las normativas locales, y reducir el consumo eléctrico gracias a la operación a carga parcial y a la variabilidad en flujo tanto de agua como de aire.

3.2.4.3 Descripción de Equipos Eléctricos y Automatización

El edificio recibe la energía desde una celda de media tensión subterránea (22,9/13,2 kV) localizada en el cuarto eléctrico principal del sótano S1. Esa celda posee un módulo de entrada (acometida de la distribuidora) y dos salidas que alimentan las subestaciones tipo pad-mounted del complejo.

Subestación 1 – T103095 (2,000 kVA).

Transformador aceite mineral, conexión Δ -Y, secundario 480Y/277 V. De sus bornes BT parten ocho juegos de conductores XHHW-Al 350 MCM por fase, neutro y tierra, hasta el switchboard SBB ubicado justo enfrente. Esta subestación atiende la mayor parte de carga común y locales de los niveles N1–N3.

Subestación 2 – T103100 (1 ,00 kVA).

Configuración y voltaje secundario idénticos, dedicada principalmente a climatización y expansión futura, además que suministra toda la energía de los 4 niveles de oficinas.

La distribución en baja tensión se hace por medio de Switchboards SBB y SBA, cada tablero integra interruptores de bastidor abierto con disparo electrónico, medidores digitales de energía, transformadores de corriente y módulos de comunicación Modbus-TCP. Esto permite al BMS registrar demanda, factor de potencia y eventos de sobre-corriente en tiempo

real. Ductos-barra (Busways) BW-1, 2, 4, 5, 6, 9 y 10. Sistema de barras encapsuladas de aluminio 800 A y 1,200 A que recorren los núcleos verticales.

En los cuartos eléctricos Este y Oeste de cada piso se alojan transformadores de 150- 300 kVA (480-208/120 V) y tableros tipo panelboard.

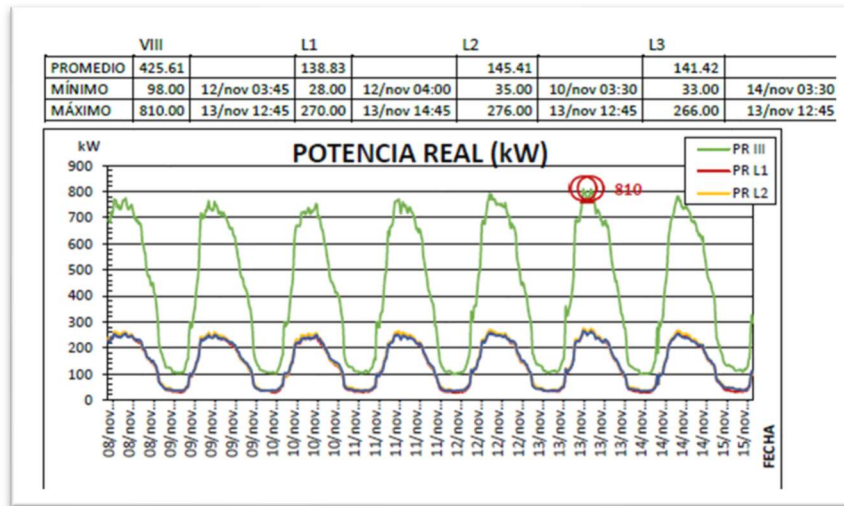


Figura No. 11: Gráfico que registra la demanda real en KW para una de las subestaciones.
Fuente: Elaboración Propia

Este gráfico anterior demuestra que los picos de demanda máxima se dan en los horarios de las 12:00md hasta cerca de las 3:00p.m.

Detectar anomalías o consumos atípicos que podrían guiar medidas de eficiencia energética.

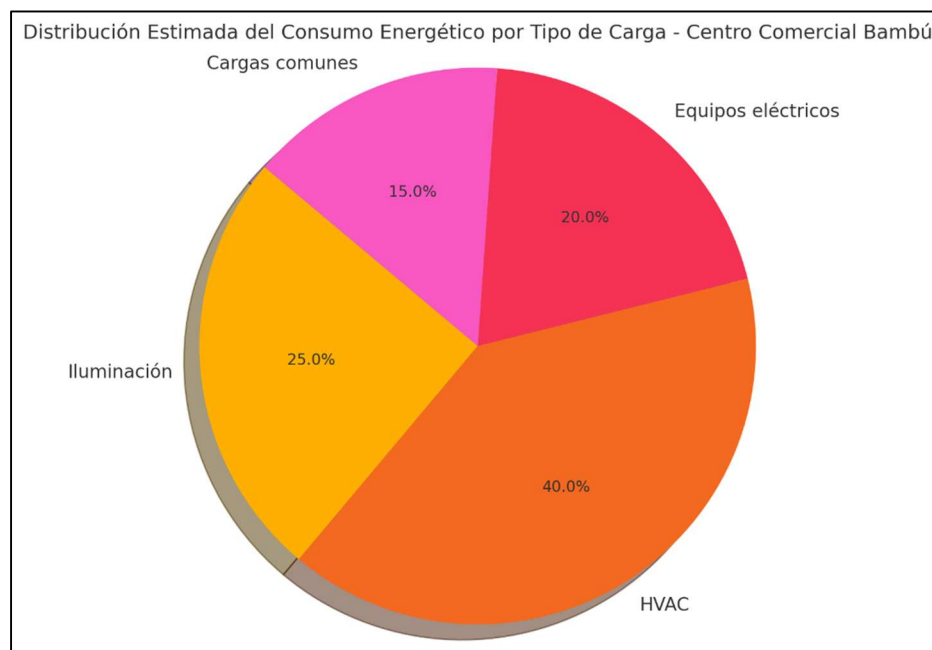


Figura No. 12: Gráfico de pastel muestra la distribución estimada del consumo energético
Fuente: Elaboración Propia.

Este gráfico de pastel muestra la distribución estimada del consumo energético por tipo de carga en el Centro Comercial. Los hallazgos clave son:

HVAC (climatización y ventilación) representa la mayor proporción, con un 40% del consumo total, reflejando su impacto crítico en la demanda eléctrica.

Iluminación ocupa el segundo lugar con un 25%, destacando la necesidad de modernizar luminarias y controles.

Equipos eléctricos y cargas comunes suman el 35-42% restante, siendo relevantes para medidas de automatización y eficiencia operativa.

3.3 Recolección de Datos

La recolección de datos fue una fase clave para establecer el diagnóstico energético y fundamentar la línea base del caso de estudio. Se utilizó una combinación de instrumentación especializada y registros operativos del sitio, asegurando tanto la precisión cuantitativa como la interpretación contextual de las condiciones de uso de los sistemas.

3.3.1 Medición Eléctricas del Caso de Estudio

Para la medición eléctrica se empleó el analizador de redes Circuitor MYeBOX 1500, instalado temporalmente en distintos puntos del sistema eléctrico del edificio, el periodo de registro fueron 7 días calendario, como lo establece SIGET periodo mínimo para este tipo de análisis. La frecuencia de registro parámetros generales cada 15 minutos(energía) y calidad de energía cada 10 minutos.

Ubicaciones de medición: subestaciones (T103095 de 2,000 kVA y T103100 de 1,500 kVA), ductos barra (BW4, 5, 6, 8 y 9) y tableros generales y de nivel.

VARIABLES medidas: tensión, corriente, factor de potencia, armónicos, desequilibrio de fases, consumo kWh y demanda kW.

Además, se realizaron mediciones instantáneas de verificación con cámara termográfica Fluke Ti401P Pro, para detectar puntos calientes, falsos contactos o desbalances que podrían comprometer la eficiencia y seguridad del sistema.

Estas mediciones permitieron elaborar perfiles de carga y establecer condiciones críticas que alimentan el análisis técnico y la propuesta de mejoras.

3.3.2 Bitácora Operativa

Se recopiló información cualitativa mediante la elaboración de una bitácora operativa, la cual incluyó:

- Horarios de operación típicos del centro comercial, diferenciando entre días laborables, fines de semana y feriados.
- Zonas con funcionamiento continuo (por ejemplo, parqueos, ascensores y sistemas de ventilación).
- Eventos relevantes: apagones, mantenimientos, sobrecargas, reportes de fallas por parte de personal técnico.
- Observaciones del personal operativo, especialmente sobre hábitos de encendido/apagado, climatización y ocupación real de espacios.

Cuadro Resumen de Bitácora Operativa.

1. Horarios de operación por tipo de día

Tabla 1: Horario de operaciones. Fuente: Elaboración Propia

Área	Días Laborables	Fines de Semana	Feridos
Locales Comerciales	08:00 – 20:00 h	09:00 – 21:00 h	10:00 – 18:00 h
Oficinas	08:00 – 17:00 h	Cerrado	Cerrado
Estacionamientos y accesos	24 horas	24 horas	24 horas
Áreas comunes (circulaciones, baños)	06:00 – 22:00 h	06:00 – 22:00 h	06:00 – 22:00 h

2. Zonas de Funcionamiento Continuo

- Parqueos subterráneos: iluminación, ventilación y CCTV activos las 24 h.
- Ascensores y montacargas: operación ininterrumpida.
- Cuartos eléctricos y tableros de control: monitoreo continuo.
- Sistema HVAC de zonas comunes (modo ventilación): funcionamiento 24/7.

3. Eventos Operativos Relevantes

Tabla 2: Eventos operativos. Fuente: Elaboración Propia

Fecha	Evento	Descripción	Área Afectada	Acción Tomada
15/01/2025	Apagón parcial	Fallo en subestación T103095	Nivel N1	Transferencia a subestación secundaria
07/02/2025	Sobrecalentamiento	Terminales en BW-5 detectaron 85 °C	Sótano 1	Ajuste de torque y verificación termográfica
21/03/2025	Mantenimiento programado	Limpieza filtros HVAC	Oficinas y comercio	Detención por 2 horas, fuera de horario pico
05/04/2025	Reporte técnico	Falla intermitente en sensor de CO ₂	Parqueo subterráneo	Reemplazo y calibración del sensor

4. Observaciones del Personal Operativo

Tabla 3: Observaciones operativas. Fuente: Elaboración Propia

Categoría	Observación	Comentario
Iluminación	Encendido anticipado de luces en pasillos y vitrinas	Se reporta uso continuo incluso en horario de cierre
HVAC	Climatización activa en oficinas vacías	No se usa programación de horarios ni sensores de ocupación

Equipos eléctricos	Uso simultáneo de equipos de alto consumo sin secuenciación	Recomendación de carga escalonada
Ocupación real	Variaciones significativas en días festivos y promociones	Sin ajustes automáticos en climatización o iluminación

3.4 Indicadores Energéticos

El análisis de indicadores energéticos permite evaluar el desempeño del edificio en términos de consumo, demanda y calidad del suministro eléctrico. Esta información es clave para establecer la línea base energética y proponer mejoras cuantificables.

3.4.1 Indicador de Consumo General.

Este indicador, también conocido como **intensidad energética (IE)**, permite evaluar el desempeño energético del edificio respecto a su superficie útil construida, considerando todos los usos relevantes (iluminación, climatización, ventilación, equipos, etc.).

Según estudios y referencias internacionales:

- **Edificios de oficinas:** entre **100 y 300 kWh/m²·año**, dependiendo de la eficiencia energética.
- **Centros comerciales:** típicamente **250 a 450 kWh/m²·año**, debido a iluminación intensiva, HVAC y equipos de refrigeración.
- **Edificios de usos mixtos:** el valor dependerá del porcentaje y consumo de cada uso, pero suele situarse entre **200 y 400 kWh/m²·año**.

Fórmula general:

$$ICG = \frac{\text{Consumo total anual (kWh)}}{\text{Area Construida (m}^2\text{)}}$$

Resultado preliminar para Bambú (estimado 2024–2025):

$$ICG_{bcc} = \frac{4,724,520.00 \text{ (kWh)}}{42,742 \text{ (m}^2\text{)}} = 110.50 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \text{ Año}$$

Este valor de 110.50 kWh/m²·año se posiciona dentro del rango inferior de referencia establecido por la norma ASHRAE 100 para edificaciones comerciales localizadas en zonas climáticas cálidas. Lo anterior indica un desempeño energético **moderadamente eficiente**, con condiciones aceptables en relación con estándares internacionales. No obstante, también sugiere la existencia de **márgenes de mejora** mediante la implementación de estrategias de eficiencia energética específicas, especialmente en sistemas de climatización, iluminación y gestión operativa.

A fin de contextualizar el desempeño energético del Centro Comercial dentro de estándares de referencia reconocidos a nivel internacional, se presenta a continuación una tabla comparativa que incluye rangos típicos de consumo energético por tipo de edificación, según diversas fuentes normativas y marcos de evaluación energética.

Esta comparación permite ubicar el valor estimado del Indicador de Consumo General (ICG) de 110.50 kWh/m²·año dentro de un marco de referencia más amplio, considerando no solo el comportamiento típico de edificaciones comerciales similares, sino también los niveles de exigencia asociados a certificaciones de alto rendimiento energético como LEED, ASHRAE 90.1 y los criterios de edificios de consumo casi nulo (nZEB).

