



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
ARQUITECTURA

**“Análisis y Modelación del Consumo de Energía
Eléctrica en Edificios Universitarios con Base a
Usos Finales y Parámetros Arquitectónicos:
Caso UNAM-CU ”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTORA EN ARQUITECTURA
PRESENTA:

MANUELA AZUCENA ESCOBEDO IZQUIERO

COMITÉ TUTORAL:

DR. JOSÉ DIEGO MORALES RAMÍREZ
DR. DAVID MORILLÓN GALVEZ
M.A. FRANCISCO REYNA GÓMEZ
DRA. CLAUDIA SHEINBAUM PARDO
DR. JUAN JOSÉ AMBRIZ GARCÍA



MÉXICO, D.F.

NOVIEMBRE 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatorias

**A la Universidad Nacional Autónoma México
que me ha dado más que educación**

**A mi marido
porque siempre está a mi lado
igual que hace 20 años
simplemente, existo por que tú existes
Te amo..... siempre**

**A mi familia
son lo mejor que la vida me ha dado**

**A mi madre
Siempre será mi mejor referencia de
Perseverancia y fortaleza
Má te quiero mucho**

**A mi abuelo Raúl
Sin su recuerdo, mi vida no sería tan “rumbera”
25 años extrañándote....**

Agradecimientos

**A todos y cada uno de mis tutores
Gracias por compartir sus conocimientos
Gracias por su apoyo incondicional
Gracias por su paciencia**

**A la Act. Lizbeth Naranjo Albarrán
Por su ayuda incondicional**

**Al Ing. Augusto Sánchez Cifuentes
Fue su idea meterme en este ló
Inge muchas gracias!!!**

“Análisis y modelación del consumo de energía eléctrica en edificios universitarios con base a usos finales y parámetros arquitectónicos: caso UNAM-CU”

Introducción

- I. Estado del arte
- II. Esquema metodológico
 - Definición de la muestra
 - Descripción de la evaluación energética
 - Descripción de la evaluación arquitectónica
 - Descripción del procedimiento de modelación
- III. Evaluación arquitectónica
- IV. Evaluación energética
 - Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras
 - Instituto de Investigaciones Antropológicas
 - Biblioteca “Antonio Caso” de la Facultad de Derecho
 - Instituto de Química
- V. Resultados
 - Evaluación arquitectónica
 - Evaluación energética
 - Mediciones de parámetros eléctricos
- VI. Modelación del comportamiento de la demanda eléctrica en función de usos finales de energía eléctrica
 - Regresión Lineal Múltiple
 - Validación del Modelo de Regresión
- VII. Discusión de resultados y conclusiones

Bibliografía

Anexos

1. Normatividad Nacional sobre envolvente NOM008-ENER-2001
2. Diagnósticos energéticos completos de los edificios analizados (CD)

Introducción

Las edificaciones destinadas al uso doméstico en conjunto con las del sector terciario, en términos generales, consumen más de un tercio de la energía total que se utiliza en el país. Lo anterior representa una importante oportunidad para el ahorro y uso eficiente de la energía.

El estudio del desempeño energético de los edificios del sector terciario forma parte de las estrategias generales en todo Programa de Ahorro y Uso eficiente de la Energía. A partir de la primera crisis petrolera el tema tomó importancia entre todos los países, lo cual provocó que lo involucraran en su política energética interna.

Los esfuerzos han sido generales para su estudio y control, normatividad voluntaria y obligatoria, programas a nivel federal con indicadores energéticos totales máximos permisibles por uso de las edificaciones, particularmente para oficinas administrativas. Sin embargo todo lo anterior se ha hecho sin conocer cómo impactan factores como el uso final de la energía, materiales constructivos, envolvente, orientación, patrones de uso, factores de coincidencia, etcétera.

Por otro lado, la simulación del desempeño energético es una práctica que se ha llevado a cabo a través de la modelación de la demanda eléctrica en función de los factores mencionados y que, para tal caso, una de las herramientas mayormente usadas es el software desarrollado por Instituciones dedicadas a la investigación de las edificaciones.

Sin embargo, las condiciones en las cuales se realiza la simulación son las que determina el desarrollador basándose en el país de origen, en este caso particular mucho de este software es de origen Estadounidense con variables, en la mayoría de los casos, diferentes a las de nuestro país.

Este trabajo de investigación estudia el desempeño energético de cinco edificios ubicados y con uso propio del Campus de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se estudiaron factores que impactan en la

demanda de energía eléctrica como los anteriormente mencionados, adicionalmente, a partir de la información generada de los análisis, se llevó a cabo su modelación energética con la ayuda de herramientas estadísticas.

En este sentido, los edificios estudiados tienen usos preponderantes diferentes: aulas, oficina, biblioteca, investigación científica e investigación social. Para determinar el desempeño energético se requirió realizar un estudio energético y arquitectónico, para tal caso se necesita infraestructura para su ejecución, personal para llevar a cabo los recorridos en los edificios, levantamiento de datos de equipos consumidores de energía, levantamiento eléctrico, conexión de analizadores de red, levantamiento arquitectónico, entre algunas de las actividades, así como la compra de equipos: analizadores de redes, luxómetros, amperímetros de gancho, trazadores, etcétera.

El presupuesto para llevar a cabo las actividades mencionadas fue derivado del Macroproyecto “La Ciudad Universitaria y la Energía” específicamente de la línea de investigación de “Ahorro y Diagnósticos Energéticos”.

Los edificios fueron seleccionados por dos razones principalmente, que tuvieran un uso preponderante y un solo transformador (trafo) de alimentación esto debido a que la alimentación eléctrica del Campus se lleva a cabo mediante cuatro acometidas con un suministro eléctrico en media tensión (23000 Volts) para alimentar a más de 250 edificios que conforman el Campus. Al tener un sólo transformador (trafo) para alimentar al edificio en estudio se requiere un equipo de medición de parámetros eléctricos.

La metodología de análisis (capítulo III) consistió principalmente en llevar a cabo diagnósticos energéticos con el objetivo de identificar cómo y en dónde se consume la energía eléctrica, se midió mensualmente los parámetros eléctricos de cada uno de los edificios con lo que también se validó la información recopilada en el diagnóstico (capítulo IV). La evaluación arquitectónica consistió en verificar el cumplimiento de la normatividad vigente en materia de envolvente e identificar los materiales constructivos (capítulo V).

Como parte de la evaluación energético se calcularon indicadores energéticos, los cuales han resultado ser una de las herramientas más importantes para el seguimiento del comportamiento energético de las edificaciones, así mismo, permiten llevar a cabo comparaciones entre edificios con el mismo uso con el fin de determinar su grado de eficiencia energética. Así como, por uso final de la

energía. Los indicadores permitirán determinar potenciales de ahorro de energía, incluso por sistema consumidor.

Asimismo, el monitoreo de los parámetros eléctricos por usos finales de energía proporcionó información para determinar la aportación de cada uno de ellos en la demanda total del edificio en estudio. Sin embargo, contar con equipos para llevar a cabo dicho monitoreo en los cinco edificios resultaría incosteable y fuera del alcance del Macroproyecto. No obstante se consiguió a través de un préstamo un equipo para llevar a cabo dicha actividad y poder modelar el desempeño de una de las edificaciones estudiadas.

Los datos de las mediciones de las demandas eléctricas obtenidas del medidor que monitorea circuitos de uso final, fueron usados para modelar el comportamiento de la demanda total del edificio. Al contar con información de un año es posible predecir la demanda mensual a través de métodos estadísticos.

La modelación del desempeño de la demanda eléctrica depende de varios factores: usos finales o sistemas, horas del día, día de la semana y el mes, también existen algunos otros factores que no son propiamente medidos como los patrones de uso, factores de coincidencia considerados en el análisis.

De esta manera, y usando herramientas estadísticas se llevó a cabo la modelación a través de la regresión lineal múltiple usando como variable predictora la demanda eléctrica total del edificio en estudio y como variables regresoras a las demandas eléctricas de los usos finales como factores referidos con anterioridad (capítulo VI). Esta herramienta es utilizada para predecir la demanda total de edificaciones de acuerdo a los artículos consultados y suele tener una buena aproximación, sin embargo, para el caso particular de estudio se requiere utilizar una combinación de métodos estadísticos para la modelación.

Finalmente, derivado de este trabajo de investigación se identificaron valores de indicadores energéticos por uso final de energía así como por uso del edificio, se evaluó el cumplimiento de la normatividad vigente en materia de eficiencia energética y se compararon los valores analizados contra los establecidos.

Por otro lado, los resultados al validar la modelación nos indican que se requiere analizar otros métodos que ajusten con un grado mayor de confianza la demanda eléctrica total.

De esta manera, observamos que el estudio de las edificaciones tiene un abanico de opciones que pueden abarcar: identificación de curvas características de demanda eléctrica, correlación entre variables, analizar una mejor opción de modelación. Las líneas de investigación derivadas pueden significar una mejora en la planeación de la política energética Universitaria.

Capítulo I. Estado del Arte

El análisis y estudio del consumo y de la demanda de energía eléctrica tomó importancia a raíz de las crisis energéticas de 1973 y 1979, creando conciencia entre los gobiernos y privados de cada país a través de Instituciones públicas y privadas, Asociaciones privadas con programas voluntarios u obligatorios en el ahorro y uso eficiente de la energía, así como el uso y aplicación de las energías renovables.

El sector comercial, específicamente edificaciones no residenciales ha incrementado su consumo de energía en los últimos años convirtiéndose en un sector fundamental de estudio. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos de América en estudios realizados encontró que el consumo de energía en edificios no residenciales en conjunto con las edificaciones residenciales representa el 40% del total del consumo de energía en su país¹.

En Europa, el consumo estimado entre edificaciones residenciales y el sector comercial o terciario se estima en 41% de acuerdo a estimaciones de la comisión de energía de la Unión Europea². De acuerdo a la información que ha presentado la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en el periodo del 2001-2002 el consumo de energía destinada para el sector residencial y comercial representan para: Japón el 32.8%, Alemania el 40.4%, Francia 39%, Canadá 33.5% y Estado Unidos el 30.1 %.

En México, los edificios residenciales y los no residenciales representan más de la mitad del consumo total de energía eléctrica³. En el Balance Nacional de Energía 2005 el consumo de energía eléctrica en estos sectores representó el 39%. Bajo estas premisas, el estudio del comportamiento energético de los edificios no residenciales es de suma importancia para establecer políticas energéticas y de esta manera involucrarlos en los planes estratégicos del país.

¹ James Batchelor, Conserving brick by brick, The Boston Globe, March 10, 2007

² <http://www.idae.es/central.asp?m=p004&t=1>

³ Ing. Odón de Buen Rodríguez, Green Building in North America, Mexico City Public Workshop, 20-21 February 2007.

Muchos de los estudios se centran en establecer indicadores energéticos máximos a cumplir por medio de normatividad obligatoria o programas enfocados a sectores particulares.

En el tema de edificios no residenciales se tienen dos normas la NOM-007-ENER-2004. Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales. Que tiene por objeto “establecer niveles de eficiencia energética en términos de densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) que deben cumplir los sistemas de alumbrado de edificios no residenciales nuevos”⁴. Y la NOM-008-ENER-2001. Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales. “Esta Norma limita la ganancia de calor de las edificaciones a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento”⁵.

Adicionalmente, la Secretaría de Energía a través de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía tiene a su cargo un programa sobre el tema; sin embargo, sólo aplica para edificios que pertenecen a la administración pública federal y establece valores de indicadores energéticos de consumo globales que son laxos⁶.

Por otro lado, Instituciones educativas Internacionales como el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) considera que el tema de edificios es tan importante como para contar con una licenciatura, maestría y un doctorado en el tema de “tecnología de edificios” es un programa interdisciplinario que integra al departamento de arquitectura, ingeniería mecánica e ingeniería civil y medio ambiente⁷.

El MIT tiene varias líneas de investigación dedicadas al estudio de los edificios no residenciales: control y diagnósticos en edificios, Estudios en energía en edificios, materiales de construcción, gráficos por computadora para el comportamiento físico de los edificios, calidad de aire interior, ventilación y modelado ambiental y diseño sustentable en edificaciones.

⁴ Norma publicada el 15 de abril del 2005 en el Diario Oficial de la Federación.

⁵ Norma publicada el 25 de abril del 2001 en el Diario Oficial de la Federación.

⁶ Escobedo, Azucena (2005), Tesis de Maestra en Ingeniería “Indicadores Energéticos en Iluminación para Inmuebles Destinados al Uso de Oficinas Públicas Caso: Centro del País”, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

⁷ <http://web.mit.edu/bt/www/bt/brochure.pdf>

La línea de investigación dedicada a estudios en energía en edificios está dividida en dos: estudios internacionales en edificios de la India y Pakistán los trabajos incluyen beneficios de materiales térmicos, análisis de estructuras para determinar estructuras sísmicas reforzadas y diseño y construcción para escuelas. Incluso se ha trabajado con las autoridades de Rusia para el desarrollo de normatividad en construcción.

La segunda división, conservación de energía en equipos de oficina e iluminación la cual se estudia bajo el patrocinio del Laboratorio Nacional de Lawrence Berkeley (LBL), la Agencia de Protección al Medio Ambiente (EPA) y el Consejo Americano para la Economía y la eficiencia energética (ACEE), evalúa el impacto de los equipos de oficina en el consumo de energía, el trabajo incluye las estimaciones del crecimiento del mercado en los sistemas de potencia, el desarrollo de normatividad, etc. Para iluminación, tema aparte, se evalúa la opción de usar fibra óptica, reduciendo la carga de calor y por lo tanto la de aire acondicionado.

El LBL es uno de los precursores en el estudio de los edificios, de hecho cuentan con varios programas de cómputo para simular el comportamiento energético de estos, como son el Energy Plus, Power DOE, DOE2 por mencionar algunos. Este último fue utilizado como herramienta para elaboración de la norma NOM-008-ENER-2001, mencionada anteriormente.

Existen una gran variedad de software para análisis energético que no necesariamente son del LBL: DOE 2.1, EnergyPlus, Building Energy Analyzer 2.3, Hot 2000, ESP-r, EQUER, Energy 10, Energy ENER WIN, ESIIm, FEDS, eQUEST, Trace 700, Blast, Trace 600, TRNSYS16⁸, etc.

Dentro de sus áreas de investigación el LBL cuenta con un área específica para el estudio de los edificios, “Energía en Edificios”, con varios grupos de investigación: aplicaciones en edificios, edificios comerciales, tejados frescos e islas de calor, respuesta en la demanda, sistemas de iluminación, herramientas para simulación en ventanas y luz de día.

El grupo de edificios comerciales explora los diferentes caminos para integrar los esfuerzos de las investigaciones realizadas en ventanas, iluminación, simulaciones con materiales de construcción en envolventes y técnicas de

⁸ Programa de referencia para la simulación de sistemas de energías renovables y arquitectura solar pasiva.

diseño. La investigación se centra en el desarrollo de sistemas de cómputo avanzado que asistan al ingeniero o arquitecto en la toma de decisiones en el diseño propio de la instalación.

Dentro de la línea de “análisis energético” existe un grupo de investigación que estudian el comportamiento del equipamiento ya sea de manera directa, medición o por simulación. Los resultados de estas investigaciones proporcionan una mejora en las técnicas de verificación de los ahorros de energía por tecnologías o por estrategias políticas.

