AUDITORÍA ENERGÉTICA

Metodología y procedimientos generales para su realización en edificios prototípicos del Instituto Politécnico Nacional

José Antonio Espinosa Cordero
Rodolfo Lacy Tamayo

Educación
Secretaría de Educación Pública

Instituto Politécnico Nacional
"La Técnica al Servicio de la Patria"

Publicado en 2025 por la
Coordinación Politécnica para la Sustentabilidad
del Instituto Politécnico Nacional

© IPN 2025
Obra registrada ante el INDAUTOR.
Certificado de Registro Núm. :03-2026-072711270000-01
ISBN: En trámite

Esta publicación está disponible en acceso abierto en
https://www.ipn.mx/sustentabilidad/

Al utilizar el contenido de esta publicación, los usuarios aceptan quedar sujetos a los términos de uso del IPN. Las denominaciones empleadas y la presentación del material a lo largo de esta publicación no implican la expresión de ninguna opinión oficial por parte del IPN.

Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores; no reflejan necesariamente las de la CPS o el IPN.

Las imágenes son de dominio público u originales de los autores.

Autores de contenido y diseño:
José Antonio Espinosa Cordero y Rodolfo Lacy Tamayo

Se recomienda no imprimir esta publicación para evitar el uso de papel.

PRESEN TACIÓN



MTRA. MILDRED CASTRO HERNÁNDEZ

COORDINADORA POLITÉCNICA PARA LA SUSTENTABILIDAD
Instituto Politécnico Nacional

El Instituto Politécnico Nacional (IPN), como la institución tecnológica más importante de México, reafirma su compromiso con la sustentabilidad a través de acciones concretas, medibles y replicables. Nuestra Política para la Sustentabilidad Politécnica no es solo una declaración de intenciones: es una hoja de ruta activa que articula nuestros recursos científicos, tecnológicos y humanos en favor de un futuro resiliente, justo y bajo en emisiones.

En este marco, presentamos el ***Manual de Auditoria Energética,*** una herramienta técnica y formativa que inaugura una serie de publicaciones orientadas a transformar nuestras edificaciones en espacios energéticamente eficientes y ambientalmente responsables. Este documento constituye un instrumento clave para diagnosticar, modelar y mejorar el desempeño energético de nuestra vasta infraestructura, alineándose con estándares internacionales, las metas del Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas.

Pero más allá de su utilidad operativa, este Manual tiene un valor formativo al convertir a nuestros

propios edificios en laboratorios vivos de aprendizaje, donde el estudiantado puede aplicar sus conocimientos en contextos reales, interdisciplinarios y colaborativos, lo que, sin lugar a dudas, fortalece nuestra vocación académica y posiciona al IPN como modelo de campus sustentable.

Medir para gestionar, gestionar para transformar. Bajo esta premisa, consolidamos un enfoque integral en el que la eficiencia energética nos permitirá reducir el uso de recursos naturales, disminuir consumos y costos, y al mismo tiempo, generar confort, fortalecer la corresponsabilidad y mejorar la productividad en aulas, oficinas, talleres y laboratorios. Así, al ser más eficientes, también somos más justos, más sostenibles y más competitivos.

Este Manual es prueba del liderazgo institucional del IPN en la transición energética y la gestión sustentable de entorno politécnico. No hablamos de sustentabilidad, la construimos con rigor, con ciencia, con resultados y con “La Técnica al Servicio de la Patria”.

MTRA. MILDRED CASTRO HERNÁNDEZ

COORDINADORA POLITÉCNICA
PARA LA SUSTENTABILIDAD
Instituto Politécnico Nacional

Destinatarios del Manual

Dirigido a personal técnico, operativo, docente y estudiantil del IPN, así como a cualquier persona interesada en mejorar la eficiencia energética de edificaciones educativas, administrativas, o de servicios. Puede ser utilizado por quienes cuenten con formación básica en ingeniería, arquitectura, mantenimiento o áreas afines, incluso si no son especialistas en energía, ya que su estructura está diseñada para guiar paso a paso en el proceso.

Créditos

El presente Manual fue preparado por la Coordinación Politécnica para la Sustentabilidad con la participación de los expertos en auditorías en energía y medio ambiente: José Antonio Espinosa Cordero y Rodolfo Lacy Tamayo, respectivamente.

Objetivo y uso del manual

Este Manual busca ofrecer una guía práctica y metodológicamente sólida para realizar auditorías energéticas en edificaciones. Pero más allá de su valor técnico, forma parte del Programa IPN-Sustentabilidad, al proporcionar la metodología que permitirá a cada campus diseñar su propio *Campus IPN-Sustentabilidad,* con autonomía, evidencia y visión estratégica.

¿POR QUÉ AUDITAR?

En el contexto del IPN, auditar es mucho más que revisar consumos: es el punto de partida para transformar. Auditar significa analizar de forma sistemática, objetiva y técnica cómo, cuándo y dónde se consume la energía en nuestras edificaciones, con el fin de identificar ineficiencias, proponer soluciones y medir el impacto de las acciones implementadas.

En términos operativos y estratégicos, la auditoría energética es el primer paso para construir la *línea base energética* de cada unidad académica, centro de investigación, dependencia administrativa o de servicios. Esta línea base es indispensable para:

- *Establecer metas realistas y medibles de energía y cambio climático en la formulación de los Campus IPN-Sustentabilidad.*
- *Priorizar inversiones y acciones de mejora con criterios técnicos y financieros.*
- *Dar seguimiento y evaluar el impacto de las acciones implementadas en el tiempo.*

Finalmente, este Manual pone énfasis en la necesidad de contar con **herramientas o mecanismos de medición confiables y en tiempo real,** como base para generar datos precisos, comparar el desempeño energético entre espacios y asegurar la trazabilidad de los avances logrados.



ESTRUCTURA

Se encuentra estructurado en **seis bloques temáticos** que guían al usuario de manera progresiva, desde los conceptos básicos hasta el análisis técnico avanzado, permitiendo su aplicación práctica en diversas edificaciones:

1 **Fundamentos generales:** introduce los conceptos de la auditoria energética, su propósito en el contexto de la sustentabilidad institucional y la importancia de establecer líneas base para la gestión energética.

2 **Organización del edificio para auditorías:** establecer cómo clasificar y entender las áreas y sistemas de consumo energético en un edificio, facilitando el levantamiento de información y la planeación de las auditorías.

3 **Metodología por fases:** desarrolla paso a paso de proceso de auditoría, desde la recopilación de datos, cuestionarios técnicos y mediciones, hasta el análisis, modelado, construcción de indicadores y recomendaciones técnicas.

4 **Herramientas para entornos con información limitada:** ofrece soluciones prácticas cuando no se cuenta con planos, facturas o registros técnicos, permitiendo avanzar en el diagnóstico.

5 **Auditorías de gas y combustibles fósiles:** establece el análisis del consumo de combustibles fósiles, su medición y eficiencia, aplicable a varios equipos y procesos térmicos.

6 **Evaluación comparativa y simulación energética:** integra benchmarking, análisis financiero y herramientas de simulación para priorizar inversiones y tomar decisiones cimentadas en datos duros.

7 **Recomendaciones generales:** incluye buenas prácticas técnicas, operativas y organizativas, aplicables de forma trasversal a diversos tipos de edificaciones. Son recomendaciones para ser implementadas de manera gradual, escalable con enfoque preventivo, como parte de la transición hacia campus energéticamente responsables y resilientes.

ÍNDICE

Bloque I.
Fundamentos generales

I.1 Introducción a las auditorías para proyectos de sostenibilidad

I.2 Auditorías versus Evaluaciones

I.3 Tipos de auditoría energética Auditoría Nivel 1

I.4 Evaluación energética del estado actual en edificios

I.5 Importancia de la energía eléctrica en la sostenibilidad de edificios

I.6 El papel de la línea base energética

Bloque II.
Organización del edificio para auditorías

II.1 División de áreas y sistemas energéticos en un edificio

II.2 Fases de una evaluación energética o auditoría

Bloque III.
Metodología por fases

Fase 0. Recopilación y verificación de información existente

Fase 1. Planeación de la auditoría energética

Fase 2. Cuestionario de evaluación energética

Fase 3. Mediciones y sub-mediciones eléctricas

Fase 4. Análisis y modelado

Fase 5. Creación de indicadores y criterios “pasa-no pasa”

Fase 6. Construcción de la línea base eléctrica y presentación de resultados

Fase 7. Lista de recomendaciones técnicas y de operación

Fase 8. Diagnóstico de calidad eléctrica y problemas sistémicos

Apéndice A. Métodos Matemáticos e Indicadores Energéticos

Bloque IV.
Herramientas para entornos con información limitada

IV.1 Guía básica para levantamiento y lectura de planos eléctricos

IV.2 Técnicas de identificación de circuitos eléctricos sin planos

IV.3 Estimación de consumos sin facturación disponible

IV.4 Explicación básica sobre cómo funciona el cableado eléctrico

Bloque V.
Auditorías de gas y combustibles fósiles

V.1 Introducción a auditorías térmicas

V.2 Recopilación de datos térmicos

V.3 Medición de consumo térmico y eficiencia de sistemas

V.4 Análisis térmico y Recomendaciones

Bloque VI.
Evaluación comparativa, financiera y simulación energética

VI.1 Benchmarking energético por tipo de edificio

VI.2 Análisis financiero para recomendaciones energéticas

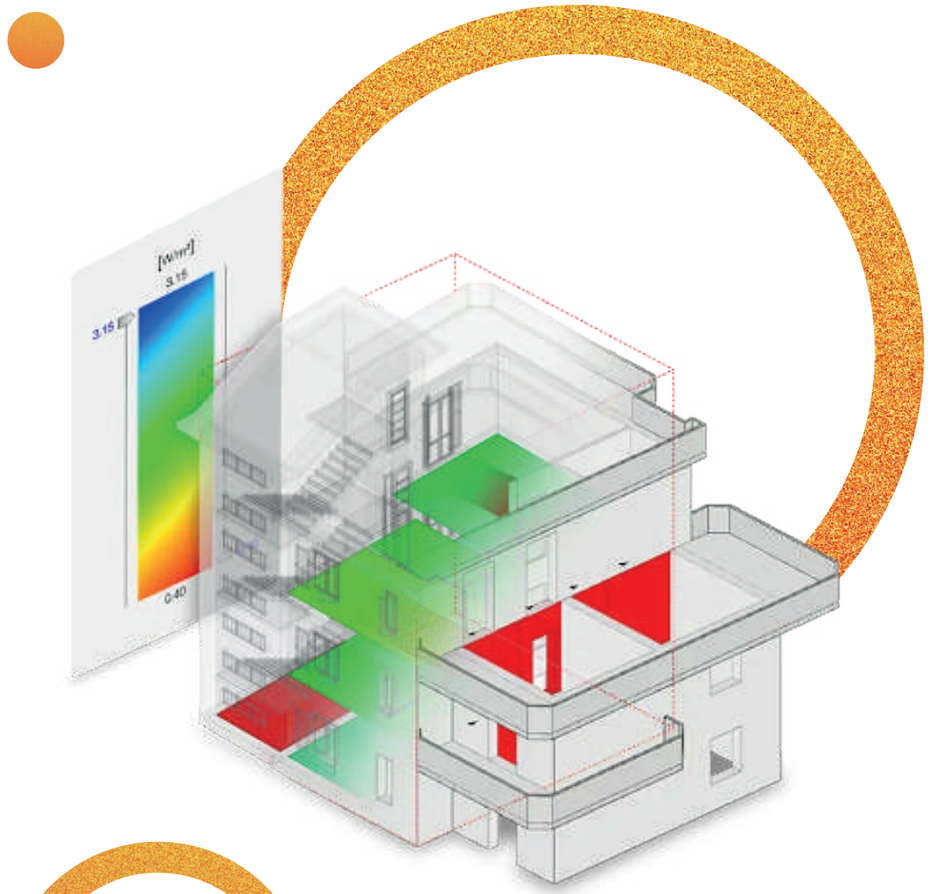
VI.3 Modelado energético de mejoras con EnergyPlus y otros softwares

Bloque VII.
Recomendaciones Generales

VII.1 Principios y niveles de implementación

VII.2 Recomendaciones por niveles de implementación

Bibliografía



Bloque I

Fundamentos generales



I.1 Introducción a las auditorías para proyectos de sostenibilidad

Este manual pretende dotar de las habilidades necesarias a los estudiantes y profesores del IPN, de tal manera qué, de un modo práctico puedan realizar auditorías energéticas profesionales y propias.

El Instituto Politécnico Nacional (IPN) cuenta con una vasta y diversa infraestructura que incluye unidades académicas, centros de investigación, instalaciones deportivas, culturales y administrativas distribuidas en múltiples estados de la República Mexicana y en ambientes ecológicos y urbanos igualmente variados. Esta diversidad implica una considerable demanda energética y, por ende, una oportunidad significativa para implementar proyectos de eficiencia energética que contribuyan a la sostenibilidad institucional.

Las auditorías energéticas en el IPN permitirán identificar ineficiencias, proponer soluciones adaptadas a cada tipo de instalación y cuantificar los beneficios energéticos, económicos y ambientales. Además, alinearán al Instituto con sus compromisos de responsabilidad ambiental, eficiencia presupuestal y cumplimiento normativo.

Tipos de Edificios Universitarios

En el IPN hay más de 1,200 edificios de muy diversas épocas, características arquitectónicas, funcionalidades y equipamiento.

En términos generales y para fines de consumo energético, se pueden distinguir cuatro tipos de edificios en función de sus propósitos universitarios:

Objetivos de sustentabilidad en energía*:

Consumo por superficie:
≤ 5.0 – 6.0 W/m^2

Desempeño energético:
≤ 80-100 kWh/m^2/año



**De preferencia energía abastecida por energías renovables, como la solar, la eólica, biogás y biomasa certificada*

Una Auditoría en Energía para un edificio que está en operación es un proceso sistemático, realizado por expertos en el tema, que tiene como objetivo analizar el uso y consumo de electricidad y/o combustibles con el fin de identificar oportunidades para:

- Mejorar la eficiencia energética.
- Reducir costos operativos y de mantenimiento.
- Aumentar el comfort interno sin penalidades ambientales externas.
- Minimizar el impacto ambiental al entorno urbano y el planeta.
- Alinear el desempeño energético y ambiental del edificio con los objetivos nacionales e internacionales establecidos en los sistemas regulatorios y de planeación, así como los asumidos por el gobierno Mexicano a nivel internacional, como puede ser el Acuerdo de París en materia de cambio climático.
- Lograr un reconocimiento o certificado de sustentabilidad por parte de una institución de prestigio.

Los elementos clave de una auditoría energética están vinculados con a) la recolección de datos, b) el análisis del desempeño energético: usando indicadores universales que permiten una comparación local, nacional e internacional, c) la elaboración de un diagnóstico y d) las propuestas de mejoras, previa evaluación económica y ambiental.

En los edificios universitarios hay múltiples dispositivos, equipos e infraestructura básica que consumen electricidad o combustibles fósiles para dotar de iluminación, comfort, calor o movilidad interna y externa. Todos y cada uno de éstos se deben de inventariar, para posteriormente determinar sus consumos energéticos precisos y medir y documentar su eficiencia para proveer el servicio al cual están destinados.

Es necesario tener una planeación de todas las actividades, un involucramiento de los usuarios del edificio a auditar, así como plena transparencia

en el proceso de organización y ejecución de la auditoría. Los equipos que deben estar incluidos en una Auditoría Energética a un edificio universitario son los siguientes:

Energía eléctrica

- *Luminarias (internas y de exteriores).*
- *Equipos de cómputo.*
- *Aparatos de oficina (impresoras, copiadoras, etc.).*
- *Aires acondicionados.*
- *Equipos de cocina (cafeteras, refrigeradores, licuadoras, etc.).*
- *Equipos de laboratorio (campanas, muflas, autoclaves, etc.).*
- *Equipos de sonido.*
- *Vehículos eléctricos.*
- *Bombas de agua, fuentes, puertas y escaleras automáticas, etc.*

Energía térmica

- *Equipos de cocina (estufas, hornos, etc.).*
- *Generadores de electricidad.*
- *Calderas.*
- *Equipos de laboratorio (mecheros, incineradores, etc.).*
- *Vehículos automotores (autobuses, camionetas, autos, motocicletas, otros).*
- *Maquinaria de construcción, podadoras, etc.*

Las mediciones del consumo de energía deben expresarse para un periodo de un año, utilizando como mínimo una métrica de superficie por metro cuadrado (ej. W/m2) y por tipo de espacio o uso del edificio (ej. kWh/año/alumno), como pueden ser corredores, salones de clase, vestidores, áreas de oficina, zonas recreativas, comedores o laboratorios.

I.2 **Auditorías** versus **Evaluaciones**

Los términos "auditoría energética" y "evaluación energética" se utilizan para describir procesos similares de análisis del consumo energético en las instalaciones. Sin embargo, es importante considerar la percepción que estos términos pueden generar entre los responsables de las distintas unidades y eventualmente con los futuros clientes que el IPN pueda tener. Mientras que "auditoría" puede asociarse a procesos de fiscalización, "evaluación" puede percibirse como un enfoque más colaborativo y orientado a la mejora continua.

Independientemente del término utilizado, lo esencial es que el proceso sea riguroso, bien documentado y orientado a resultados, adaptándose al contexto y necesidades específicas de cada unidad del IPN.

AUDITORÍA

Proceso de revisión exhaustiva o fiscalización bajo estándares y protocolos oficiales, con fines de certificación de cumplimiento.

EVALUACIÓN

Proceso colaborativo orientado a la mejora continua, muchas veces voluntario.



I.3 Tipos de auditorías energéticas

La metodología de auditoría energética para los edificios del IPN se basa en la clasificación de ANSI/ASHRAE/ACCA Standard 211-2018, adaptada de tal modo que cada nivel construye sobre los procedimientos del nivel anterior, garantizando rigor y continuidad en el análisis.

NIVEL 1

Diagnóstico preliminar (Walk-through + cuestionario técnico)

Propósito: Obtener una visión general y cualitativa del uso de la energía, identificar ineficiencias evidentes y recoger datos arquitectónicos y operativos claves.

Alcance: Recorrido visual sistemático, entrevistas al personal y llenado de un cuestionario técnico de observación.

Entregable: Informe con hallazgos inmediatos de bajo costo, lista de oportunidades pasivas y criterios para avanzar al Nivel 2.

NIVEL 2

Auditoría general con mediciones específicas

Propósito: Validar cuantitativamente las oportunidades detectadas en el Nivel 1 y perfilar el consumo por áreas o sistemas.

Alcance: Medición puntual de cargas críticas (circuitos principales, iluminación, HVAC), revisión de datos de operación y construcción de un primer perfil energético.

Entregable: Perfil consumo-área, estimación de ahorros y recomendación de medidas con respaldo de datos.

NIVEL 3

Auditoría con análisis financiero y modelado energético

Propósito: Diseñar un plan integral de eficiencia, priorizado por rentabilidad y viabilidad técnica.

Alcance: Monitoreo extendido, modelado energético (EnergyPlus, DesignBuilder u otro), análisis económico (VAN, TIR, periodo de recuperación).

Entregable: Documento completo para toma de decisiones y solicitud de inversión, con escenarios comparativos.



NIVEL 4

Auditoría por sistema

Propósito: Profundizar en un sistema específico (iluminación, HVAC, calderas, vapor, compresores...) cuando éste represente la mayor oportunidad de mejora.

Alcance: Mediciones especializadas y pruebas de rendimiento del sistema, benchmarking con estándares técnicos.

Entregable: Informe técnico-especializado con recomendaciones puntuales y cuantificables.

Nota: El Nivel 4 puede ejecutarse en paralelo a cualquiera de los niveles anteriores si se detecta que un sistema en particular necesita diagnóstico detallado.

NIVEL 1

AUDITORÍA

La Auditoría de **NIVEL 1** implica la realización de un recorrido en todo el edificio para identificar cada uno de los elementos de interés en materia de energía. Para llevar a cabo esta actividad, en la siguiente página encontrará una lista de las actividades agrupadas en 7 rubros.

El recorrido se realiza con un cuestionario en mano que se incluye en la página 18 de este Manual. Con este cuestionario tendrás un diagnóstico cuantitativo al término de tu recorrido y podrás avanzar y justificar con datos la siguiente fase de tu auditoría.