La tabla también incluye los valores promedio establecidos por organismos como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) y la Agencia Internacional de Energía (IEA), los cuales sirven de referencia global sobre el comportamiento de los edificios no residenciales.

*Tabla 4: Valores Promedio Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP).
Fuente: Elaboración Propia*

Fuente / Norma	Tipo de edificio	Rango típico (kWh/m²·año)	Comparación con 110.50 kWh/m²·año
UN Environment & IEA (Global Status Report)	Promedio global edificios	100–300 (edificios no residenciales)	Dentro del rango global
LEED / ASHRAE 90.1	Oficinas	100–250	Cumple con el mínimo requerido

	Centros comerciales	250–450	Significativamente más eficiente
nZEB (Edificios de energía casi nula)	Mixtos / oficinas avanzadas	50–100	Supera levemente el objetivo NZEB

3.4.2 Indicadores de Demanda y Carga.

Los indicadores de demanda reflejan la potencia máxima utilizada y la relación entre uso efectivo e instalación disponible.

- a. Demanda máxima mensual registrada: 1,134.00 kW (según balance 2025).
- b. Factor de carga (FC):

$$FC = \frac{\text{Consumo Mensual (kWh)}}{\text{Demanda Maxima Mensual (kW)} \times 730h}$$

Donde:

730 h es el promedio de horas mensual en un mes.

- c. Promedios registrados de los últimos 5 meses.

$$FC \text{ prom} = \frac{393,710.00 \text{ (kWh)}}{1,133.00(\text{kW}) \times 730h} = 0.47$$

El promedio de los últimos cinco meses, el Centro Comercial Bambú presentó un **Factor de Carga (FC) de 0.47**, calculado a partir de un consumo mensual de 393,710.00 kWh y una demanda máxima registrada de 1,133 kW. Este valor indica un **aprovechamiento moderado de la potencia instalada o contratada**

3.4.3 Indicadores de Calidad de Energía.

Estos indicadores se derivan de las mediciones efectuadas con analizadores de redes (ej. Circutor MYeBOX 1500), y permiten identificar disturbios que afectan la eficiencia operativa. La calidad de energía eléctrica se refiere al grado en que la energía suministrada por el sistema eléctrico cumple con los parámetros ideales de tensión, frecuencia y forma de

onda. En El Salvador, la SIGET, como ente regulador, ha establecido criterios técnicos específicos para garantizar que el suministro eléctrico cumpla con niveles adecuados de calidad, seguridad y eficiencia, tanto para usuarios residenciales como comerciales e industriales. A continuación, se presentan un resumen de estos indicadores a partir de la auditoria energética.

- **Voltaje:** Dentro de rango aceptable de $\pm 5\%$, sin caídas extremas.
- **Corriente:** Evaluada conforme ampacidad del conductor (NEC 310.16/17).
- **Desbalance de carga:** Se identifica cuando supera el 5% entre fases.
- **Factor de Potencia:** Algunos ductos presentaron $PF < 0.90$
- **Armónicos:** Detectada distorsión armónica (THD) de tensión y corriente sobre límites normativos en ciertos puntos, especialmente en BW-4 y BW-6

Los indicadores reflejan un patrón de consumo moderadamente alto, una utilización subóptima de la potencia instalada y disturbios eléctricos que afectan la calidad del suministro. En particular, la presencia de armónicos de corriente en el rango del 18–25 % en distorsión armónica total representa una amenaza tanto para la eficiencia operativa como para la vida útil de los equipos.

Se recomienda priorizar la corrección del factor de potencia, implementar estrategias de mitigación de armónicos en áreas críticas y revisar la estructura tarifaria vigente para optimizar la contratación de potencia y reducir penalizaciones asociadas. Estas acciones forman parte esencial del plan de gestión energética integral del edificio.

3.5 Línea Base Energética del Caso de Estudio.

La línea base energética constituye un referente cuantitativo del comportamiento del consumo de energía eléctrica en condiciones operativas normales. Su establecimiento permite medir de forma objetiva el impacto de futuras mejoras y acciones de eficiencia energética.

3.5.1 Perfil de Consumo Mensual

El análisis del consumo mensual se realizó a partir del registro de demanda eléctrica y lectura de medidores principales y secundarios para el año 2025. La información fue obtenida de reportes del sistema de medición central y balance energético.

a) Resumen de Consumo Mensual Total (2025)

Tabla 5: Resumen de consumo mensual total (2025). Fuente: Elaboración Propia

Mes	Consumo (kWh)	Demanda (kW)
Enero	379,440	1,178
Febrero	396,422	1,105
Marzo	399,106	993
Abril	398,719	1,191
Mayo	394,863	1,202
Total (Promedio)	393,710	1,133

Nota: Se observa un comportamiento relativamente estable, con ligeros aumentos a partir de febrero.

En la siguiente imagen se presenta el Consumo mensual de energía (kWh), observándose que el consumo mensual, es mínimo entre cada mes. Para el mes de febrero se observa una reducción en la demanda (*Informe Auditoria, 2025*).

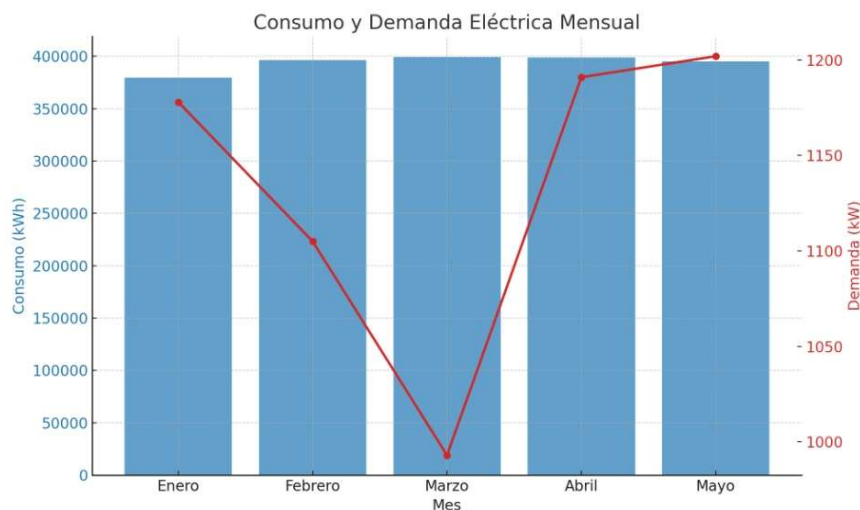


Figura No. 13: Gráfico perfil mensual de consumo y demanda

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2 Categorización de usos energéticos por tipo de local.

Se clasificaron los consumos por tipo de carga en función del análisis de distribución eléctrica, planos unifilares y entrevistas operativas. Se definieron los siguientes tipos de locales y zonas:

CONSUMO POR AREA % DE ENERGIA

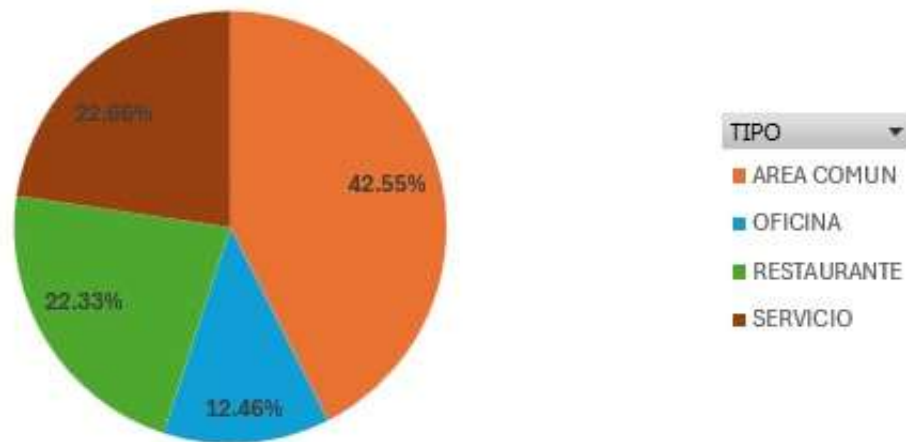


Figura No. 14 : Gráfico de distribución del consumo energético por tipo de Local
Fuente: Elaboración Propia

Del gráfico anterior se ha categorizado los consumos por rubro por tipo de local, oficinas y área común.

Área Común (42.55%): Representa la mayor parte del consumo. Esto puede incluir iluminación de pasillos, ascensores, aire acondicionado central, bombas, ventilación, etc.

- Evaluar medidas de eficiencia en alumbrado, motores y climatización.
- Implementar sensores de presencia o sistemas de gestión energética (BMS).

Servicios (22.66%): Locales dentro de la categoría servicios (farmacias, moda, zapaterías y entre otros) luminarias y equipos HVAC

- Revisión del funcionamiento fuera de horario.
- Revisión de cada factura eléctrica por local o mediante auditorías eléctricas para evaluar desbalance, factor de potencia y otros parámetros eléctricos.

Restaurantes (22.33%): Alto consumo esperado por cocinas eléctricas, hornos, refrigeración y climatización.

- Evaluar prácticas operativas y eficiencia de equipos.
- Capacitar en horarios de cocción, apagado de equipos, etc.

Oficinas (12.46%): Menor participación, lo que es común si el uso es de tipo administrativo con aire acondicionado compartido e independiente del aire centralizado de la parte del centro comercial, además de muchas luminarias, UPS y equipo de cómputo.

- Potencial de mejora con control de equipos y apagado automático.

Además, también en base a toda la información obtenida del balance de energía se puede determinar los consumos de energía por nivel o planta construida, se resume en el siguiente detalle.

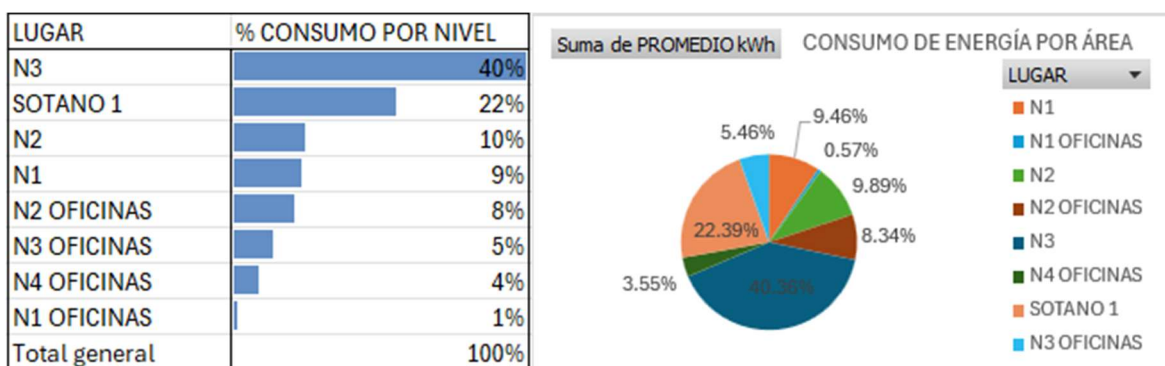


Figura No. 15: Balance y Consumo de Energía. Fuente: Elaboración Propia.

Además, en la Fig 15, se observan las áreas de mayor consumo hasta llegar al de menor consumo.

- N3 (40%)-Nivel 3 comercio, (Ver Figura. 16)

El nivel con mayor consumo. Nivel que concentra actividades de alto consumo: restaurantes, tiendas ancla, equipos HVAC o refrigeración comercial.

- Sótano 1 (22%) Considerablemente alto por que incluye todo el sistema de bombas, ventilación mecánica, tableros, elevadores, escaleras eléctricas y áreas comunes.
- Oficinas (N2, N3, N4, N1) en conjunto (18%)

Aunque el consumo es bajo en oficinas individuales, en conjunto representan casi una quinta parte del consumo total. Como recomendación, Aplicar medidas de control como temporizadores, sensores de ocupación y monitoreo de equipos en stand-by.

- N1 y N2 (9% y 10%)

Son niveles comerciales, pero con menor consumo que N3, locales con menor densidad de carga ya que en su mayoría son locales de servicio (Farmacias, agencias de banco, tiendas de moda y otros) (Ver Figura. 17).