Se percibe que dentro de las investigaciones actuales en edificios, tanto las que llevan a cabo el MIT y el LBL, el estudio del comportamiento de los usos finales de la energía a través de indicadores energéticos es un análisis que se llevó a cabo hace 15 años aproximadamente, de este tipo de estudios se derivaron líneas para política energética en Estados Unidos; y los llamados “benchmarking”, indicadores que son utilizados para llevar a cabo comparaciones entre edificios con usos similares. Existe bibliografía e incluso artículos publicados de las experiencias adquiridas a través de los análisis realizados.

En lo que se refiere a programas de ahorro de energía en Campus Universitarios, el MIT cuenta con el “Club de Energía” que apoya en el proyecto de energía del Campus, con metas de reducir el uso de la energía en el Campus con la intervención de los alumnos, a través de concursos como ahorro de energía en los dormitorios, premiando al ganador con un dinero en efectivo. También está el mapa de intensidades energéticas (W/m^2) de cada uno de los edificios del Campus, por mencionar algunos.

Harvard cuenta con la iniciativa de “Campus Verde” (HGCI) en objetivo principal es hacer un laboratorio práctico sostenible del Campus con programas: reducción de consumo de energía en el Campus, educación de los graduados, energía verde y limpia, entre otros.

La Universidad de California tiene un programa de eficiencia energética en el Campus a través de proyectos piloto: iluminación interior eficiente, iluminación exterior, diagnóstico energético en edificios construidos, retrofit, etc. Existen varias Universidades con programas verdes, en eficiencia energética, conservación de energía, energía sostenible, mitigación de gases invernaderos,

entre otros, que bueno al final todos tienen la componente de ahorro de energía y una de esas líneas de acción está enfocada a edificaciones.

La Administración de Información de Energía (Energy Information Administration, EIA, por sus siglas en inglés) del Departamento de Energía (DOE) de los Estados Unidos. En 1999 realizó un estudio sobre el Consumo Energía en Edificios Comerciales (CBECS). Éste estimó que existían 4.7 millones de edificios comerciales (± 0.4 millones de edificios, al 95% nivel de confianza) en los Estados Unidos con un área total construida de 6.2 (± 0.43) mil millones pies cuadrados.

La información recabada por inmueble es completa y extensa abarca, consumos de energía eléctrica por el uso de: computadoras personales, aire acondicionado, iluminación, fotocopias, etc. Así como por consumo de energía térmica por calefacción, cocción, etc. Adicionalmente, dividieron la información por tipo de equipo del sistema aire acondicionado instalado, así como el sistema en iluminación, etc.

El Laboratorio de Lawrence Berkeley editó en el año de 1993 los resultados del análisis realizado en edificios comerciales (oficinas, tiendas de autoservicio, restaurantes y almacenes) ubicados en el sur de California, estudiaron los consumos de 53 inmuebles durante el año de 1992. El estudio lo realizó el Instituto de Eficiencia Energética de California (CIEE, siglas en inglés) y la Compañía Edison del Sur de California. De los 53 inmuebles analizados, 12 de ellos estaban destinados al uso de oficinas administrativas, midieron los consumos de energía por uso final: aire acondicionado, iluminación y contactos, de las áreas acondicionadas y totales.

Pacific Gas and Electric Company (PG&E) cuenta con varios programas en eficiencia energética en edificaciones como: escuelas, comercios, hoteles, restaurantes, etc. Apoyándolos con guías y capacitación. National Renewable Energy Laboratory (NREL) es reconocido en Estados Unidos por sus investigaciones en el uso de energías renovables en edificaciones y tecnologías innovadoras que reducen de manera significativa el consumo de energía eléctrica. Las actividades de investigación están enfocadas: aplicar herramientas de análisis, innovar tecnologías y en la integración de las mismas en los edificios. Definitivamente existen más instituciones que apoyan a través de capacitación, asesorías o programas el uso eficiente de la energía en edificaciones. Mencionamos las más conocidas.

En Europa existen, como en Estados Unidos instituciones dedicadas a difundir el uso eficiente de la energía, en España, por ejemplo existe el Ente Vasco de Energía (EVE) que a través del Centro para el Ahorro y Desarrollo Energético y Minero (CADEM), a partir de la década de los ochentas, inició con la labor de la eficiencia energética, de hecho fue una de las instituciones que capacitó en sus inicios al personal técnico de la Conae y a algunos de los consultores en energía que al día de hoy son los de mayor prestigio en el país.

Uno de los sectores que apoya el CADEM es el de servicios en dónde se encuentran las edificaciones en estudio. En donde ofrecen diagnósticos energéticos, estudios de viabilidad, estudios de armónicas etc. El Instituto para la Diversificación para el Ahorro de Energía (IDAE) también de España, cuenta en su Plan de Acción 2005-2007 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética para España con una sección específica para edificaciones tanto para uso residencial como para uso comercial o terciaria. En el 2002 se publicó en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas una directiva exclusiva para la eficiencia energética en los edificios.

El Centro de Conservación de Energía de Japón (ECCJ) tiene una Ley sobre conservación de la energía, en la cual se dedica una sección al tema de edificaciones⁹.

En América Latina, los estudios en edificaciones están dirigidos hacia el diseño arquitectónico y su impacto en el consumo de energía eléctrica, el diseño bioclimático y el estudio térmico de la envolvente de los edificios, así como el impacto del porcentaje de ventanas en la ganancia térmica y lumínica. La Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES) a través de sus congresos, cursos, seminarios, etc. Han logrado intercambiar experiencias en este tema.

Los temas estudiados son: energía solar, la arquitectura solar y bioclimática, el uso racional de la energía y las fuentes no convencionales de energía. El tema de edificaciones está centrado hacia el estudio térmico de la envolvente, la evaluación bioclimática de las edificaciones, simulaciones del comportamiento térmico de los materiales de construcción, etc.

⁹ http://www.eccj.or.jp/law/rational_use_of_energy.html#3

En México, el tema de modelación de consumo de energía se ha estudiado a nivel residencial, tema imprescindible para las políticas energéticas nacionales, como hemos visto y de mayor impacto en el consumo total nacional. Sin embargo, las metodologías usadas a través de los usos finales de energía¹⁰ para este sector están basadas en comportamientos totalmente diametrales a los del sector terciario. Aún y cuando los usos finales de energía sea particularmente similares: sistema de iluminación, acondicionamiento ambiental¹¹, etc.

La modelación del comportamiento energético de los edificios en el sector no residencial se ha concentrado en el uso de software, particularmente los desarrollados por el LBL con una mayor aplicación: el DOE 2.1, el EnergyPlus y el TRNSYS16. Su aplicación está centrada en la modelación térmica de las envolventes de las edificaciones, debido principalmente a que el sistema de acondicionamiento de aire es uno de los principales consumidores de energía eléctrica.

Estos programas son usados, de acuerdo a la bibliografía consultada, en varias partes del mundo y con diferentes propósitos: modelar el comportamiento térmico de la envolvente, validar y contrastar resultados obtenidos a través de un levantamiento de cargas, entre otros.

Asimismo, las redes neuronales¹² que constituyen una línea de investigación en Inteligencia Artificial han resultado una excelente herramienta para la modelación del comportamiento energético de las edificaciones no residenciales, requiriendo una cantidad de datos importante para la entrada de la red y obtener la salida esperada.

¹⁰ Sheinbaum, Claudia, (1996), Tendencias y Perspectivas de la Energía Residencial en México, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

¹¹ Romero, Ramona, (2002), Implicaciones del Acondicionamiento Ambiental del Sector Residencial en el Consumo de Energía Eléctrica bajo Condiciones Climáticas Cálido Secas Extremas: El Caso de Mexicali, B.C. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

¹² Sistemas conexionistas son sistemas de procesamiento de la información cuya estructura y funcionamiento están inspirados en las redes neuronales biológicas. Consisten en un conjunto de elementos simples de procesamiento llamados nodos o neuronas conectadas entre sí por conexiones que tienen un valor numérico modificable llamado peso

Las redes neuronales constituyen un potente instrumento para la aproximación de funciones no lineales. Su uso resulta especialmente útil en la modelización de aquellos fenómenos complejos donde la presencia de relaciones no lineales entre las variables es habitual

Para aplicar este tipo de herramienta se requiere tener conocimiento de los factores que intervienen en el diseño de una red, siendo el comportamiento de la red determinado por su topología, los pesos de las conexiones y la función característica de las neuronas.

De acuerdo a la investigación bibliográfica efectuada la modelación del comportamiento energético de las edificaciones tanto en el sector terciario está enfocada a la predicción de la demanda eléctrica total, de indicadores energéticos totales, y en algunos casos, el impacto del acondicionamiento ambiental en la demanda total. Sin embargo, no hay evidencia de la modelación de la demanda eléctrica por usos finales de la energía, tema que ocupa esta investigación.

A pesar de ser una excelente herramienta para la modelación del comportamiento energético de una edificación de uso terciario, se requiere un conocimiento pleno sobre la operación, entrenamiento y diseño de la red.

En este sentido, el objetivo del análisis de la regresión múltiple es predecir una variable dependiente (demanda eléctrica total) en función de variables independientes (demanda de usos finales), comparado con las redes neuronales el análisis de regresión múltiple puede ser menos complicado y más adecuado para solucionar diferentes problemas que presentan un patrón. Cuando se cuenta con una base de datos con un importante número de valores, las técnicas de regresión pueden ser aplicadas con buenos resultados en la correlación entre el modelo y los datos analizados.

Capítulo II. Esquema metodológico

En la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Ciudad Universitaria existen más 200 edificaciones construidas para actividades diferentes. Cuenta con tres acometidas alimentadas en media tensión de 23 KV con una distribución secundaria través de una red subterránea de 6 KV que alimenta a transformadores eléctricos ubicados cada uno de los edificios del Campus; algunos cuentan con más de un transformador para sus necesidades eléctricas, por otro lado, no tienen medición propia.

La Facultad de Ingeniería a través de proyectos de ahorro de energía realizó en las décadas de los 80's y 90's diagnósticos energéticos en los sistemas eléctricos en varios de los edificios del campus. La información recopilada sobre el tipo de cargas, el uso preponderante, el número de transformadores de alimentación eléctrica, entre otros, tuvo una importante participación para determinar las posibles edificaciones a analizar.

Asimismo, los formatos utilizados para la contabilización de las cargas eléctricas fueron revisados y modificados, en algunos de ellos, la captura de la información, específicamente la forma de llenado de la base datos, también se mejoró con el fin de mejorar el análisis de la información.

Definición de la muestra

El primer parámetro que se consideró para seleccionar los edificios a estudiar, fue que tuviera una actividad preponderante, seleccionando cinco de las más importantes dentro del Campus Universitario: docencia o aulas, administrativas, de investigación científica, de investigación social y una biblioteca. Es claro que el edificio de un instituto de investigación científica no tiene el mismo comportamiento energético que una biblioteca. Debido principalmente a los patrones de uso, tecnologías instaladas, necesidad de control de temperaturas, horarios, etc.

Otro parámetro considerado para la selección, fue el número de transformadores del sistema de distribución secundaria del campus para los edificios, con el objetivo de minimizar los errores al comparar los resultados de la medición horaria de los parámetros eléctricos (voltajes, corrientes, potencia, consumo, por fase e integral), y el censo de cargas, así como, la facilidad de elaboración del diagrama unifilar de la instalación y su análisis. Dentro del campus existen transformadores que alimentan a varias cargas distribuidas en diferentes edificaciones, esto complicaría el análisis energético por indicadores por uso final, así como el cálculo de la demanda eléctrica real y el consumo de energía total.

El área de Proyectos de Ahorro de Energía de la Facultad de Ingeniería llevó a cabo estudios energéticos en 230 edificaciones en el campus de Ciudad Universitaria de la Universidad los estudios fueron realizados entre 1985 y 1999, para determinar las fechas y la cantidad de los mismos se revisó la base de datos generada de cada uno de ellos, modificándola para facilitar el análisis.

En este sentido, los datos que se revisaron de la base de datos:

- Número de transformadores (trafos) que alimentan a cada uno de los edificios
- Capacidad del transformador
- El uso específico
- La demanda eléctrica máxima
- El consumo de energía estimado mensual
- Si tenían las mediciones de parámetros eléctricos
- Y si contaba con levantamiento de datos de las cargas eléctricas

Si contaban con mediciones de los parámetros se obtuvieron los indicadores energéticos para referencia, también para determinar el tamaño de los transformadores de corriente para la conexión de un analizador de redes y actualizar las mediciones.

La revisión de planos también fue una actividad importante para la determinación de la muestra de los edificios a estudiar, debido a que el levantamiento de datos de los equipos consumidores de energía se realiza por cada una de los recintos, tomando información del área que ocupa cada uno. Adicionalmente, en los planos se vacía la información sobre los contactos, luminarias, tableros, etc.

De esta manera, se eligieron los edificios por su actividad, buscando que más del 80% del área estuviera dedicada a una de las actividades específicas seleccionadas y que su alimentación eléctrica fuera por medio de un solo transformador, como se mencionó anteriormente.

Bajo estas consideraciones se seleccionaron los siguientes edificios

- Centro de Lenguas Extranjeras; representativo de actividades de docencia
- Dirección General de los Colegios de Ciencias y Humanidades; representativo de oficinas administrativas.
- Biblioteca Antonio Caso de la Facultad de Derecho
- Instituto de Investigaciones Antropológicas; representativo de labores de investigación social.
- Instituto de Química; Edif. A representativo de labores de investigación científica

En la tabla 1 se muestra el área ocupada, la antigüedad y ubicación de estos edificios.

Tabla 1. Datos generales de los edificios en estudio

Edificio	Área construida (m ²)	Uso preponderante	Fecha de construcción	Ubicación
Centro de enseñanza de lenguas extranjeras (CELE)	5,455.00	Aulas	1950- 1952	Casco Viejo
Dirección general del Colegio de Ciencia y Humanidades. DGCCH.	1,648.00	Oficinas	1950- 1952	Casco Viejo
Biblioteca Antonio Caso. Facultad de Derecho	4,553.40	Biblioteca	1992	Casco Viejo
Instituto de Investigaciones Antropológicas	8,099.00	Instituto de investigación social	1978	Zona de Institutos
Instituto de Química	5,158.62	Instituto de investigación técnica	1977	Zona de Institutos

Fuente, elaboración propia

El Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras (CELE) cuenta con 2 edificios: Edificios A,B y la Mediateca. El edificio A cuenta principalmente con cubículos de uso administrativo y de investigación, laboratorios de idiomas, auditorio y aulas, su orientación es norte – sur con un área de ventanas que ocupa el 32% de la envolvente. El edificio B cuenta con principalmente con aulas, cubículos administrativos, biblioteca, auditorio y la mediateca, su orientación es oriente - poniente con un área de ventanas que ocupa el 31% de la envolvente del edificio.



Foto de los edificios A y B del CELE

El CELE atiende a 7,200 alumnos al día. El horario de clases es de 8:00 a 21:00 horas. Cuenta con aulas, laboratorios, servicios y oficinas.