El cuestionario sirve como base para el informe inicial de la auditoría y orienta las siguientes fases: medición puntual, modelado y análisis financiero, explicadas en la página 13. Puedes adaptarlo o ampliarlo según las características de cada auditoría de Nivel 1.

El entregable al término del Nivel 1 es un breve informe que incluya:

1. Puntaje Total y nivel de preocupación (bajo/moderado/alto).
2. Resumen de hallazgos visuales y de entrevistas.
3. Tabla de oportunidades pasivas evaluadas con Climate Consultant , que utiliza datos paramétricos de NASA POWER.
4. Recomendaciones inmediatas de bajo o nulo costo.
5. Criterios y justificación para desarrollar la próxima fase o NIVEL 2.

CARTA PSICROMÉTRICA DE COMFORT

Instrucciones para generarla desde el software *Climate Consultant*

Obtener el archivo climático

- Ve a *https://power.larc.nasa.gov* y descarga tu serie de datos (temperatura seca, humedad relativa, radiación, viento) en formato **CSV** o **TSV** para la estación IPN más cercana.
- Opcional: conviértelo a **EPW** (formato estándar de DOE) con herramientas como *pyepw.*

Importar en Climate Consultant

- Abre Climate Consultant y selecciona ***"Import EPW file"*** o ***"Import CSV".***

Generar la carta psicrométrica

- En el menú principal, ve a **Psych Chart + Comfort.**
- Marca la opción ***"Plot Data Points"*** para ver todos los puntos horarios.

Obtener los índices de comfort

- Climate Consultant calcula automáticamente las **horas dentro/fuera de comfort** según ASHRAE.
- En la pestaña de ***"Comfort Indices"*** verás gráficos de porcen-

Exportar gráficos

- Usa ***"Export Chart"*** para guardar como PNG o PDF.
- Copia tablas de horas de confort o percentiles directamente al informe.

NIVEL 1

AUDITORÍA

LISTA DE ACTIVIDADES A REALIZAR

1. Coordinación de la visita

- Contactar al responsable de mantenimiento/energía para agendar recorrido.
- Confirmar acceso a áreas críticas y disponibilidad de personal clave.

2. Recorrido visual sistemático

- Inspeccionar envolvente (fachadas, cubiertas, ventanas).
- Anotar orientación y elementos de sombra (volados, celosías, vegetación).
- Observar estado de aislamiento (puentes térmicos, techos metálicos).

3. Entrevistas breves

- Preguntar horarios reales de ocupación y turnos de operación.
- Identificar responsables de encendido/apagado de equipos e iluminación.
- Registrar prácticas de mantenimiento y limpieza.

4. Llenado de cuestionario técnico en campo (página 34)

- Completar todos los apartados: orientación, tipo y número de recintos, condiciones pasivas, iluminación, equipos, cultura energética.
- Asignar puntajes según método y sumar "PUNTAJE TOTAL" al concluir.

5. Recolección de datos climáticos

- Descargar datos meteorológicos (temperatura, humedad, radiación solar, velocidad de viento) para la ubicación IPN usando la fuente NASA POWER (*https://power.larc.nasa.gov*)
- Seleccionar período representativo (mínimo 10 años de datos mensuales)

6. Análisis de soluciones pasivas con Climate Consultant (página 16)

- Importar los datos descargados de NASA POWER en Climate Consultant.
- Generar **Carta Psicrométrica** y gráficos de índices de comfort.
- Evaluar periodos óptimos de ventilación natural y zonas de saturación térmica.
- Identificar estrategias pasivas:
    - Diseño y dimensiones de volados/parasoles.
    - Uso de masa térmica y materiales de alto calor específico.
    - Posibilidades de ventilación cruzada y chimeneas solares.
    - Orientación óptima de vanos y proporción de apertura.

7. Documentación y priorización de oportunidades

- Registrar en el informe las medidas pasivas recomendadas (por ejemplo, rediseño de sombra, reubicación de equipos, refuerzo de ventilación natural).

- Asignar prioridad basada en facilidad de implementación y potencial de ahorro (alto, medio, bajo).
- Definir criterios para avanzar a Nivel 2 (p. ej., puntaje total ≥ 8 o al menos 3 medidas de “alto” impacto).

NIVEL 1

AUDITORÍA

CUESTIONARIO TÉCNICO

Objetivo: Recoger en campo, de manera estructurada, los datos esenciales para un diagnóstico preliminar y para guiar las siguientes fases

Instrucciones: Para cada pregunta marca la casilla que corresponda y transcribe el puntaje. Luego suma la columna "Puntaje"

SECCIÓN | PREGUNTA	SÍ (2)	PARCIAL (1)	NO (0)	PUNTAJE
1. Información general				
1.1 El responsable de energía está identificado y disponible.	○	○	○	
1.2 El horario real de operación coincide con el previsto.	○	○	○	
2. Orientación y envolvente				
2.1 Fachada principal expuesta al sol más de 4 h/día.	○	○	○	
2.2 Elementos de sombreamiento efectivo (pérgolas, volados).	○	○	○	
2.3 Puentes térmicos o techos sin aislamiento.	○	○	○	
3. Iluminación				
3.1 Uso de luminarias obsoletas (incandescentes, fluorescentes).	○	○	○	
3.2 Luces encendidas innecesariamente durante el día.	○	○	○	
3.3 Control de iluminación (sensores, temporizadores).	○	○	○	

SECCIÓN | PREGUNTA	SÍ (2)	PARCIAL (1)	NO (0)	PUNTAJE
4. Confort térmico y ventilación 4.1 Ventanas operables y ventilación natural cruzada. 4.2 Presencia de fuentes internas de calor sin control (servidores, hornos).	○	○	○	
5. Equipos y cargas eléctricas 5.1 Equipos conectados sin uso (modo espera). 5.2 Equipos de alto consumo (aire acondicionado, bombas) con programación adecuada.	○	○	○	
6. Hábitos operativos y cultura 6.1 Apagado de equipos e iluminación al finalizar jornada. 6.2 Conciencia de ahorro energético entre usuarios.	○	○	○	
7. Infraestructura y medición 7.1 Tableros accesibles y etiquetados correctamente. 7.2 Existen submediciones o medidores por área/sistema.	○	○	○	
8. Observaciones adicionales (anotar puntaje 0–2 según gravedad)	○	○	○	
			PUNTAJE TOTAL:	

NIVEL

1

AUDITORÍA

INTERPRETACIÓN DEL PUNTAJE

PUNTAJE TOTAL	NIVEL DE PREOCUPACIÓN	ACCIÓN RECOMENDADA
0 - 7	Bajo	Mantener prácticas y dar seguimiento
8 - 14	Moderado	Planificar auditoría de Nivel 2 en 6 meses
≥ 15	Alto	Iniciar auditoría de Nivel 2 de inmediato

I.4 Evaluación energética del estado actual de los edificios del IPN

Antes de implementar medidas de eficiencia energética, es fundamental comprender el estado actual del consumo energético en las instalaciones del IPN. Esto implica:

Análisis de consumos

- Se obtendrán los registros de facturación de CFE (últimos 12–24 meses).
- Se desagregará consumo por tarifa, periodo (punta/valle) y potencia contratada.
- Se identificarán anomalías en los patrones (picos atípicos, variaciones estacionales).

Mediciones en campo

- Se instalarán analizadores portátiles en tableros principales y críticos durante al menos 7 días.
- Se registrarán voltaje, corriente, factor de potencia y distorsión armónica total.
- Se tomarán mediciones de iluminancia, temperatura y humedad en espacios clave (aulas, laboratorios, oficinas).

Revisión de planos y croquis

- Se consultarán los planos eléctricos o arquitectónicos disponibles., en su ausencia.
- Se elaborarán planos arquitectónicos y diagramas unifilares.
- Se georreferenciarán los espacios de mayor demanda (laboratorios, salas de cómputo, áreas de HVAC).

Entrevistas y cuestionarios

- Se entrevistará al personal de mantenimiento, jefes de área y usuarios clave para recabar horarios de operación, hábitos de uso y protocolos.
- Se aplicará el cuestionario técnico de Nivel 1 (orientación, tipos de recinto, responsables, turnos, políticas internas).



I.5 Importancia de la electricidad en la sustentabilidad de un edificio

En México, el sector de **edificios no residenciales** consumió **66.9 TWh** de electricidad en 2017, lo que equivale al **26.9 % de la demanda eléctrica nacional** *ConueePlatiica.* Al sumar el consumo de los edificios residenciales, el total alcanza 126 TWh, situando al conjunto de las edificaciones como el mayor consumidor de energía eléctrica del país, superando en un 11 % al sector industrial *Platiica.*

Dentro de este panorama, las i**nstituciones de educación superior** representan una porción relevante: por ejemplo, la **UNAM** reportó un consumo de **100 438 288 kWh** (100.4 GWh) en 2021, lo que refleja la magnitud de la demanda en un solo campus universitario *cous.sdi.unam.mx.*

En las instalaciones del IPN —que comprenden aulas, laboratorios especializados, bibliotecas, oficinas administrativas y áreas de cómputo— la **electricidad** es el vector más utilizado en:

Iluminación: muchas áreas operan horas prolongadas, con uso parcial de luz natural.
Climatización (HVAC): sistemas sobredimensionados o con controles manuales pueden representar hasta el 50 % del consumo total.
Equipos de cómputo y redes: salas de servidores y laboratorios informáticos con cargas constantes y necesidad de respaldo.
Equipos de laboratorio: hornos, extractores y equipos de vacío en centros de investigación.

Optimizar el consumo eléctrico en estos sistemas **reduce significativamente los costos operativos, mejora la confiabilidad** del suministro —disminuyendo el riesgo de interrupciones en actividades críticas— y **contribuye a los objetivos** de reducción de emisiones y sostenibilidad institucional del IPN.



I.6 El papel de la línea base energética

Establecer una Línea Base Energética (LBE) es uno de los pasos fundamentales para evaluar el desempeño energético de los edificios del Instituto Politécnico Nacional. Esta línea base representa una referencia cuantitativa del consumo energético actual, y es el punto de partida para identificar oportunidades de mejora, justificar inversiones y medir el impacto real de las acciones correctivas.

Más que una simple recopilación de datos históricos, la LBE debe construirse como un modelo dinámico, que considere aspectos operativos, climáticos, arquitectónicos y de uso, propios de la diversidad funcional de las instalaciones del IPN: desde oficinas administrativas hasta laboratorios especializados, auditorios y centros culturales.

La construcción de una línea base energética en el contexto del IPN puede incluir:

DATOS HISTÓRICOS

Recolección de facturación eléctrica de al menos 12–24 meses.
Es importante considerar posibles variaciones como el cierre temporal de edificios, mantenimiento o cambios en la ocupación.

MODELADO ENERGÉTICO

Utilización de herramientas de simulación como EnergyPlus o DesignBuilder para comparar el consumo estimado contra estándares internacionales (por ejemplo, ASHRAE 90.1). Este modelado puede ayudar a detectar desviaciones significativas o pérdidas ocultas de energía.

MEDICIONES EN CAMPO
Registro de parámetros eléctricos clave (voltaje, corriente, factor de potencia) con equipos como analizadores de redes, así como mediciones de confort (lux, temperatura, humedad) en recintos representativos.



FOTO:
Ejemplo de medidor multifuncional de instalaciones eléctricas MPI-540-PV SOLAR KIT, LACE equipos de medición.

¿Cómo saber si un edificio del IPN consume mucho o poco?

Una práctica común en auditorías energéticas es realizar un benchmarking o análisis comparativo del desempeño energético del edificio frente a referencias aceptadas. Esto permite tener un punto de comparación útil para interpretar los datos recolectados durante el diagnóstico inicial. Algunos valores típicos de referencia del consumo energético anual para diferentes tipos de recintos, adaptada de fuentes internacionales como ENERGY STAR, ASHRAE y DOE, y útil como guía preliminar en edificios del IPN:

Tipo de edificio:	Consumo de referencia (kWh/m²·año)	Fuente de referencia	Método aplicable en LEED
Oficinas administrativas	**150 – 250**	ENERGY STAR / ASHRAE	ENERGY STAR o Modelado ASHRAE 90.1
Laboratorios y Talleres (alta demanda)	**300 – 600**	DOE Labs21 Benchmark	Modelado con EnergyPlus
Oficinas administrativas	**90 – 150**	ENERGY STAR for K-12 Schools	Benchmarking con ENERGY STAR
Oficinas administrativas	**180 – 300**	ENERGY STAR / ASHRAE	Modelado energético

Nota: Estos valores pueden variar según condiciones climáticas, horarios de operación, nivel de equipamiento y antigüedad de las instalaciones. Por ello, se recomienda usar esta tabla como referencia inicial y complementarla con mediciones reales y modelado específico.

Importancia estratégica de la Línea Base de Energía en el IPN

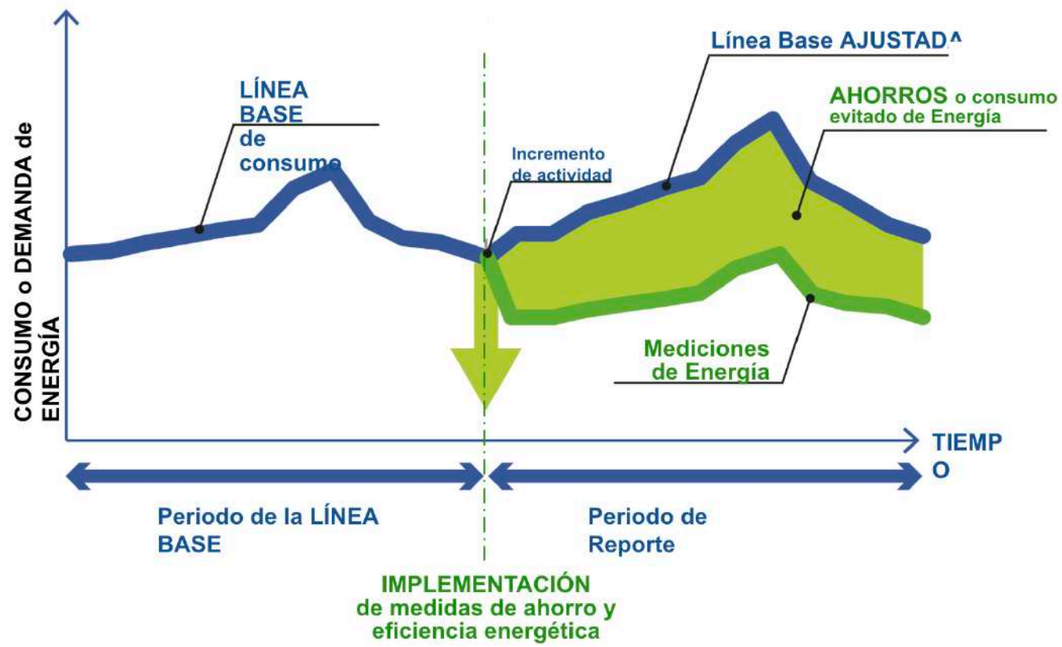
Contar con una Línea Base de Energía confiable permite:

- **Evaluar ahorros reales.**
  Distingue entre reducciones debidas a acciones de eficiencia y variaciones por causas externas (clima, uso, mantenimien-

- **Priorizar inversiones.**
  Facilita la toma de decisiones informadas al seleccionar entre proyectos de mejora energética en distintos edificios.

- **Establecer metas institucionales.**
  Sirve como base para alinear estrategias con el Plan de Desarrollo Institucional y metas de sostenibilidad como la neutralidad de carbono.

- **Cumplir con normativas y certificaciones.**
  Es un requisito básico para avanzar hacia esquemas como LEED, ISO 50001 o programas de financiamiento con enfoque ambiental.



Organización del edificio para auditorías

II.1 División de áreas en un edificio

¿Por qué es importante clasificar las áreas?

Hacer una lista clara de todos los espacios que hay en el edificio (como oficinas, laboratorios, aulas, salas de cómputo, cuartos eléctricos, etc.) es uno de los primeros pasos que ayudan a organizar bien una auditoría energética. Esto no solo da orden, también evita errores y mejora mucho la calidad de la información que se obtiene.

- **Ayuda a que todos trabajen con el mismo criterio**

  Cuando no hay una clasificación definida, cada persona puede interpretar de forma distinta lo que hay en el edificio. Algunos pueden nombrar igual dos cosas diferentes, o al revés. Si usamos una lista común, todos llamamos igual a cada espacio, y eso facilita comparar datos entre diferentes auditorías, incluso entre planteles.

- **Permite usar referencias de consumo energético más precisas**

  Si agrupamos los espacios por función (por ejemplo, todas las aulas tradicionales, o todos los laboratorios húmedos), es más fácil usar valores de referencia (benchmarks) que nos digan si su consumo está dentro de lo esperado o si hay algo que revisar. Estos valores pueden venir de nuestras propias mediciones o de fuentes reconocidas como ENERGY STAR, AS-

- **Hace más fácil el trabajo en campo**

  Con una buena clasificación, el auditor sabe qué espacios buscar, cómo nombrarlos y cómo registrar la información. Esto evita confusiones, olvidos o que dos auditores hagan cosas distintas en edificios parecidos.

¿Y si hay espacios que no encajan en las categorías?

Algunos edificios tienen áreas poco comunes, como, salas de impresión 3D o plantas piloto. Si el espacio no entra en ninguna de las 11 categorías principales que usamos, sigue estos pasos:

- **Regístralo como "Otros"** de forma provisional y anota claramente qué función tiene ese espacio.
- **Revisa si el mismo tipo de espacio aparece en otros edificios.** Si es así, vale la pena crear una nueva categoría específica con un nombre claro.
- **Agrega esa nueva categoría a tu lista general,** e intenta identificar un benchmark o consumo estimado con base en mediciones o literatura técnica.
- **Actualiza tu plantilla de clasificación,** para que futuras auditorías ya contemplen esa nueva categoría de forma natural.





División de Áreas y Recintos Politécnicos

Administrativo
- Oficinas individuales
- Cubículos y áreas colaborativas
- Salas de juntas y conferencias
- Recepción y lobby

Docencia e investigación
- Aulas tradicionales y multimedia
- Laboratorios (química, física, biología, etc.)
- Talleres
- Bibliotecas y salas de estudio

Cómputo e infraestructura IT
- Salas de servidores / data centers
- Aulas de cómputo (“Computer Labs”)
- Cuartos de telecomunicaciones y redes
- UPS y salas de respaldo

Soporte técnico e infraestructura de servicios
- Cuartos eléctricos y tableros de distribución
- Salas de máquinas (bombas, calderas, compresores)
- Cuartos de instrumentación y control
- Depósitos de herramientas y repuestos

Servicios al usuario
- Sanitarios (hombres, mujeres, accesibles)
- Cocinas, cocinetas y cafeterías
- Comedores y áreas de descanso

Cultural, recreativo y deportivo
- Auditorios y teatros
- Salas de música y danza
- Gimnasios, canchas y albercas
- Vestidores y enfermería deportiva

Circulaciones interiores
- Pasillos principales y secundarios
- Vestíbulos y halls de acceso
- Escaleras, rampas y elevadores

Circulaciones exteriores
- Patios interiores y plazas
- Andadores peatonales y corredores techados
- Terrazas y balcones

Estacionamientos y muelles
- Estacionamiento descubierto
- Estacionamiento techado
- Estacionamiento subterráneo
- Muelles de carga y descarga

Áreas verdes y paisajismo
- Jardines, camellones y zonas ajardinadas
- Fuentes y espejos de agua
- Bancas y mobiliario exterior

Infraestructura clínica y de salud
- Consultorios y salas de examen
- Aulas y salas de simulación clínica
- Laboratorios de anatomía y patología
- Salas de prácticas de enfermería
- Clínicas de atención (odontología, oftalmología, etc.)
- Áreas de esterilización y almacenamiento de insumos

II.2 Inventario de Sistemas y Equipos Energéticos

Para apoyar la recolección y análisis de datos durante las auditorías energéticas, se han creado las siguientes tablas que clasifican los sistemas y equipos por su uso principal, tipo de tecnología y fuente de energía (eléctrica, gas, biomasa, entre otros).

Esta organización permite identificar oportunidades de ahorro de forma más precisa, comparar tecnologías equivalentes y establecer líneas base detalladas.