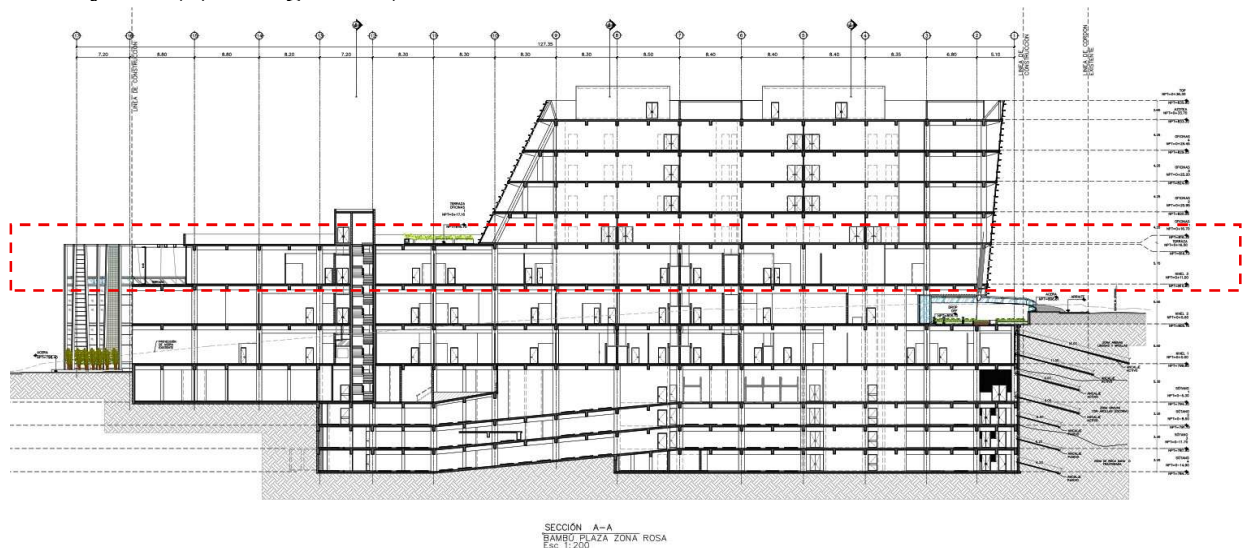


Figura No. 16: Plano Sección AA, Fuente: Elaboración Centro Comercial Bambú.

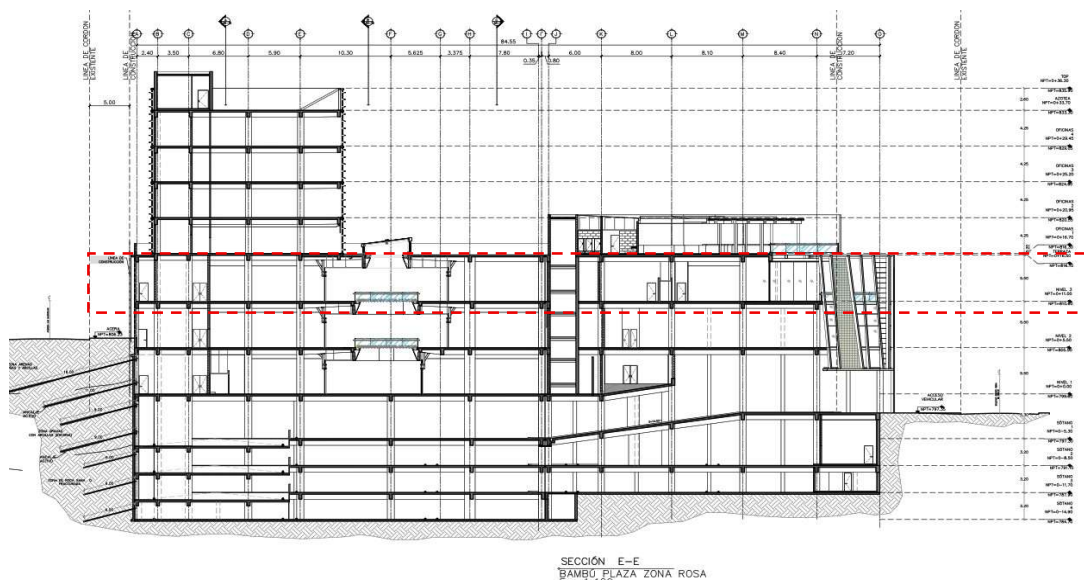


Figura No. 17: Plano Sección EE, Fuente: Elaboración Centro Comercial Bambú.

CAPITULO 4, PROPUESTA DE MEJORAS Y PLAN DE GESTIÓN ENERGÉTICA.

En el presente capítulo tiene como propósito central establecer un conjunto estructurado de medidas técnico-operativas orientadas a maximizar la eficiencia energética del edificio de usos mixtos analizado. Basándose en el diagnóstico energético previo y la línea base determinada, se identifican áreas clave de intervención donde es posible lograr reducciones significativas en el consumo eléctrico, optimizando el desempeño de los sistemas de climatización (HVAC), iluminación y control operativo (*Informe Auditoria BCC, 2025*).

Las propuestas aquí desarrolladas consideran no solo criterios de ahorro energético, sino también aspectos de viabilidad técnica, retorno económico, impacto y cumplimiento normativo.

Adicionalmente, se plantea un plan de gestión energética con enfoque sistémico, que permita institucionalizar prácticas de monitoreo, verificación y mejora continua conforme a los lineamientos de la norma ISO 50001. Este plan contempla la implementación progresiva de submedición, análisis de desempeño, alarmas por desvíos, y generación de reportes para la toma de decisiones.

Con una visión de largo plazo, este capítulo busca demostrar que la eficiencia energética no debe considerarse únicamente como un proyecto puntual, sino como un proceso continuo y estratégico capaz de reducir costos operativos, mejorar el confort de los usuarios, reducir emisiones de CO₂ y aumentar el valor patrimonial del inmueble.

Implementar un Sistema de Gestión Energética (SGEn) alineado con ISO 50001:2018, la regulación salvadoreña SIGET-192-E-2004 y la estrategia corporativa de descarbonización 2030, que reduzca el consumo específico de 110 kWh/m²·año a ≤ 80 kWh/m²·año en 36 meses (-27 %), garantizando confort, continuidad operativa y un pay-back ponderado $\leq 3,5$ años.

Instalaciones, 2 subestaciones MT/BT (3,5 MVA), 6 bus-way, 2 chillers YVAA-YORK, 75 UMAs/locales, iluminación interior y exterior, bombeo, ascensores, escaleras electricas, carga de arrendatarios con medidor propio.

Período, 2025-2028 – Revisión anual de desempeño.

Tabla 6: Revisión anual de desempeño. Fuente: Elaboración propia.

Indicador	2024 (auditoría)	Meta 2028
Consumo total	4,724 MWh/año	≤ 3,700MWh/año
kWh/m²·año	110	≤ 80
Factor de Potencia global	0,94 (día) / 0,81 (noche)	≥ 0,95 24 h
THDi en barra BT SBB	24 %	≤ 15 %
Horas punta simultáneas	1 133 kW	≤ 950 kW

4.1 Oportunidades de Mejora Identificadas

Como resultado del análisis técnico realizado mediante el diagnóstico energético y la auditoría eléctrica del Centro Comercial, se han identificado una serie de oportunidades de mejora orientadas a incrementar la eficiencia energética del edificio, disminuir los costos operativos asociados al consumo eléctrico y mejorar el desempeño ambiental del inmueble.

Estas oportunidades responden a deficiencias estructurales y operativas detectadas en los sistemas de iluminación, climatización y gestión energética (Rodríguez et al., 2024). Las recomendaciones propuestas están alineadas con normativas internacionales como **ASHRAE 90.1** y criterios de certificación **LEED v4**, lo que asegura la viabilidad técnica y la coherencia con estándares de sostenibilidad internacionalmente aceptados.

A continuación, se presentan las áreas principales de intervención junto con las medidas específicas de eficiencia energética que surgen como propuestas técnicas evaluadas cuantitativamente.

4.1.1 Sistema de Iluminación

El sistema de iluminación actual del edificio es su mayoría es de tecnología LED muchas de las cuales han alcanzado o superado su vida útil, con bajo rendimiento lumínico. Además, se ha evidenciado una falta de control automatizado en zonas de baja ocupación y operación continua, lo cual representa una ineficiencia operativa significativa.

Actualmente están instaladas 2,299 luminarias, según el siguiente detalle.

Tabla 7: Detalle de luminarias instaladas. Fuente: Elaboración propia

Tipo de luminaria	Cantidad	Potencia por unidad (W)	Observaciones
Luminaria LED tipo Panel	1,610	40	Empotrada en cielo raso
Luminaria LED de emergencia	93	5	Con batería autónoma
Luminaria LED tipo T8	34	18	Uso de áreas técnicas
Luminaria LED tipo proyector	115	150	Instaladas en exteriores y azoteas
Luminaria LED tipo Downlight	447	15	Uso en pasillos y locales comerciales

Con todas las luces encendidas al mismo tiempo, el sistema de iluminación demanda unos 89 kW. Si permanecen encendidas 12 h diarias, representan ~320 000 kWh/año, es decir el 6-7 % del consumo total del centro comercial.

Propuestas específicas:

Se recomienda implementar sistemas de atenuación (dimming) y programación inteligente en los paneles ubicados en la cubierta y los proyectores exteriores, dado que el hardware actual es tecnología LED y admite este tipo de control. Asimismo, al alcanzar el final de su

vida útil, se sugiere reemplazar las luminarias por versiones LED de mayor eficiencia lumínica y menor consumo energético.

Estas dos medidas permitirán que la iluminación deje de ser un “gasto fijo” y se convierta en un consumo dinámico, ajustado a la afluencia real de visitantes y a la disponibilidad de luz natural. Como resultado, se logrará una reducción significativa en la factura eléctrica y en la carga térmica a ser compensada por el sistema de aire acondicionado.

Tabla 8: Propuesta de Consumo Ajustable. Fuente: Elaboración propia.

Elemento	Solución	Nueva potencia (kW)
Panel 40 W → Panel 30 W / 150 lm W	Sustitución total	$1\ 610 \times 30\ W = 48.3\ kW$
Proyector 150 W → 120 W	Remove gradualmente	$115 \times 120\ W = 13.8\ kW$
Downlight 15 W → 10 W	Al renovar locales	$447 \times 10\ W = 4.5\ kW$

Con las mejoras la nueva potencia total $\approx 67\ kW$ (-25 %), combinada con controles, la reducción global puede superar el 40 %.

Estas medidas no solo permiten una reducción directa del consumo energético, sino que contribuyen a una mejora del confort visual, reducción de carga térmica interior y prolongación de vida útil de componentes eléctricos.

4.1.2 Sistemas de Climatización (HVAC)

El sistema central de aire acondicionado –dos chiller YVAA de 345 TR, bombas primarias-secundarias y torres de enfriamiento consume, confirmado por registro de energía, unos 3,100 kWh por día durante las 15 horas en que permanece encendido; eso equivale a 1,13 GWh al año y a una potencia media de unos 207 kW (el pico instantáneo que se ve al arrancar cerca de los 380 kW).

Mediciones de campo permiten dividir ese gasto eléctrico en tres grandes bloques:

El chiller aporta cerca de 100 kW medios, es decir, algo menos de 550 MWh al año ($\approx 48\%$ del total).

Las bombas de agua helada ya trabajan con variadores de frecuencia; su consumo se reduce a unos 37 kW medios, 200 MWh anuales ($\approx 18\%$). Su rendimiento hidráulico se ha verificado en 77,5 %, un dato bueno para estos tipos de bombas.

Las torres de enfriamiento –ventiladores y bombas de condensado se llevan el resto: unos 70 kW medios, 384 MWh al año ($\approx 34\%$). Actualmente funcionan a velocidad fija.

Con esta fotografía de partida, las oportunidades de mejora se concentran en la lógica de control, no en cambiar equipos que ya poseen variadores.

Medidas de Eficiencia Propuestas:

Reset dinámico del set-point del agua helada.

El agua abandona actualmente el chiller a 6 °C las 15 horas de operación, incluso cuando la carga del edificio cae por debajo del 60 %. Si el BMS eleva el set-point hasta 7,5 °C en esas horas de carga parcial, el compresor trabaja a mayor temperatura de evaporación y mejora su rendimiento. .

Las unidades manejadoras soplan aire constante; sustituir el motor por un EC-fan de alta eficiencia y añadir compuerta VAV gobernada por señal de CO y temperatura reduce el caudal de aire y, por tanto, la demanda térmica que llega al chiller. Una primera fase sobre el 25 % de las UMAs (las de mayor horario) recorta la carga total de refrigeración un 9 %, es decir 49 MWh al año.

Programa de limpieza predictiva mediante alarmas de ΔT .

Cuando la diferencia de temperatura agua ida-retorno cae por debajo de 4 °C, se disparará una orden de lavado químico. Mantener la transferencia térmica en parámetros evita que el rendimiento del chiller se deteriore. El impacto energético está en torno a 2 % del consumo del chiller (11 MWh/año) y, sobre todo, previene picos de demanda.

Propuestas Específicas:

Modernización de sistemas HVAC al sistema central, que permiten la modulación continua de capacidad y respuesta térmica ajustada a la carga real. Esta medida tecnológica requiere una inversión de **\$60,000**, con un potencial de ahorro de **95,000 kWh/año** y un *payback* estimado de **4.2 años**.

Instalación de variadores de frecuencia (VFD) en motores de ventilación y bombeo con potencias superiores a 3 Hp, lo cual permite el ajuste dinámico de la velocidad de operación de los equipos. Esta intervención ofrece un ahorro estimado de **30,000 kWh/año** y un periodo de retorno de **3.3 años**.

Estas medidas mejoran sustancialmente la eficiencia energética del sistema HVAC, reduciendo no solo el consumo eléctrico, sino también el desgaste mecánico de los componentes, incrementando la confiabilidad operativa del sistema.