La Dirección General del Colegio de Ciencias y Humanidades (Dirección del CCH) cuenta con 1 edificio principal, tiene una superficie total construida de 1,647.5 m², el edificio cuenta principalmente con oficinas de uso administrativo, salas de juntas y una sala de cómputo para el uso de los profesores. Su orientación es norte – sur con un área total de ventanas que ocupa el 27% de la envolvente del edificio.



Foto del edificio de la Dirección de CCH

Actualmente la Dirección de CCH cuenta instalaciones para alojar a 200 personas y atender de 50 a 70 profesores diariamente, estos últimos no se encuentran en sitio. El horario oficial es de 10:00 a 20:00 horas, sin embargo existe personal a partir de las 7:00 horas y pueden permanecer hasta a las 21:00 horas. Cuenta con 150 recintos destinados para oficinas administrativas

La Biblioteca “Antonio Caso” de la Facultad de Derecho (la Biblioteca) cuenta con un edificio principal, tiene una superficie total construida de 4,553.4 m², el edificio tiene una orientación de este - oeste con un área total de ventanas que ocupa el 12% de la envolvente del edificio.



Foto del edificio de la Biblioteca

Actualmente la biblioteca atiende a 4,500 alumnos diariamente y cuenta con 63 personas como personal fijo. El horario oficial entre semana es de 09:00 a 21:00 horas, sin embargo las gráficas de demanda eléctrica muestran actividad a partir de las 7:00 a.m. También tienen servicio los sábados de 9:00 a 14:00 horas.

Cuenta con 69 recintos en total, oficinas administrativas, uso propio de una biblioteca (sala de lectura, acervo, librería, etc.), auditorio y servicios.

El Instituto de Investigaciones Antropológicas (El Instituto Antropológicas) cuenta con un edificio principal, tiene una superficie total construida de 8,099 m² con una arquitectura asimétrica. En su porción exterior, su orientación es sur - oeste y el área de ventanas ocupa el 21% en la envolvente total. En la porción interior, el área de ventanas ocupa el 29% de la envolvente



Foto del edificio del Instituto de Antropológicas

Trescientas personas entre investigadores, personal administrativo y de mantenimiento alberga el Instituto. El horario oficial entre semana es de 09:00 a 19:00 horas, sin embargo las gráficas de demanda eléctrica muestran actividad a partir de las 7:00 a.m.

Cuenta con 162 recintos en total, oficinas administrativas y cubículos de investigación, servicios, laboratorios, aulas y talleres

El Instituto de Química (El Instituto) cuenta con cinco edificios, tiene una superficie total construida de 5,158.62 m²: Edificio A, Edificio C, Comedor, la Torre de destilación y Cuarto de máquinas. La distribución arquitectónica de la envolvente de cada uno de los edificios se detallará más adelante.



Foto del edificio del Instituto de Química

Colaboran 293 personas entre investigadores, personal administrativo y de mantenimiento, alumnos. El horario oficial entre semana es de 7:00 a 21:30 horas, horario que se ratifica en las gráficas de demanda eléctrica.

Cuenta con 125 recintos en total, para servicios (generales, particulares y especiales), laboratorios y oficinas de investigación, por mencionar algunas

Habiendo determinado la muestra, se llevó a cabo una visita a cada uno de los edificios con previo conocimiento de los directores y secretarios administrativos, con el objetivo de hacerlos partícipes del estudio, y tomar conciencia del concepto de “Gestión Energética”.

En cada una de las visitas se identificó y ratificó la cantidad de transformadores, se llevó a cabo un recorrido por el edificio, visualizando los usos finales de la energía eléctrica e incluso potenciales de ahorro de energía. Posterior a la visita se iniciaron los trabajos propios del levantamiento de datos y conexión del equipo de medición.

Evaluación energética

La evaluación energética requiere de varias etapas para su realización, lo que se denomina “metodología”, no existe una que homogenice las formas para llevar a cabo un diagnóstico energético, cada profesional en el tema aplica la suya. En este trabajo se utilizó la metodología empleada por el área de Proyectos de Ahorro de Energía de la Facultad de Ingeniería, cabe mencionar que fue modificada y mejorada por la autora de este trabajo de investigación, quedando como una línea adicional de trabajo la automatización de la misma.

El **levantamiento de datos de cargas eléctricas** consiste en llevar a cabo un censo de equipos que consumen energía eléctrica: computadoras, lámparas, dispensadores de agua, refrigeradores, t.v., videos, radios, ventiladores, aires acondicionados, calefactores, equipos de laboratorio, equipos de taller, máquinas de escribir, impresoras, por mencionar algunas.

Los datos recopilados por cada equipo: cantidad, horas de uso, lugar en donde está ubicado, demanda eléctrica de placa, uso de recinto (servicios, oficinas, aulas, etc.), entre otros. Estos son vaciados en formatos preestablecidos, los cuales han sido probados en varios estudios similares.

Esta actividad se realiza por edificio, piso y recinto (aula, pasillo, oficina, baño, bodega, laboratorio, etc.), la información recopilada es capturada en una hoja de Excel con el objetivo de tener una base de datos de los equipos consumidores de energía eléctrica por uso final de la energía. Así como, llevar a cabo el análisis de la misma. La información debe ser capturada de manera ordenada con eso se minimizan errores en la captura y se agiliza el análisis de la información.

Como una actividad paralela, en una primera etapa se mide el nivel de iluminación (lux) en cada uno de los recintos, consiste en medir por medio de un luxómetro los luxes que se tienen en el plano de trabajo, estos son medidos de tres maneras diferentes: sin iluminación artificial, con iluminación artificial y nocturna. La segunda etapa consistió en tomar una muestra para medir de acuerdo a la metodología que establece la Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) en horario nocturno. La muestra fue elegida después de llevar a cabo el análisis de la información, eligiendo por tipo de actividad (salones, oficinas, pasillos, bodegas, etc.), orientación y si cuentan con área de vano. La información es capturada es la misma base de datos de esta manera, dentro del análisis, se llevan a cabo comparaciones entre niveles de iluminación y densidad de potencia, entre otros.

Adicionalmente, se toman las dimensiones de cada uno de los locales, de las ventanas y la orientación, la tonalidad de las paredes, si cuenta con domo o tragaluz, la cantidad de contactos, la cantidad de apagadores y cuántas luminarias controla cada apagador.

Asimismo, **el levantamiento eléctrico** se realiza con el fin de identificar los circuitos eléctricos que alimentan a los equipos consumidores, se identificaron grupos por uso final por circuito eléctrico o tablero. Se elaboró el diagrama unifilar del edificio a partir del transformador hasta el contacto donde se hace uso de la energía. Esta actividad es una de las más complicadas, debido a que no existe una separación de los circuitos por uso de los mismos, es decir, un circuito dedicado a la iluminación interior, iluminación de emergencia, iluminación exterior y en todo caso a contactos. Asimismo, el acceso a los recintos con los equipos para identificar los tableros y los circuitos.

Así, los circuitos por uso final se determinaron por la mayor cantidad de equipos conectados del mismo tipo, discriminando la carga que no cumpla con los parámetros establecidos. Adicionalmente, se conecta un equipo de medición en estos circuitos con el fin de monitorear los parámetros eléctricos y determinar la demanda (kW) y consumo (kWh) de energía eléctrica, calculando sus indicadores energéticos, de esta manera se tienen indicadores por uso final de la energía eléctrica. También, estas mediciones se realizaron con el objetivo de localizar carga faltante identificada en el análisis de la información

El **monitoreo de parámetros eléctricos** tiene como objetivo principal conocer el perfil de demanda y el consumo eléctrico total del edificio. Hay que recordar que los edificios no cuentan con facturación eléctrica de manera individual, por lo tanto esta actividad es de suma importancia para la validación de la información obtenida en el censo.

En una la primera fase se conectó un equipo durante 24 horas por 7 días, con el objetivo de tener el comportamiento energético de una semana completa. Se identificó la demanda eléctrica máxima y se estimó el consumo mensual del edificio. Se calcularon los indicadores energéticos totales kW/m², kWh/m² año.

En la segunda etapa, se conectó un equipo de manera indefinida en la subestación de los edificios; de esta manera, a la fecha se tiene un año de información de cuatro de los cinco edificios analizados, debido a que en uno de ellos (CELE) al realizar la conexión del equipo, este se dañó.

Los parámetros que se miden son: voltaje, corriente, consumo, demanda, factor de potencia, por fase e integradas. La información fue procesada en una hoja de cálculo y se construyeron gráficos de los parámetros monitoreados.

En las mediciones de parámetros eléctricos se utilizaron dos tipos de medidores calibrados de acuerdo con sus especificaciones de operación. En un principio se conectó un equipo modelo DM-II marca Amprobe durante siete días las 24 horas del día; transfiriendo a la información por medio de una computadora.

En la segunda etapa se adquirió un analizador de redes modelo Nexos-1250 marca Electroindustries/GaugeTech el cuál se encuentra en las subestaciones de manera permanente; los datos son monitoreados a través de la red interna de la Universidad.

Monitorear parámetros eléctricos por circuito es una actividad costosa se requieren un equipo por cada uso final, la empresa SEMhunt S.A de C.V. a través de la Comisión Nacional de Energía, en calidad de préstamo, conectó un equipo en un principio en el edificio de la Dirección de CCH, monitoreaba seis tableros y dos circuitos el periodo de medición comprendió a partir de finales de marzo a finales de mayo del 2006, observándose que los datos eran erróneos y se tomó la decisión de probarlo en otro edificio.

Se conectó en el edificio del Instituto de Investigaciones Antropológicas en siete tableros y un circuito, se monitorea: iluminación interior (2), iluminación exterior (2), sala de cómputo (2), un equipo de laboratorio (medidor de carbono) (1) y el total del edificio (1). Este equipo tiene la facilidad de que transmite la información a través de modem por línea telefónica, teniendo acceso a ella a través de Internet, midiendo únicamente demanda y consumo de energía eléctrica. El equipo ha permanecido conectado en el Instituto desde principios de octubre del 2006.

Una parte importante de la evaluación energética es el **análisis de la información** mismo que se realiza por cada una de las actividades, así como en conjunto para identificar errores.

Del análisis de la medición se determina la demanda máxima, el consumo de energía mensual estimado, y si existen problemas con el factor de potencia. En las gráficas se identificó que en periodo de vacaciones la demanda disminuye considerablemente, y en consecuencia el consumo de energía. Se calcularon

indicadores energéticos por consumo y demanda por uso final y por el total del edificio (kWh/m^2 año, W/m^2).

De la información generada en el levantamiento de cargas se determina la demanda instalada y la demandada, así como el consumo de energía mensual. Estos deben ser, sino iguales, cercanos a los valores obtenidos en la medición, siendo la diferencia aceptada menor al 10%, en caso de que se presente una diferencia mayor, se revisan los datos del levantamiento y el cálculo de factor de coincidencia y las horas de uso reportadas por los usuarios, que en algunas ocasiones no son las correctas.

Adicionalmente, se identifican las cargas de mayor importancia en demanda y consumo de energía eléctrica y se calculan indicadores energéticos, mismos que son comparados con los calculados por medición de parámetros eléctricos. La diferencia entre ellos no debe ser mayor al 10%, validando con estos resultados obtenidos y el análisis realizado en las diferentes etapas.

Asimismo, el indicador de W/m^2 en el sistema de iluminación, densidad de potencia eléctrica por área (DPEA) se calcula con la información de los equipos de iluminación instalados y el área de cada uno de los recintos, lo que se compara con el nivel de iluminación (lux).

Es importante que los indicadores obtenidos por uso final de energía (kWh/m^2 año) de acuerdo al levantamiento de datos, al sumarlos se obtenga prácticamente el indicador del edificio, de esta manera se valida que la información no contenga sesgos, de otra manera se revisa el levantamiento y los supuestos realizados como son el factor de coincidencia, factor de carga por cada uno de los quipos censados, y por ende las horas de funcionamiento.

Como una actividad complementaria se llevó a cabo la evaluación arquitectónica de los edificios estudiados, la cual se explica en el siguiente capítulo.

Evaluación arquitectónica

El diagnóstico consistió principalmente en el análisis de la ganancia de calor de la envolvente de los edificios¹ y la cuantificación del área de ventanas con respecto al total de la envolvente. Se cuantificó la ganancia térmica conforme a los lineamientos que la norma establece. Es importante señalar que la norma aplica para edificaciones nuevas o ampliaciones en edificaciones ya existentes.

La norma de eficiencia energética NOM-008-ENER-2001 se elaboró con el fin de disminuir la ganancia térmica proveniente del exterior a través de la envolvente de un edificio no residencial y se publicó el 25 de abril de 2001 en el Diario Oficial de la Federación. Consultar anexo 1.

La **metodología de la evaluación** consistió en el levantamiento arquitectónico detallado del edificio investigando los datos de los materiales en muros, losa de azotea y ventanas de la envolvente y se actualizaron los planos arquitectónicos. Adicionalmente, fue necesario recabar la información de la localidad, así como la orientación del edificio de acuerdo con los criterios de la norma.

Con los datos y la información arquitectónica recabada se evaluó el edificio, de acuerdo con la metodología propuesta y avalada por la Comisión Nacional para el Ahorro de la Energía (CONAE), para determinar el cumplimiento de la norma.

La metodología es un Software denominado: “Metodología para el cálculo de la ganancia de calor” Versión 2.0, éste está diseñado para proyectar un edificio virtual de referencia, en donde se recrean las condiciones de ganancias máximas permisibles (conducción y radiación) necesarias para nuevos proyectos y ampliaciones en edificios. De tal manera que las ganancias de calor del edificio proyectado, en este caso existente, debe ser menor o igual a las ganancias máximas permisibles correspondiente al edificio de referencia.

De esta forma el edificio de referencia es aquel que tiene exactamente el mismo tamaño (área), forma, y orientación que el proyecto pero con condiciones específicas definidas dentro de la norma en cuanto a las características de la porción ocupada por ventanas y techos, así como la losa de azotea del edificio.

¹ Donde se entiende que la envolvente de un edificio está formada por techo, paredes, vanos, piso y superficies inferiores, que conforman el espacio interior de un edificio.

El diseño del edificio de referencia considera 60% de parte opaca (muro) y 40% de parte no opaca (transparente); estos valores se comparan con el edificio proyectado (edificio analizado). Se aplica a cada uno de los edificios elegidos en la muestra la metodología y se analizan los resultados.

Los resultados obtenidos de cada uno de las evaluaciones: la energética y la arquitectónica son mostrados en el capítulo siguiente de este trabajo de investigación.

Procedimiento estadístico

La estadística ofrece técnicas útiles para el análisis del comportamiento de datos, la regresión lineal es utilizada para estudiar la relación entre variables. Se adapta a una amplia variedad de situaciones, en la investigación social, el análisis de regresión se utiliza para predecir un amplio rango de fenómenos, desde medidas económicas hasta diferentes aspectos del comportamiento humano. En física se utiliza para caracterizar la relación entre variables o para calibrar medidas.

Tanto en el caso de dos variables (regresión simple) como en el de más de dos variables (regresión múltiple), el análisis de regresión lineal puede utilizarse para explorar y cuantificar la relación entre una variable llamada dependiente (Y) y una o más variables independientes o predictoras (X_1, X_2, \dots, X_k), así como para desarrollar una ecuación lineal con fines predictivos. Además, el análisis de regresión lleva asociados una serie de procedimientos de diagnóstico (análisis de residuos, puntos de influencia) que informan sobre la estabilidad e idoneidad del análisis que proporcionan pistas sobre cómo perfeccionarlo.