Las listas incluyen tanto sistemas eléctricos como equipos que funcionan con combustibles fósiles o energías térmicas.

TIPO DE ILUMINACIÓN

- *General*
- *Decorativa*
- *Exterior*
- *Letreros*
- *Iluminación de tareas (Task-lighting)*
- *Iluminación espectacular*
- *Decorativa exterior*

TIPO DE TECNOLOGÍA

- *LED*
- *Fluorescencia (Tubular, compacta)*
- *Aditivos metálicos*
- *Halógeno*
- *Descarga de alta intensidad (HID: Sodio Alta Presión, Halogenuros Metálicos)*
- *Incandescente*
- *OLED*

TIPO DE EQUIPO

- *Downlight*
- *Cajillo o plafón*
- *Lineal*
- *Proyector exterior*
- *Proyector interior*
- *Wall-washer*
- *Poste de alumbrado*
- *Bollard*
- *Empotrable en muro*
- *Empotrable en piso*
- *Baliza*
- *Luminario colgante*
- *Sistema de riel*

FOTO:
Instalaciones deportivas del IPN en el campus Zacatenco



CÓMPUTO Y TELECOMUNICACIONES

Equipos de Cómputo

- *PC de escritorio (incluye pantalla)*
- *Workstation (alto rendimiento)*
- *Pantalla individual*
- *Laptop*
- *Laptop de alta producción*
- *Macbook Pro*
- *Macbook Air*
- *Mac Mini*
- *Impresora convencional*
- *Plotter*
- *Impresora de alta producción*

Infraestructura de Telecomunicaciones

- *Servidor*
- *Switch*
- *Router*
- *Firewall*
- *Sistema de almacenamiento (NAS, SAN)*
- *UPS de respaldo*



FOTO:
Rack de cómputo o telecomunica-ciones

COCINA

Equipo Eléctrico

- *Refrigerador*
- *Congelador*
- *Horno de microondas*
- *Horno eléctrico*
- *Parrilla/hornilla eléctrica*
- *Licuadora*
- *Tostador de pan*
- *Cafetera doméstica*
- *Percoladora industrial*
- *Freidora de aire*

Equipo de Gas:

- *Estufa de gas*
- *Horno de gas*
- *Parrillas de gas*
- *Asadores industriales de gas*
- *Salamandras (asadores superiores industriales)*

AIRE ACONDICIONADO Y CLIMATIZACIÓN

Equipos Principales

- *Compresor*
- *Manejadora de aire*
- *Mini-Split*
- *Split*
- *Chiller de agua helada*
- *Bomba de calor*
- *Unidades Fan Coil*
- *Unidades terminales (VAV, fancoils)*
- *Sistemas VRF / VRV (Flujo o Volumen Variable de Refrigerante)*

Sistemas de Ventilación y Extracción

- *Ventilación mecánica – Inyección*
- *Ventilación mecánica – Extracción*

MOTORES Y BOMBAS

Motores

- *Motor de inducción AC monofásico*
- *Motor de inducción AC trifásico*
- *Motor síncrono AC*
- *Motor DC con escobillas*
- *Motor DC sin escobillas (Brushless)*
- *Motor paso a paso*
- *Servomotor*



FOTO:
Autoclave de laboratorio

Bombas

- *Bomba centrífuga (agua limpia, bajo flujo)*
- *Bomba de pistón (alta presión)*
- *Bomba de diafragma (fluidos abrasivos o sólidos en suspensión)*
- *Bomba de engranajes (líquidos viscosos)*
- *Bomba peristáltica (aplicaciones de precisión)*
- *Bomba de cavidad progresiva (líquidos densos, mínimo pulso)*

EQUIPOS DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y SISTEMAS TÉRMICOS

Sistemas de Calentamiento de Agua

- *Boiler tradicional a gas (doméstico o comercial)*
- *Boiler de condensación a gas (alta eficiencia)*
- *Boiler eléctrico*
- *Calentador solar de agua*
- *Boiler de paso (instantáneo) a gas*
- *Boiler de alta capacidad para albercas (gas o diésel)*

Calentamiento de Espacios y Procesos

- *Calefactores de gas directos (infrarrojo, convección)*
- *Hornos de proceso industriales (gas, diésel)*
- *Generadores de vapor (calderas) a gas o diésel*
- *Estufas industriales a gas*
- *Calentadores de aire (Gas-fired Air Heaters)*

Sistemas Especiales

- *Autoclaves, campana y muflas de laboratorio*
- *Quemadores de biomasa (pellets, astillas)*
- *Calderas de biomasa*
- *Sistemas combinados CHP (Combined Heat and Power)*
- *Generadores térmicos diésel*
- *Sistemas de absorción (aire acondicionado por calor)*

Metodología por fases

FASE

0

Fase 0. Recopilación y verificación de información existente

La auditoría debe comenzar solicitando información al responsable de mantenimiento y al área administrativa del edificio. En la Tabla III.1 se enlista la documentación arquitectónica y técnica indispensable para comprender cómo fluye la energía eléctrica o térmica en el inmueble, igualmente se describen sus características básicas.

Tabla III.1
Documentación arquitectónica y técnica requerida

Tipo de documento	Finalidad técnica
Planos arquitectónicos	Ubicación de áreas, usos, orientación, superficies útiles. Necesarios para cálculos como kWh/m².
Diagrama unifilar (croquis o plano)	Esquema de conexión eléctrica general, imprescindible para entender el sistema eléctrico, identificar tableros y puntos de medición.
Plano de iluminación y fuerza	Distingue cargas por tipo (iluminación, contactos, equipos). Es base para estimar usos por sistemas.
Plano de tableros eléctricos	Detalla circuitos, protecciones y distribuciones. Facilita el levantamiento eléctrico y las mediciones.
Planos de climatización (A/C)	Localiza los equipos HVAC y su relación con las zonas. Indispensable para evaluar su operación y eficiencia.
Planos de plantas de generación	Si hay generación en sitio (fotovoltaica, diésel), permite evaluar producción y puntos de interconexión.
Planos de control y automatización	Revelan el grado de control energético instalado (sensores, timers, BMS).

Tipo de documento	Finalidad técnica
Plano de gas y otros combustibles	Determina tramos, equipos conectados y puntos críticos para auditoría térmica.
Inventario de equipos eléctricos	Base para identificar cargas críticas y consumos individuales. Debe incluir datos técnicos y ubicación.
Facturación eléctrica y de gas	Necesarias para crear línea base de consumos. Se pide mínimo un año (idealmente 12-24 meses).

La información documental que se pide son facturas eléctricas, facturas de gas e inventarios de equipos eléctricos. Estos normalmente se piden al responsable de mantenimiento y al área administrativa responsables de las instalaciones dentro de un edificio.

Tener la información completa es de vital importancia ya que esto facilitará la auditoría en tiempo y forma. Si no se tiene toda la información, esta deberá de ser reconstruida.

En el caso de que la información no esté completa reconstruiremos el diagrama unifilar para entender la instalación eléctrica para llevar a cabo la auditoría en sitio. La reconstrucción de todos los planos se deberá llevar a cabo para los proyectos de mejoras y los modelados subsecuentes.



Se puede iniciar la auditoría con lo siguiente:

- Cuestionario de campo para nivel 0 (Walk Through) para auditoría a nivel 1 en adelante
- Planos arquitectónicos
- Croquis del diagrama unifilar o levantamiento en campo

NOTA: El resto de los planos podrían no ser indispensables para iniciar, pero sí son requeridos para estudios avanzados como simulación energética, análisis de eficiencia de sistemas complejos, y planificación de proyectos de mejora.

En el caso de que no contemos con las facturas, será necesario modelar el consumo eléctrico a partir de mediciones directas en:

- Tableros principales y tableros antes del Inversor de los paneles fotovoltaicos.
- Durante la auditoría y para entender el consumo de equipos específicos se realizarán mediciones en circuitos importantes (HVAC, Sites, grandes cargas de cómputo, grandes cargas de cocina, etc.).



Verificación y análisis de la información recibida

No basta con recibir la información. Hay que revisarla críticamente:

¿Los planos están actualizados?
¿Hay coincidencia entre lo que indican los planos y lo observado en el edificio?
¿Faltan zonas, equipos o conexiones?
¿El inventario de equipos es completo? ¿Tiene datos técnicos suficientes?
¿Las facturas muestran consumos reales del edificio o de varios inmuebles juntos?

Con la información técnica verificada (o parcialmente reconstruida), se puede:

- Identificar los sistemas más relevantes por consumo.
- Planear qué medir, dónde y con qué equipo.
- Evitar visitas innecesarias.
- Preparar el cuestionario adecuado.
- Detectar riesgos o necesidades de permisos previos.

Toda la información debe organizarse en una carpeta de auditoría. La información digitalizada debe estar accesible para todos los miembros del equipo. Si se va a hacer simulación o una Línea Base Eléctrica (benchmarking), es mejor tener planos vectoriales (DWG, DXF) desde esta etapa. Es importante también contar con datos climáticos del sitio para análisis posteriores de comfort dentro del edificio.

Reconstrucción de planos y esquemas

Cuando se detecten vacíos o inconsistencias, se debe planear un levantamiento de campo para complementar o reconstruir la información

Si no se cuenta con planos actualizados o completos, es posible —y necesario— reconstruirlos en campo. Esta actividad requiere tiempo, pero es esencial para el éxito de la auditoría. En la Tabla III.2 se describen los elementos mínimos a considerar para lograr esa reconstrucción documental.

Tabla III.2
Elementos mínimos para reconstrucción

Elemento	Descripción
Croquis arquitectónico	Hecho en sitio, aunque sea a mano alzada, para ubicar tableros, cargas y recorridos
Diagrama unifilar	Dibujo básico que representa los tableros, transformadores, cargas principales y conexiones. Se elabora con inspección visual y mediciones
Ubicación de equipos HVAC y sistemas térmicos	Se anotan equipos visibles, características en placas, y ubicación en el edificio
Levantamiento de luminarias y cargas	Tipo, cantidad, ubicación y tecnología. Se usa para estimar consumos

FASE

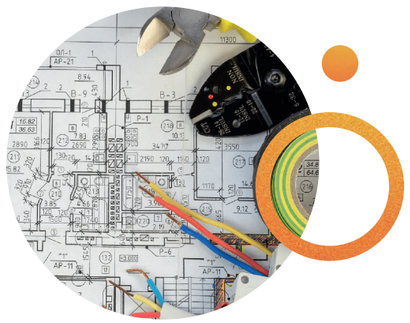
1

Fase 1. Planeación de la auditoría energética

La planeación es el momento clave donde se definen los alcances, tiempos, responsables y herramientas de la auditoría. Esta fase garantiza que los esfuerzos estén bien dirigidos y que se aproveche cada visita al sitio de manera eficiente (Tabla III.3).

Objetivos de la Fase 1

- Delimitar el alcance: ¿Qué edificios, sistemas o zonas serán auditados?
- Definir objetivos: ¿Buscamos eficiencia, reducción de demanda, identificar problemas operativos?
- Identificar recursos humanos y técnicos: ¿Con qué instrumentos, software y personal se cuenta?
- Planear el cronograma de actividades



NOTA IMPORTANTE: Si no se cuenta con toda la información documental, la auditoría podrá realizarse a partir del Cuestionario de Campo (Nivel 1 en adelante), los Planos Arquitectónicos y el Croquis o Plano del Diagrama Unifilar. La reconstrucción del diagrama unifilar es prioritaria. Los demás planos (control, HVAC, gas) se requerirán en las fases de modelado o mejora.

Tabla III.3
Actividades de Planeación

Actividad	Descripción
Revisión previa de documentos recibidos	Confirmar que se tienen planos arquitectónicos y eléctricos, facturas, croquis del unifilar o, en su caso, plan para reconstruir
Definición de zonas a auditar	Según la división del edificio (docencia, oficinas, laboratorios, etc.) se decide qué áreas tendrán prioridad
Determinación del tipo de auditoría	Si es una auditoría tipo 0 (visual), tipo 1 (con mediciones parciales) o tipo 2 (con modelado y análisis detallado)
Diseño del plan de trabajo	Establecer fechas, responsables por actividad, recursos requeridos, puntos críticos del edificio

FASE

2

Fase 2. Cuestionario de evaluación energética

CUESTIONARIO TÉCNICO

El cuestionario es una herramienta para recopilar datos cualitativos y cuantitativos del edificio, en campo. Se aplica mediante entrevistas, observaciones directas y registros fotográficos.

Propósitos del cuestionario:

- Levantar información sobre ocupación, horarios, hábitos de uso, sistemas instalados y su estado.
- Identificar oportunidades de mejora visibles (malas prácticas, sobredimensionamientos, ineficiencia).
- Documentar el estado actual cuando no se cuenta con datos históricos.

Tipo de cuestionario a usar:

- **Walk-through (Nivel 0):** revisión visual general con pocas mediciones, útil para cribado inicial.
- **Cuestionario de Campo (Nivel 1 o superior):** incluye datos técnicos detallados y observaciones por área o sistema.

Consejo para el auditor:

Recorrer el edificio acompañado por personal técnico y operativo.

Ellos tienen conocimiento directo de anomalías, controles apagados, hábitos de consumo y horarios de carga.



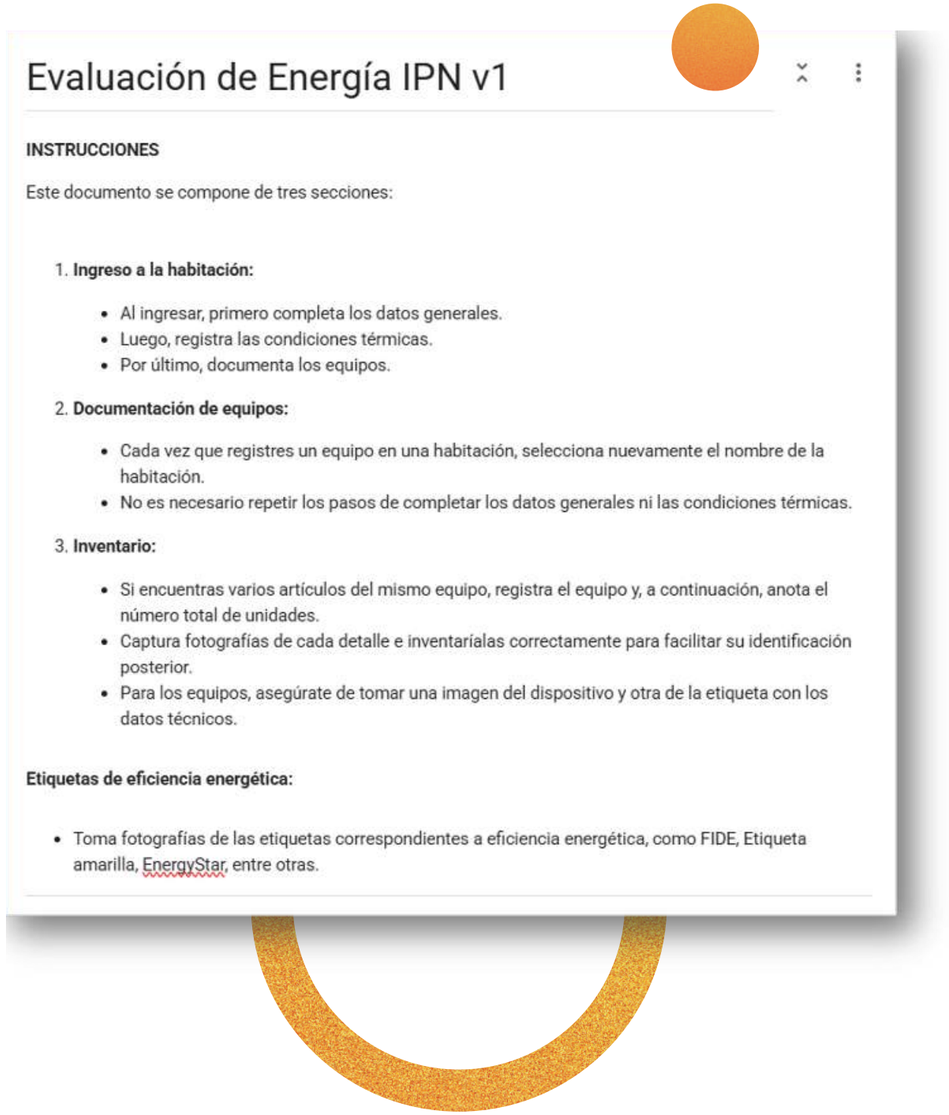
CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA

Para la realización del cuestionario de evaluación energética, se recomienda utilizar una herramienta que permita generar bases de datos de forma automática. Aunque también es posible aplicar cuestionarios de manera manual, plataformas como Google Forms o Survey Monkey ofrecen ventajas significativas, ya que agilizan la captura de información y reducen los tiempos de procesamiento de datos.

Como referencia, para el edificio sede de la Coordinación Politécnica para la Sostenibilidad, elaboramos un cuestionario práctico que puede ser utilizado como modelo para desarrollar instrumentos similares.

Además, en el Bloque II se incluye información sobre los tipos de áreas y un catálogo de equipos consumidores de energía eléctrica, los cuales pueden ser utilizados a discreción por el equipo auditor para complementar la evaluación.

IMÁGENES:
Ejemplo de cuestionarios de plataformas como Google Forms



Evaluación de Energía IPN v1

INSTRUCCIONES

Este documento se compone de tres secciones:

1. **Ingreso a la habitación:**
   - Al ingresar, primero completa los datos generales.
   - Luego, registra las condiciones térmicas.
   - Por último, documenta los equipos.
2. **Documentación de equipos:**
   - Cada vez que registres un equipo en una habitación, selecciona nuevamente el nombre de la habitación.
   - No es necesario repetir los pasos de completar los datos generales ni las condiciones térmicas.
3. **Inventario:**
   - Si encuentras varios artículos del mismo equipo, registra el equipo y, a continuación, anota el número total de unidades.
   - Captura fotografías de cada detalle e inventaríalas correctamente para facilitar su identificación posterior.
   - Para los equipos, asegúrate de tomar una imagen del dispositivo y otra de la etiqueta con los datos técnicos.

Etiquetas de eficiencia energética:

- Toma fotografías de las etiquetas correspondientes a eficiencia energética, como FIDE, Etiqueta amarilla, EnergyStar, entre otras.

1. 1_Sala de juntas
2. 2_Bodega de Archivo Muerto
3. 3_Oficina
4. 4_Bodega
5. 5_Oficina
6. 6_Oficina
7. 7_Cubículos
8. 8_Pasillo de distribución
9. 9_Cuarto de oficinas
10. 10_Sanitarios Mujeres
11. 11_Sanitarios Hombres
12. 12_Bodega
13. 13_Cocineta
14. 14_Bodega
15. Patio Trasero (Exterior)
16. 15_Bodega
17. Patio Norte (Exterior)
18. Fachada (Exterior)
19. Estacionamiento y Jardinera (Exterior)
20. Otro

Descripción de Otro (Deja este espacio en blanco si no es necesario)

Texto de respuesta breve

¿Qué vas a hacer?

- Datos generales de la habitación
- Condiciones térmicas de la habitación
- Equipo eléctrico

Después de la sección 1 Ir a la siguiente sección

Sección 2 de 12

Datos generales de la habitación

Descripción (opcional)

Número de piso

1. -5
2. -4
3. -3
4. -2
5. -1
7. 1
8. 2
9. 3
10. 4
11. 5
12. 6
13. 7
14. Azotea

Ubicación con respecto a la posición geográfica (se pueden marcar hasta dos)

- [ ] Norte
- [ ] Sur
- [ ] Este
- [ ] Oeste

Uso principal del recinto o habitación

1. Oficinas
2. Laboratorio
3. Aulas
4. Mantenimiento
5. Limpieza
6. Baños
7. Sanitario
8. Cocina
9. Comedor

16. Jardín exterior
17. Patio interior
18. Patio exterior
19. Azotea
20. Otro

Descripción de Otro (Deja este espacio en blanco si no es necesario)

Texto de respuesta breve

Largo (m)

Texto de respuesta breve

Ancho (m)

Texto de respuesta breve

Altura (m) a falso plafón

Texto de respuesta breve

Alto (m) a plafón

Texto de respuesta breve

Notas

Texto de respuesta largo

Después de la sección 2 Enviar el formulario

Sección 3 de 12

Condiciones térmicas de la habitación

Esta sección está destinada a registrar información cualitativa relacionada con la eficiencia térmica del espacio, no olvides tomar fotografías e inventariarlas correctamente para su posterior identificación.