Las cuatro medidas anteriores suman ≈ 196 MWh/año de ahorro, lo que representa un 17 % de la energía que hoy requiere el sistema HVAC. Con la tarifa actual (0,175 USD/kWh) el recorte económico es del orden de \$34,400 al año y la inversión necesaria (principalmente los variadores y tableros para las torres, más la actualización de UMAs) ronda los \$88,000, de modo que el periodo simple de retorno se sitúa ligeramente por debajo de 3 años.

Además de la mejora financiera, la implementación de este paquete reducirá la demanda máxima en unos 70 kW -aliviando facturación por potencia- y evitará la emisión de más de 125 t de CO₂ anuales, reforzando la imagen de sostenibilidad y cumplimiento normativo del centro comercial.

4.1.3 Sistemas de Gestión Energética

El edificio no cuenta actualmente con un sistema de gestión energética integral que permita visualizar y controlar en tiempo real los principales flujos de energía, lo que limita la capacidad de respuesta ante anomalías o ineficiencias.

Propuesta específica:

Implementación de un Sistema de Gestión de Edificios (SGE) que integre control automático de iluminación, climatización y monitoreo de calidad de energía. Este sistema permitirá establecer una línea base energética dinámica, identificar patrones de consumo

anómalos, y greportes automáticos para toma de decisiones. La inversión estimada es de **\$25,000**, con un ahorro energético de **38,000 kWh/año** y *payback* de **3.8 años**. Esta solución está alineada con los requisitos de la certificación **LEED v4**, en sus categorías **Energía y Atmósfera (EA)** y **Calidad Ambiental Interior (EQ)**.

Un SGE permite transitar hacia un modelo de **gestión activa de la energía**, brindando visibilidad, trazabilidad y control operativo con enfoque predictivo.

4.2 Medidas de Eficiencia Energética Propuestas

En función de las oportunidades de mejora identificadas y con base en el análisis energético realizado al Centro Comercial Bambú, se han formulado una serie de medidas que buscan reducir de manera significativa el consumo de energía eléctrica, mejorar el confort térmico y lumínico, y garantizar la sostenibilidad operativa del edificio a corto, mediano y largo plazo.

Estas medidas han sido clasificadas en tres categorías estratégicas: **controles operacionales**, **automatización y sensores**, y **mejoras tecnológicas**. Esta clasificación responde al principio de intervención gradual, permitiendo implementar mejoras de bajo costo en primera instancia y posteriormente avanzar hacia intervenciones de mayor impacto y complejidad técnica.

4.2.1 Controles Operacionales

Los controles operacionales se consideran una de las herramientas más efectivas para reducir el consumo energético sin requerir inversiones significativas. Consisten en la aplicación de buenas prácticas de gestión, programación y mantenimiento que permiten reducir el uso innecesario de energía, maximizar el rendimiento de los equipos y extender su vida útil. Son especialmente útiles como medidas iniciales dentro de un plan de gestión energética.

Medidas Propuestas:

Programación Horaria de Iluminación y Climatización, estableciendo perfiles de operación diferenciados por zona y por horario. Esta medida se puede implementar mediante temporizadores digitales, contactores controlados o sistemas básicos de automatización, y permite evitar el funcionamiento innecesario de cargas durante horarios de inactividad, como ocurre en zonas comunes, pasillos o áreas de parqueo durante la madrugada.

Protocolos de Mantenimiento Preventivo y Predictivo, aplicables tanto a sistemas eléctricos como a equipos HVAC. Esto incluye limpieza de filtros de aire, verificación del torque en terminales eléctricas, revisión de protecciones termomagnéticas, inspección de ductos, condensadores y calibración de termostatos. Una buena gestión del mantenimiento garantiza el desempeño óptimo de los sistemas, minimiza las pérdidas por operación ineficiente y reduce la probabilidad de fallas costosas.

Campañas de Concientización Energética dirigidas al personal operativo y arrendatarios del edificio. Estas campañas pueden incluir capacitaciones, boletines, señalización y avisos visuales que fomenten el apagado de luces y equipos no esenciales, el uso racional de la climatización y la notificación de fallos. La concientización del usuario final es un componente clave en todo sistema de gestión energética exitoso, tal como lo establece la norma **ISO 50001**.

Estas acciones no solo representan una forma de reducir el consumo eléctrico, sino que también permiten establecer una cultura organizacional orientada al uso racional de la energía, indispensable para sostener cualquier plan de eficiencia energética en el tiempo.

4.2.2 Automatización y Sensores

La automatización de sistemas energéticos constituye un pilar fundamental en los edificios inteligentes y energéticamente eficientes. En el caso del Centro Comercial, se ha identificado una oportunidad significativa para implementar sistemas de control automático que gestionen los consumos de manera dinámica, en función de variables como ocupación, luminosidad natural, temperatura y calidad del aire.

Medidas Propuestas:

Fotoceldas o Sensores de Luz Natural, que regulan la iluminación artificial en función del aporte de luz solar disponible, particularmente útil en áreas con ventanales o entradas de luz natural. Esto evita el sobreuso de luminarias en horarios diurnos y promueve el aprovechamiento pasivo de la energía solar.

Automatización de Ventiladores, Extractores y Sistemas de Ventilación Mecánica, calibrando sensores de calidad del aire (como concentración de CO o CO₂) y temporizadores programables. Estas tecnologías son ideales para sótanos, áreas de parqueo subterráneo y

cuartos eléctricos, donde el funcionamiento continuo de estos sistemas representa un gasto energético significativo y, muchas veces, innecesario.

Implementación de un Sistema de Gestión de Edificios (SGE), que centralice el monitoreo y control de iluminación, climatización, cargas críticas y calidad de energía. Este sistema debe incluir interfaz gráfica, generación automática de reportes, notificaciones por condiciones anómalas, programación de rutinas horarias y recopilación de datos históricos.

Estas medidas permiten optimizar el consumo energético en tiempo real, reducir la dependencia de la intervención humana y prevenir consumos no deseados o prolongados. Además, son requisitos clave para acceder a certificaciones como **LEED v4**, bajo las categorías de **Energía y Atmósfera (EA)** y **Calidad Ambiental Interior (EQ)**.

4.2.3 Mejoras de Tecnología

Las mejoras tecnológicas suponen una inversión considerable, pero generan beneficios sustanciales en términos de eficiencia energética, reducción de costos operativos y mejora en el desempeño ambiental del edificio. En el caso del Centro Comercial, se han identificado múltiples sistemas que presentan un alto potencial de modernización tecnológica.

Medida Propuesta:

Instalación de Variadores de Frecuencia (VFD) en motores de bombas y ventiladores. Los VFD permiten el ajuste dinámico de la velocidad de operación, reduciendo así el consumo energético de manera proporcional al cubo de la velocidad. Esta medida también disminuye el desgaste mecánico de los equipos, mejora la estabilidad del sistema y reduce el ruido de operación.

Estas tecnologías se encuentran ampliamente documentadas en normas como **ASHRAE 90.1**, **IECC 2021**, y cumplen con requisitos de elegibilidad para programas de financiamiento verde, incentivos fiscales o alianzas público-privadas (PPP). Todo lo anterior se resume en la siguiente tabla.

Tabla 9: Matriz de Medidas de Eficiencia Energética. Fuente: Elaboración propia.

Categoría estratégica	Medida propuesta	Descripción resumida	Nivel de inversión	Impacto de ahorro estimado
Controles operacionales	Programación horaria de iluminación y climatización	Define perfiles por zona y horario para evitar operación en horas de inactividad.	Baja	5 – 15 % en iluminación + HVAC
	Protocolos de mantenimiento preventivo y predictivo	Limpieza de filtros, torque de terminales, calibración de termostatos, inspección de ductos y protecciones.	Baja	Mantiene rendimiento óptimo y reduce fallas
	Campañas de concientización energética	Capacitación, señalización y boletines para usuarios y arrendatarios.	Muy baja	2 – 5 % adicionales por cambio de hábitos
Automatización y sensores	Fotoceldas / sensores de luz natural	Regulación automática de luminarias según aporte solar.	Media	20 – 40 % en iluminación
	Automatización de ventiladores y extractores (sensores CO/CO ₂)	Activa ventilación solo cuando la calidad del aire lo requiere.	Media	15 – 30 % en ventilación mecánica
	Sistema de Gestión de Edificios (SGE/BMS)	Monitoreo y control centralizados de HVAC, iluminación y cargas críticas, con reportes y alarmas.	Media-Alta	5 – 20 % global (según integración)
Mejoras tecnológicas	Variadores de frecuencia (VFD) en bombas y ventiladores	Ajustan la velocidad a la demanda;	Alta	30 – 60 % en motores accionados

4.3 Evaluación Técnico-Económica

La evaluación técnico-económica de las medidas propuestas es un paso crucial para priorizar la ejecución, estimar la rentabilidad de las inversiones y justificar su implementación ante tomadores de decisión. Para ello, se aplicará un enfoque multicriterio que considera no solo los aspectos financieros, sino también la viabilidad operativa, el impacto ambiental y la alineación con objetivos de sostenibilidad.

Criterios Considerados:

Inversión Inicial Estimada: costos asociados a adquisición de equipos, instalación, puesta en marcha y capacitación del personal operativo.

Ahorro Energético Anual (kWh/año): reducción proyectada del consumo eléctrico, basada en modelos de simulación, análisis de carga o datos de referencia técnica.

Ahorro Económico Anual (USD/año): estimación monetaria del ahorro, calculada con base en la tarifa eléctrica actual y factores de penalización por demanda reactiva si aplica.

Periodo de Retorno Simple (Payback): tiempo necesario para recuperar la inversión inicial, sin considerar la variación del valor del dinero.

Tasa Interna de Retorno (TIR): indicador financiero que representa la rentabilidad porcentual de la inversión, considerando los flujos de caja proyectados.

Valor Actual Neto (VAN): valor actualizado de los beneficios netos futuros esperados, considerando una tasa de descuento del 10% y un horizonte de análisis de 10 años.

La aplicación de estos criterios permitirá estructurar una matriz de priorización de medidas, jerarquizando las intervenciones según su impacto económico y técnico, y facilitando la planificación escalonada del plan de eficiencia energética.

Tabla 10: Matriz de Medidas de Eficiencia Energética y ahorro anual. Fuente: Elaboración propia.

Conceptos	Situación base	Mejora propuesta	Energía ahorrada (MWh/año)	Inversión (\$)	Ahorro anual (USD, 0,1756 \$/kWh)
HVAC	Chiller 345 TR + bombas + torres (1,13 GWh/año)	Reset T° agua helada, para horas diurno y nocturno, instalar VDF en las UMAs superiores a 5Hp, limpieza predictiva en UMAs.	196	88,000	34,400
Iluminación	Luminarias T8, LED obsoletas y muchos ya cumplieron su vida útil y encendido fijo. Consumo estimado 10 % del total (\approx 470MWh/año)	Sustitución por LED ($LPD \leq 6$ W/m ²) + sensores de presencia y regulación día/noche	\approx 250	120,000	43,700
Sistema de Gestión Energética (SGE)	Si hay BMS ni alarmas; difícil detección de desvíos, en controles de luminarias, equipos de ventilación mecánica	BMS donde incluya todos los sistemas, instalar sensores de presencia, sensores de CO ₂ , regular temperatura en los equipos AC	\approx 38*	25,000	6,700
Totales	—	—	\approx 484 MWh/año	233,000.00 USD	84,800 USD/año

Con una inversión de \$ 233,000.00 el edificio rebaja su factura eléctrica en promedio \$84,000.00 cada año, reduce su huella de carbono en 200 t CO₂/año y cumple los prerequisites de LEED y de ISO 50001; todo ello con un retorno simple de 2.7 años. El paquete convierte a HVAC, iluminación y gestión energética en un ecosistema integrado que garantizará ahorros sostenibles y monitorizados durante la próxima década.

El **payback global** estimado para todas las medidas de eficiencia energética es de aproximadamente **2.7 años**. Esto representa un retorno bastante atractivo considerando la combinación de inversiones tecnológicas y de automatización.

Tabla 11: Resumen de Ahorros y Costos de Oportunidad. Fuente: Elaboración propia.

RESUMEN DE AHORROS Y COSTOS DE OPORTUNIDAD					
ID	Medida de Eficiencia Energética	Energía Ahorrada (MWh/año)	Inversión (USD)	Ahorro Anual (USD)	Ahorro Total 10 Años (USD)
1	Modernización de HVAC al sistema central	196	\$ 88,000.00	\$34,400.00	\$ 344,000.00
2	Sustitución de luminarias por LED	300	\$ 120,000.00	\$52,700.00	\$ 527,000.00
3	Mejora de Sistema de Gestión de Edificios (SGE)	38	\$ 25,000.00	\$6,700.00	\$ 67,000.00
	Totales del paquete de Medidas	534 MWh/año	\$ 233,000.00	\$ 93,800.00	\$ 938,000.00

Con base en el Análisis Económico:

Con base en la tabla “Resumen de Ahorros y Costos de Oportunidad”, se realiza un análisis económico del paquete de medidas de eficiencia energética proyectadas para un edificio de usos mixtos. La inversión total estimada asciende a **\$233,000.00**, distribuidos en tres áreas clave: **modernización del sistema HVAC, sustitución de luminarias por tecnología LED** y la **implementación de un Sistema de Gestión Energética (SGE)** basado en BMS y submedición.