El modelo de regresión lineal simple está definido por la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

Donde:

Y = Variable Respuesta

β_0 = Intersección de la línea de regresión con el eje Y (ordenada al origen)

β_1 = Pendiente de la línea de regresión

x = Variable predictoria (constante conocida)

ε = Es una variable aleatoria que representa el error de la estimación.

En el caso de que el análisis requiera más de una variable predictora el modelo se denominaría de regresión lineal múltiple y está definido por la siguiente ecuación.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

El objetivo es estimar los parámetros desconocidos en el modelo de regresión ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$) para tal efecto existen varias técnicas, la de mínimos cuadrados es una de las de mayor aplicación. Sin embargo, y no siendo de particular importancia para el objetivo del estudio solamente se nombrará.

Para la aplicación particular de este trabajo de investigación el método usado es regresión lineal múltiple con la siguiente ecuación:

$$D_{total} = \beta_0 + \beta_1 D_{compu_1} + \beta_2 D_{ilumInt_2} + \beta_3 D_{ilumExt} + \varepsilon$$

Donde:

D_{total}	= Demanda de energía eléctrica total del edificio (kW)
D_{comp}	= Demanda de energía eléctrica por uso final del sistema de computo (kW)
D_{lumInt}	= Demanda de energía eléctrica por uso final del sistema de iluminación interior (kW)
D_{lumExt}	= Demanda de energía eléctrica por uso final del sistema de iluminación exterior (kW)

Existen supuestos que se deben de cumplir en la regresión, en caso contrario pueden existir errores de interpretación de los resultados:

1. La variable respuesta Y tiene distribución condicional (es decir para cada valor $X=x$) que es normal. Esto equivale a decir que “los residuos deben tener distribución de probabilidad normal”.
2. La varianza condicional (es decir para cada valor $X=x$) de la variable respuesta debe ser constante. Esto equivale a decir “los residuos tienen varianza constante para todos los valores de X”.
3. Los valores de la respuesta deben ser probabilísticamente independientes. Es decir, los residuos correspondientes a distintas observaciones deben ser no correlacionados (ausencia de autocorrelación).

Para determinar que no exista dependencia en los residuos existe el estadístico Durbin-Watson (DW) oscila entre 0 y 4, y toma el valor 2 cuando los residuos son independientes, los valores menores de 2 indican autocorrelación positiva y los mayores a 2 autocorrelación negativa. En alguna bibliografía refieren que la independencia entre los residuos se presenta cuando DW toma valores entre 1.5 y 2.5.

Asimismo, el coeficiente de determinación (R^2) es una medida de la variabilidad de y sin considerar el efecto de la variable regresora, los valores de R^2 cercanos a 1 implican que la mayor parte de la variabilidad de y está explicada por el modelo de regresión. Adicionalmente, para obtener un modelo confiable la cantidad de datos es un factor importante para cumplir con los supuestos. Otro estadístico importante para la interpretación de la regresión es el “p_value” o nivel de significancia se define como la probabilidad de rechazar la hipótesis nula, la cual se refiere a desechar y por lo tanto sacar del modelo a alguna de las variables regresoras, por convención se adopta un valor menor de 0.05 para aceptar la hipótesis, es decir, que la variable regresora explica el modelo y por lo tanto se conserva en el modelo.

Tomando en cuenta los supuestos a cumplir para realizar la regresión lineal con los datos de entrada obtenidos a través de las mediciones de parámetros eléctricos realizadas al Edificio del Instituto de Investigaciones Antropológicas, como se refirió anteriormente es el único edificio con el que se cuenta con información suficiente para realizar la modelación.

Para este trabajo se cuenta con la información de todo el año 2007 con mediciones de demanda eléctrica llevadas a cabo cada 5 minutos durante las 24 horas del día los 365 días del año, teniendo 105,000 datos de cada una de las variables predictoras. Los resultados obtenidos al llevar a cabo la regresión se presentan el capítulo VI.

Capítulo III. Evaluación arquitectónica

En el presente capítulo se describe la evaluación arquitectónica, como se mencionó en el capítulo anterior, consistió principalmente en el cálculo de la ganancia de calor de la envolvente de los edificios, a través de un programa específico para tal caso. Se cuantificó la ganancia térmica de los edificios conforme a los lineamientos que la norma establece. Es importante señalar que la valoración de los edificios se realizó acorde con la norma a pesar de que ésta sólo aplica para edificaciones nuevas o ampliaciones en edificaciones ya existentes. Bajo estos criterios, se evaluaron todos los edificios.

El edificio del **Instituto de Investigaciones Antropológicas** se conforma de la siguiente manera:

Los muros, de todas las plantas del edificio están contruidos con concreto armado aparente. Los muros divisorios están desplantados con panel de yeso conocidos por su nombre comercial como “tablaroca”, con un acabado final de pintura vinílica blanca.



FOTO N° 1.

Acceso principal. fachada sur poniente.



FOTO N° 2.

Fachada interna oriente.

La fachada sur poniente del instituto, que corresponde al acceso principal, está constituida por dos porciones principales, la sur y poniente, ambas contruidas con concreto armado aparente de 20 cm de espesor. La porción sur tiene una

trabe de 2.40 m de altura desplantada a 3.60 m con respecto a nivel de piso terminado, que actúa como volado, lo cual genera sombra sobre las puertas de cristal del acceso durante prácticamente todo el día. La trabe está rotada 45° con respecto a la orientación poniente.



FOTO N° 3.
Fachada interna poniente



FOTO N° 4.
Fachada interna oriente

En la fachada interna poniente del inmueble se aprecia como las losas de los pasillos actúan como elementos sombreadores en todas las fachadas internas del edificio, (claustro del mismo).



FOTO N° 5.
Fachada interna sur.



FOTO N° 6.
Fachada interna sur, otro ángulo de perspectiva

De acuerdo con los resultados obtenidos por el programa de cómputo, el edificio del Instituto de Investigaciones Antropológicas cumple con los parámetros establecidos por la norma NOM-008-ENER-2001, y tiene una eficiencia energética arquitectónica de 76.67% por arriba del edificio prototipo normativo.

El edificio de la **Biblioteca “Antonio Caso” de la Facultad de Derecho** se conforma por: los muros ciegos de la planta baja del edificio están desplantados con tabique rojo recocido, unidos con mortero cemento-arena y aplanados con el mismo mortero y pintura vinílica blanca como acabado final.



FOTO N° 7.
Fachada oriente



FOTO N° 8.
Fachada oriente 2

En la fachada oriente, el inmueble a partir de la primera planta, tiene cinco porciones de muro rotados 45° con respecto al muro de desplante, y están contruidos con concreto armado martelinado aparente con un pigmento rosa como agregado y acabado final. En la segunda porción, de la misma fachada, existen muretes de tabique rojo recocido aparente y las ventanas están constituidas por cancelería de aluminio negro anodizado y cristales claros de 6 mm de espesor, remetidas 60 cm con respecto al paño exterior de los muretes. En la parte superior de las ventanas se encuentran unos parteluces de aluminio inclinados 45° con respecto a la horizontal.

La fachada norte es prácticamente ciega en su totalidad, con una celosía que se desplanta a partir de la primera planta y que está en el tercer cuarto de la longitud del inmueble. El tabique rojo recocido vidriado aparente es el material con el cual está construida; hay una saliente que alberga, en el remetido, un

ventanal de piso a techo en el primero y segundo nivel, en el muro ciego, a la fachada en cuestión está rotado 45° con respecto a la vertical de la fachada está inscrita la leyenda “BIBLIOTECA”.



FOTO N° 9.
Fachada norte



FOTO N° 10.
Fachada norte 2

La fachada sur del inmueble está constituida por muretes de tabique rojo recocado vidriado aparente, similar a la fachada oriente, así mismo el remetimiento de las ventanas es de 60 cm y el material de las mismas es aluminio anodizado en la cancelería y cristal claro de 6 mm. También cuenta con el sistema de parteluces similar a la fachada opuesta. La fachada sur es de colindancia construida con tabique rojo aplanado con mortero cemento arena.



FOTO N° 11.
Fachada poniente

El edificio de la Biblioteca Antonio Caso de la Facultad de Derecho cumple con los parámetros establecidos por la norma NOM-008-ENER-2001, y tiene una

eficiencia energética arquitectónica de 36.75% por arriba del edificio prototipo normativo.

El edificio de la **Dirección General CCH** se conforma de la siguiente manera: los componentes del muro del edificio están compuestos por tabique rojo recocido unido con mortero cemento-arena. Teniendo en cuenta que algunas partes tienen como recubrimiento exterior, mosaico bizantino con capa de pintura vinílica. Además, cuenta con un muro de piedra basalto en la fachada poniente.



Foto No. 12
Fachada sur y poniente del edificio.



Foto No. 13
Fachada sur del edificio, acceso secundario.

El componente principal de la ventana del edificio es vidrio y se encuentra en la mayor parte del edificio. Los componentes del techo son: Concreto armado como elemento resistente, ladrillo común unido con mortero cemento-arena y una capa asfáltica de impermeabilizante rugoso.



Foto No. 14
Fachada norte e interna poniente (patio) del edificio



Foto No. 15
Parte de la fachada principal oriente del edificio.



Foto No. 16
Parte del techo del edificio.

De acuerdo con los resultados arrojados por el software, el edificio de la Dirección General de CCH no cumple con los parámetros establecidos por la norma NOM-008-ENER-2001. Los valores de ganancia por conducción y por radiación sobrepasan los valores del edificio de referencia creado por el software.

El *Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras* cuenta con dos edificios, el edificio A se conforma de la siguiente manera:

Los muros ciegos del edificio están desplantados con bloques extruidos huecos vidriados unidos con mortero cemento-arena. Los muros perimetrales de la planta baja están repellados con mortero cemento arena acabado rugoso con pintura vinílica blanca como terminado final.



FOTO No. 17
Fachada poniente del edificio A.



FOTO No. 18
Fachada norte del edificio A.

FOTO No. 19
Fachada oriente del edificio A.



Edificio B del CELE tiene: los muros perimetrales de los niveles subsecuentes contruidos con paneles de asbesto en la cara exterior y módulos de madera dura en la cara interior, con una estructura portante de metal, formando marcos rígidos en todo el perímetro en ambos edificios tiene la función de ser la manguetería de los cristales, los cuales en ambos inmuebles son claros de 6 mm de espesor, y sólo en algunos casos como en el acceso de la biblioteca (edificio B), la fachada sur de la mediática (edificio B) y las escaleras secundarias del edificio A tienen una película plástica autoadherible reflejante para evitar la incidencia de la radiación solar.

Las losas de azotea (ambos casos) son de concreto armado como elemento resistente, y ladrillo rojo recocido unido con mortero cemento-arena y una capa asfáltica rugosa como sistema de impermeabilización.



FOTO No. 20
Fachada norte del edificio B



FOTO No. 21
Fachada Poniente del edificio B.



FOTO No. 22
Parte de la fachada sur



FOTO No. 23
Fachada posterior del edificio B

De acuerdo con los resultados arrojados por el programa de cómputo, los edificios del Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras no cumplen con los parámetros establecidos por la norma NOM-008-ENER-2001. Los valores límite de referencia, por conducción y radiación sobrepasan los valores del edificio de referencia.

Se identificó la losa de azotea como uno de los elementos con mayor aportación solar, esto hace que se tenga una alta ganancia por conducción debido principalmente a las características de los materiales de la cubierta del edificio. Adicionalmente, la ganancia por radiación excede los niveles de referencia, por la gran cantidad de ventanas que existen en las fachadas sur y poniente (oeste).

El **Instituto de Química** cuenta con varias edificaciones y son analizadas por separado.

El edificio A (principal) tiene la fachada principal orientada hacia el sureste, una superficie acristalada de 154.65 m^2 , conformada por las puertas de ingreso y las ventanas de las plantas baja y alta. Los muretes bajo las ventanas son de concreto armado, con un espesor de 15 cm, salvo en la sección de la derecha de la fachada, las cuales son de tabique extruido vidriado aparente de color rojo, con un espesor de 30 cm.

Todas las columnas son de concreto armado aparente pero, tiene diferentes secciones, las columnas centrales son de sección circular, y las de los extremos

son de sección rectangular. Los muros de esta fachada tienen 135.75 m^2 en total, y la superficie conjunta entre muros y ventanas corresponde a 290.40 m^2 .



FOTO No. 24

Fachada de acceso, cuya orientación es sureste



FOTO No. 25

Continuación de la fachada de acceso, cuya orientación es sureste.

La fachada posterior del edificio A tiene orientación oeste, la superficie total es de 285.70 m^2 , de los cuales 234.70 m^2 son muros y 51.00 m^2 son ventanas. Los muros son de tabique extruido vidriado aparente color blanco, los muretes que están debajo de las ventanas son de concreto armado aparente así como las columnas. Los cristales de las ventanas son claros de 6 mm de espesor.

Cabe destacar que existen dos pequeñas construcciones adosadas a la fachada, las cuales alojan los UPS (unidad de suministro de potencia) del edificio A y en la otra maquinaria.



FOTO No. 26

Fachada de posterior cuya orientación es oeste.



FOTO No. 27

Continuación de la fachada de posterior cuya orientación es oeste.

Las fachadas norte y sur son similares en su forma, dimensiones y materiales, y son simétricas en su disposición. La superficie total de cada una de ellas es de 581.80 m², de los cuales 304.80 son muros y 277.00 m² son ventanas. Los muretes, columnas, traveses y pretilas son de concreto armado aparente, y los cristales son claros de 6 mm. Cabe destacar la cantidad de árboles que se encuentran en la fachada sur, lo que ayuda a disminuir la radiación solar a través de los vidrios de las ventanas.



FOTO No. 28

Fachada externa lateral sur, donde destaca la cantidad de árboles.



FOTO No. 29

Fachada externa lateral norte.

El edificio A del IQ también tiene cuatro fachadas internas, las cuales están construidas de concreto armado en muretes, columnas, trabes y pretiles. Todos los cristales de las ventanas son claros de 6 mm, a excepción de la ventana de la PB, de la fachada oeste, que tiene una película polarizada autoadherible.



FOTO No. 30
Fachada interna lateral norte.



FOTO No. 31
Fachada interna lateral sur.



FOTO No. 32
Fachada interna oeste.

El edificio de cuartos de máquinas está construido con columnas de concreto armado aparente, las trabes y la losa de azotea. Los muros tanto externo como internos son divisorios y son de tabique extruido vidriado aparente color blanco.

El edificio está emplazado con una orientación norte-sur, y las fachadas de mayores dimensiones son la oeste y la este. En la fachada este se encuentran todos los accesos a los distintos locales del inmueble, dichos locales son: cuarto de refrigeradores, subestación eléctrica, compresores, cuarto de destilación, baños de hombres y mujeres y el comedor de empleados. Los cristales de esta fachada son claros de 6mm, todos en mal estado de limpieza, salvo la puerta de vidrio del comedor de empleados.

La fachada oeste cuenta con una puerta metálica, que da acceso al cuarto donde se aloja la caldera y otra de madera que está en el cuarto de refrigeradores, la cual se encuentra clausurada. El estado de los vidrios de las ventanas es el mismo que el de la fachada este, sin ningún tipo de limpieza.