¿Existen elementos de sombreamiento?

- Sí
- No

En caso de existir, describe el/los elementos de sombreamiento

Texto de respuesta largo

¿Existen elementos de ganancia de calor?

- Sí
- No

En caso de existir, describe los elementos que agregan ganancia de calor a la habitación

Texto de respuesta largo

¿Cómo describirías el aislamiento en paredes, techos y ventanas?

	1	2	3	4	
Deteriorado	○	○	○	○	Adecuado

¿Se detectan áreas con deficiencias en el aislamiento (ejemplo: uniones entre muros y techos, marcos de ventanas o puertas)?

- Sí
- No

En caso de existir, describe las deficiencias en el aislamiento

Texto de respuesta largo

¿Cómo calificarías el aprovechamiento de la iluminación natural?

	1	2	3	4	
Mala	○	○	○	○	Excelente

Describe brevemente la iluminación natural y detalla la secuencia de encendido y apagado de las luminarias en función de la fuente de luz natural

Texto de respuesta largo

NOTA

A partir de esta sección, utiliza la lista de equipos eléctricos del **Bloque II** y registra la información eléctrica siguiendo los campos indicados a continuación:

Sección 12 de 12

Consumo y estado del equipo

Descripción (opcional)

Consumo en Watts (u otra unidad de energía) por equipo

Texto de respuesta breve

Eficiencia del equipo

- Alta
- Media
- Baja

Número de equipos del mismo tipo

Texto de respuesta breve

Horas de uso Lunes a Jueves

Texto de respuesta breve

Horas de uso Viernes

Texto de respuesta breve

Horas de uso Sábado

Texto de respuesta breve

Horas de uso Domingo

Texto de respuesta breve

Estado general de la limpieza del equipo

	1	2	3	4	5	
Muy sucio	○	○	○	○	○	Limpio

Estado general del mantenimiento del equipo

	1	2	3	4	5	
Muy mal	○	○	○	○	○	Excelente

Descripción del tipo de mantenimiento

1. Sin mantenimiento
2. Correctivo
3. Preventivo
4. Predictivo

Estado general de la instalación eléctrica para el equipo

	1	2	3	4	5	
Mala	○	○	○	○	○	Excelente

Antigüedad

	1	2	3	4	
Muy Vieja	○	○	○	○	Reciente

Notas

Texto de respuesta largo

¿Qué hacer con los resultados de la evaluación energética?

Una vez concluido el levantamiento del cuestionario (diseñado específicamente para el edificio en evaluación), los datos recolectados deberán procesarse en una hoja de cálculo, como Excel, Google Sheets u otra herramienta equivalente.

La información relativa al consumo eléctrico y de otros combustibles deberá convertirse a unidades estandarizadas de energía, tales como kilowatt-hora (kWh), termias (Therms) o unidades equivalentes.

Posteriormente, el consumo energético se analizará en función de los días de operación del inmueble, simplificándolo a un consumo diario promedio. Esta cifra será posteriormente ajustada mediante un método estadístico adecuado, como modelado anual en Energy Plus, regresión lineal utilizando días grado, o cualquiera de los procedimientos descritos en el Apéndice A, para estimar el consumo anual corregido.

Adicionalmente, los resultados de los indicadores cualitativos evaluados a través de la escala de Likert podrán cuantificarse mediante el cálculo del Índice de Calidad Operativa (IQ), utilizando la siguiente fórmula general, que permite transformar los datos cualitativos en información cuantificable para integrarla en el análisis energético general:

Cálculo del Índice de Calidad Operativa (IQ)

$$IQ = \frac{\sum_{i=1}^{n} \text{Valor Likert}_i}{n}$$

Donde:

$\sum$ = suma de todos los valores obtenidos en la escala de Likert

n = número total de respuestas consideradas

Desempeño energético: ≤ 80-100 kWh/m2/año

FASE

3

Fase 3. Mediciones y sub-mediciones eléctricas

Esta fase permite identificar con mayor precisión dónde y cómo se consume la energía, con qué eficiencia y bajo qué condiciones. La Tabla III.4 muestra el tipo de mediciones a realizar.

Objetivos de la Fase 3

- Obtener perfiles de carga por zona o sistema.
- Medir variables eléctricas clave para evaluar eficiencia y detectar problemas.
- Apoyar el análisis de línea base y simulaciones futuras.

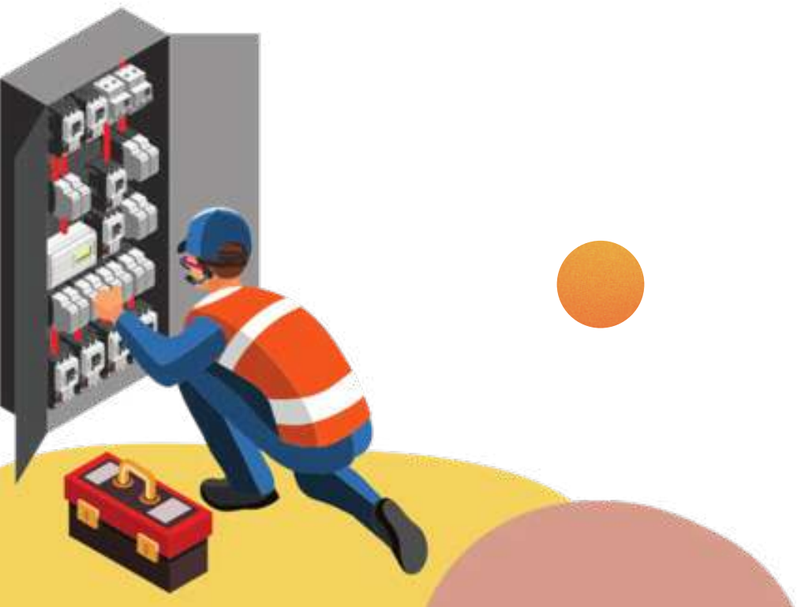


Tabla III.4
Mediciones a realizar

TIPO DE MEDICIÓN	DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTA REQUERIDA
Tablero general	Carga total del edificio, presencia de generación distribuida (ej. solar)	Analizador de redes
Toma de corriente, antes del inversor Fotovoltáico (si existe uno)	Medición bruta de generación solar	Analizador o pinza en CD
Por sistemas críticos	HVAC, Cómputo, Cocina, Iluminación, etc.	Analizador, pinza o medidor portátil
Calidad eléctrica	THD, factor de potencia, picos, armónicos	Analizador trifásico avanzado

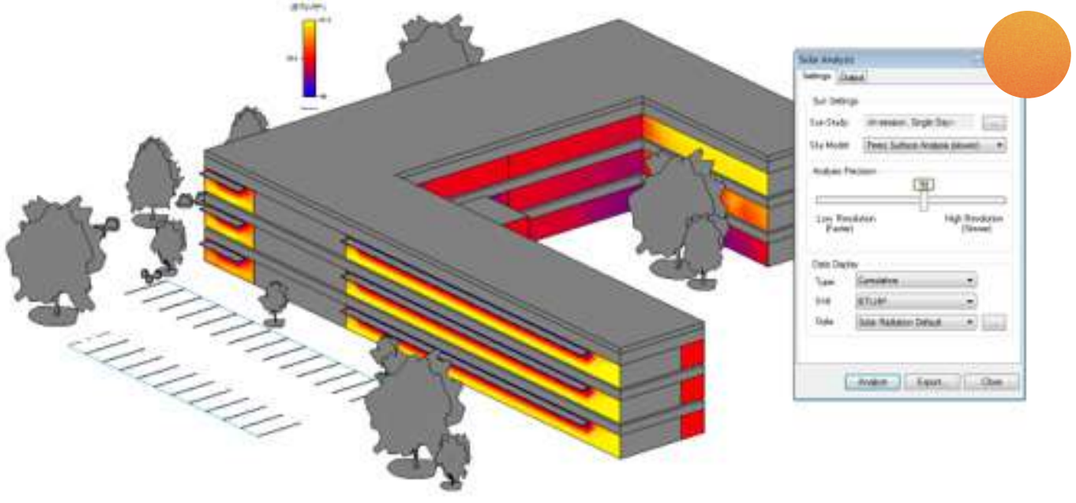
Nota:
A falta de datos de facturación, estas mediciones serán la base para estimar consumos y construir indicadores. Es recomendable medir al menos 24 horas continuas por sistema crítico, o más si hay variaciones entre días.

FASE

4

Fase 4. Análisis y modelado

Aquí se interpretan los datos obtenidos y se transforma la información en conocimiento útil para la toma de decisiones. La Tabla III.5 indica el tipo de análisis que se pueden realizar, su alcance, propósito y herramientas computacionales que será necesario adquirir.



Ejemplo de análisis *cualitativo*

Un minisplit instalado en altura incorrecta y con filtros sucios puede indicar bajo desempeño, aunque su consumo no lo revele en un día de medición.

Ejemplo de análisis *cuantitativo*

Comparar el consumo real (kWh/m^2) con valores de referencia para escuelas de nivel medio superior o superior, con datos ajustados por clima y ocupación.

Tabla III.5
Tipo de Análisis

Tipo	Alcance	¿Requiere software?	Propósito
Cualitativo	Observaciones operativas: estado, antigüedad, mantenimiento, adecuación de equipos, entre otros	NO	Construcción de indicadores de desempeño
Cuantitativo	Cálculos energéticos, estimaciones, comparación con benchmarks	SÍ Excel, RETScreen, EnergyPlus, etc.	Validación de escenarios de mejora y construcción de la Línea Base

FASE

5

Fase 5. Creación de indicadores y criterios “pasa-no pasa”

Los indicadores energéticos (Tabla III.6) permiten convertir los datos recolectados en métricas que pueden compararse entre edificios, entre años o con estándares de eficiencia. Esta fase es crítica para evaluar el desempeño actual y justificar las propuestas de mejora.

¿Por qué construir indicadores?

- Permiten establecer comparaciones objetivas entre edificios similares.
- Ayudan a identificar áreas con sobreconsumo.
- Facilitan el seguimiento de mejoras y el cumplimiento de metas.
- Establecen parámetros de decisión técnica y económica.



Tabla III.6
Tipo de Indicadores recomendados

Indicador	Unidad	Indicador afectado	Requiere inversión
Consumo eléctrico específico	kWh/m²·año	Eficiencia general del edificio	Facturas o mediciones anuales / área útil
Densidad de demanda máxima	kW/m²	Evaluación de capacidad instalada vs ocupación	Demanda máxima / área
Consumo por ocupante	kWh/persona·año	Comparación en edificios con diferente densidad de uso	Total anual / número de usuarios
Consumo por sistema	% del total	Identificación de áreas críticas (HVAC, iluminación, etc.)	Sub-mediciones o estimaciones
Horas equivalentes de uso	h/año	Determina sobreuso o subuso de equipos	kWh equipo / potencia nominal
Índice de eficiencia HVAC (COP estacional)		Evaluar si el sistema opera dentro de rango esperado	Medición y datos de ficha técnica
Índice de iluminación	W/m²	Comparar con NOM-007-ENER	Potencia instalada por zona / área
Consumo térmico específico	kWh/m²·año BTU/h/m²	Para calderas, estufas, hornos	Facturas, mediciones o cálculos

Nota:
En el caso del aire acondicionado y calefacción, también pueden usarse BTU/h /m² para verificar la congruencia entre la carga térmica instalada y la requerida.

Una vez calculados los indicadores, deben compararse con valores de referencia o metas internas del programa de eficiencia energética (Tabla III.7).

Tabla III.7
Ejemplo de aplicación de criterios “pasa-no pasa”

Indicador	Valor Objetivo	Acción si no cumple
kWh/m²·año	< 80 edificios educativos en zona templada	Revisar equipos base y hábitos de uso
W/m² (iluminación)	< 10 W/m² oficinas	Rediseñar luminarias o instalar sensores
COP HVAC	> 3.2	Mantenimiento o reemplazo por equipos de alta eficiencia

Los valores de referencia pueden obtenerse de la **ASHRAE**, la **NOM-007-ENER-2014,** la **EPA Energy Star,** o experiencias previas del auditor con edificios similares.



FASE

6

Fase 6. Construcción de la línea base eléctrica y presentación de resultados



La línea base energética representa el comportamiento normal o de referencia del consumo del edificio. Es fundamental para evaluar mejoras, dar seguimiento a programas de eficiencia y justificar inversiones. Los métodos para su construcción se muestran en la tabla III.8.

¿Qué es una línea base?

Es un modelo que representa el consumo de energía en condiciones normales de operación, considerando:

- Ocupación
- Uso del edificio
- Clima
- Temporada
- Sistemas instalados

Presentación de resultados

Los resultados deben integrarse en un reporte explicativo que debe contener como mínimo los siguientes elementos::

- Diagramas de consumo mensual y diario
- Comparación con años anteriores (si hay datos)
- Variación estacional
- Consumo por sistema
- Indicadores clave del edificio
- Áreas de oportunidad detectadas

Tabla III.8
Métodos para construir la Línea Base

Método	¿Requiere medición histórica?	Aplicable a:	Comentarios
Promedio mensual	Sí	Edificios con consumo estable	Rápido pero poco preciso
Modelo estadístico (regresión múltiple)	Sí	Edificios con variabilidad por clima	Requiere más datos, pero permite ajustes
Modelado energético (EnergyPlus, DesignBuilder)	No necesariamente	Auditorías tipo 2 y simulación de mejoras	Permite comparar escenarios “antes y después”

Nota:
Si no se tiene histórico, se puede construir una línea base a partir de mediciones representativas, ajustadas con coeficientes climáticos o de ocupación.

FASE

7

Fase 7. Lista de recomendaciones técnicas y de operación

El diagnóstico concluye con la propuesta de **medidas correctivas y preventivas** para mejorar el desempeño energético. Estas deben estar justificadas técnica y económicamente, y clasificadas por prioridad o retorno de inversión. La Tabla III.9 muestra el tipo de recomendaciones que se esperan de una Auditoría de Energía.

¿Cómo se estructuran las recomendaciones?

Cada recomendación debe indicar el equipo afectado, la causa del problema detectado, el beneficio esperado y un estimado de costo o retorno (si es posible calcularlo).



Tabla III.9
Tipo de Recomendaciones

Categoría	Ejemplo de acción	Indicador afectado	Requiere inversión
Operativas	Programar apagado automático de iluminación	kWh/m², W/m²	No
Mantenimiento	Limpieza de filtros HVAC, revisión de fugas	COP, consumo térmico	Bajo
Tecnológicas	Sustitución de luminarias por LED	W/m², kWh/m²	Medio
Sistémicas	Rediseño de sistema de control de aire acondicionado	COP comfort térmico	Alto

FASE

8

Fase 8. Diagnóstico de calidad eléctrica y problemas sistémicos

Objetivos de la Fase 8

Esta fase busca identificar fallas estructurales o recurrentes en la red eléctrica interna del edificio que puedan estar provocando:

- Sobreconsumos injustificados
- Pérdidas de energía
- Daños a los equipos
- Riesgos de seguridad operativa

Este diagnóstico (Tabla III.10) permite proponer acciones correctivas de fondo que impactan la eficiencia, la seguridad eléctrica y la vida útil de los equipos.

¿Por qué es importante?

Aunque los consumos aparentes de energía estén dentro de los rangos esperados, **una mala calidad eléctrica puede provocar problemas importantes,** como:

- Sobrecalentamiento de cables
- Desgaste prematuro en motores y equipos electrónicos
- Disparos frecuentes de protecciones
- Baja eficiencia energética en equipos sensibles
- Interferencias electromagnéticas que afectan la operación de sistemas de TI y automatización

Esto es especialmente relevante en edificios educativos, hospitales o centros de cómputo, donde los sistemas sensibles o críticos deben operar sin fallas.

Actividad	Herramientas necesaria	Propósito
Medición de parámetros eléctricos	Analizador de redes, multímetro True RMS	Evaluar tensiones, corriente, armónicos, factor de potencia, desbalance de fases
Inspección visual de tableros	Cámara térmica, inspección directa	Identificar calentamientos, conexiones flojas, sobrecargas
Revisión de protecciones eléctricas	Manuales de instalación, diagramas unifilares	Verificar que estén correctamente dimensionadas y funcionando
Verificación de puesta a tierra	Telurómetro, inspección visual	Comprobar continuidad, resistencia adecuada, cumplimiento normativo
Detección de armónicos y ruido eléctrico	Analizador de calidad de energía	Detectar distorsiones causadas por cargas electrónicas (UPS, variadores, luminarias electrónicas)
Comparación entre consumo teórico y real	Cálculos de carga conectada vs. medida	Detectar pérdidas ocultas, fugas o equipos fallando

Tabla III.10
Actividades de Diagnóstico

La tabla III.11 muestra los indicadores clave del diagnósticos de calidad eléctrica.

Tabla III.11
Indicadores clave y umbrales recomendados

Indicador	Unidad	Umbral recomendado	Observación
Tensión de línea (fase-fase)	Volts	±5% del valor nominal	Típicamente 220V o 440V
Factor de potencia	Sin unidad	≥ 0.90	Debajo de esto indica penalización o baja eficiencia
THD (Total Harmonic Distortion)	%	< 5%	Valores altos provocan calentamiento y fallos
Desbalance entre fases	%	< 2%	Arriba de este valor puede dañar motores
Caída de tensión	%	< 3% por tramo	A mayor distancia o carga, mayor caída esperada
Resistencia de tierra	Ohms	< 5 Ω ó < 1 Ω en sistemas	Normativa NOM-001-SEDE o estándar IEEE

Problemas comunes detectados en auditorías

- Mala selección o ausencia de protecciones por sobrecarga o cortocircuito
- Interruptores térmicos dañados o con falsos contactos
- Cableado deteriorado o mal dimensionado
- Tableros sin mantenimiento, con presencia de polvo o fauna
- Desbalance de fases severo por cargas mal distribuidas
- Corrientes parásitas en tierra (malas prácticas de conexión)
- UPS o variadores generando armónicos elevados sin filtros adecuados



¿Qué hacer si no se tienen instrumentos avanzados?

Si no se cuenta con analizadores de calidad eléctrica, al menos debe:

- Hacerse una inspección visual y térmica a tableros.
- Medir tensiones y corrientes con multímetros confiables.
- Revisar el dimensionamiento de interruptores y cables con base en planos.

En estos casos, la auditoría debe dejar constancia de las limitaciones y proponer un estudio posterior con equipo especializado si se sospechan problemas graves.

Gráficas útiles para esta fase

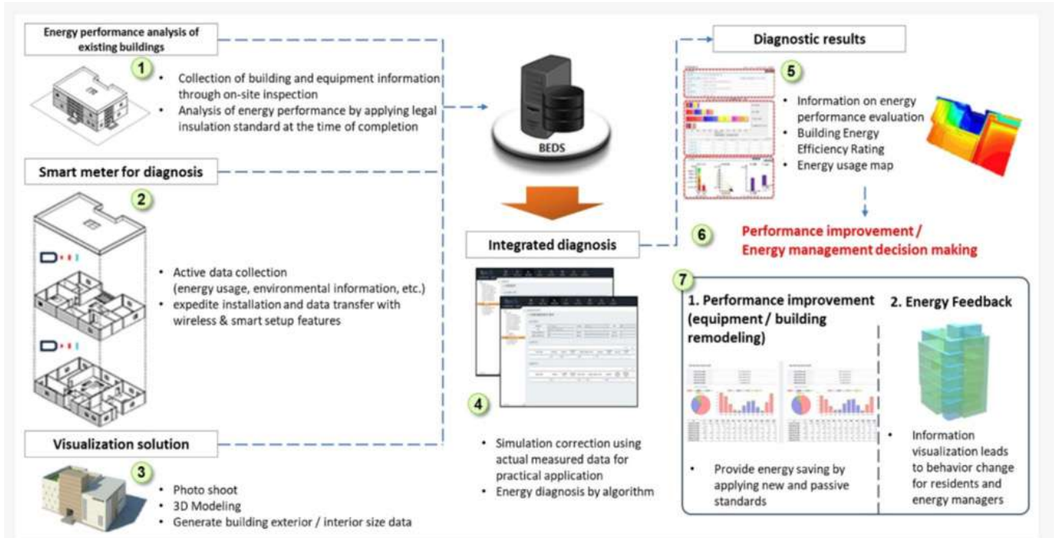
Gráfico de líneas
Para visualizar fluctuaciones de voltaje o corriente a lo largo del tiempo.