La medida con mayor impacto energético corresponde a la iluminación eficiente, con un ahorro estimado de **250 MWh/año** y un retorno económico anual de **\$43,700.00**, lo que representa más del 50% del ahorro total. En segundo lugar, el sistema HVAC proyecta un ahorro de **196 MWh/año** y un retorno de **\$34,400.00** anuales, demostrando la alta rentabilidad de optimizar la climatización mediante técnicas como el reset de temperatura de agua helada, variadores de frecuencia y limpieza predictiva. Finalmente, la implementación del SGE aporta una eficiencia complementaria, permitiendo un ahorro de **\$6,700.00** anuales a partir de un consumo gestionado más inteligentemente.

El total de energía ahorrada por año alcanza los **484 MWh**, lo que equivale a **\$84,800.00** en ahorro económico anual. A 10 años, el beneficio acumulado es de **\$938,000.00**, lo que implica que la inversión inicial se recupera en un **plazo menor a 2.5 años**, generando beneficios netos durante el 75 % del ciclo proyectado.

Este análisis muestra que el proyecto no solo es técnica y energéticamente viable, sino también financieramente atractivo. A su vez, sienta las bases para cumplir requisitos de **certificación LEED y ISO 50001**, fortaleciendo la sostenibilidad y la gestión inteligente del edificio a largo plazo.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones Generales del Estudio

Los resultados muestran un **consumo promedio de 393 710 kWh/mes** y una **demanda pico de 1 133 kW**, lo que se traduce en un **factor de carga de 0,47**; este valor confirma que la potencia contratada no se aprovecha plenamente y que existen márgenes para optimizar la curva de demanda. El desglose por tipo de carga revela que **HVAC absorbe alrededor del 40 % del consumo total**, seguido de **iluminación con el 25 %**, mientras que equipos y cargas comunes completan el resto. Este reparto se ve afectado por el clima tropical húmedo de San Salvador (24 – 32 °C), que impone una carga térmica casi constante y obliga a los sistemas de climatización a trabajar todo el año.

En materia de **calidad de energía**, las mediciones evidenciaron factores de potencia inferiores a 0,90 en varios alimentadores y distorsión armónica de 18 – 25 % en puntos críticos (BW-4 y BW-6), junto con calentamientos anómalos en terminales secundarias de la subestación de 2 000 kVA . Estas condiciones no solo incrementan las pérdidas eléctricas, sino que amenazan la vida útil de motores y equipos electrónicos sensibles, reforzando la necesidad de filtrado armónico y corrección reactiva como acciones tempranas.

Las **oportunidades de mejora** se agrupan en tres escalones de intervención:

Operativas (bajo costo): programación horaria de iluminación y climatización, campañas de sensibilización y un plan de mantenimiento preventivo/predictivo. Estas acciones aportan entre 7 y 10 % de ahorro inmediato y crean la cultura energética necesaria para sostener mejoras más sofisticadas.

Automatización (inversión media): instalación de fotoceldas y sensores de CO₂ en sótanos y cuartos técnicos, y la implementación de un **Sistema de Gestión de Edificios (BMS)** estimado en 25 000 USD, con un retorno calculado de 3,8 años (38 000 kWh/año de ahorro). El BMS permitirá su medición por circuito, alarmas de desvío > 10 % y generación automática de reportes KPI.

Tecnológicas (inversión alta): modernización de las 18 bombas (257 HP totales) y extractores principales con **variadores de frecuencia**; los VFD ya previstos en el sistema de

agua potable demuestran ahorro a la modular presión constante de 160 psi . Replicar este esquema en bombas pluviales, aguas negras y ventilación podría reducir entre 8 y 12 % la energía motriz y alargar la vida mecánica de los equipos.

La interacción entre medidas demuestra **sinergias críticas**: la caracterización inicial provee datos de calidad al BMS; el mantenimiento preserva los parámetros de la línea base; y los programas de concienciación maximizan el retorno de la inversión en automatización y VFD. Al mismo tiempo, al corregir el factor de potencia y mitigar armónicos se evitarán penalizaciones tarifarias y se reducirá el riesgo de fallas.

En síntesis, el estudio concluye que el edificio posee un **plan de ruta escalonado** que parte de ajustes operativos de rápida ejecución y desemboca en soluciones de control inteligente y modernización tecnológica compatibles con certificaciones LEED v4 y programas de financiamiento verde. Con un **payback compuesto inferior a tres años** y una proyección de **más de 1 MWh de ahorro mensual**, el proyecto no solo disminuirá la huella de carbono y los costos operativos, sino que también posicionará al edificio como referencia regional en gestión energética avanzada. El paso decisivo es **institucionalizar un SGen** conforme a ISO 50001, asegurando la actualización continua de la línea base, la verificación de los ahorros y la mejora sostenida del desempeño a lo largo del tiempo.

5.2 Líneas de investigación recomendadas

A partir de los hallazgos de este estudio, se recomienda explorar la integración de sistemas de generación distribuida (fotovoltaica y almacenamiento) en edificaciones de uso mixto, analizando su impacto técnico, económico y ambiental. Otra línea de investigación relevante sería el uso de inteligencia artificial y algoritmos predictivos para optimizar la gestión energética en tiempo real. Además, se propone replicar esta metodología en edificios institucionales o de menor escala para validar su aplicabilidad. También es pertinente investigar modelos de negocio basados en contratos de rendimiento energético.

Finalmente, se sugiere profundizar en la elaboración de una normativa técnica nacional sobre eficiencia energética en edificaciones, adaptada al contexto climático, económico y operativo de El Salvador.

Referencias Bibliográficas

- Cáceres Alvarado, C. E., Ortiz Hernández, M. M., & Montano Ávalos, R. A. (2022). *Situación actual del manejo de los residuos de paneles fotovoltaicos en El Salvador ocasionadas por fallas tempranas* [Master's Thesis]. Universidad Don Bosco.
- Castrillón Mendoza, R. del P. (s. f.). *Herramientas de gestión energética para el desarrollo sostenible en edificios aplicado a un campus universitario en Colombia* [PhD Thesis]. Universidad de Valladolid.
- Consejo Nacional de Energía. (2024). *Plan indicativo de la expansión de la generación nacional 2024–2038*. <https://www.cne.gob.sv/>
- Gavilán Casal, A. (s. f.). *Análisis comparativo de la eficiencia energética en edificios existentes con diferentes herramientas de simulación energética* [PhD Thesis]. Universidad de Valladolid.
- Informe Auditoría BCC, S. A. (2023). *Estudio de auditoría eléctrica para Bambú City Center*.
- International Energy Agency. (2025). *Global Energy Review 2025*. <https://www.iea.org/>
- *POLÍTICA ENERGÉTICA. EL SALVADOR 2020—2050: CONSTRUYENDO UN FUTURO ENERGÉTICO SOSTENIBLE* | ARIAE. (s. f.). Recuperado 29 de junio de 2025, de <https://www.ariae.org/servicio-documental/politica-energetica-el-salvador-2020-2050-construyendo-un-futuro-energetico>
- Rodríguez, R. I., Castillo Hernández, J. A., & Membreño Vela, S. A. (2024). *Retrofit de edificios de oficina en El Salvador con el objetivo de alcanzar un nivel de desempeño NZEB* [Master's Thesis]. Universidad Don Bosco.
- Unidad de Transacciones. (2024). *Boletín de estadísticas eléctricas 2023*. <https://www.ut.com.sv/>
- Yandún Paredes, E. S. (2017). *Caracterización de proyectos de eficiencia energética en edificios inteligentes aplicando la normativa LEED* [Master's Thesis]. Universidad Politécnica Salesiana.

ANEXOS

1. Termografía Realizada a transformador T103095
2. Termografía y medición de carga a uno de los transformadores T103095
3. Plano Topográfico de Bambú City Center
4. Plano de Sección AA y BB, Bambú City Center
5. Planta Arquitectónica Nivel 1, Bambú City Center
6. Planta de Conjunto de Techos, Bambú City Center
7. Planta Arquitectónica Nivel 2, Bambú City Center
8. Planta Arquitectónica Nivel 3, Bambú City Center
9. Plano de Sección EE y FF, Bambú City Center
10. Elevación Norte, Bambú City Center
11. Elevación Sur, Bambú City Center
12. Elevación Poniente, Bambú City Center

1.0 Anexo: Termografía Realizada a transformador T103095

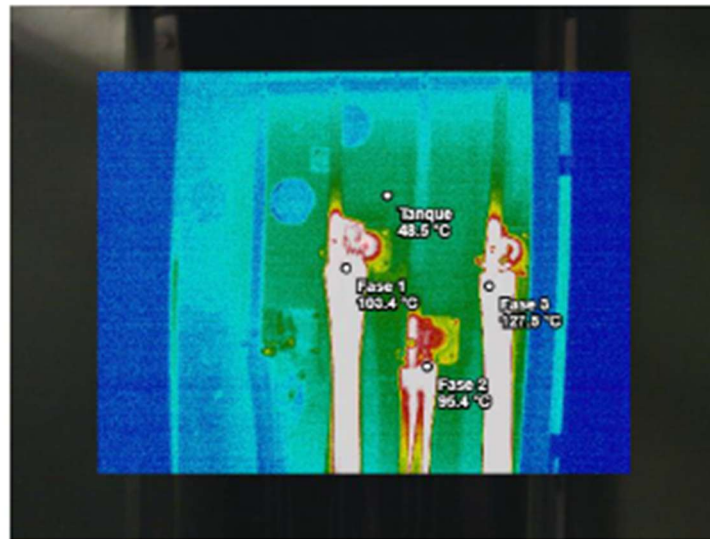


Fig. 10 Termografía terminales BT de transformador T103095.

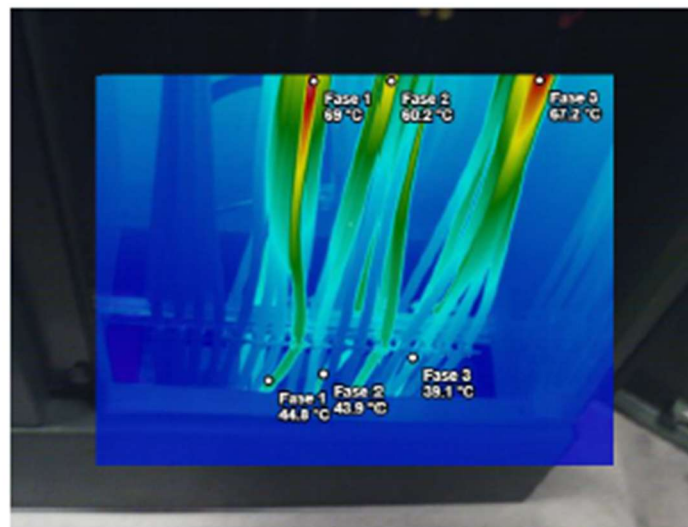


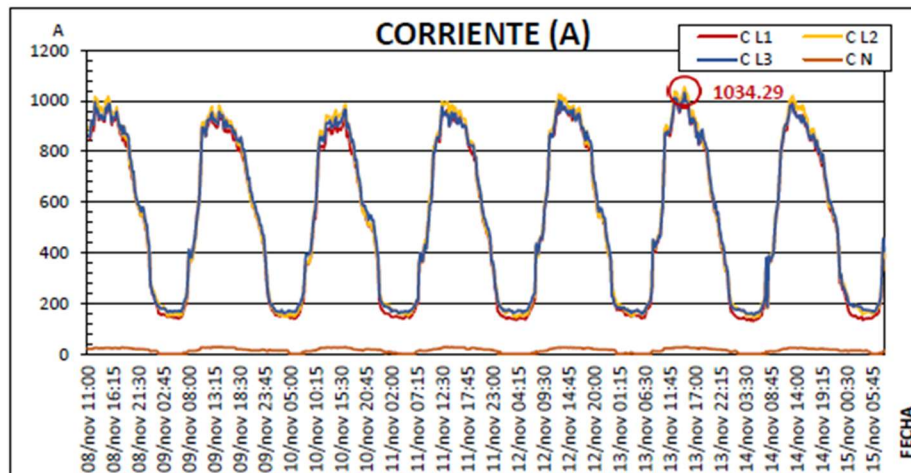
Fig. 11 Termografía 8 juegos de conductor 350MCM aluminio XHHW serie 8000 desde transformador T103095.