La fachada sur es ciega y está construida con tabique vidriado, con columnas de concreto armado a los lados. La fachada norte cuenta con una ventana al centro que permite el paso de luz natural al comedor de empleados. Dicho edificio prácticamente no cuenta con actividad humana, salvo el comedor de empleados en horas muy específicas.



FOTO No. 33

Fachada este del edificio del cuarto de máquinas.



FOTO No. 34

Vista lateral edificio del cuarto de máquinas.

**FOTO No. 35**

Fachada norte del edificio del cuarto de máquinas.

El **edificio C** de laboratorios tiene cuatro fachas las cuales miden:

- Fachada oeste: 235.20 m² totales, de los cuales 135.45 m² corresponden a muros y 99.75 m² a ventanas. En la mitad de esta fachada se cuenta con un volado que sirve de pasillo exterior, lo cual reduce la radiación en esa sección de la fachada.
- Fachada este: 261.90 m² totales, de los cuales 192 m² corresponden a muros y 69.90 m² corresponden a ventanas.
- Las fachadas norte y sur solo tienen macizo y cada una tiene 36.75 m².

Debido a la gran cantidad de ventanas al oeste, que son de piso a techo, el edificio C tiene ganancia de radiación solar, aunque dichos vidrios tengan una película autoadherible reflejante. La fachada este tiene una gran porción de ventanas, las cuales tienen una película autoadherible polarizada.

Las fachadas norte y sur están construidas con tabique vidriado aparente color blanco, sin ventanas.



FOTO No. 36
Fachada este del edificio C de laboratorios



FOTO No. 37
Fachada norte del edificio C de laboratorios.



FOTO No. 38
Vista lateral de la fachada oeste del edificio



FOTO No. 39
Vista de la fachada sur del edificio

La **Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT)**, también conocida como Torre de destilación tiene cuatro fachadas, las cuales están conformadas de la siguiente manera:

- Fachada norte: 45.15 m² totales, 45.15 m² de muros.
- Fachada sur: 45.15 m² totales, 41 m² de muros, 4.15 m² de ventanas.
- Fachada oeste: 68.20 m² totales, 68.20 m² de muros.
- Fachada este: 68.20 m² totales, 62.90 m² de muros, 9.45 m² de ventanas.

El edificio de la **UDT** opera durante 3 hrs diarias. El edificio es frío por los materiales usados en su construcción: concreto armado y el tabique hueco vidriado, el ambiente es húmedo por la destilación de diversas sustancias. Al contar con pocas ventanas la radiación solar en su interior es baja.



FOTO No. 40
Fachada sur de la UDT.



FOTO No. 41
Fachada lateral este de la UDT.

El comedor de investigadores está configurado en sus fachadas de la siguiente manera:

- Fachada norte: 40 m² totales, 13 m² de muros, 27 m² de ventanas.
- Fachada sur: 40 m² totales, 18.50 m² de muros, 21 m² de ventanas.
- Fachada oeste: 21 m² totales, 5.80 m² de muros, 15.20 m² de ventanas.
- Fachada este: 21 m² totales, 6.85 m² de muros, 14.15 m² de ventanas.

El comedor de empleados prácticamente es una caja de cristal, a pesar de la cantidad de árboles que se encuentran en la parte sur de la fachada, no cumple con la NOM 008.

De acuerdo a los resultados obtenidos por el programa de cómputo, los edificios del Instituto de Química que cumplen con los parámetros establecidos por la norma NOM-008-ENER-2001, y tienen una eficiencia energética arquitectónica son:

El edificio del cuarto de máquinas cuenta 94.88% por arriba del edificio prototipo normativo.

La Unidad de Desarrollo Tecnológico UDT, también conocida como Torre de destilación con 115.88% por arriba del edificio prototipo normativo.

Los edificios que no cumplen con los parámetros establecidos por la Norma son:

- El edificio A ó principal.
- El edificio C de laboratorios.
- El comedor de investigadores.

La información recabada y analizada por cada uno de los edificios, nos proporciona ciertos datos individuales, y conclusiones, particulares, sobre si cada uno de los edificios cumple con la normatividad mencionada.

Sin embargo, analizar la información arrojada de los resultados en conjunto nos proporcionará datos para llegar a conclusiones generales. El análisis mencionado se muestra en el capítulo V.

Capítulo IV. Evaluación energética

En el presente capítulo se describe la evaluación energética llevada a cabo en cada uno de los cinco edificios estudiados aplicando la metodología descrita con anterioridad. Detallando, en cada etapa del diagnóstico los resultados obtenidos de manera de individual: datos generales, datos eléctricos, uso general de la energía, niveles de iluminación e indicadores energéticos. Cabe mencionar que en los diagnósticos realizados se evaluaron las medidas de ahorro de energía por sustitución del sistema de iluminación y, que no son comentados en este capítulo. Sin embargo, la consulta de los diagnósticos completos se puede consultar en el anexo 2.

El Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras

- **Datos generales**



Cuenta con dos edificios en un área construida total de 5,455 m² con un horario de servicio de 8:00 a 21:00 horas entre semana únicamente. El edificio A tiene principalmente cubículos de uso administrativo y de investigación, laboratorios de idiomas, auditorio y aulas.

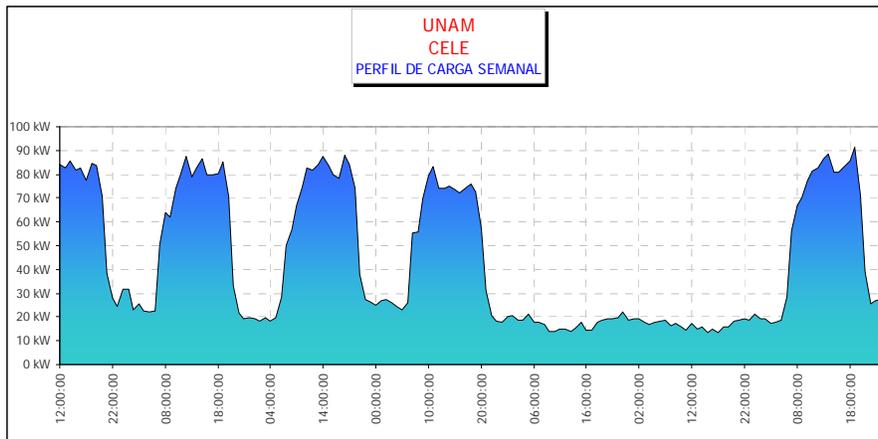
El edificio B cuenta con principalmente con aulas, cubículos administrativos, biblioteca, auditorio y la mediateca.

- **Datos eléctricos**

De la medición de los principales parámetros eléctricos se determinó que la demanda máxima es de 91 kW, con un consumo promedio estimado mensual de 29,802 kWh, se detectó un desbalanceo de cargas promedio de 27%. El factor de potencia en promedio se encuentra por arriba del 90%. Ver gráficas 1 a la 3 para los perfiles de carga del edificio.

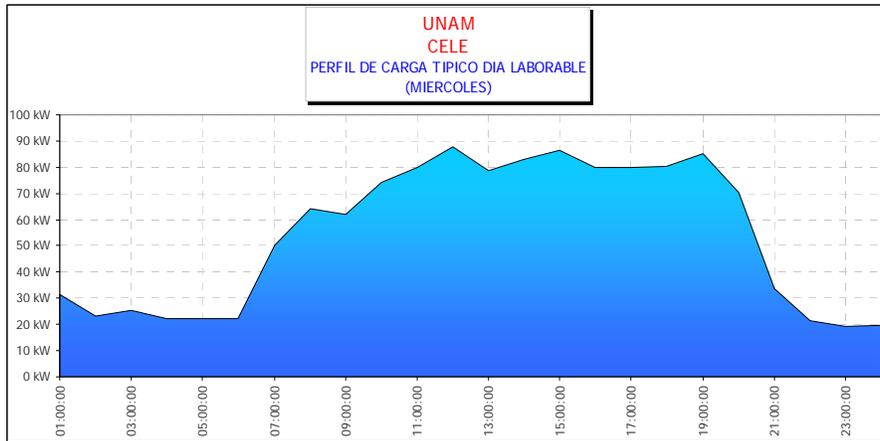


Gráfica 1
Perfil de carga semanal



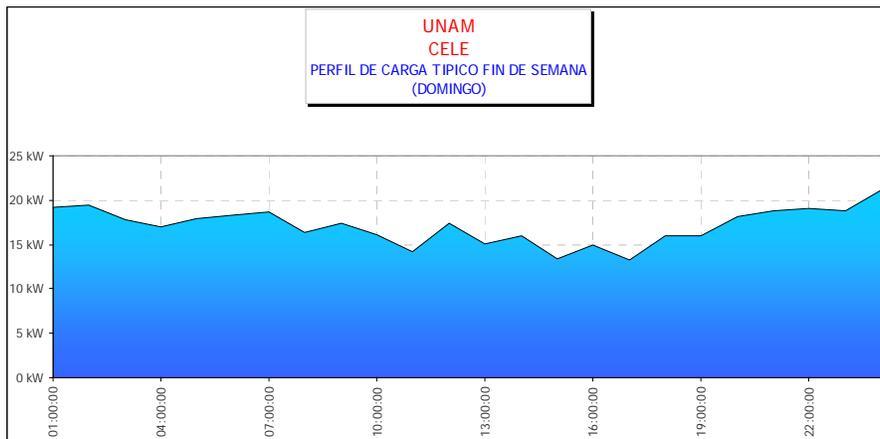
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2
Perfil de carga día hábil



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3
Perfil de carga día NO hábil



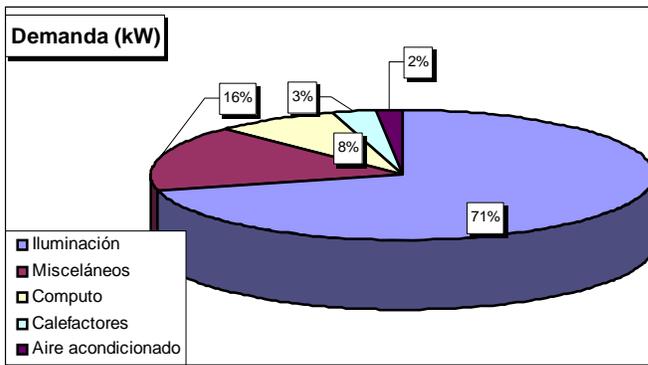
Fuente: Elaboración propia.

En las gráficas anteriores se observa un comportamiento uniforme, con el horario de entrada y salida definidos. El día no hábil, domingo, la carga representa el 18.6% de la demanda máxima medida, dato que corrobora la no actividad en los edificios.

- **Uso general de la energía**

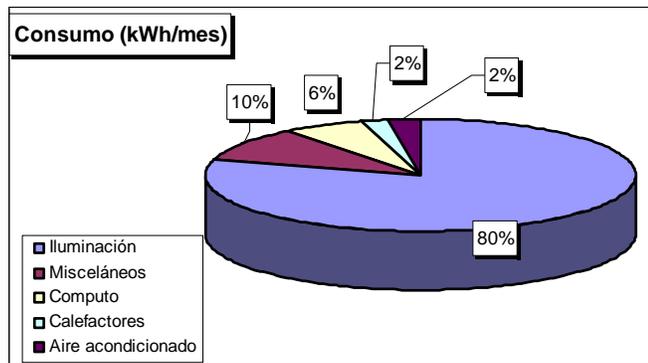
El CELE tiene como principales cargas la iluminación interior, cómputo y misceláneos propios de un edificio con uso de aulas (reguladores, ventiladores, grabadoras, televisiones y video caseteras, máquinas de escribir, sacapuntas, enfriador-calentador) y equipos de acondicionamiento de aire y calefacción. Ver gráficas 4 y 5 para la distribución de las cargas tanto en demanda como en consumo, respectivamente.

Gráfica 4
Distribución de Demanda eléctrica (kW)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5
Distribución de Consumo eléctrico (kWh/mes)



Fuente: Elaboración propia.



Sistema de iluminación



Equipo misceláneo



Equipo de cómputo

- **Niveles de iluminación**

Para evaluar los niveles de iluminación dentro de las instalaciones del CELE, se procedió a realizar mediciones con un luxómetro digital debidamente calibrado en todas las áreas de aulas, oficinas y servicios. En la Tabla 1 se presentan los valores obtenidos y su referencia con la NOM-025-STPS-1999 y las recomendaciones internacionales de la Illuminating Engineering Society of North America (IES).

Tabla 1
Niveles de Iluminación (luxes)

ÁREAS	Natural y artificial	Natural	Nocturna	NOM-025-STPS	IES
AULA	800	320	107	300	200-300-500
SERVICIOS	962	393	99	50 - 200	50-75-100
OFICINAS	689	253	92	300	200-300-500

Oficinas, integra oficinas administrativas y cubículos

Servicios, agrupa a varios tipos de usos como: pasillos, almacenes, baños, escaleras, archivos, vestíbulos, bodega y recepción, etc.

Un edificio con uso preponderante en aulas el nivel de iluminación es importante. En la tabla se observa que los valores promedio obtenidos en la medición con luz natural y artificial comparándolos con los de la normatividad nacional, para todas las zonas se encuentran por arriba. Sin embargo, las lecturas confiables son las que se llevan a cabo en horario nocturno y estas se encuentran por debajo a lo que estable la normatividad nacional y las recomendaciones internacionales.

- **Indicadores energéticos**

En las tablas 2 y 3 se presentan los indicadores energéticos por consumo y medición obtenidos de los levantamientos realizados.

Tabla 2
Indicadores energéticos

Superficie (m ²)	Medición				ICEE estimado por censo (kWh/m ² -año)					
	Consumo mensual	Demanda	ICEE	DPEA	Iluminación	Misceláneos	Computo	Calefactores	A/C	Suma
5455	29,802	91	65.56	16.68	46.98	5.97	3.57	1.24	1.44	59.19
	30,252	91	66.55	16.68						

Mediciones realizadas en dos ocasiones en meses diferentes por siete días consecutivos

Tabla 3
Indicadores energéticos (2)

DPEA estimado por censo (W/m ²)				
Iluminación	Misceláneos	Computo	Calefactores	A/C
19.91	16.38	6.53	6.91	4.14

NOTAS: ICEE índice de consumo de energía eléctrica
DPEA Densidad de potencia eléctrica por área

Los indicadores energéticos son utilizados como referencias para su comparación entre edificios con el mismo tipo de uso, “benchmarking”, en este caso podemos comparar con la normatividad vigente y solamente un valor, la densidad de potencia eléctrica por alumbrado es posible comparar. Éste se encuentra en 19.9 W/m², valor superior a los 16 W/m² establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2005, "Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios no Residenciales". El índice de consumo total calculado en el edificio es de 59.19 kWh/m²-año, dato que puede ser utilizado para comparar otras edificaciones con el mismo tipo de uso. Para llevar a cabo el estudio energético se conectó el equipo de medición en dos ocasiones (septiembre y diciembre). Se observó que los valores de los indicadores no presentan variación significativa.