Gráfico de barras
Para comparar cargas por fase.

Gráfico de pastel
Para representar proporción de armónicos en cada frecuencia.

Diagramas unifilares con anotaciones
Para mostrar visualmente ubicaciones problemáticas.

Ejemplo de representación gráfica
Proceso de Diagnóstico integrado usando un algoritmo de conservación de energía para un edificio



FUENTE:
Oh T-K, Lee D, Park M, Cha G, Park S. Three-Dimensional Visualization Solution to Building-Energy Diagnosis for Energy Feedback. Energies. 2018; 11(7):1736. https://doi.org/10.3390/en11071736

A

Apéndice A. Métodos matemáticos, unidades e indicadores utilizados

Cálculo del consumo ajustado y Factor de Consumo Ajustado (FCA)

¿Por qué ajustar el consumo?

Es un modelo que representa el consumo de energía en condiciones normales de operación, considerando:

Método 1 | Ajuste por grados-día y ocupación

Este método ajusta el consumo real a condiciones de referencia de clima y ocupación, usando una regla de tres proporcional.

Fórmula

$$\text{Consumo ajustado} = \text{Consumo real} \times \frac{\text{Grado-día ref}}{\text{Grado-día actuales}} \times \frac{\text{Ocupación ref}}{\text{Ocupación actual}}$$

- **Grados-día:** Se pueden obtener de archivos climáticos (.epw).
- **Ocupación:** Por encuestas o registros administrativos.

Método 2 | Regresión lineal o múltiple

Este método emplea modelos estadísticos para predecir el consumo en función de variables independientes como clima, ocupación y otras cargas relevantes.

Fórmulas clave

- **Modelo de regresión múltiple:**

$$\text{Consumo estimado} = a_0 + a_1 \times \text{Temperatura} + a_2 \times \text{Ocupación} + \dots$$

Una vez construido el modelo, se introduce en él un conjunto de condiciones estándar o "normales" para estimar el consumo ajustado, y se compara contra el consumo real.

- **Factor de Consumo Ajustado (FCA)**

El FCA cuantifica qué tanto difiere el consumo real respecto al que se esperaría bajo condiciones normales o de referencia.

$$\text{FCA} = \frac{\text{Consumo real}}{\text{Consumo ajustado}}$$

Si FCA > 1: El edificio consume más de lo esperado.
Si FCA < 1: Está operando eficientemente (o con menor carga)

Este apéndice tiene el propósito de fortalecer la comprensión técnica de los métodos matemáticos que sustentan el análisis energético. Los métodos aquí presentados permiten al auditor construir modelos útiles para evaluar, comparar y proyectar el desempeño energético de los edificios bajo diferentes condiciones operativas y climáticas. También se presentan definiciones claras de las unidades físicas y los indicadores clave utilizados a lo largo del manual.

Método de Regresión Lineal y Múltiple

La regresión es una herramienta estadística que permite modelar y analizar la relación entre una variable dependiente (por ejemplo, el consumo energético) y una o más variables independientes (como temperatura, ocupación, hora del día, etc.).

¿Por qué usar regresión en una auditoría energética?

- Permite **explicar variaciones en el consumo.**
- Ayuda a **predecir el consumo esperado** bajo condiciones normales o futuras.
- Facilita la **evaluación de mejoras** implementadas (antes vs. después).
- Se puede utilizar para construir **líneas base de referencia.**

Interpretación:

- Un modelo adecuado debe tener un R^2 elevado (idealmente superior a 0.75)
- El **consumo ajustado** se calcula usando la ecuación de regresión aplicando las condiciones de referencia (climáticas, operativas, etc.)

Fórmula de regresión lineal simple:

Se utiliza cuando el consumo depende principalmente de una sola variable independiente, como la temperatura. ocupación, hora del día, etc.).

$$Y = a_0 + a_1 \times X$$

Dónde:

Y= Consumo eléctrico estimado
X= Variable explicativa (ej. Temperatura promedio)
a_0= Término constante (intersección en el eje Y)
a_1= Coeficiente de regresión (pendiente), representa cuánto cambia el consumo en el eje X

Regresión múltiple (más variables)

Se utiliza cuando el consumo depende de varias variables independientes de manera simultánea, como temperatura y nivel de ocupación.

$$Y = a_0 + a_1 \times X_1 + a_3 \times X_3 + \ldots + a_n \times X_n$$

Dónde:

X_1, X_2, …X_n = Variables independientes (p.e. grados-día, % de ocupación, área activa, horas de operación, etc.)

Indicadores de eficiencia energética térmica: COP, EER, SEER y SCOP

En los sistemas de climatización, calefacción y refrigeración, la eficiencia energética no se mide solamente por el consumo eléctrico, sino por la relación entre la energía útil que entrega el equipo (ya sea calor o frío) y la energía eléctrica que consume para operar. Existen varios indicadores que permiten evaluar esta relación, dependiendo del tipo de sistema y su modo de operación:

COP (Coefficient of Performance) para calefacción.
EER (Energy Efficiency Ratio) para refrigeración en condiciones fijas.
SEER (Seasonal EER) para refrigeración a lo largo del año.
SCOP (Seasonal COP) para calefacción en distintas condiciones estacionales.

Todos estos indicadores permiten comparar tecnologías, validar especificaciones de fábrica y detectar oportunidades de mejora o sustitución en una auditoría energética. Los equipos de aire acondicionado suelen incluir estos valores en su ficha técnica, especialmente si son equipos certificados por programas como ENERGY STAR, AHRI, SEER-EU, etc. Ahí se puede encontrar:

COP (en modo calefacción o calefacción reversible)
EER (eficiencia puntual en refrigeración)
SEER (rendimiento estacional de refrigeración)
SCOP (rendimiento estacional de calefacción, en bombas de calor)

Estos valores pueden aparecer en catálogos, etiquetas energéticas o placas del fabricante. En México, la NOM-026-ENER y NOM-022-ENER aplican para etiquetado de eficiencia.

Fórmulas por tipo de índice

COP

Coeficiente de desempeño

$$COP = \frac{\text{Energía útil térmica entregada (kW térmicos)}}{\text{Energía eléctrica consumida (kW)}}$$

Ejemplo

Un equipo que entrega 10 kW térmicos y consume 3.2 kW eléctricos tiene:

$$COP = \frac{\text{10 kW térmicos)}}{\text{3.2 (kW)}} = 3.13$$

EER

Relación de eficiencia energética (refrigeración en condiciones estándar)

$$EER = \frac{\text{Frigorías o BTU entregados}}{\text{Potencia eléctrica en Watts}}$$

Ejemplo

Un sistema que entrega 12,000 BTUh y consume 1.2 kW eléctricos (1,200 W) :

$$EER = \frac{\text{12,000 BTUh}}{\text{1,200 W}} = 10 \text{ BTU/Wh}$$

SEER

Rendimiento estacional en refrigeración

$$SEER = \frac{\text{Carga total de refrigeración durante la temporada (BTU)}}{\text{Energía total consumida (Wh)}}$$

Este índice considera distintas condiciones de carga a lo largo del verano y permite una comparación más realista entre equipos.

SCOP

Rendimiento estacional en calefacción

$$SCOP = \frac{\text{Carga total de calefacción durante la temporada (kWh térmicos)}}{\text{Consumo eléctrico total (kWh)}}$$

Este índice se calcula bajo escenarios variados (invierno suave, invierno severo, etc.), y es común en equipos tipo bomba de calor en Europa y Asia.

Notas técnicas complementarias:

- Un **equipo de aire acondicionado con bomba de calor utilizará EER/SEER en modo refrigeración y COP/SCOP en modo calefacción.**
- En climas templados o fríos, el SCOP es clave para seleccionar sistemas eficientes de calefacción eléctrica.
- Estos indicadores suelen encontrarse en las etiquetas del fabricante o en el manual técnico del equipo.
- Para auditorías en campo, puede estimarse el COP real midiendo temperatura de entrada/salida y consumo eléctrico con un medidor de pinza o analizador de red.

Tabla III.12
Resumen de indicadores térmicos

Indicador	Modo	Qué mide	Condición de evaluación	Unidades	Valores típicos eficientes
COP	Calefacción	Energía útil térmica / Energía eléctrica	Instantáneo	Adimensional	≥ 3.0
EER	Refrigeración	BTU entregados / W eléctrico	Estándar (35°C / 27°C int.)	BTU/Wh	≥ 10
SEER	Refrigeración	Rendimiento promedio en temporada cálida	Estacional	BTU/Wh	≥ 13–21
SCOP	Calefacción	Rendimiento promedio en temporada fría	Estacional	Adimensional	≥ 3.5 (climas templados)

Nota:
Los valores típicos eficientes indicados han sido calculados basándose en condiciones operativas y de mantenimiento específicas del equipo evaluado. Sin embargo, estos valores pueden variar dependiendo de factores como el clima local, el uso del sistema y su mantenimiento. Se recomienda contrastar con el fabricante o proveedor para obtener datos más precisos y actualizados.

Gráficos recomendados

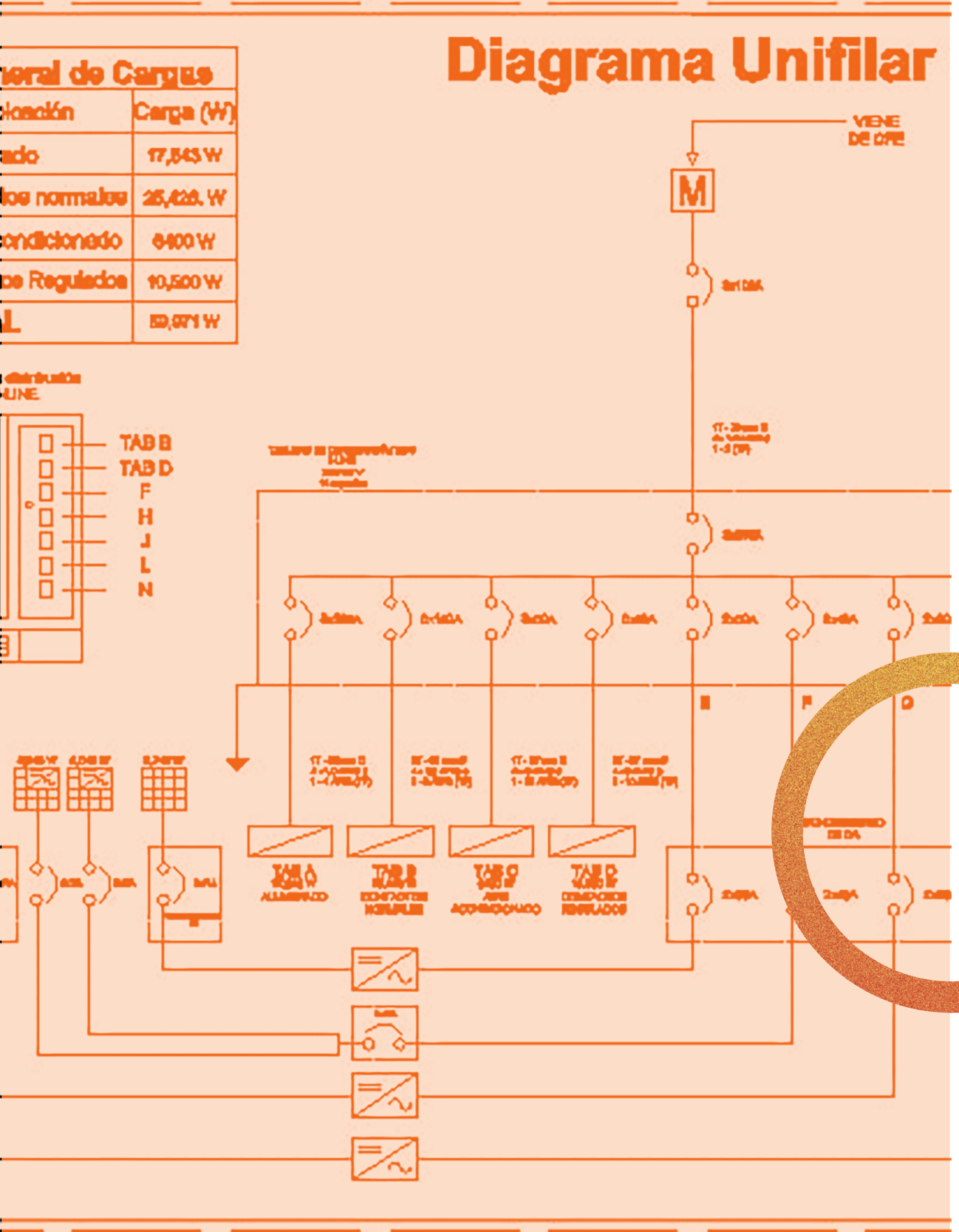
Tipo de gráfico	Propósito
Barras	Comparar consumos reales versus ajustados por mes o edificio
Pastel	Analizar participación de cargas (HVAC, iluminación, etc.)
Dispersión (scatter)	Evaluar relación entre temperatura y consumo (modelo regresión).
Líneas	Monitoreo del FCA o del consumo acumulado mensual

Unidades utilizadas

Unidad	Significado	Equivalencias
kWh	Kilowatt-hora	Energía eléctrica
kW	Kilowatt	Potencia eléctrica
Btuh	British thermal unit per hour	1 TR = 12,000 Btuh
kcal/h	Kilocaloría por hora	1 kW térmico ≈ 860 kcal/h
TR	Tonelada de refrigeración	1 TR = 3.517 kW
HDD/CDD	Heating/Cooling Degree Days	Grados día de calefacción o enfriamiento

Indicadores clave utilizados

Indicador	Definición	Unidad
EUI (Energy Use Intensity)	Energía consumida por m^2	$kWh/m^2 \cdot año$
EUI iluminación	Energía destinada a iluminación por m^2	$kWh/m^2 \cdot año$
COP	Relación entre energía útil y energía eléctrica consumida	Adimensional
IQ – Índice de Calidad Operativa	Evaluación cualitativa del estado operativo	Escala 0 a 1
FCA – Factor de Consumo Ajustado	Relación entre consumo real y consumo esperado ajustado	Adimensional



Herramientas para entornos con información limitada

IV.1 Guía básica para levantamiento y lectura de planos eléctricos

Cuando no se cuenta con documentación completa o actualizada, como planos eléctricos, diagramas unifilares o facturación histórica, aún es posible realizar una auditoría energética efectiva utilizando métodos alternativos. Este bloque proporciona herramientas prácticas para estos casos, basadas en la experiencia de campo y en principios básicos de ingeniería eléctrica.

¿Por qué es importante?

Los planos eléctricos permiten entender cómo fluye la energía dentro de un edificio. Cuando no están disponibles, deben reconstruirse en campo para poder identificar correctamente los sistemas y consumos, y garantizar la seguridad durante la auditoría.

El objetivo de este apartado es proporcionar una metodología básica para levantar planos eléctricos en sitio, así como para interpretar aquellos que sí estén disponibles.

Pasos para el levantamiento básico de planos eléctricos:

Recolección de información inicial

Identificar con el personal de mantenimiento los tableros eléctricos principales y secundarios, así como solicitar cualquier croquis, fotografía o documento previo (aunque esté desactualizado).

Recorrido físico del edificio

Localizar tableros, transformadores, medidores y centros de carga e Identificar visualmente las conexiones entre equipos (HVAC, iluminación, elevadores, etc.) y tableros.

Dibujo del diagrama unifilar básico:

- Comenzar desde el punto de acometida o tablero general.
- Usar símbolos normalizados (IEC o ANSI) para representar breakers, transformadores, medidores, etc.
- Etiquetar circuitos según las cargas que alimentan.

Verificación de rutas:

- Con ayuda de un trazador de circuitos o multímetro de continuidad, confirmar qué circuito alimenta qué carga.
- Etiquetar tableros y breakers para facilitar futuros estudios.

Documentación:

- Dibujar el croquis a mano o en software CAD básico (AutoCAD, LibreCAD)
- Guardar la versión digital y física para posteriores fases de modelado y mejora.

¿Cómo leer planos eléctricos existentes?

Elemento del plano	¿Qué representa?	¿Cómo se interpreta?
Línea continua con ramales	Alimentación eléctrica	Indica la ruta del cableado y derivaciones
Símbolo de breaker	Protección del circuito	Se indica amperaje y número de polos
Círculo con letra “L” o “F”	Punto de iluminación o fuerza	Identifica el tipo de carga
Rectángulos con divisiones	Tablero eléctrico	Puede tener claves por circuito (ej. L1, L2, F3, etc.)

IV.2 Técnicas de identificación de circuitos eléctricos sin planos

Objetivo: Cuando no se dispone de planos ni croquis, es necesario identificar los circuitos existentes para evitar errores de medición y poder aplicar recomendaciones correctamente.

Técnicas recomendadas

Etiquetado visual en sitio

- Revisar si los tableros tienen etiquetas escritas o grabadas en los breakers.
- Confirmar con pruebas si esas etiquetas coinciden con las cargas reales.

Uso de herramientas de trazado

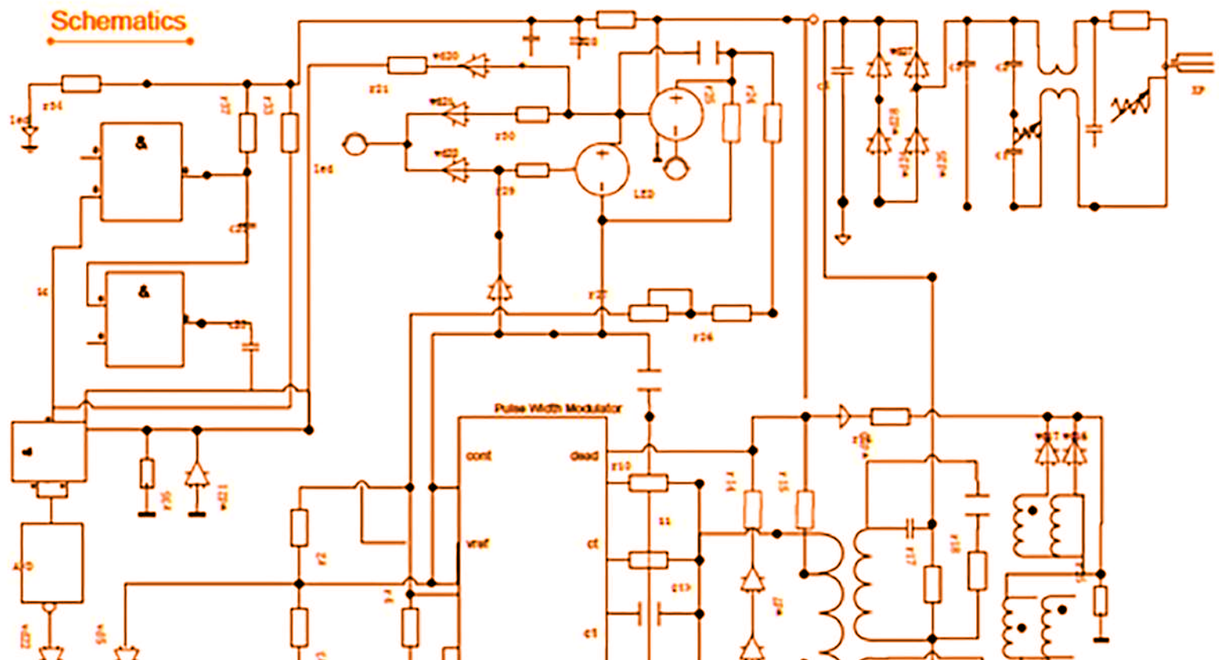
- **Trazador de circuitos:** Envía una señal desde un enchufe hacia el tablero para identificar el breaker correspondiente.
- **Medidor de pinza amperimétrica:** Ayuda a detectar qué circuito está activo durante el uso de un equipo específico.

Prueba de corte controlado

- Apagar breakers uno por uno (con autorización del personal del edificio).
- Ver qué cargas se apagan en cada caso y anotar.