La termografía realizada al transformador T103095 indica una condición anormal de temperatura en los terminales de baja tensión de este, sin embargo, tal como se observa en sus conductores posteriores se descarta una posible sobrecarga al momento de la medición. Las mediciones de corriente instantáneas al momento de esta medición marcaron:

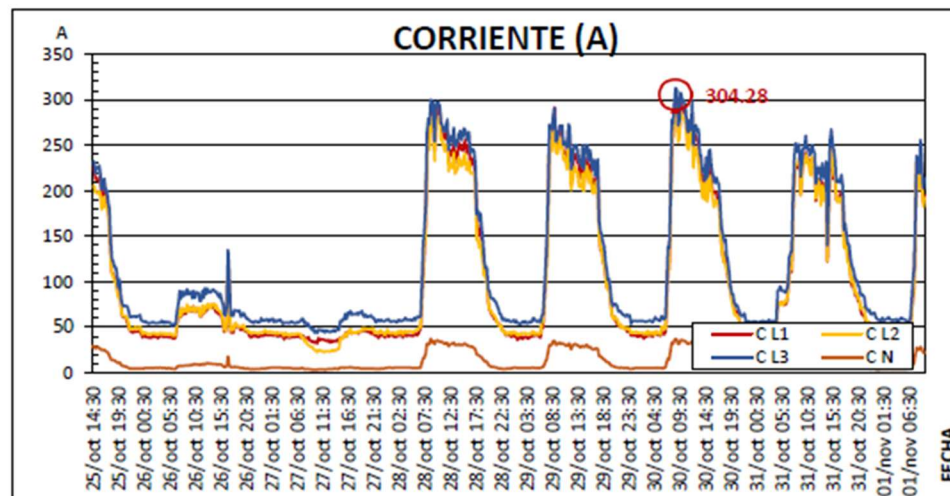
Fase 1:	900 A
Fase 1:	918 A
Fase 1:	924 A
Neutro:	26.9 A

2.0 Anexo: Termografía y medición de carga a uno de los transformadores T103095

	L1		L2		L3		N	
PROMEDIO	531.20		551.65		548.99		14.50	
MÍNIMO	129.56	14/nov 05:00	145.80	14/nov 05:00	154.43	14/nov 05:15	0.20	13/nov 04:30
MÁXIMO	1034.29	13/nov 14:45	1054.82	13/nov 14:45	1032.92	13/nov 14:45	28.08	09/nov 14:15

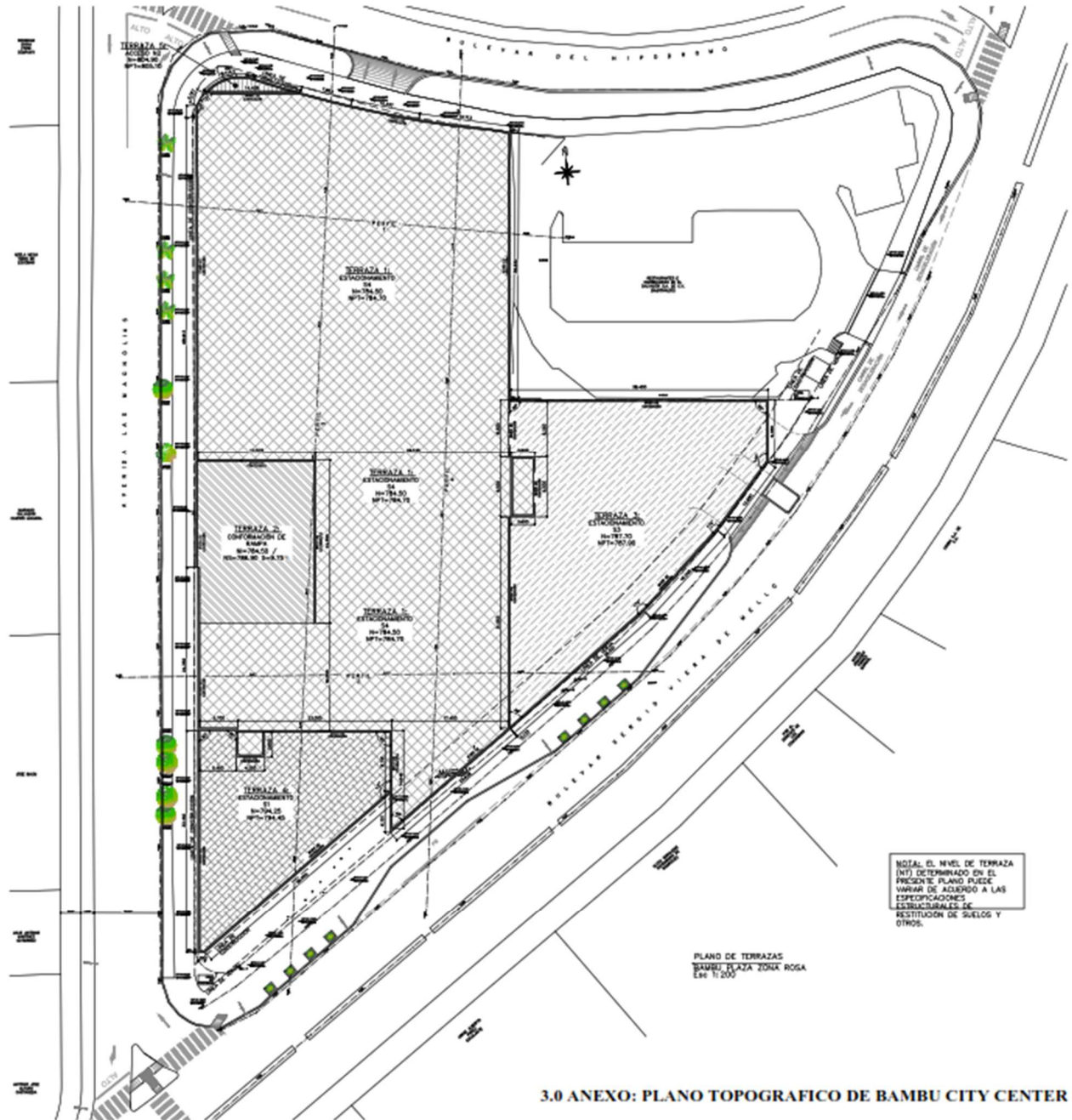


Comportamiento del consumo en corriente, para una de las subestaciones.



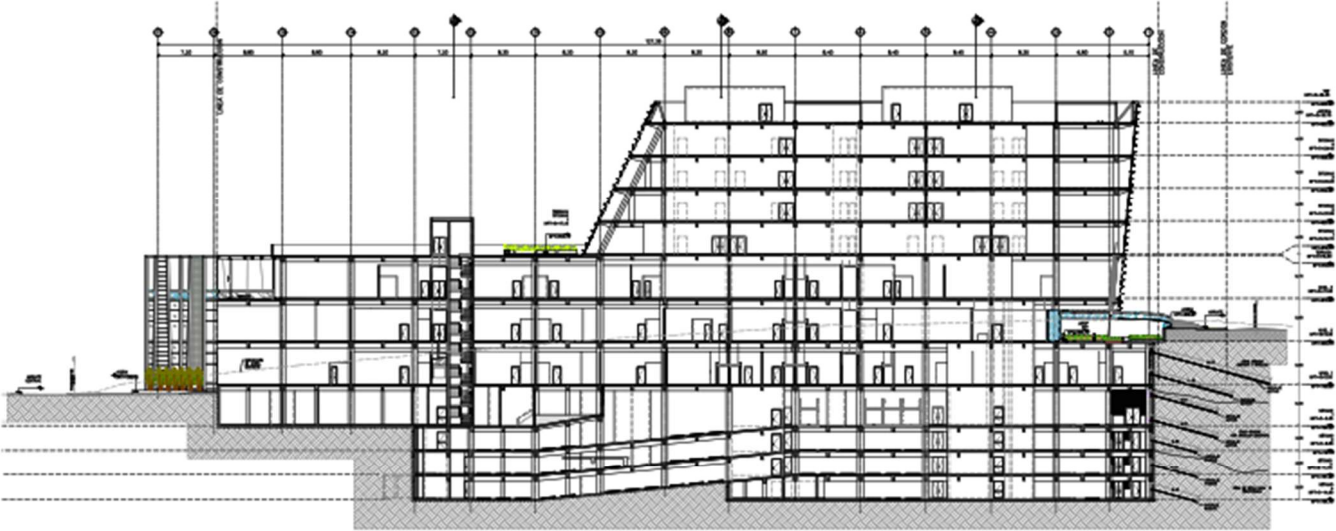
Comportamiento del consumo de corriente para el circuito BW4, que alimenta a todas las oficinas.

3.0 Anexo: Plano Topográfico de Bambú City Center

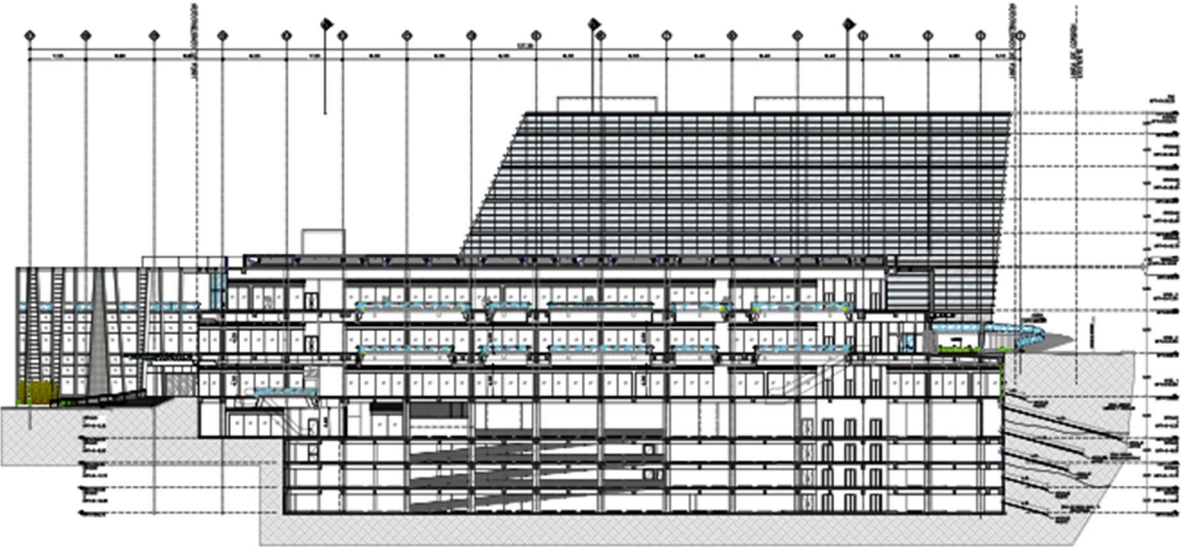


3.0 ANEXO: PLANO TOPOGRAFICO DE BAMBÚ CITY CENTER

4.0 Anexo: Plano de Sección AA y BB, Bambú City Center



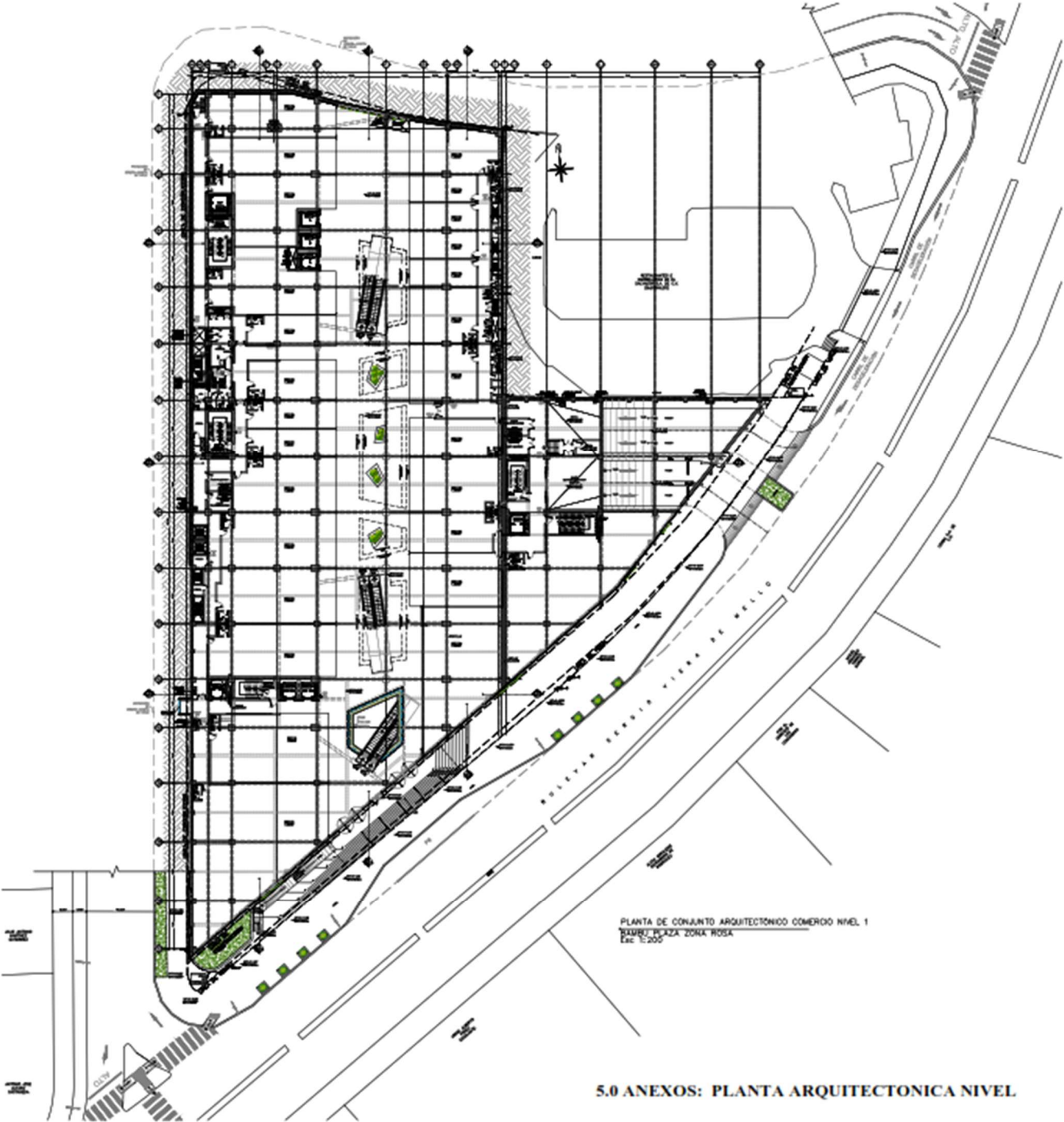
SECCIÓN A-A
BAMBÚ PLAZA ZONX ROSA
Ese 1:200