El Instituto de Investigaciones Antropológicas

- **Datos generales**



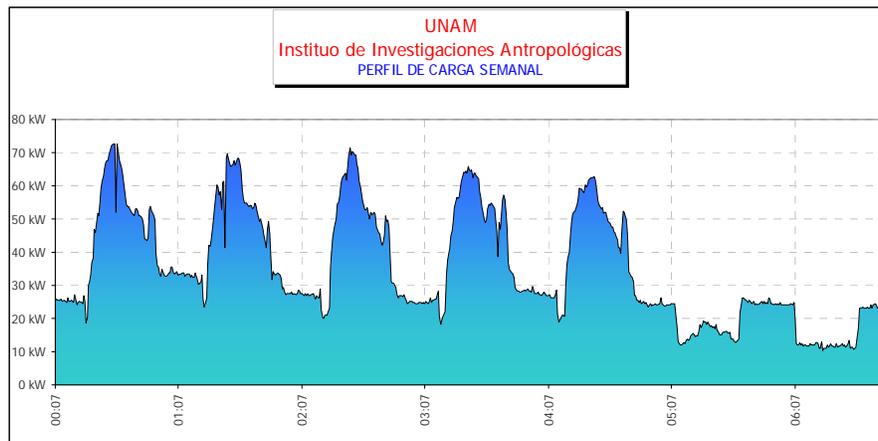
El edificio del Instituto cuenta con un área total construida de 8,099 m² y tiene un horario de operación de lunes a viernes de las 09:00 a las 19:00 horas, las curvas de demanda muestran que existe actividad a partir de las 7:00 am y después del horario oficial hasta las 20:00 horas.

- **Datos eléctricos**

De la medición de los principales parámetros eléctricos se determinó que la demanda máxima es de 76.4 kW, con un consumo promedio estimado mensual de 24,983 kWh, se detectó un desbalanceo de cargas promedio de 38.55%. El factor de potencia en promedio se encuentra por arriba del 90%. Ver gráficas 6 a la 8 para los perfiles de carga del Instituto.

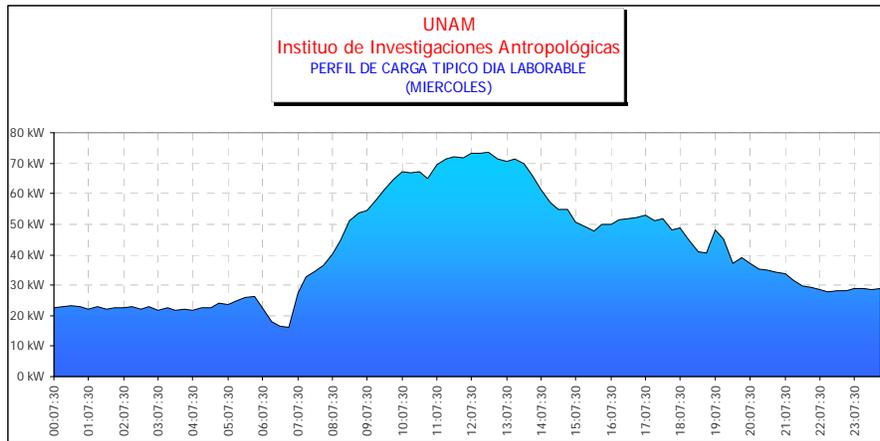


Gráfica 6
Perfil de carga semanal



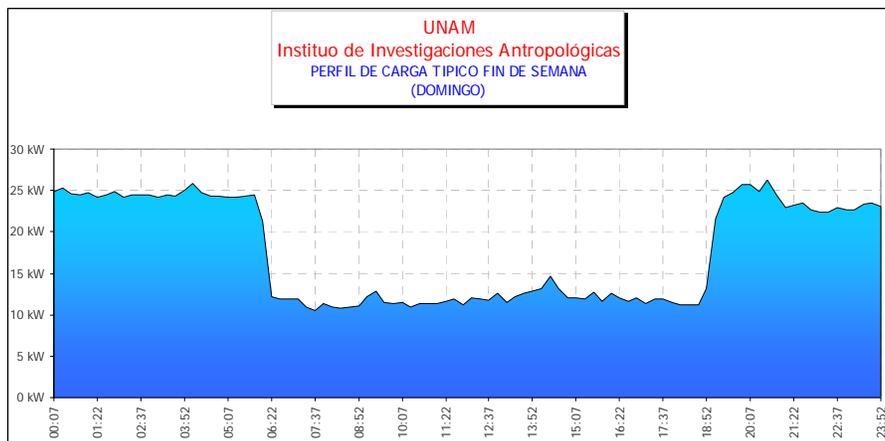
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 7
Perfil de carga día hábil



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 8
Perfil de carga día NO hábil

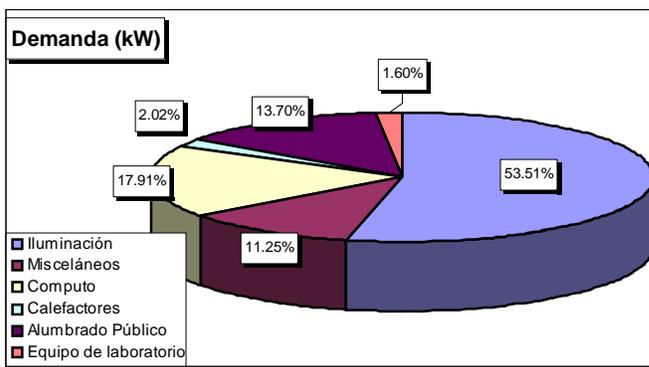


Fuente: Elaboración propia

En las gráficas anteriores se observa un comportamiento adecuado para el tipo de uso del edificio, es decir, conforme el edificio se va ocupando, la demanda va en aumento, disminuyendo en el horario de comida y de salida. El comportamiento de la gráfica para un día no hábil muestra que el alumbrado público es el sistema con mayor aportación en ese día.

- **Uso general de la energía**

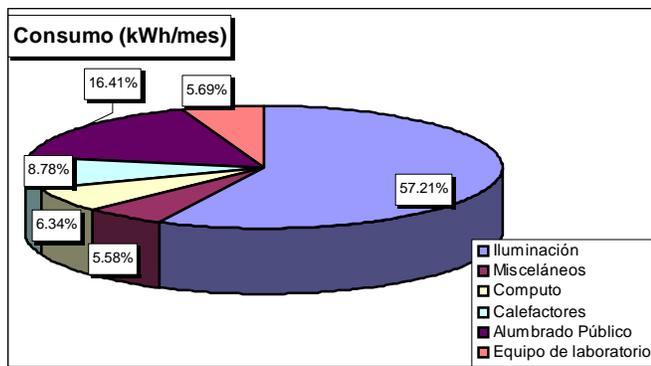
El Instituto tiene como principales cargas: iluminación interior, alumbrado público, misceláneos (equipo de oficina: cafeteras, ventiladores, radios, reguladores, refrigeradores, enfriadores-calentadores, fotocopiadoras, etc.), cómputo, equipos de laboratorio y calefacción. Ver gráficas 9 y 10 para la distribución de las cargas en demanda como en consumo, respectivamente.



Gráfica 9
Distribución de Demanda eléctrica (kW)

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 10
Distribución de Consumo eléctrica (kWh/mes)



Fuente: Elaboración propia.



Equipo misceláneo

Equipo de laboratorio



- **Niveles de iluminación**

En la Tabla 4 se presentan los valores obtenidos de niveles de iluminación y su comparación contra la normatividad vigente nacional y una referencia internacional que se toma como recomendación.

Tabla 4
Niveles de Iluminación (luxes)

Zona	Natural y artificial	Natural	Nocturna	NOM025-STPS	IES
AULA	167	6	---	300	200-300-500
LABORATORIOS	410	252	17	500	500-750-1000
OFICINAS	593	331	166	300	200-300-500
SERVICIOS	248	81	44	200	50-75-100

Oficinas, integra oficinas administrativas y cubículos

Servicios, agrupa a varios tipos de usos como: pasillos, almacenes, baños, escaleras, archivos, vestíbulos, bodega y recepción, etc.

Como se puede observar los valores promedio obtenidos en la medición con luz natural y artificial comparándolos con los de la normatividad nacional, la zona de aulas está por debajo de lo indicado. En el caso de las lecturas nocturnas ninguna de las zonas se encuentra dentro de los límites y en algunos casos como es la zona del laboratorio es alarmante el nivel de iluminación tan bajo.

Para el caso de la normatividad internacional comparándola con las lecturas hechas con luz natural y artificial, las zonas de oficinas y servicios se encuentran dentro de los valores recomendados, mientras que para las zonas de aulas y laboratorios están ligeramente por abajo.

En el caso de las lecturas nocturnas, éstas se encuentran debajo de lo que normatividad internacional recomienda, siendo la zona de laboratorios la más impactada.

- **Indicadores energéticos**

En las tablas 5 y 6 se presentan los indicadores energéticos por consumo y medición obtenidos de los levantamientos realizados.

Tabla 5
Indicadores energéticos

Superficie (m ²)	Medición				ICEE estimado por censo (kWh/m ² -año)						
	Consumo mensual	Demanda	ICEE	DPEA	Iluminación	Iluminación exterior	Misceláneos	Computo	Calefactores	Eq. Lab	Suma
8,099	24,983	76	37.02	9.44	19.53	5.60	1.90	2.16	3.00	1.94	34.14
	21,908	80	32.46	9.88							
	24,244	81	35.92	10.00							
	26,371	81	39.07	10.00							

Mediciones realizadas en cuatro ocasiones en diferentes meses del año y por periodos diferentes

Tabla 6
Indicadores energéticos (2)

DPEA estimado por censo (W/m ²)					
Iluminación	Iluminación exterior	Misceláneos	Computo	Calefactores	Eq. Laboratorio
13.65	1.43	7.06	5.59	0	1.8

NOTAS: ICEE índice de consumo de energía eléctrica
DPEA Densidad de potencia eléctrica por área

Los indicadores energéticos son una herramienta para llevar a cabo el seguimiento del comportamiento energético de los edificios y realizar una comparación entre edificios del mismo uso.

El índice energético calculado total por medición en el edificio del Instituto es de 37 kWh/m²-año. Se llevaron a cabo cuatro mediciones en diferentes épocas del año, observándose que no existe una dispersión significativa en los valores de los indicadores.

La densidad de potencia eléctrica por alumbrado se encuentra en 13.65 W/m², valor inferior a los 16 W/m² establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2005, "Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios no Residenciales".

El hecho de que el índice de densidad de potencia eléctrica por área (DPEA) esté por abajo en un 15%, no refleja un uso eficiente de la energía eléctrica, de hecho refleja un nivel de iluminación inferior, como se aprecia en el punto anterior. Esto se debe en parte a un sembrado de lámparas inadecuado, así como, a la tecnología obsoleta (lámparas de tecnología T12 con balastos electromagnéticos convencionales), el estado en el que se encuentran las lámparas (falta de limpieza, fallando) y su tiempo de vida, además del equipo instalado que se encuentra fuera de operación.

La Biblioteca “Antonio Caso” de la Facultad de Derecho

- **Datos generales**



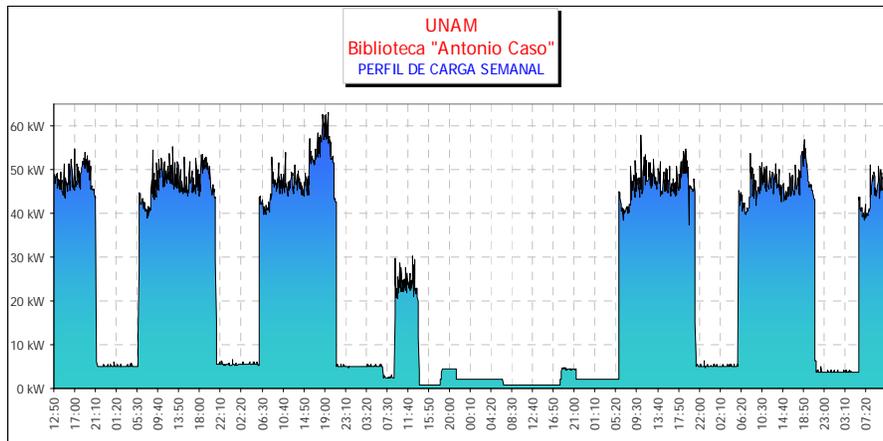
Cuenta con un área construida de 4,553.4 m² y tiene un horario de servicio de 09:00 a 21:00 horas entre semana y 09:00 a 14:00 horas el sábado. Su orientación es este - oeste y el área de ventanas ocupa 12% en la envolvente total del edificio. El suministro de energía eléctrica es por medio de una subestación la cual tiene instalado un transformador de 300 KVA.

- **Datos eléctricos**

De la medición de los principales parámetros eléctricos se determinó que la demanda máxima es de 63 kW, con un consumo promedio estimado mensual de 14,051 kWh, se detectó un desbalanceo de cargas promedio de 45%. El factor de potencia en promedio se encuentra por arriba del 90%. Ver gráficas 11 a la 14 para los perfiles de carga del edificio.

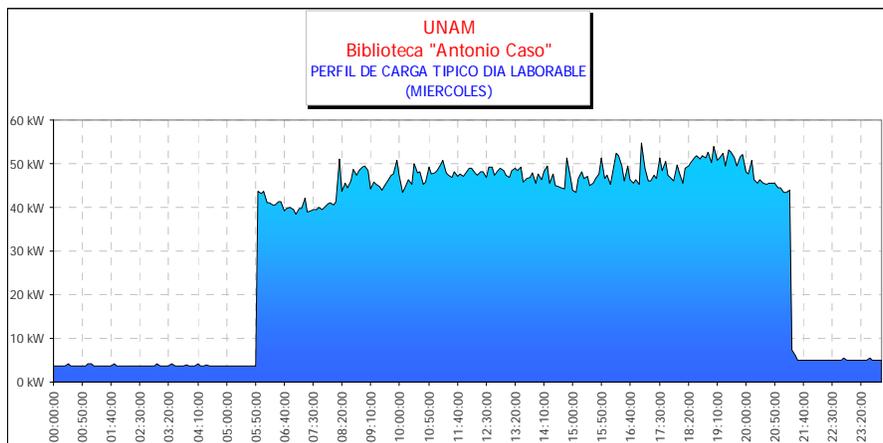


Gráfica 11
 Perfil de carga semanal



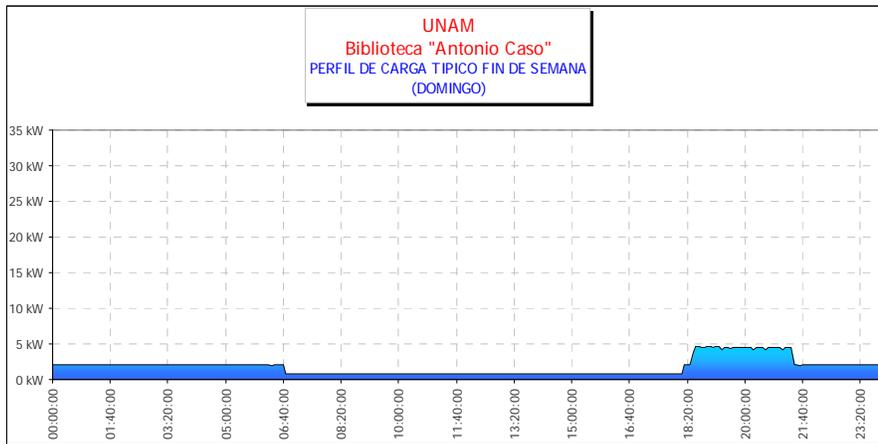
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 12
 Perfil de carga día hábil



Fuente: Elaboración propia

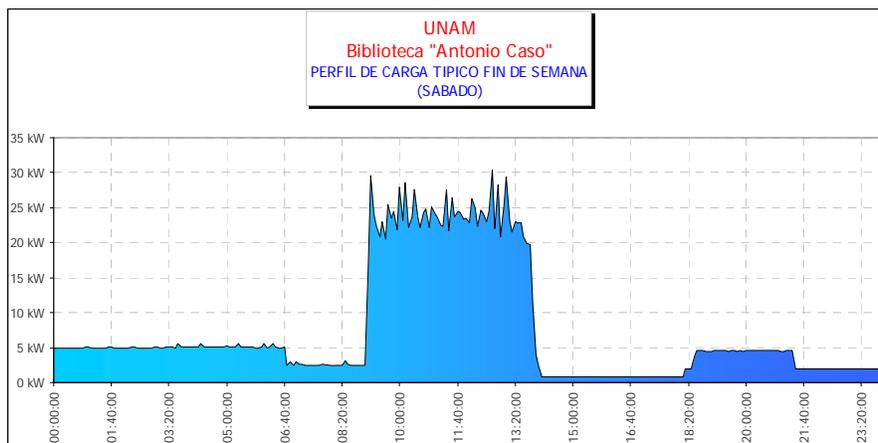
Gráfica 13
 Perfil de carga día NO hábil



Fuente: Elaboración propia

En las gráficas anteriores se observa un comportamiento uniforme, con el horario de entrada y salida definidos tanto en días hábiles, como en sábado. El día no hábil, domingo, la carga es mínima. Por lo tanto, y como demostró el levantamiento y el análisis del mismo, la carga más importante es la que corresponde al sistema de iluminación.