Registro en un formato de auditoría

Breaker	Carga alimentada	Método de identificación	Observaciones
B1	Luminarias pasillo 1	Trazador de circuito	Etiqueta original era incorrecta
B2	Aires acondicionados	Corte controlado	Confirmado por apagado simultáneo



IV.3 Técnicas de identificación de circuitos eléctricos sin planos

¿Qué hacer cuando no hay recibos eléctricos?

Si no se cuenta con facturación, es posible realizar estimaciones a partir de:

- Mediciones directas con equipos portátiles.
- Censos de carga con datos técnicos de placas.
- Uso del cuestionario de evaluación energética nivel 1 (ya elaborado).
- Apoyo de personal de mantenimiento para obtener horarios y frecuencia de uso de los equipos.

Metodología para estimación

Inventario de cargas:

- Levantar un listado detallado de equipos conectados (tipo, potencia, ubicación).
- Consultar la placa de características o fichas técnicas.

Estimación horaria de uso:

- Preguntar a los usuarios o personal técnico por los horarios promedio de operación.
- Estimar factores de uso para cada tipo de carga.

Cálculo de consumo estimado:

$$\text{Consumo mensual estimado (kWh)} = \sum \text{Potencia (kW)} \times \text{Horas}$$

Validación cruzada

- Comparar el total estimado con consumos típicos por m² según benchmarks nacionales o internacionales.
- Si se dispone de algún mes con recibo, calibrar la estimación.

Simbología eléctrica básica y extendida para lectura y levantamiento de planos

Es indispensable utilizar simbología estandarizada para facilitar la comprensión, trazabilidad y digitalización de los planos. A continuación, se presenta una tabla con los símbolos más utilizados en planos eléctricos de baja tensión, tanto según norma IEC (internacional) como los comúnmente usados en México.

Símbolo	Elemento representado	Descripción breve
⏚	Tierra física	Conexión a tierra para seguridad
⏚	Tierra neutra	Retorno del sistema de alimentación
○	Punto de luz simple	Luminaria de operación manual
○	Punto de luz conmutado	Controlado por dos apagadores (escaleras, pasillos)
⟋	Alimentación monofásica	Dos hilos: fase y neutro
~	Alimentación trifásica	Tres hilos: R, S, T (fases) + neutro
⎓	Fuente de corriente continua (DC)	Baterías, paneles solares
▭	Centro de carga / tablero eléctrico	Caja con breakers o interruptores
⊥	Interruptor termomagnético	Protección contra sobrecarga
▲	Luminaria fluorescente o LED	Puede tener variante con número (ej. ▲2 para dos tubos)
☀	Panel solar fotovoltaico	Fuente de energía renovable
⌀	Motor eléctrico	Equipo rotativo alimentado eléctricamente
⏚	Contacto	Salida para conectar equipos

Nota:
Para el levantamiento en campo, se recomienda usar papel milimétrico o cuadrícula, rotular cada símbolo con su clave única (ej. T1 para tablero 1, M2 para motor 2, etc.) y usar colores para diferenciar fases si se puede (R: rojo, S: blanco, T: azul, tierra: verde).

Cómo utilizar el trazador de circuitos (probador de tomacorrientes) paso a paso

El trazador de circuitos permite identificar a qué breaker o tablero está conectado un contacto o carga sin hacer cortes innecesarios.

Equipo básico

- Emisor (transmisor) que se conecta al tomacorriente.
- Receptor que se pasa por los breakers del tablero.

PROCEDIMIENTO

- **Revisa que el equipo esté en buen estado.**
  Verifica cables, pilas y que no haya daño en la carcasa.
- **Conecta el transmisor al tomacorriente que deseas identificar.**
  Este enviará una señal por la línea activa (fase).
- **Dirígete al tablero eléctrico correspondiente.**
  Enciende el receptor y colócalo cerca de los breakers, uno por uno.
- **Detecta el breaker correcto.**
  El receptor emitirá una señal más fuerte (audible o visual) en el interruptor conectado al circuito del contacto.
- **Confirma el resultado.**
  Apaga ese breaker y verifica que el contacto deja de funcionar.
- **Registra el circuito.**
  Etiqueta el contacto con la clave del breaker y anótalo en tu hoja de levantamiento.

Cómo utilizar el multímetro en campo para auditoría energética

El multímetro permite medir voltajes, continuidad, y en algunos casos corriente (si tiene pinza amperimétrica).

Medición de voltaje (AC)

- Coloca el selector en AC V (~).
- Coloca las puntas entre fase y neutro
- Debería leerse entre 110 y 127 V en México.
- Entre fases (si es trifásico), deberías obtener ~220-240 V.

Prueba de continuidad (para identificar circuitos o cables):

- Coloca el selector en el símbolo de continuidad (sonido).
- Coloca una punta en un extremo del cable y la otra en el otro extremo.
- Si hay continuidad, el multímetro emitirá un sonido.

Medición de corriente (si el multímetro tiene pinza amperimétrica):

- Abre la pinza y ciérrala sobre uno de los conductores (no el cable completo).
- Selecciona la escala de corriente (A) y espera a que marque.
- Anota la lectura y verifica si está dentro del rango de operación del equipo.

Recomendaciones generales:

- Realiza todas las pruebas con precaución y, si es posible, con el sistema desenergizado (excepto para pruebas de voltaje y corriente).
- Usa guantes dieléctricos si trabajas cerca de partes activas.
- Siempre consulta al responsable de mantenimiento antes de manipular tableros o breakers.

IV.4 Explicación básica sobre cómo funciona el cableado eléctrico

El cableado eléctrico es el sistema encargado de transmitir la energía eléctrica desde la fuente de suministro (como una planta de energía o una subestación) hasta los equipos o dispositivos que la utilizan. Existen diferentes tipos de cables, y cada uno tiene una función específica dentro del sistema eléctrico. A continuación, explicamos los cables más comunes que puedes encontrar en una instalación eléctrica.

Cable fase *(positivo)*

El cable **fase** (también conocido como **"vivo"** o **"activo"**) es el conductor que transporta la corriente eléctrica desde la fuente de energía hasta los equipos o dispositivos conectados. Este cable lleva la energía para alimentar los circuitos eléctricos y, por lo tanto, **siempre tiene un voltaje presente con respecto al neutro.**

Color común: Negro, rojo, o marrón.
Función: Este cable está conectado a la salida del transformador o generador, y distribuye la energía a todos los aparatos eléctricos.
Peligro: Tiene un voltaje activo, lo que puede causar descargas eléctricas si no se maneja con cuidado.

Cable neutro

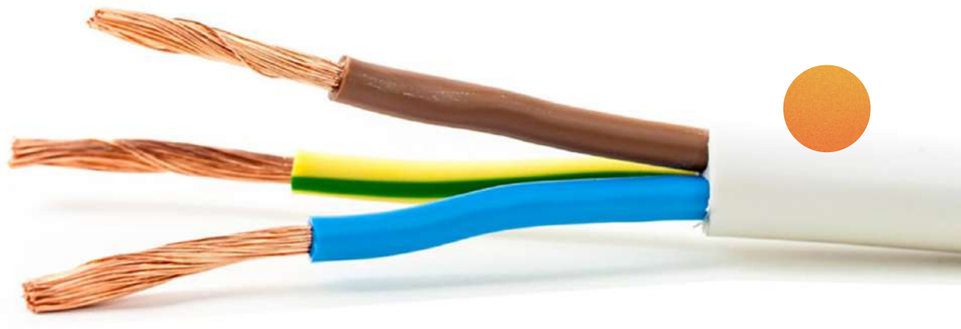
El cable **neutro** es un conductor que sirve como **retorno** para la corriente eléctrica. Su principal función es cerrar el circuito, llevando la electricidad de vuelta al generador o transformador. Aunque tiene un voltaje muy bajo en relación con la fase, **si no está conectado a tierra, puede ser peligroso.**

Color común: Blanco o azul claro.
Función: Se conecta al punto común del sistema de distribución de energía. La corriente que sale por el cable fase regresa por el cable neutro.
Peligro: Aunque tiene un voltaje más bajo que el cable fase, aún puede ser peligroso si se manipula incorrectamente.

Cable tierra *(a tierra)*

El cable **tierra** es un conductor que proporciona un camino seguro para la corriente **eléctrica en caso de fallas.** Su función es **evitar descargas eléctricas peligrosas** en el caso de que haya un cortocircuito o una fuga de corriente en el sistema.

Color común: Verde o verde con amarillo.
Función: Se conecta a tierra física (suelo), proporcionando un camino de baja resistencia por donde la corriente de falla puede fluir, evitando que llegue a los usuarios o equipos.
Peligro: Este cable **no lleva corriente en condiciones normales,** pero es vital para proteger a las personas y equipos en caso de una falla.



¿Qué pasa cuando hay más fases?

En sistemas de alimentación trifásica, comúnmente utilizados en instalaciones industriales o edificios grandes, tenemos tres cables fase. Cada uno de estos cables transporta una corriente alterna con una diferencia de fase de 120° entre ellos, lo que permite transmitir mayor cantidad de energía de forma más eficiente.

Colores comunes:
Rojo, negro y azul (aunque puede variar según la normativa).

Función: Estas tres fases, junto con el neutro, trabajan juntas para alimentar los equipos de forma más equilibrada y eficiente. En un sistema trifásico, la energía se distribuye de manera más uniforme, lo que reduce las pérdidas y mejora el rendimiento de motores y otros equipos de alta carga.

¿Por qué es importante identificar correctamente estos cables?

Seguridad: Conocer el funcionamiento de cada cable y su respectiva función en el circuito es fundamental para evitar **descargas eléctricas accidentales** y **fallas en el sistema.**

Normatividad: En muchos países, las regulaciones eléctricas exigen que se sigan ciertos colores para los cables de fase, neutro y tierra. De no seguirse, se corre el riesgo de malinterpretaciones en instalaciones futuras o en reparaciones.

Eficiencia: Un sistema correctamente cableado garantiza un funcionamiento seguro y eficiente, con menor riesgo de daños en equipos o de sobrecargas.

RESUMEN

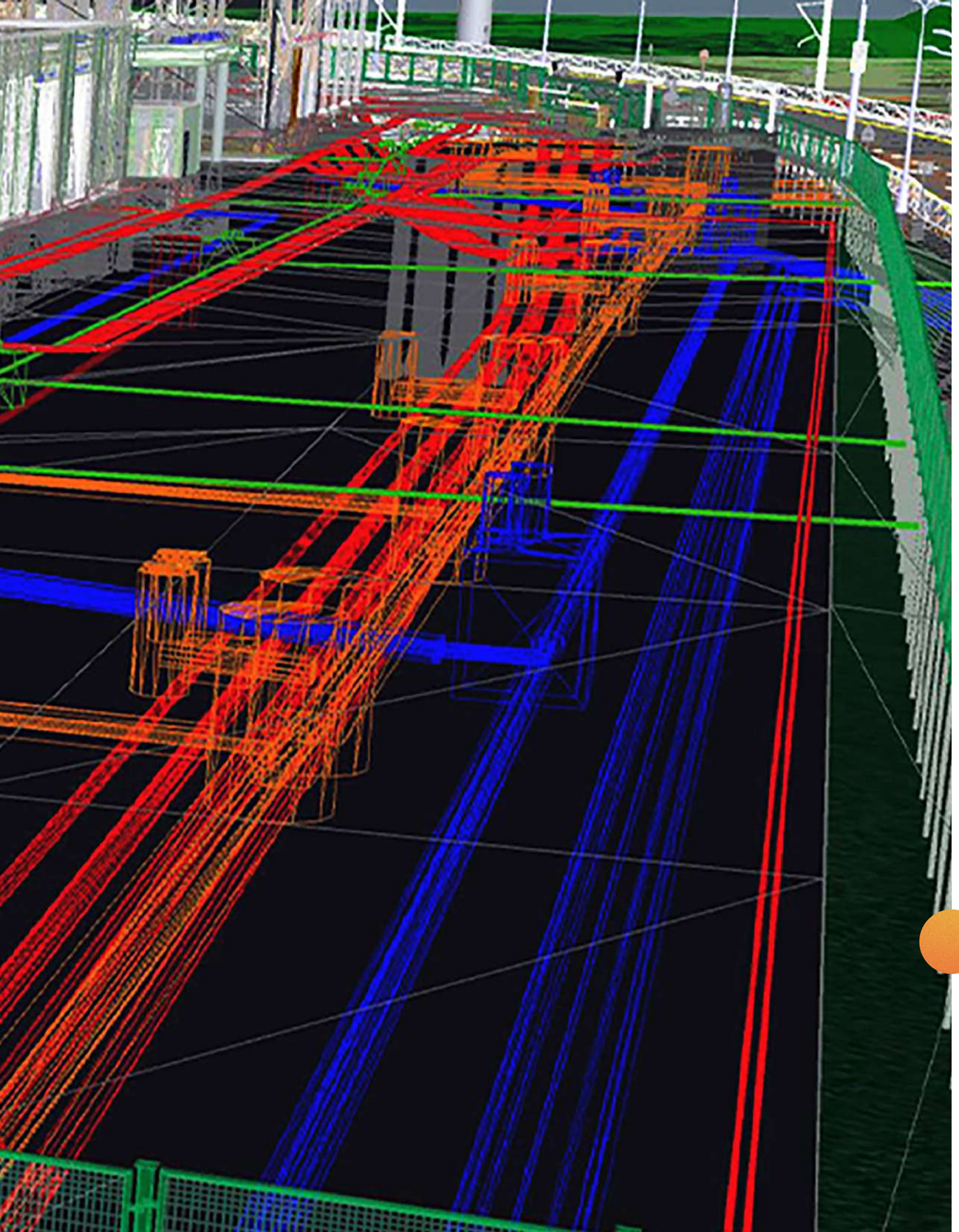
Fase (positivo): Lleva corriente desde la fuente de alimentación.
Neutro: Retorna la corriente al sistema.
Tierra: Proporciona un camino seguro en caso de fallas.
Más fases (trifásico): Sistema con tres fases para una distribución más eficiente de energía.

Es esencial que al leer planos o al realizar una auditoría, puedas **identificar rápidamente estos cables** y **comprender su función** para garantizar que el sistema sea seguro, eficiente y conforme a las normativas.

Este tema es clave para las auditorías, ya que comprender cómo se distribuye la energía dentro de un edificio o instalación te ayudará a **identificar puntos de mejora** y a realizar recomendaciones técnicas que optimicen el consumo y la seguridad del sistema eléctrico.

Recomendaciones adicionales:

- **Al realizar una auditoría:** Siempre verifica el estado de los cables, asegurándote de que estén correctamente conectados, sin daños, y que el sistema de puesta a tierra esté funcionando correctamente.
- **Al leer planos:** La simbología y los colores te permitirán identificar rápidamente qué cables pertenecen a cada fase, neutro o tierra, lo cual es fundamental para la correcta interpretación del sistema eléctrico.



Bloque V

Auditorías de gas y combustibles fósiles

V.1 Introducción a auditorías térmicas

Las auditorías térmicas son una parte esencial de la evaluación energética de los edificios, especialmente cuando se utilizan combustibles fósiles o renovables para generar calor o energía. Este tipo de auditoría se enfoca en la eficiencia del uso de la energía térmica proveniente de fuentes como gas natural, gas licuado de petróleo (LP), diésel, biomasa y otros combustibles.

Tipos de sistemas térmicos comunes en edificios



Calderas. Utilizadas para generar agua caliente o vapor para calefacción y procesos industriales.

Sistemas de calefacción de aire forzado. Utilizan una fuente de calor (por ejemplo, gas) y aire para calentar los espacios.

Estufas y calentadores. Dispositivos independientes que se utilizan para proporcionar calor en áreas específicas.

Sistemas de biomasa. Utilizan residuos orgánicos o materiales naturales para producir calor.

Sistemas de energía solar térmica. Usan la radiación solar para calentar agua o aire.

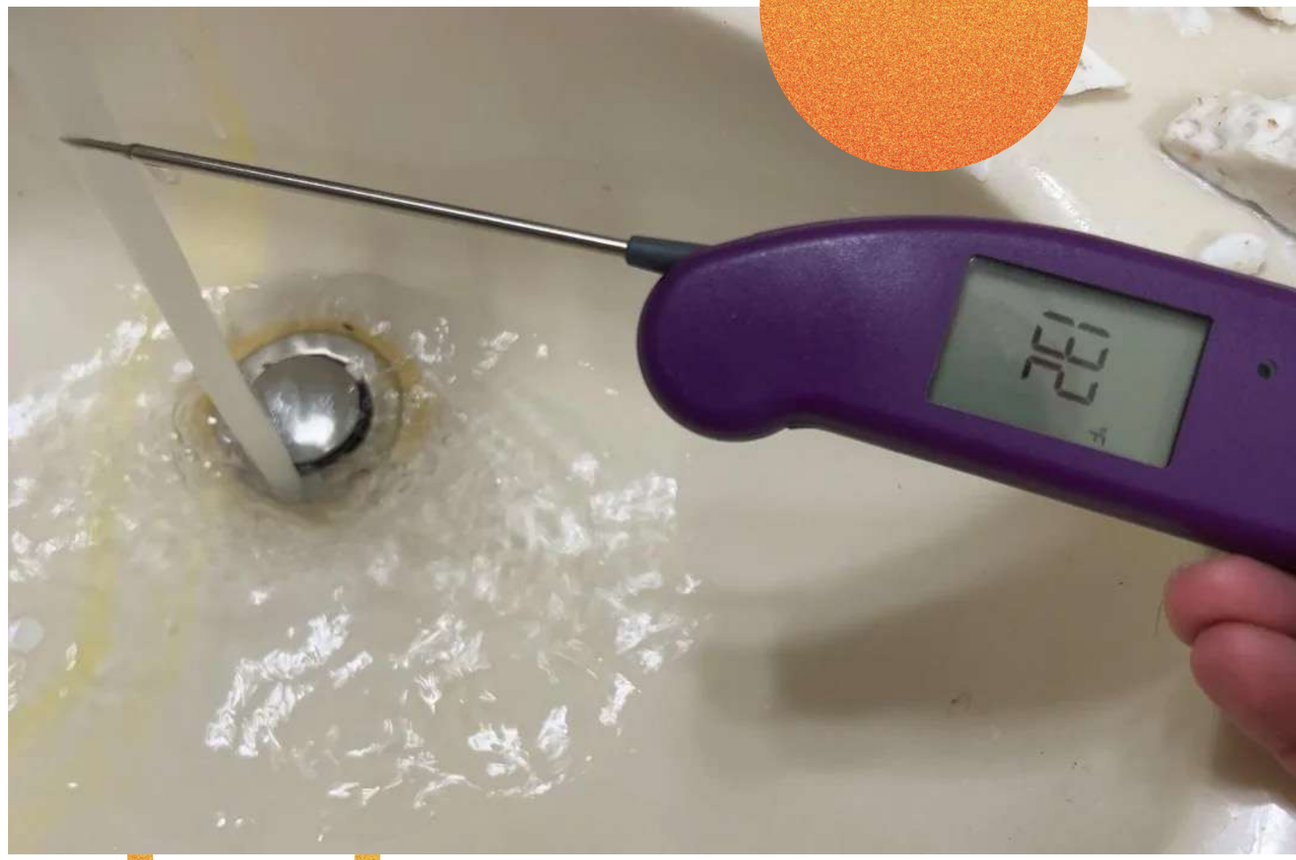
Comparativa de eficiencia y emisiones por tipo de combustible

Cada tipo de combustible tiene características propias de eficiencia y emisiones. Para determinar cuál es el más adecuado para cada caso, se deben evaluar factores como el rendimiento energético, la emisión de gases contaminantes y los costos operativos. A continuación se presenta la tabla V.1 con el comparativo de combustibles:

Tabla V.1
Parámetros energéticos de sustentabilidad

Combustible	Eficiencia Típica	Emisiones CO_2 (kg/kWh)	Otros Gases Tóxicos o de efecto invernadero	Costos Operativos
Gas Natural	85-90%	0.2	NOx, SOx, CO, CH_4, COVs	Bajo
Gas LP	80-85%	0.3	NOx, CO, PM, COVs	Moderado
Diésel	70-80%	0.4	NOx, CO, PM, COVs, CO_2	Alto
Biomasa	70-90%	0.05	CO, PM, COVs, CO_2	Variable
Solar Térmica	90-95%	0	Ninguno	Bajo

V.2 Recopilación de datos térmicos



Recopilación de datos térmicos: consumo, tarifas y estimaciones

Recopilar los datos térmicos de un edificio es fundamental para analizar su desempeño energético. Esto incluye no solo los **consumos térmicos** (por ejemplo, de gas o biomasa), sino también las **tarifas** aplicadas y las **estimaciones** en caso de que no existan registros directos.