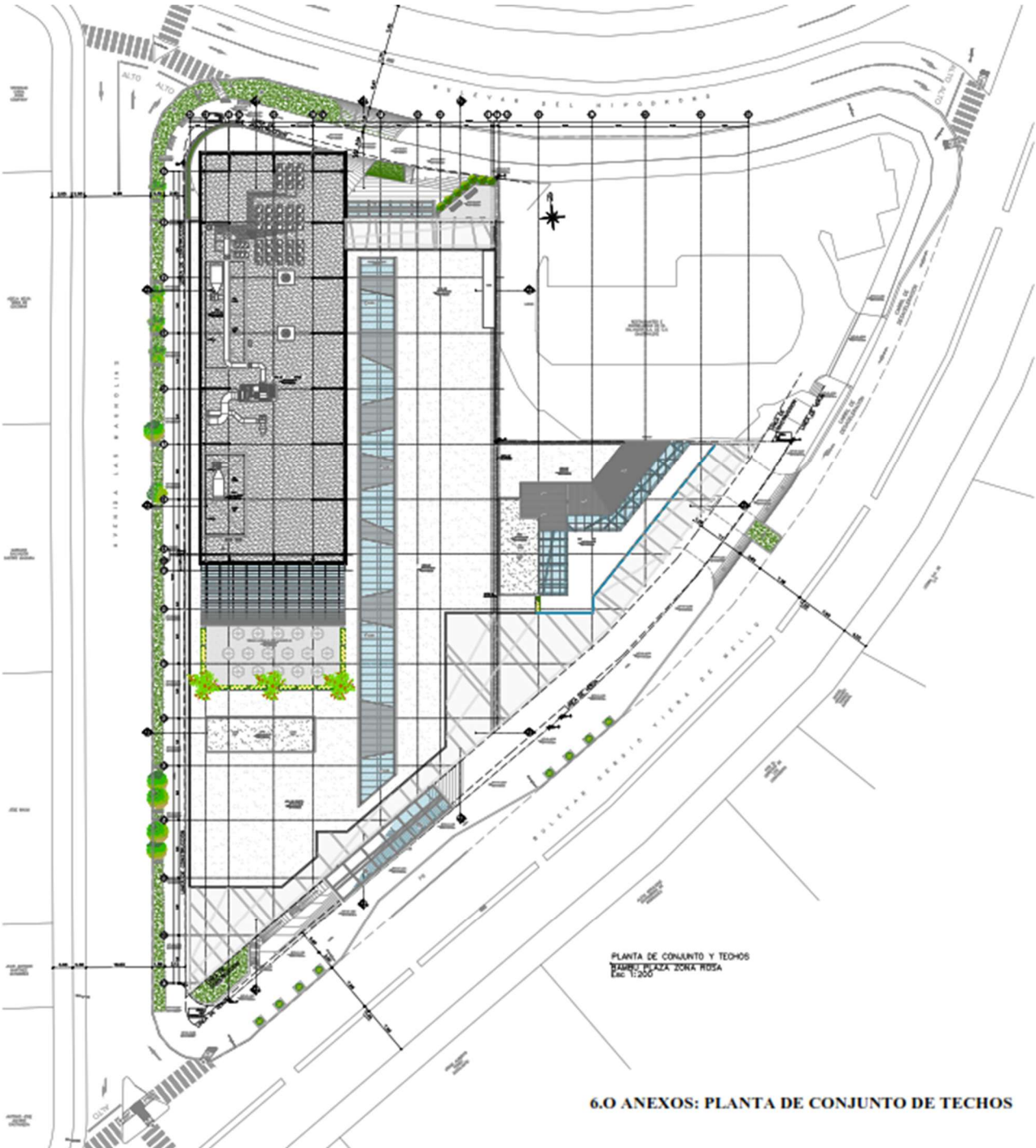
SECCIÓN B-B
BAMBÚ PLAZA ZONX ROSA
Ese 1:200

4.0 ANEXOS: PLANO DE SECCIONES AA Y BB

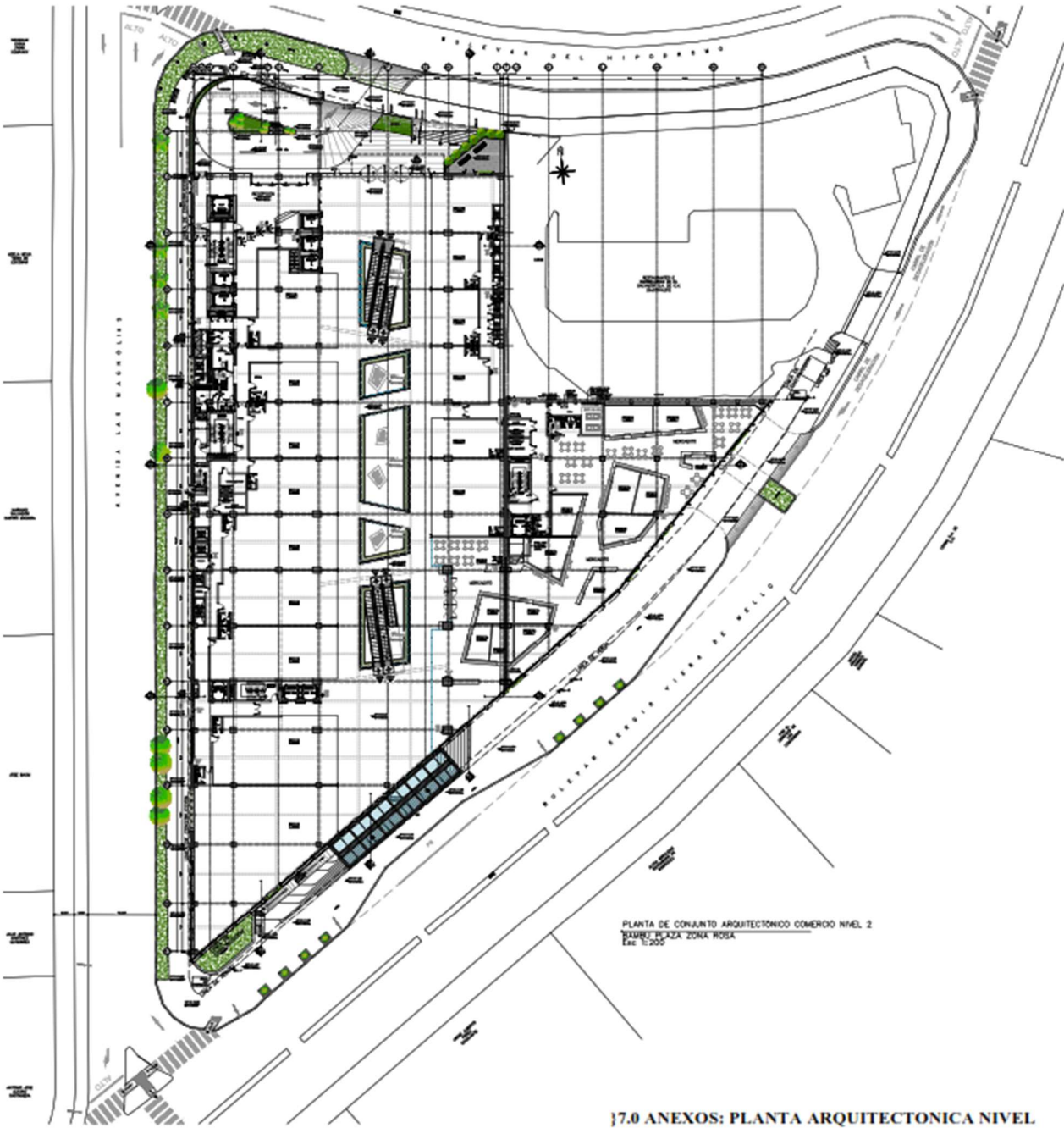
5.0 Anexo: Planta Arquitectónica Nivel 1, Bambú City Center



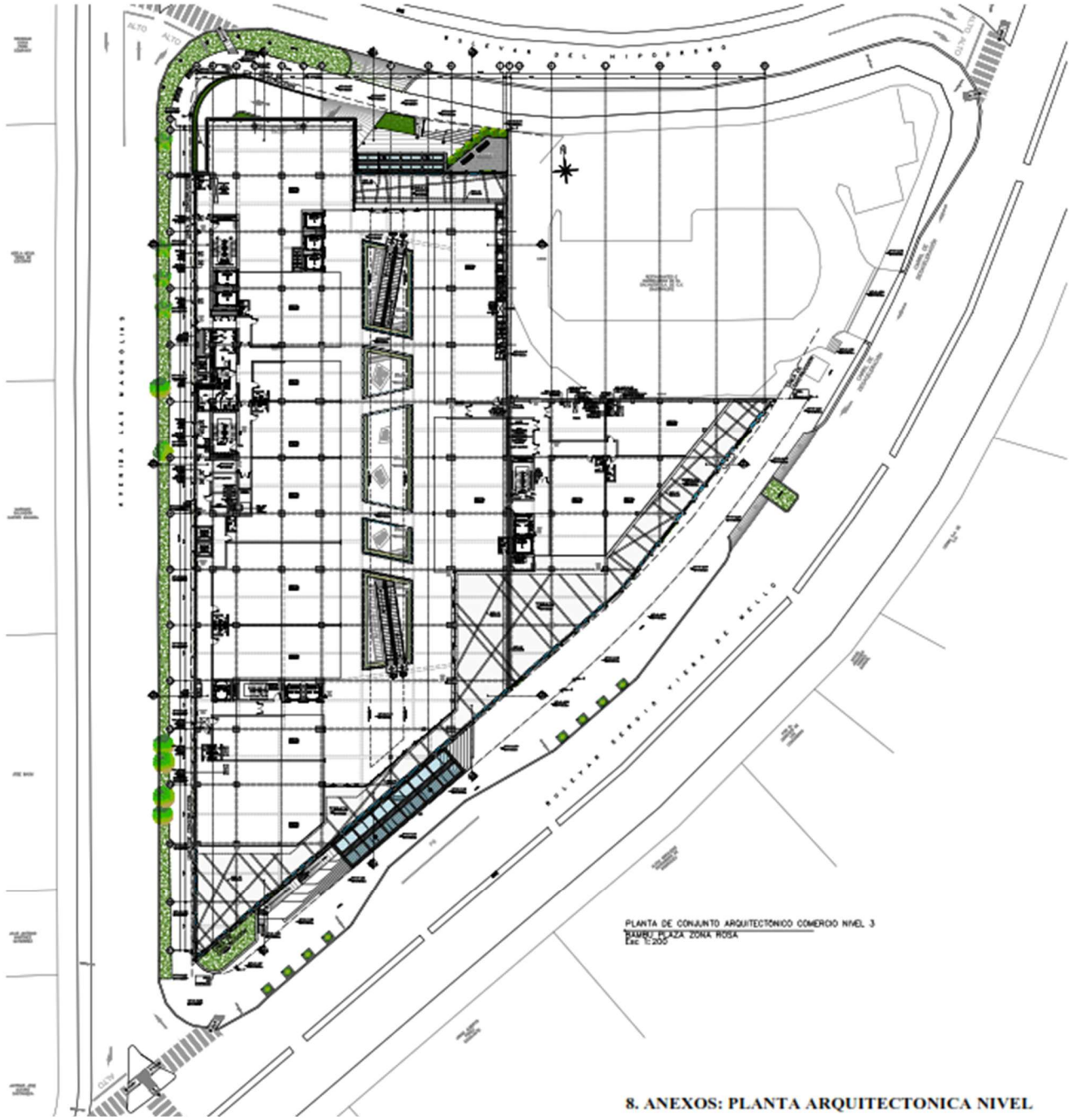
6.0 Anexo: Planta de Conjunto de Techos, Bambú City Center