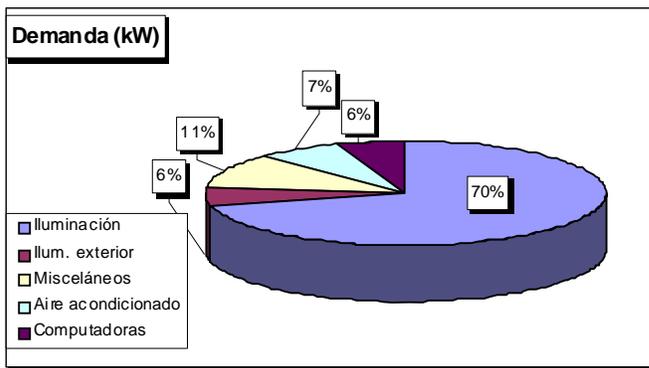
Gráfica 14
 Perfil de carga día NO hábil



Fuente: Elaboración propia

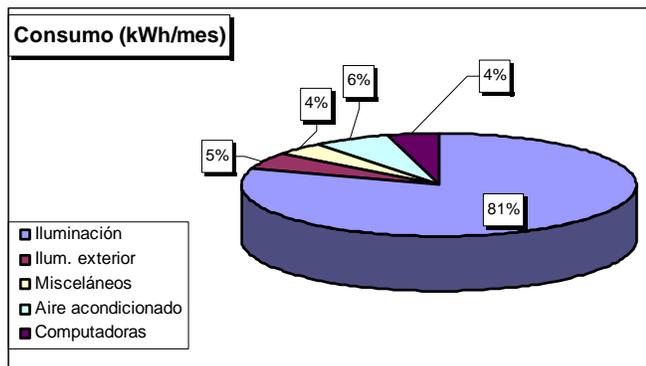
- **Uso general de la energía**

La Biblioteca tiene como principales cargas la iluminación interior, iluminación exterior o alumbrado público, computo, y equipos misceláneos propios de una biblioteca y equipos de aire acondicionado tipo minisplits y lavadoras de aire. Ver gráficas 15 y 16 para la distribución de las cargas tanto en demanda como en consumo, respectivamente.



Gráfica 15
Distribución de Demanda eléctrica (kW)

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 16
Distribución de Consumo eléctrico (kWh/mes)

Fuente: Elaboración propia.



Equipos misceláneos

Sistema de acondicionamiento ambiental



- **Niveles de iluminación**

En la Tabla 7 se presentan los valores obtenidos del análisis de niveles de iluminación y su comparación con la normatividad nacional y recomendaciones internacionales.

Tabla 7
Niveles de Iluminación (luxes)

	Zona	natural y artificial	natural	nocturna	NOM025-STPS	IES
Biblioteca	acervo	133	0	64	300	50-75-100
	catalogación	60	7	60		200-300-500
	consulta	151	22	59		500-750-100
	librería	124	0	124		n.d.
	sala de lectura	137	0	95		500-750-100
Zonas varias	oficina administrativa	281	193	29	300	200-300-500
	servicios generales	312	122	85	200	50-75-100

Salas: Comprende salas de juntas y de cómputo. Servicios, agrupa a varios tipos de usos como: pasillos, almacenes, baños, escaleras, archivos, vestíbulos y recepción, etc.

Por ser una biblioteca el nivel de iluminación es importante, como se observa en la tabla los valores promedio obtenidos en la medición con luz natural y artificial comparándolos con los de la normatividad nacional, para las zonas en la biblioteca, se encuentran por debajo. El mismo fenómeno se observa con las lecturas con iluminación nocturna.

• **Indicadores energéticos**

En las tablas 8 y 9 se presentan los indicadores energéticos por consumo y medición obtenidos de los levantamientos realizados.

Tabla 8
Indicadores energéticos

Superficie (m ²)	Medición				DPEA estimado por censo (W/m ²)				
	Consumo mensual	Demanda	ICEE	DPEA	Iluminación	Iluminación exterior	Misceláneos	Computo	A/C
4,553.40	14,051	63	37.03	13.90	15.53	1.36	9.40	2.10	9.79

Tabla 9
Indicadores energéticos (2)

Superficie (m ²)	ICEE estimado por censo (kWh/m ² -año)					
	Iluminación	Iluminación exterior	Misceláneos	Computo	A/C	Suma
4,553.40	32.54	2.11	1.71	1.74	2.58	40.68

NOTAS: ICEE índice de consumo de energía eléctrica
DPEA Densidad de potencia eléctrica por área

Como se comentó los indicadores energéticos son utilizados como referencias para su comparación entre edificios con el mismo tipo de uso, “benchmarking”, en este caso podemos comparar con la normatividad vigente y solamente un valor, la densidad de potencia eléctrica por alumbrado¹ es posible comparar. Éste se encuentra en 15.53 W/m², valor inferior a los 16 W/m² establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2005, "Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios no Residenciales".

¹ Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA). Índice de la carga conectada para alumbrado por superficie de construcción; se expresa en W/m²

La Dirección General de Colegios de Ciencias y Humanidades

- **Datos generales**



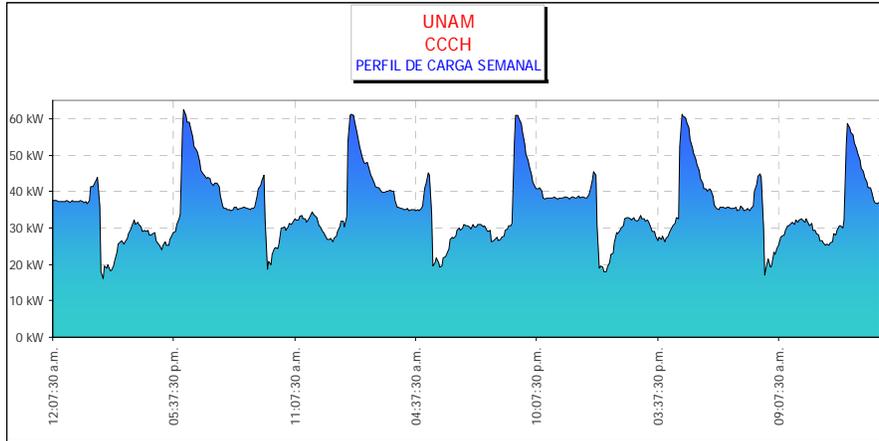
Cuenta con un área construida de 1,647.5 m² y tiene un horario de servicio (oficial) de 10:00 a 20:00 horas. Su orientación es norte - sur y el área de ventanas ocupa 27% en la envolvente del edificio. El suministro de energía eléctrica es por medio de una subestación la cual tiene instalado un transformador de 100 KVA

- **Datos eléctricos**



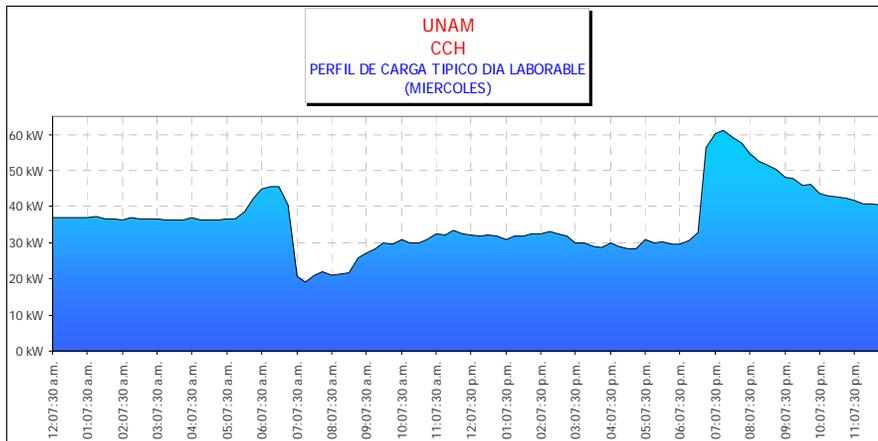
De la medición de los principales parámetros eléctricos se determinó que la demanda máxima es de 59 kW, con un consumo promedio mensual de 23,053 kWh, con un desbalanceo promedio de 23.56%. El factor de potencia en promedio se encuentra por abajo de 90%. Ver gráficas 17 a la 19 para los perfiles de carga del edificio.

Gráfica 17
Perfil de carga semanal



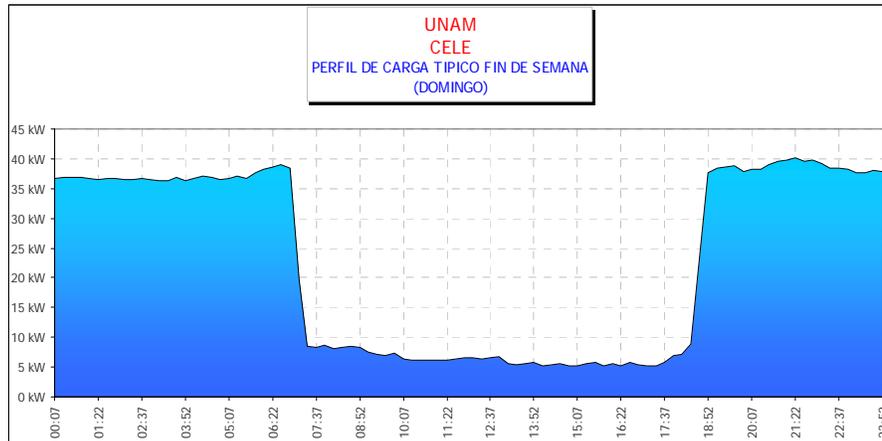
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 18
Perfil de carga día hábil



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 19
Perfil de carga día NO hábil



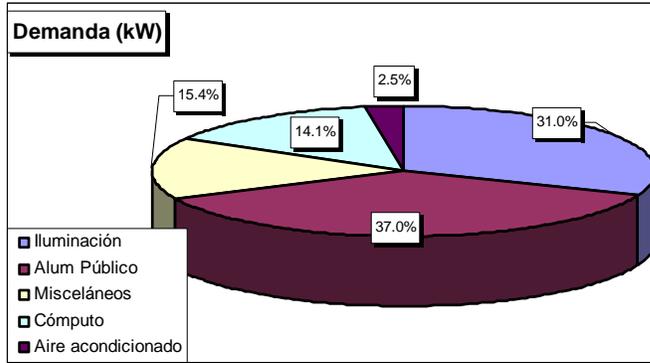
Fuente: Elaboración propia

El comportamiento de las gráficas implica que hay una carga importante en las noches, observándose picos de encendido y apagado, la carga también se presenta durante los fines de semana, por lo tanto se trata del alumbrado público o exterior.

- **Uso general de la energía**

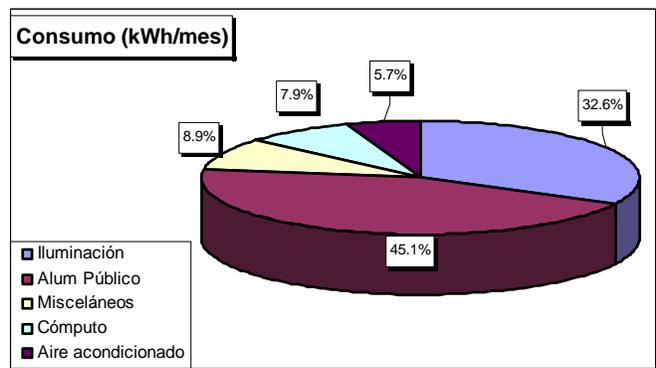
La Dirección General de CCH tiene como principales cargas la iluminación exterior o alumbrado público, iluminación interior, computo, equipos misceláneos propios de un edificio de uso predominantemente de oficinas administrativas, y equipos de aire acondicionado tipo minisplits. Ver gráficas 20 y 21 para la distribución de las cargas tanto en demanda como en consumo, respectivamente.

Gráfica 20
Distribución de Demanda eléctrica (kW)



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 21
Distribución de Consumo eléctrica (kWh/mes)



Fuente: Elaboración propia

Como se identificó en las mediciones la carga más importante es el sistema de alumbrado público, esta carga es atípica en un edificio con este tipo de uso.



Sistema de cómputo

- **Niveles de iluminación**

En la Tabla 10 se presentan los valores medidos de niveles de iluminación, así como su comparación entre las normas vigentes nacionales y las de referencia internacionales.

Tabla 10
Niveles de Iluminación (luxes)

ÁREAS	Natural y artificial	Natural	Nocturna	NOM-025-STPS	IES
OFICINAS	689	253	92	300	200-300-500
SERVICIOS	962	393	99	50 - 200	50-75-100
SALAS ^A	485	349	72	500	200-300-500
TALLERES	500	0	0	300	500

Las lecturas más importantes son las que se llevaron a cabo en horario nocturno, y como se ve en la tabla anterior el área que se encuentra dentro de los valores establecidos tanto para la normatividad nacional como para los valores recomendados internacionalmente es el área de servicios. Las otras zonas se encuentran por debajo de estos valores.

• **Indicadores energéticos**

En las tablas 11 y 12 se presentan los indicadores energéticos por consumo y medición obtenidos de los levantamientos realizados.