¿Qué hacer cuando no hay facturación?

Cuando no se dispone de las facturas de consumo de gas, se pueden utilizar:

Métodos alternativos de estimación térmica

Estos métodos pueden incluir la medición directa del consumo o la extrapolación basada en las características de los sistemas térmicos, como la capacidad de las calderas y el número de horas de operación. Algunas técnicas incluyen:



- *Medición de la temperatura del agua*
  Evaluar el sistema de calefacción, midiendo las temperaturas de entrada y salida en las calderas y el retorno de los circuitos térmicos.

- *Cálculo basado en el tamaño del sistema*
  Utilizar los datos de los equipos (potencia nominal) y las horas de funcionamiento estimadas.

V.3 Medición de consumo térmico y eficiencia de sistemas

La medición directa del consumo térmico y la eficiencia de los sistemas térmicos es crucial para determinar si las instalaciones están operando dentro de los parámetros óptimos. Los principales sistemas a medir son:

Calentadores
Medir el consumo de gas y la eficiencia en la conversión de energía.

Calderas
Medir la relación entre la energía térmica generada y el combustible consumido.

Estufas y otros equipos térmicos
Evaluar el rendimiento térmico real de estos dispositivos en condiciones de operación.

Rendimientos reales vs. teóricos

Para evaluar la eficiencia de los sistemas térmicos, es fundamental comparar el rendimiento real con el teórico.

El rendimiento teórico se basa en las especificaciones del equipo, mientras que el rendimiento real se obtiene mediante mediciones directas del consumo y la salida térmica. Si el rendimiento real es significativamente inferior al teórico, podría ser indicativo de fallas o ineficiencias en el sistema.



V.4 Análisis térmico y Recomendaciones

El análisis térmico es fundamental para comprender el desempeño de los sistemas térmicos y compararlos con un **benchmark** o estándar de desempeño esperado. Esto incluye:

Ecuación de balance energético | La ecuación general es:

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{sistema}$$

Dónde:

E_{in} = Energía térmica suministrada al sistema
E_{out} = Energía térmica extraída o utilizada por el sistema
$\Delta E_{sistema}$ = Cambio neto de energía dentro del sistema, que puede ser un aumento o una disminución en la cantidad de energía almacenada

Una vez que se tiene el balance energético, es posible comparar el rendimiento del sistema con un ***benchmark*** o **estándar de desempeño:**

$$\text{Rendimiento} = E_{out} / E_{in}$$

Ejemplo de comparación con un *benchmark:*

Si un sistema tiene un rendimiento de 0.8 y el benchmark es de 0.9, se puede concluir que el sistema está funcionando por debajo del nivel esperado, y se podrían investigar las áreas de mejora (p. e. aislamientos térmicos, eficiencia de los intercambiadores de calor, etc.).

Comparación con *benchmark* y uso esperado

Se puede comparar el rendimiento del sistema con los estándares nacionales e internacionales. Esto ayudará a identificar áreas de mejora y a evaluar si las instalaciones cumplen con las expectativas de eficiencia y emisiones de contaminantes o gases de efecto invernadero.

Recomendaciones y sustitución de tecnologías ineficientes

Basado en el análisis de los datos recopilados, las mediciones de consumo y la comparación con los benchmarks, se deben formular **recomendaciones de mejora.** Estas pueden incluir:



- ***Sustitución de calderas viejas o ineficientes*** por modelos más modernos que utilicen energías renovables, como calderas de biomasa o sistemas solares térmicos.

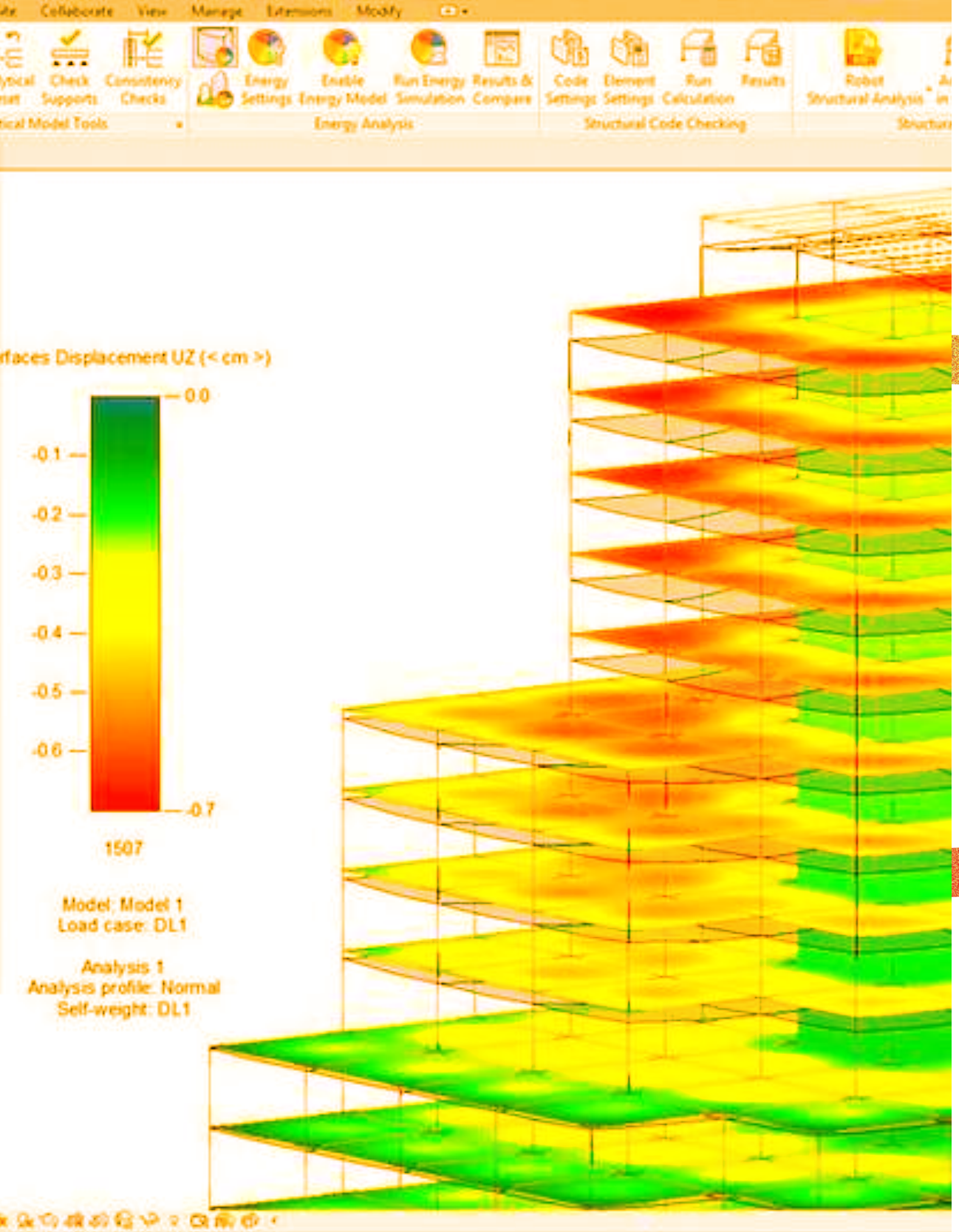
- ***Optimización del rendimiento de las estufas*** mediante la instalación de controles automáticos de

temperatura y la mejora del aislamiento de las áreas calefaccionadas.

- ***Electrificación de sistemas térmicos*** en casos donde el gas o diésel sea ineficiente o costoso. La electrificación puede ofrecer una alternativa más eficiente si la electricidad proviene de fuentes renovables.

- ***Mejora de la eficiencia en la distribución térmica,*** como la optimización de las redes de calefacción o refrigeración, para reducir pérdidas de energía.

Evaluación comparativa, financiera y simulación energética



VI.1 *Benchmarking* energético por tipo de edificio

El **benchmarking energético** es un proceso en el que se comparan los desempeños energéticos de diferentes edificios para evaluar cómo se posiciona uno frente a otros, tomando como base indicadores de eficiencia energética.

¿Qué es el benchmarking y por qué es importante?

El benchmarking energético permite comparar el consumo de energía de un edificio con el de otros edificios similares en términos de uso, tamaño, ubicación, entre otros. El principal objetivo es identificar áreas de mejora, reconocer el desempeño superior y establecer metas realistas de reducción del consumo de energía. Realizar benchmarking energético es esencial para:

- Detectar **ineficiencias** energéticas.
- Establecer **objetivos de ahorro energético** realistas.
- Mejorar el desempeño en términos de **costos operativos.**

Fuentes de datos de comparación confiables

Existen diversas fuentes de información que proporcionan datos sobre el consumo energético de edificios similares, lo que permite realizar un benchmarking efectivo:

- **INEGI** (Instituto Nacional de Estadística y Geografía)
  Proporciona datos estadísticos sobre consumo energético en diferentes sectores.
- **DOE** (Department of Energy, EE.UU.)
  Contiene amplios registros sobre el consumo energético en edificios comerciales e industriales.
- **CIBSE** (Chartered Institution of Building Services Engineers)
  Publica guías y datos sobre eficiencia energética en la construcción.
- **ASHRAE** (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)
  Proporciona estándares y datos de consumo energético para edificios comerciales y residenciales.
- **LEED** (Leadership in Energy and Environmental Design).
  Ofrece criterios para la certificación de edificios sostenibles con datos sobre eficiencia energética.



CERTIFICADO
40-49 puntos

PLATA
50-59 puntos

ORO
60-79 puntos

PLATINO
>80 puntos

Es fundamental establecer un ***benchmark*** para cada tipo de edificio y uso, ya que las demandas energéticas varían significativamente entre diferentes tipos de edificaciones. En la Tabla VI.1 se presenta un ejemplo de cómo se pueden comparar edificios según su uso.

Cómo interpretar los datos y detectar desviaciones

Al comparar los datos de consumo energético de un edificio con los benchmarks correspondientes, se pueden identificar desviaciones significativas que sugieren ineficiencias o áreas de mejora.

Por ejemplo:

Si el consumo de un edificio está **por encima del rango recomendado,** esto podría ser indicativo de **equipos obsoletos** o **deficiencias en el aislamiento.**

Si el consumo está **por debajo del promedio,** esto podría reflejar un **buen desempeño energético.**

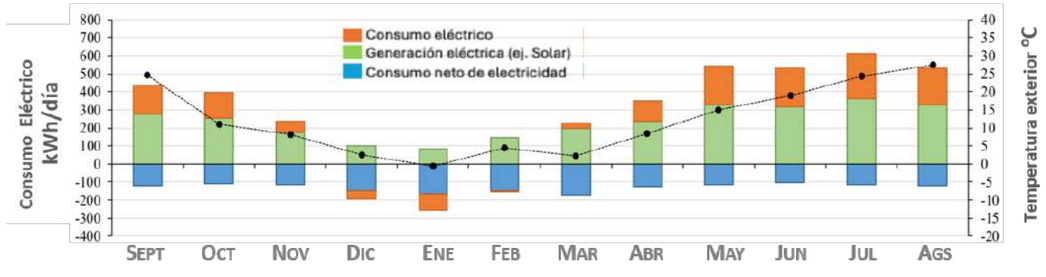


Tabla VI.1
Consumo energético por tipo de edificios

Tipo de Edificio	Consumo Energético Promedio (kWh/m²/año)	Datos de Benchmark (fuentes)
Oficina	150-300 kWh/m²/año	ASHRAE, INEGI, DOE
ESCUELA	100-250 kWh/m²/año	CIBSE, LEED
Comercio	250-500 kWh/m²/año	ASHRAE, INEGI
Hospital	350-700 kWh/m²/año	DOE, ASHRAE

FUENTE:
Ver sección Bbibliografía

VI.2 Análisis financiero para recomendaciones energéticas

El análisis financiero es crucial para evaluar la viabilidad económica de las **recomendaciones energéticas** y determinar si las inversiones necesarias para mejorar la eficiencia energética son rentables.

Cálculo de indicadores financieros básicos

A continuación, se explican los indicadores financieros clave utilizados para evaluar proyectos energéticos:

ROI (Retorno sobre la Inversión)
Mide la rentabilidad de la inversión energética. Se calcula como:

$$ROI = \frac{\text{Beneficios netos}}{\text{Inversión Inicial}} \times 100$$



Un ROI positivo indica que la inversión en eficiencia energética generará beneficios financieros.

VAN (Valor Actual Neto)

Calcula el valor presente de los flujos de caja futuros generados por el proyecto, descontados a una tasa de interés apropiada. Si el VAN es positivo, el proyecto es viable económicamente.

$$VAN = \sum_{i=1}^{n} \frac{\text{Flujo de Caja Neto}_t}{(1+r)^t} - \text{Inversión Inicial}$$

Dónde:

Flujo de Caja Neto = Ahorros netos en el año *t*
r = Tasa de descuento o costo de capital
t = Año correspondiente
n = Número de años de vida útil del proyecto

TIR (Tasa Interna de Retorno)
Es la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero. Una TIR mayor que la tasa de interés de referencia indica que el proyecto es rentable.

Payback (período de recuperación de la inversión)
Mide el tiempo que toma recuperar la inversión inicial mediante los ahorros energéticos generados. Existen dos tipos:

- ***Payback simple:*** No considera el valor del dinero en el tiempo.
- ***Payback descontado:*** Considera la tasa de descuento para calcular la recuperación ajustada a valor presente.

Factores clave para evaluar viabilidad económica

Para evaluar la viabilidad de una mejora energética, se deben considerar factores como:

Costos de inversión inicial:
Incluyen el costo de los equipos, instalación y posibles obras de infraestructura.

Ahorros esperados:
Basados en la reducción del consumo de energía.

Costos operativos y de mantenimiento:
Estos deben ser considerados para determinar la rentabilidad a largo plazo.

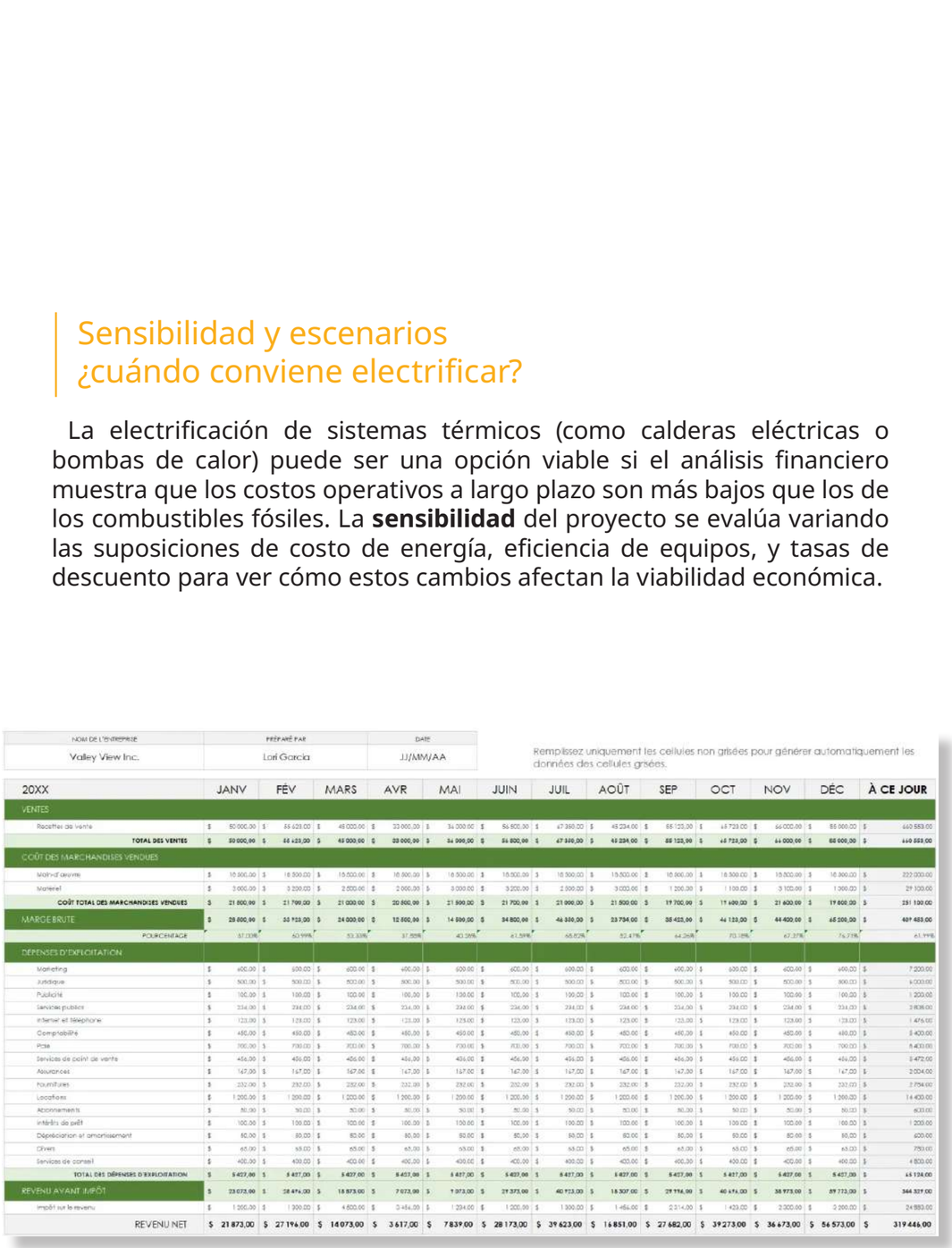
Ejemplo paso a paso con herramientas accesibles como Excel

Se puede realizar un análisis financiero básico en **Excel** utilizando las fórmulas de ROI, VAN, TIR y Payback. Para ello:

- Determina los flujos de caja esperados de la mejora energética (ahorros por reducción de consumo).
- Calcula el **VAN** aplicando una tasa de descuento razonable (por ejemplo, la tasa de interés promedio de mercado).
- Calcula la **TIR** utilizando la función TIR() de Excel.
- Calcula el **Payback** observando cuándo los ahorros cubren la inversión inicial.

Sensibilidad y escenarios ¿cuándo conviene electrificar?

La electrificación de sistemas térmicos (como calderas eléctricas o bombas de calor) puede ser una opción viable si el análisis financiero muestra que los costos operativos a largo plazo son más bajos que los de los combustibles fósiles. La **sensibilidad** del proyecto se evalúa variando las suposiciones de costo de energía, eficiencia de equipos, y tasas de descuento para ver cómo estos cambios afectan la viabilidad económica.



NOM DE L'ENTREPRISE	PRÉPARÉ PAR	DATE
Valley View Inc.	Lori Garcia	JJ/MM/AA

Remplissez uniquement les cellules non grisées pour générer automatiquement les données des cellules grisées.