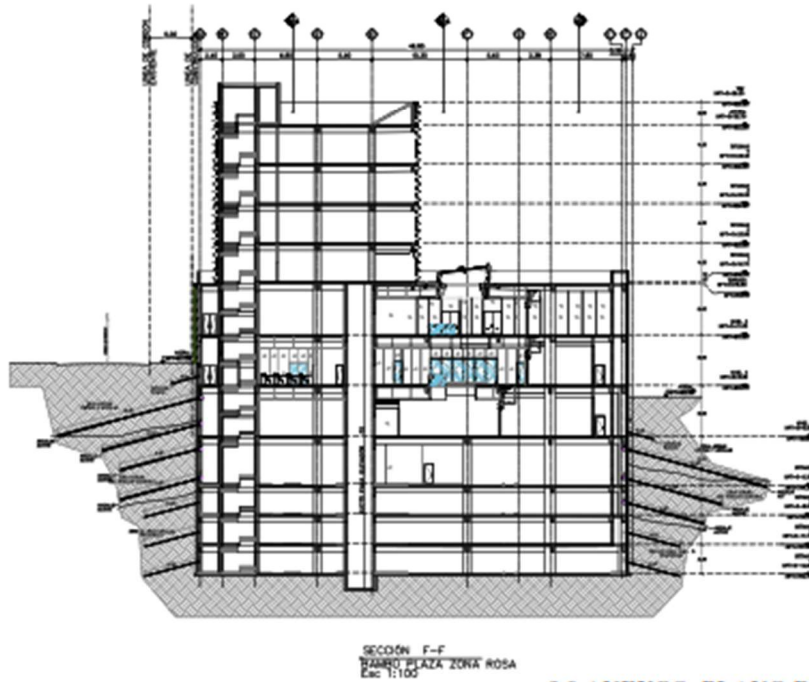
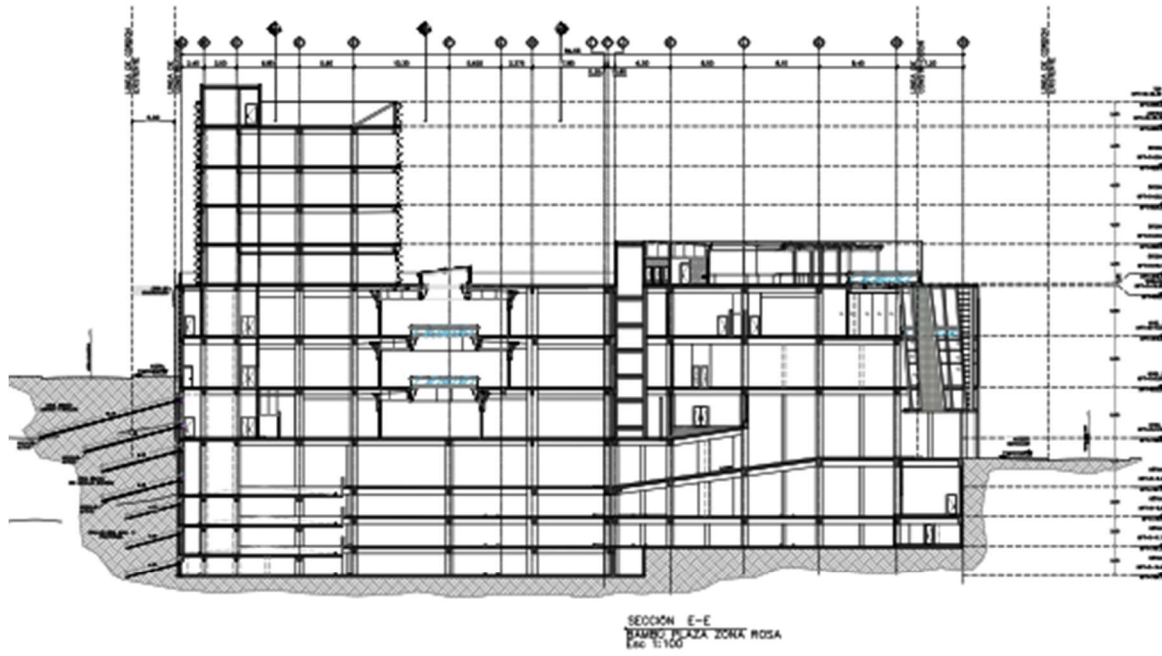
7.0 Anexo: Planta Arquitectónica Nivel 2, Bambú City Center



8.0 Anexo: Planta Arquitectónica Nivel 3, Bambú City Center

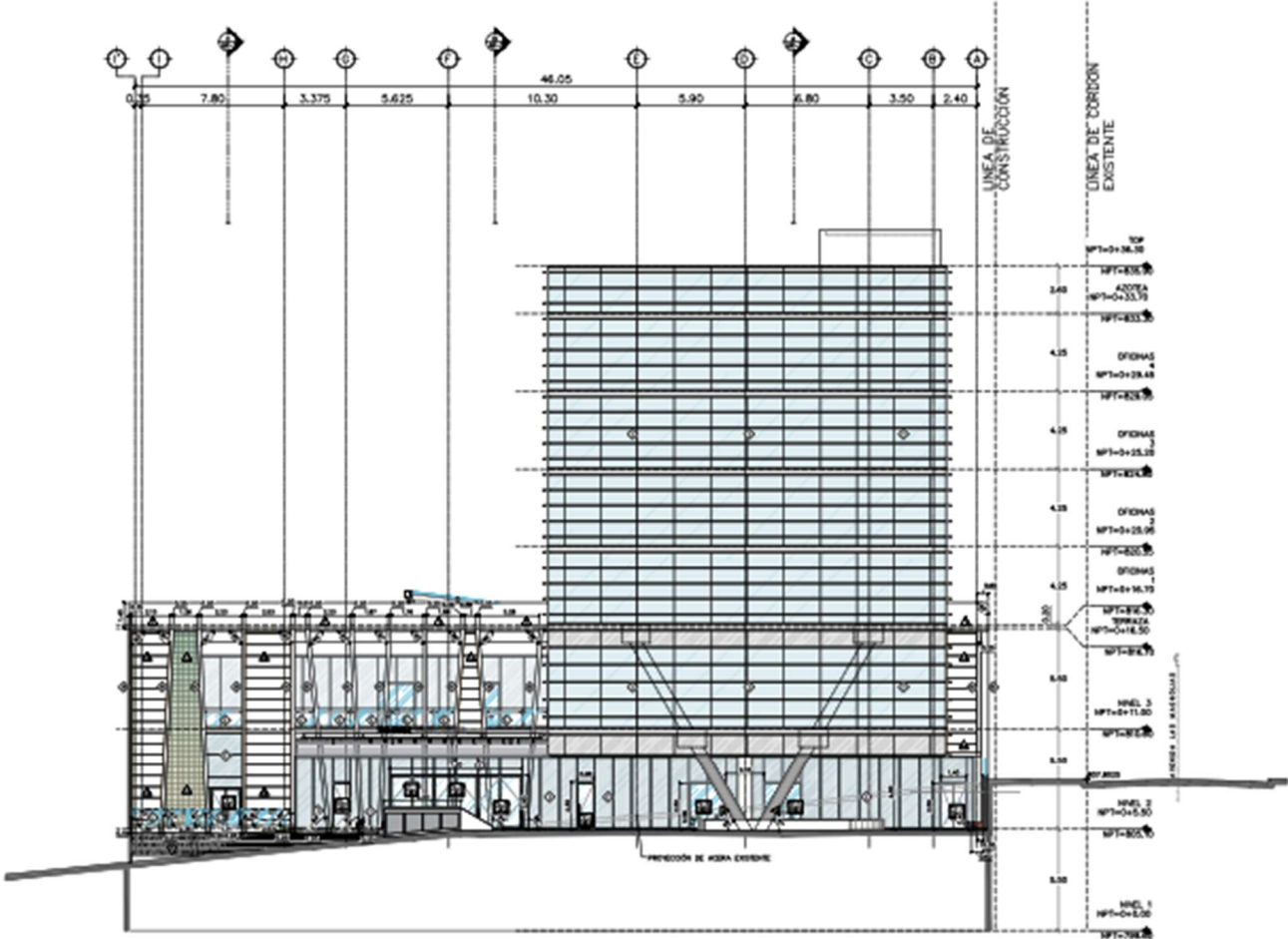


9.0 Anexo: Plano de Sección EE y FF, Bambú City Center



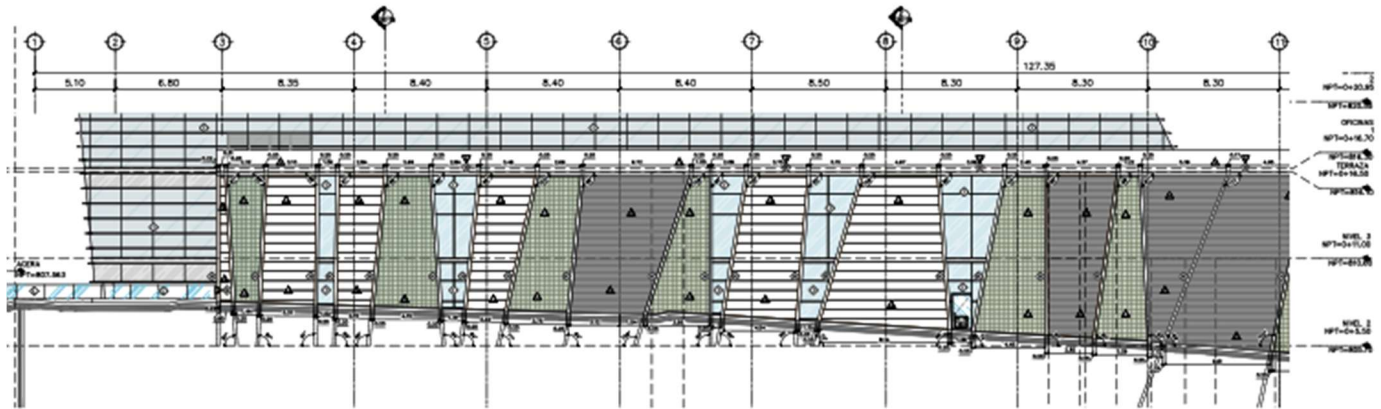
9.0 ANEXOS: PLANO DE SECCION EE Y FF

10.0 Anexo: Elevación Norte, Bambú City Center

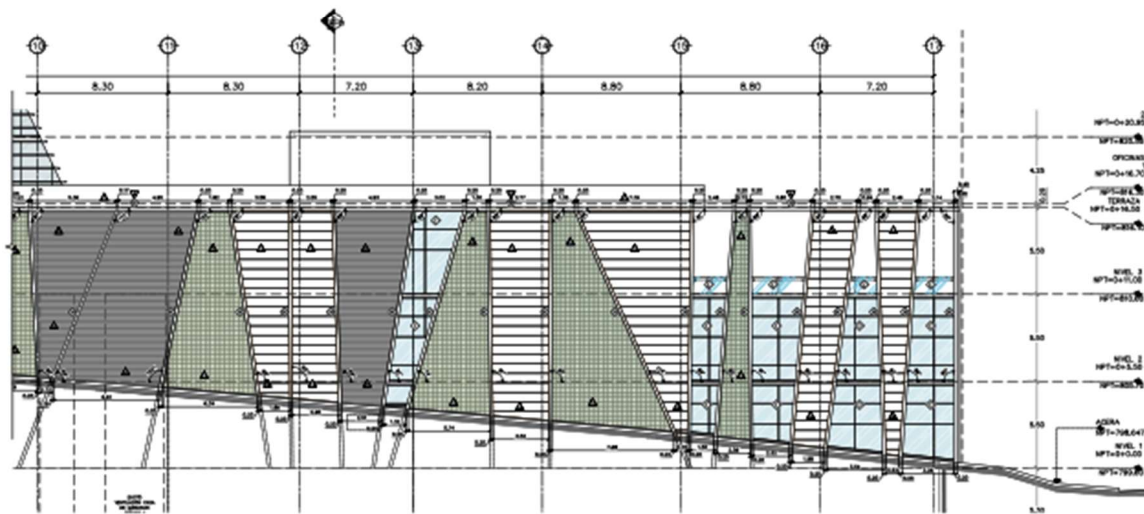


COTAS ELEVACIÓN NORTE
 BARRIO PLAZA ZONA ROSA
 Esc: 1:100

11.0 Anexo: Elevación Sur, Bambú City Center



COTAS ELEVACIÓN PONENTE - SECTOR NORTE
BAMBU PLAZA ZONA ROSA
Eso 1:100



COTAS ELEVACIÓN PONENTE - SECTOR SUR
BAMBU PLAZA ZONA ROSA
Eso 1:100

11.0 ANEXOS ELEVACION SUR