20XX	JANV	FÉV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DÉC	À CE JOUR
VENTES													
Recettes de vente	$ 50 000,00	$ 55 623,00	$ 45 000,00	$ 33 000,00	$ 34 000,00	$ 56 800,00	$ 47 350,00	$ 45 234,00	$ 88 123,00	$ 45 723,00	$ 44 000,00	$ 55 000,00	$ 660 553,00
TOTAL DES VENTES	**$ 50 000,00**	**$ 55 623,00**	**$ 45 000,00**	**$ 33 000,00**	**$ 34 000,00**	**$ 56 800,00**	**$ 47 350,00**	**$ 45 234,00**	**$ 88 123,00**	**$ 45 723,00**	**$ 44 000,00**	**$ 55 000,00**	**$ 660 553,00**
COÛT DES MARCHANDISES VENDUES													
Main-d'œuvre	$ 15 500,00	$ 16 500,00	$ 15 500,00	$ 16 800,00	$ 16 500,00	$ 15 800,00	$ 16 300,00	$ 15 500,00	$ 15 800,00	$ 16 500,00	$ 15 500,00	$ 16 800,00	$ 222 000,00
Matériel	$ 3 000,00	$ 3 200,00	$ 2 500,00	$ 2 000,00	$ 3 000,00	$ 3 200,00	$ 2 300,00	$ 3 000,00	$ 1 200,00	$ 3 100,00	$ 1 100,00	$ 2 300,00	$ 29 300,00
COÛT TOTAL DES MARCHANDISES VENDUES	**$ 21 500,00**	**$ 21 700,00**	**$ 21 000,00**	**$ 20 800,00**	**$ 21 500,00**	**$ 21 700,00**	**$ 21 000,00**	**$ 21 500,00**	**$ 17 700,00**	**$ 19 600,00**	**$ 21 600,00**	**$ 19 800,00**	**$ 251 100,00**
MARGE BRUTE	**$ 28 500,00**	**$ 33 923,00**	**$ 24 000,00**	**$ 12 800,00**	**$ 14 500,00**	**$ 34 800,00**	**$ 46 350,00**	**$ 23 734,00**	**$ 38 423,00**	**$ 46 123,00**	**$ 44 400,00**	**$ 68 500,00**	**$ 409 453,00**
POURCENTAGE	57,00%	60,99%	53,33%	37,50%	40,38%	61,58%	68,82%	52,47%	64,26%	73,18%	67,27%	74,73%	61,99%
DÉPENSES D'EXPLOITATION													
Marketing	$ 600,00	$ 600,00	$ 600,00	$ 600,00	$ 600,00	$ 600,00	$ 600,00	$ 600,00	$ 600,00	$ 600,00	$ 600,00	$ 600,00	$ 7 200,00
Juridique	$ 500,00	$ 500,00	$ 500,00	$ 800,00	$ 500,00	$ 500,00	$ 500,00	$ 500,00	$ 500,00	$ 500,00	$ 500,00	$ 800,00	$ 6 000,00
Publicité	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 130,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 1 230,00
Services publics	$ 234,00	$ 234,00	$ 234,00	$ 234,00	$ 234,00	$ 234,00	$ 234,00	$ 234,00	$ 234,00	$ 234,00	$ 234,00	$ 234,00	$ 2 808,00
Internet et téléphonie	$ 123,00	$ 123,00	$ 123,00	$ 123,00	$ 125,00	$ 123,00	$ 123,00	$ 123,00	$ 123,00	$ 123,00	$ 123,00	$ 123,00	$ 1 476,00
Comptabilité	$ 450,00	$ 450,00	$ 450,00	$ 450,00	$ 450,00	$ 450,00	$ 450,00	$ 450,00	$ 450,00	$ 450,00	$ 450,00	$ 450,00	$ 5 400,00
Paie	$ 700,00	$ 700,00	$ 700,00	$ 700,00	$ 730,00	$ 700,00	$ 700,00	$ 700,00	$ 700,00	$ 700,00	$ 700,00	$ 700,00	$ 8 430,00
Services de point de vente	$ 456,00	$ 456,00	$ 456,00	$ 456,00	$ 456,00	$ 456,00	$ 456,00	$ 456,00	$ 456,00	$ 456,00	$ 456,00	$ 456,00	$ 5 472,00
Assurances	$ 167,00	$ 167,00	$ 167,00	$ 167,00	$ 167,00	$ 167,00	$ 167,00	$ 167,00	$ 167,00	$ 167,00	$ 167,00	$ 167,00	$ 2 004,00
Fournitures	$ 232,00	$ 232,00	$ 232,00	$ 232,00	$ 232,00	$ 232,00	$ 232,00	$ 232,00	$ 232,00	$ 232,00	$ 232,00	$ 232,00	$ 2 794,00
Locations	$ 1 200,00	$ 1 200,00	$ 1 200,00	$ 1 260,00	$ 1 200,00	$ 1 200,00	$ 1 200,00	$ 1 200,00	$ 1 200,00	$ 1 200,00	$ 1 200,00	$ 1 200,00	$ 14 400,00
Abonnements	$ 50,00	$ 50,00	$ 50,00	$ 50,00	$ 50,00	$ 50,00	$ 50,00	$ 50,00	$ 50,00	$ 50,00	$ 50,00	$ 50,00	$ 600,00
Intérêts de prêt	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 100,00	$ 1 200,00
Dépréciation et amortissement	$ 80,00	$ 80,00	$ 80,00	$ 80,00	$ 80,00	$ 80,00	$ 80,00	$ 80,00	$ 80,00	$ 80,00	$ 80,00	$ 80,00	$ 600,00
Divers	$ 65,00	$ 65,00	$ 65,00	$ 65,00	$ 65,00	$ 65,00	$ 65,00	$ 65,00	$ 65,00	$ 65,00	$ 65,00	$ 65,00	$ 780,00
Services de conseil	$ 400,00	$ 400,00	$ 400,00	$ 400,00	$ 400,00	$ 400,00	$ 400,00	$ 400,00	$ 400,00	$ 400,00	$ 400,00	$ 400,00	$ 4 800,00
TOTAL DES DÉPENSES D'EXPLOITATION	$ 5 427,00	$ 5 427,00	$ 5 427,00	$ 5 457,00	$ 5 427,00	$ 5 427,00	$ 5 427,00	$ 5 427,00	$ 5 427,00	$ 5 427,00	$ 5 427,00	$ 5 427,00	$ 65 134,00
REVENU AVANT IMPÔT	$ 23 073,00	$ 28 496,00	$ 18 573,00	$ 7 073,00	$ 9 073,00	$ 29 373,00	$ 40 923,00	$ 18 307,00	$ 33 996,00	$ 40 696,00	$ 38 973,00	$ 63 073,00	$ 344 329,00
Impôt sur le revenu	$ 1 200,00	$ 1 300,00	$ 4 500,00	$ 3 456,00	$ 1 234,00	$ 1 200,00	$ 1 300,00	$ 1 456,00	$ 2 314,00	$ 1 423,00	$ 2 300,00	$ 2 200,00	$ 24 883,00
REVENU NET	**$ 21 873,00**	**$ 27 196,00**	**$ 14 073,00**	**$ 3 617,00**	**$ 7 839,00**	**$ 28 173,00**	**$ 39 623,00**	**$ 16 851,00**	**$ 27 682,00**	**$ 39 273,00**	**$ 36 673,00**	**$ 56 573,00**	**$ 319 446,00**

VI.3 Modelado energético de mejoras con *EnergyPlus* y otros softwares

El **modelado energético** es una herramienta clave para prever cómo las mejoras en los edificios impactarán en el consumo de energía y las emisiones de carbono. A través de programas de simulación, se pueden optimizar las soluciones antes de implementarlas físicamente.

¿Qué es el modelado energético y cuándo aplicarlo?

El modelado energético permite simular el comportamiento energético de un edificio, teniendo en cuenta sus características arquitectónicas, sistemas de climatización, iluminación, entre otros factores. Se aplica para:

- **Evaluar mejoras potenciales** (aislamiento, eficiencia de equipos).
- **Prever ahorros energéticos** de manera precisa.
- **Comparar opciones** de mejora y elegir la más eficiente.

Software común

El modelado energético permite simular el comportamiento energético de un edificio, teniendo en cuenta sus características arquitectónicas, sistemas de climatización, iluminación, entre otros factores. Se aplica para:

EnergyPlus. Es un simulador de energía ampliamente utilizado, que permite realizar simulaciones detalladas sobre la eficiencia energética de edificios.

DesignBuilder. Basado en EnergyPlus, facilita la creación de modelos tridimensionales y la simulación energética.

eQuest. Simulador de energía que proporciona una herramienta sencilla para realizar simulaciones rápidas.

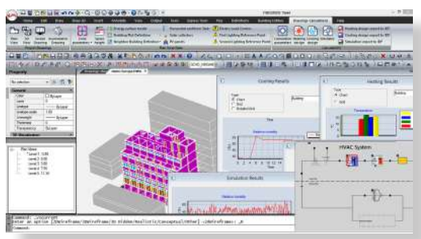
RETScreen. Software desarrollado por el Gobierno de Canadá para la evaluación de proyectos de energía renovable y eficiencia energética.

OpenStudio. Una plataforma abierta para el modelado energético y la simulación de edificios.

Casos de uso

- **Simulación de mejoras pasivas**
  Como el aislamiento de paredes o ventanas de alta eficiencia.
- **Evaluación de sistemas activos**
  Como HVAC, iluminación eficiente o sistemas de automatización.
- **Evaluación de impacto económico y ambiental**
  Determina el ahorro de energía y la reducción de emisiones tras implementar mejoras.

Ventajas de combinar mediciones reales + simulación



Combinar los datos obtenidos de las mediciones reales con los resultados de las simulaciones energéticas permite obtener un análisis más preciso y ajustado a las condiciones reales del edificio. Esto mejora la fiabilidad de las predicciones y ayuda a priorizar las intervenciones más efectivas.



Recomendaciones Generales

VII.1 Principios y niveles de implementación

Este bloque propone un enfoque de implementación que parte de una premisa fundamental: una institución no cambia solamente con objetivos o ideas, sino con estructuras claras, acciones graduales, metas verificables y decisiones operativas con responsables identificables. Por tal motivo, se propone una ruta de intervención institucional progresiva, con base en los siguientes principios:

Estructura mínima primero. Ningún cambio es sostenible si no inicia con protocolos, roles definidos y reglas internas. Antes de hacer inversiones, se requiere establecer un soporte institucional integral.

Educación y comunicación como condición de transformación. Si la comunidad no posee información sobre el quehacer de la sustentabilidad, no actuará de manera cooperativa y creativa. Por eso, la comunicación y la formación son estratégicas, no complementarias.

Participación escalonada y funcional. No todas las dependencias del IPN tienen los mismos recursos, pero todas pueden empezar desde su nivel. Por eso, las acciones deben estructurarse en niveles, desde lo fundacional hasta la transformación sustentable.

Del hábito a la estrategia tecnológica. Una persona que apaga correctamente su equipo está alineada con los objetivos estratégicos de la institución. La transformación energética es una evolución guiada.

Evaluar para decidir. Las inversiones deben partir de datos, auditorías y análisis técnicos. Evaluar es la condición para transformar con inteligencia.

Esta metodología también puede considerarse un modelo de innovación institucional para implementar estrategias similares en otros dominios de la gestión sustentable, como lo son el agua, los residuos o las áreas verdes.

A continuación se presentan los niveles de intervención, cada uno indica no solo un grado de complejidad, sino un rol institucional concreto que debe cumplirse para avanzar hacia un campus eficiente, sustentable y resiliente.

NIVEL	DESCRIPCIÓN	ESTRATEGIAS INSTITUCIONALES CLAVE
Fundacional	Andamiaje interno mínimo para que la eficiencia energética sea gestionable.	Crear protocolos internos, responsables por edificio, programas de capacitación y presupuestación.
Básico	Acciones de nulo o bajo costo que requieren concientización institucional y comunicación eficaz.	Apagar computadoras, evitar consumos innecesarios, difundir mensajes claros y promover ventilación natural.
Operativo	Actividades ejecutadas por personal de mantenimiento, limpieza o responsables de	Revisar luminarios, llevar bitácoras de mantenimiento, verificar filtros y coordinar horarios.
Equipamiento técnico	Mejoras específicas sobre infraestructura y sistemas existentes que requieren evaluación técnica y recursos intermedios.	Establecer políticas de compra sustentables, sustituir paulatinamente equipos obsoletos por equipos con garantía y medición de desempeño, instalar sensores y
Transformación institucional	Cambios de fondo en el modelo energético institucional, con rediseño de sistemas, estrategias pasivas, automatización e integración tecnológica.	Migrar a HVAC eficientes, automatizar, lograr una transformación térmica pasiva (ej. sombreamientos, aire forzado), mejorar el comfort y calidad del aire, así como el

VII.2 Recomendaciones por niveles de implementación

Estas recomendaciones están fundamentadas en las tecnologías, estándares técnicos y buenas prácticas vigentes al momento de la elaboración de este manual. Su aplicación debe considerarse referencial y adaptativa, no normativa. Las condiciones tecnológicas, de mercado o normativas pueden cambiar, por lo que se recomienda su revisión periódica.

Fundacional

- Establecer un protocolo interno de eficiencia energética, con aplicación jerárquica desde la Dirección General del IPN hasta las áreas operativas. Este debe definir objetivos, responsables, mecanismos de control y reportes periódicos.

- Nombrar un Responsable Energético por instalación, con atribuciones para coordinar acciones, recopilar información de consumo y proponer mejoras.

- Realizar un análisis presupuestal inicial, considerando costos operativos actuales, ahorro potencial estimado y posibles fuentes de financiamiento institucional o externo.

- Diseñar e implementar un programa de formación en eficiencia energética, orientado a personal técnico, administrativo y docente, con contenidos ajustados al nivel de responsabilidad operativa.

- Incorporar criterios de eficiencia en las políticas de compras institucionales, exigiendo documentación técnica del consumo energético, cumplimiento de normas oficiales mexicanas, y en su caso, sellos reconocidos como FIDE, EnergyStar o equivalentes.

Básico

- Promover hábitos responsables mediante campañas visuales, boletines digitales y talleres breves, adaptados al perfil de cada tipo de usuario e integrados, cuando sea pertinente, a las redes sociales institucionales.

- Establecer lineamientos como:

  - Apagar computadoras y proyectores al finalizar actividades.
  - Activar funciones de suspensión automática en computadoras.
  - Usar tiras multicontactos con interruptor para reducir consumos fantasma.
  - Limitar el uso de calefactores o ventiladores portátiles a condiciones justificadas.
  - Incentivar el uso de iluminación y ventilación natural, reforzando mensajes en aulas, oficinas y pasillos.

Operativo

- Implementar rutinas de mantenimiento preventivo, incluyendo:

  - Revisión del estado y limpieza de luminarias.
  - Limpieza de difusores, filtros de aire y ventilas.
  - Detección de fallas o ruidos anómalos en equipos electromecánicos.

- Usar bitácoras físicas o digitales para registrar incidencias, consumos atípicos o necesidades de reposición.

- Ajustar horarios de encendido/apagado de iluminación en zonas comunes conforme a criterios de seguridad y ocupación.

- Sensibilizar al personal de limpieza y vigilancia sobre prácticas simples de ahorro: verificación de apagado de luces, cierre de ventanas, reporte de fugas o ruidos eléctricos.

Equipamiento técnico

- Sustituir luminarias por modelos LED eficientes (≥130 lm/W) que:
    - Operen dentro de su tensión nominal.
    - Cuenten con garantía de vida útil certificada (L70 ≥ 25,000 h).
    - Estén validadas por EnergyStar, DLC Premium, NOM-030-ENER, o equivalente.

- Instalar sensores de ocupación (PIR o ultrasónicos) en espacios con uso intermitente (aulas, sanitarios, salas de reuniones), con temporizadores configurables.

- Adquirir motores eléctricos con eficiencia IE3 o superior, de acuerdo con la norma IEC 60034-30-1 o la NMX-J-351-ANCE. Priorizar aquellos con control de velocidad (VFD) cuando haya variabilidad en carga.

- Para bombas hidráulicas, considerar aquellas con índice de eficiencia mínima (MEI) conforme a estándares internacionales.

- Instalar submedición eléctrica en áreas de alto consumo, con medidores clase 0.5S o mejor, compatibles con Modbus RTU, TCP/IP o BACnet/IP, y capacidad de integración a software de monitoreo.

- Aplicar principios de uso responsable y sustentable de equipos de cómputo, como:
    - Apagado correcto de equipos al finalizar el uso.
    - Consolidación de servidores físicos.
    - Migración a laptops en vez de equipos de escritorio cuando sea v

Transformación institucional

- Elaborar diagnósticos energéticos avanzados (medición, simulación y análisis técnico) como base para justificar inversiones estructurales.

- Sustituir equipos portátiles dispersos (ventiladores, calefactores) por HVAC centralizado y eficiente, con controles zonificados y etiquetado energético (ej. SEER ≥ 16, COP ≥ 3.5).

- Diseñar e instalar sistemas de automatización para control y monitoreo en tiempo real, con pantalles amigables (dashboards) que muestren consumo, alertas de falla y proyecciones.

- Integrar estrategias pasivas de diseño como:
    - Sombreamiento arquitectónico mediante elementos como voladizos, aleros, celosías o parasoles fijos/móviles, diseñados según orientación solar para minimizar la radiación directa sin afectar la iluminación natural.

    - Fachadas ventiladas (doble piel) que permiten la circulación de aire entre la envolvente térmica y el revestimiento exterior, reduciendo el calentamiento de los muros y mejorando el comportamiento térmico sin consumo energético.

    - Ventilación cruzada natural o inducida por diseño, lograda con aberturas opuestas (ventanas, tragaluces, compuertas) que aprovechan diferencias de presión y temperatura para favorecer el flujo de aire sin asistencia mecánica.

    - Modificación arquitectónica para maximizar la captación de luz natural, incluyendo lucernarios, ventanas altas, patios interiores y superficies reflectantes, reduciendo la necesidad de iluminación artificial durante el día.

- Evitar obstrucciones físicas o visuales en zonas con potencial de iluminación o ventilación natural, como rejas de seguridad, muebles altos frente a ventanas, divisiones opacas permanentes o cortinas densas, que impidan el funcionamiento pasivo del diseño.

- Implementar mejoras de calidad del aire interior (IAQ):
  - Monitoreo de contaminantes criterio*, temperatura y humedad relativa.
  - Renovación controlada de aire.
  - Filtros con clasificación MERV 13 o superior.

- Coordinar transformaciones edilicias con visión energética y de resiliencia climática, que consideren también vegetación, captación de agua y almacenamiento energético si aplica.

** Monóxido de carbono (CO), partículas (PM2.5 y PM10), carbono negro (BC),ozono (O3), óxidos de nitrógeno (NOx) y bióxido de azufre (SO2), según la ubicación y ventilación del edificio.*



FOTO:
The Spruce



BIBLIOGRAFÍA

El presente manual es una obra original desarrollado por la **Coordinación Politécnica para la Sustentabilidad del IPN.** La metodología propuesta está inspirada y adaptada a partir de estándares internacionales, normas nacionales y literatura académica especializada, las cuales se citan a continuación y que en conjunto constituyen la referencia técnica del marco metodológico-práctico adoptado en este documento.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2018). Standard 211-2018: Standard for commercial building energy audits. ASHRAE.

*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2019). ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019: Energy standard for buildings except low-rise residential buildings. ASHRAE.**

*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2020). ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal environmental conditions for human occupancy. ASHRAE.**

Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE). (2012). Guide F: Energy efficiency in buildings. CIBSE. https://www.cibse.org/knowledge-research/knowledge-portal/guide-f-energy-efficiency-in-buildings-2012

Efficiency Valuation Organization. (2016). International performance measurement and verification protocol (IPMVP): Core concepts. EVO. https://evo-world.org/en/products-services-mainmenu-en/protocols/ipmvp

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). (2019). IEEE 1159-2019: Recommended practice for monitoring electric power quality. IEEE. https://ieeexplore.ieee.org/document/8796486

https://webstore.ansi.org/standards/ashrae/ansiashraeaccastandard2112018

Secretaría de Energía (SENERT. (2015). NOM-007-ENER-2014: Eficiencia energética en edificios. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355593&fecha=07/08/2014#gsc.tab=0

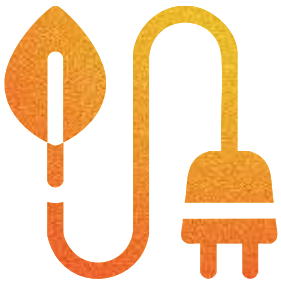
Secretaría de Energía (SENER). (2014a). NOM-022-ENER/SCFI-2014: Eficiencia energética en calentadores de agua. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5372759

Secretaría de Energía (SENER). (2014b). NOM-026-ENER: Etiquetado de eficiencia energética en aires acondicionados. Diario Oficial de la Federación. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5424751&fecha=09/02/2016#gsc.tab=0

U.S. Department of Energy (DOE). (2022). EnergyPlus engineering reference. https://energyplus.net/documentation

Joshi, A., Kale, S., Chandel, S., & Pal, D. K. (2015). Likert scale: Explored and explained. British Journal of Applied Science & Technology, 7(4), 396–403. https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/14975

U.S. Green Building Council, Inc. (USGBC). (2025). LEED v5 Reference Guide. Operation and Maintenance. April 2025 Launch Edition. https://www.usgbc.org/resources/leed-v5-reference-guide-operations-and-maintenan-



CPS

COORDINACIÓN POLITÉCNICA
PARA LA SUSTENTABILIDAD