Tabla 11
Indicadores energéticos

Superficie (m ²)	Medición				DPEA estimado por censo (W/m ²)				
	Consumo mensual	Demanda	ICEE	DPEA	Iluminación	Iluminación exterior	Misceláneos	Computo	A/C
1,648	19,565	59	142.51	35.81	19.04	13.09	30.91	20.46	9.95
	18,594	64	135.44	38.64					
	18,779	65	136.78	39.62					

Tabla 12
Indicadores energéticos (2)

Superficie (m ²)	ICEE estimado por censo (kWh/m ² -año)					
	Iluminación	Iluminación exterior	Misceláneos	Computo	A/C	Suma
1,648	38.59	53.41	10.50	9.33	6.70	118.52

NOTAS: ICEE índice de consumo de energía eléctrica
DPEA Densidad de potencia eléctrica por área

El índice energético total calculado por medición es de 142.5 kWh/m²-año. Este indicador contempla el consumo del alumbrado público, el cual impacta de manera importante en el indicador general. Al discriminar esa carga el indicador del edificio sería de 89.1 kWh/m²-año.

La densidad de potencia eléctrica por alumbrado se encuentra en 19.0 W/m², valor superior a los 14 W/m² establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2005, "Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios no Residenciales".

Instituto de Química

- **Datos generales**



Cuenta con un área construida de 5,158.62 m² y opera normalmente con un horario de 7:00 a 21:30, laboran 293 personas entre investigadores, alumnos y personal administrativo y de mantenimiento.

El Instituto cuenta con cinco edificios: Edificio A, Edificio C, Comedor, la Torre de destilación y Cuarto de máquinas.

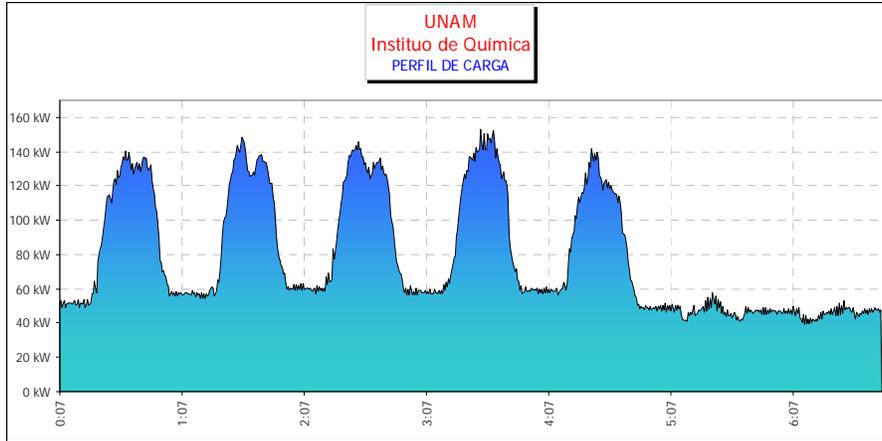
El Instituto tiene recintos destinados para servicios (generales, particulares y especiales), laboratorios y oficinas de investigación por mencionar algunas.

- **Datos eléctricos**

De la medición de los principales parámetros eléctricos se determinó que la demanda máxima es de 168 kW, con un consumo promedio estimado mensual de 44,995 kWh, se detectó un desbalanceo de cargas promedio de 26%. El factor de potencia en promedio se encuentra por arriba del 90%. Ver gráficas 22 a la 24 para los perfiles de carga del edificio.

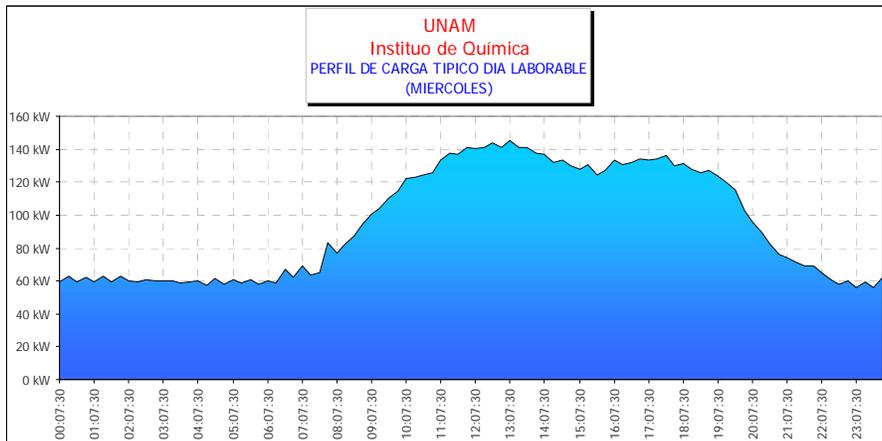


Gráfica 22
Perfil de carga semanal



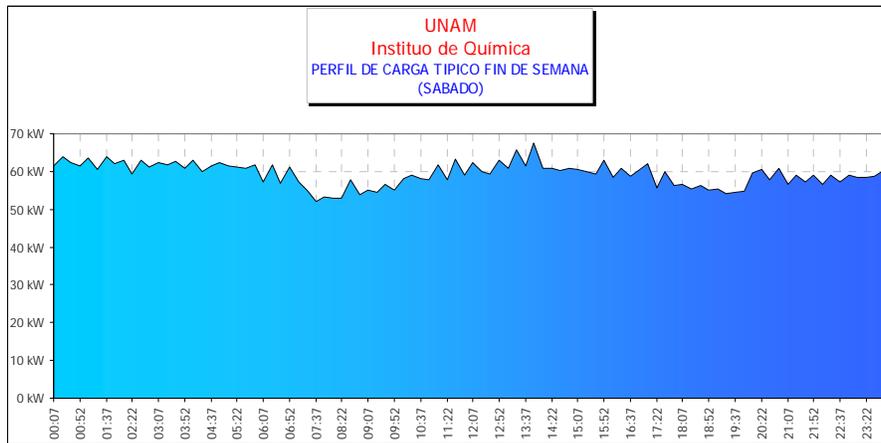
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 23
Perfil de carga día hábil



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 24
Perfil de carga día NO hábil

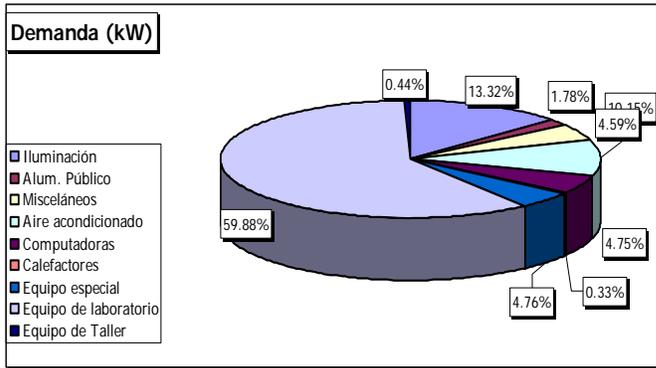


Fuente: Elaboración propia

En las gráficas anteriores se observa un comportamiento uniforme, con el horario de entrada y salida definidos. El día no hábil, sábado, la carga representa el 40% de la demanda máxima medida.

- **Uso general de la energía**

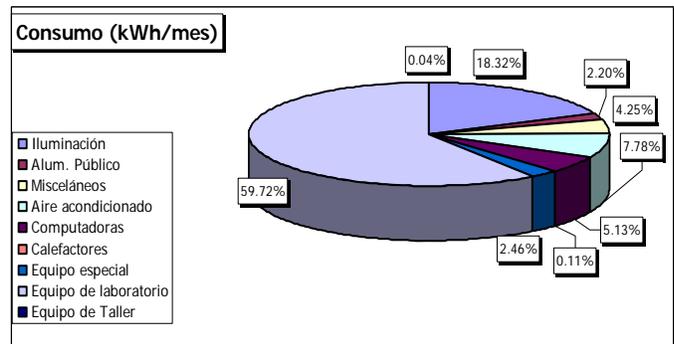
En lo que se refiere al uso general de la energía en el Instituto tiene como principales cargas la iluminación interior, alumbrado público, cómputo, calefactores, equipos misceláneos, aire acondicionado, equipo de taller, equipo especial y equipo de laboratorio propios de un instituto de investigación. Ver gráficas 25 y 26 para la distribución de las cargas tanto en demanda como en consumo, respectivamente.



Gráfica 25
Distribución de Demanda eléctrica (kW)

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 26
Distribución de Consumo eléctrica (kWh/mes)



Fuente: Elaboración propia.



Equipo calefacción



Equipo de laboratorio

- **Niveles de iluminación**

En la Tabla 14 se presentan los niveles de iluminación y su comparación con la norma y recomendaciones internacionales de la IES.

Tabla 14
Niveles de Iluminación (luxes)

Recinto	Natural y Artificial	Natural	Nocturna	NOM-025-STPS	IES
AULAS	506	102	345	300	200-300-500
LABORATORIOS	791	202	428	500	500-750-1000
TALLERES	418	303	91	300	200-300-500
OFICINAS ADMON	558	85	445	300	200-300-500
OFICINAS INVESTIGACIÓN	754	231	426	300	200-300-500
SERVICIOS GRALES	1218	464	184	200	50-75-100
SERVICIOS PARTICULARES	1453	1032	219	200	50-75-100
SERVICIOS ESPECIALES	414	300	153	200	50-75-100

Servicios generales agrupa a varios tipos de usos como: pasillos, almacenes, baños, escaleras, archivos, vestíbulos, bodega y recepción, etc.

Servicios especiales: Molino de plantas y cuarto de refrigeración.

Servicios particulares: Comedor, auditorio, sala de video conferencia, sala de lectura, etc.

Un edificio con uso preponderante en investigación técnica el nivel de iluminación es importante, particularmente en los laboratorios. En la tabla se observa que los valores promedio obtenidos en la medición con luz natural y artificial comparándolos con los de la normatividad nacional, para todas las zonas se encuentran por arriba. Sin embargo, las lecturas confiables son las que se llevan a cabo en horario nocturno, encontrándose prácticamente todas dentro de lo establecido por la normatividad nacional y las recomendaciones internacionales.

- **Indicadores energéticos**

En las tablas 15 y 16 se presentan los indicadores energéticos por consumo y medición obtenidos de los levantamientos realizados.

Tabla 15
Indicadores energéticos

Superficie (m ²)	Medición				ICEE estimado por censo (kWh/m ² -año)									
	Consumo mensual	Demanda	ICEE	DPEA	Ilum	Ilum ext	Misc	Comp	Calef	A/C	Eq. Lab	Eq. Esp	Eq. Taller	Suma
5,158.62	44,995	168	104.67	32.57	15.84	1.90	3.67	4.44	0.10	6.73	51.21	2.12	0.03	86.05
	38,162	172	88.77	33.34										
	41,402	169	96.31	32.70										

Tabla 16
Indicadores energéticos (2)

DPEA estimado por censo (W/m ²)								
Ilum	Ilum ext	Misc	Comp	Calef	Eq. Lab	Eq. Esp	Eq. Taller	A/C
13.39	1.22	12.64	7.80	1.07	89.69	7.12	7.33	12.40

NOTAS: ICEE índice de consumo de energía eléctrica
DPEA Densidad de potencia eléctrica por área

Los indicadores energéticos son utilizados como referencias para su comparación entre edificios con el mismo tipo de uso, “benchmarking”, en este caso podemos comparar con la normatividad vigente y solamente un valor, la densidad de potencia eléctrica por alumbrado es posible comparar. Éste se encuentra en 13.39 W/m^2 , valor inferior a los 16 W/m^2 establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2005, "Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios no Residenciales". El índice de consumo promedio total calculado en el edificio es de $96.6 \text{ kWh/m}^2\text{-año}$, dato que puede ser utilizado para comparar otras edificaciones con el mismo tipo de uso.

Tal y como se presenta la información en el presente capítulo nos permite ubicarnos en el comportamiento energético por tipología de las edificaciones analizadas, incluso la información generada del trabajo del levantamiento de la información es suficiente como para abrir nuevas líneas de investigación en relación a edificaciones del sector terciario

Sin embargo, se requiere un análisis en conjunto de los resultados de las evaluaciones mencionadas, tal actividad se muestra en el siguiente capítulo.

Capítulo V. Resultados de las evaluaciones Arquitectónica, energética y mediciones

En los dos anteriores capítulos se presentaron las evaluaciones: arquitectónica y energética de cada uno de los edificios, la información recabada se analizó de manera individual llegando a importantes conclusiones. Sin embargo, examinado de manera conjunta los resultados obtenidos por cada evaluación nos dará un panorama completo sobre el comportamiento energético y su implicación arquitectónica.

Resultados evaluación arquitectónica

En la tabla 17 se muestra el resumen de los resultados en la recolección de datos y la evaluación de la norma 008 sener 2001, destacándose el área de vano (ventana), el área opaca (muro) y material constructivo para los muros, en el caso de los datos recopilados, en lo que respecta a la norma, esto se limita a determinar su cumplimiento.

En este sentido, las edificaciones analizadas, como se mencionó en capítulos anteriores cuentan con más de un edificio, el Instituto de Química posee cinco, para la comprobación de la norma se requiere estudiar cada uno, para el caso del Instituto tres edificios no cumplen con lo especificado con la norma.

El CELE cuenta con dos edificaciones mismas que se encuentran fuera de lo que establece la norma, para los casos de la Biblioteca, el Instituto de Antropológicas y la Dirección de CCH estos edificios tienen una sola edificación de los cuales el último mencionado no cumple con lo dispuesto con la norma.

Asimismo, de las cuatro edificaciones que cumplen con lo establecido con la norma, en el rango de los valores máximos, se observa que el valor máximo del porcentaje de ventana es del 35%. Por otro lado, para las seis edificaciones que no cumplen, el valor mínimo es de 39%. De esta manera se deduce que el porcentaje máximo de ventana con respecto al muro para que el edificio cumpla con la disposición de la norma debe ser 35%; la norma establece un 40 por ciento.

Adicionalmente, el material constructivo con mayor utilización es el concreto armado aparente. La mayoría de las edificaciones cuentan con orientaciones: norte, poniente, norte, sur.

Tabla 17. Resumen de datos y evaluación de la norma

EDIFICOS	EDIFICACIONES	ORIENTACION	AREA VENTANA	%	AREA MURO	%	AREA TOTAL	TIPO DE MURO	CUMPLIMIENTO NORM- 008
INSTITUTO DE QUIMICA	EDIFICIO A	EXTERIOR SUR	245.95	42	335.83	58	581.78	D,J,K	NO CUMPLE
		EXTERIOR NORTE	245.95	42	335.83	58	581.78	D,J,K	
		SUR- ORIENTE	150.08	52	140.32	48	290.40	D,G,J,K	
		PONIENTE	50.86	18	234.87	82	285.73	A,D,K	
		INTERNA SUR	213.84	57	161.01	43	374.85	D,J,K	
		INTERNA NORTE	213.84	57	161.01	43	374.85	D,J,K	
		INTERNA PONIENTE	42.20	38	69.11	62	111.31	D,J,K	
		INTERNA ORIENTE	55.66	50	55.65	50	111.31	D,J,K	
		TECHUMBRE	0.00	0	2,711.96	100	2,711.96		
	TORRE DE DESTILACION	SUR	3.02	6	42.16	94	45.18	A,D,K	SI CUMPLE
		ORIENTE	5.53	8	62.68	92	68.21	A,D,K	
		NORTE	0.00	0	45.18	100	45.18	A,D,K	
		TECHUMBRE	0.00	0	62.57	100	62.57		
	COMEDOR	ORIENTE	13.53	64	7.47	36	21.00	D,K	NO CUMPLE
		NORTE	25.20	63	14.78	37	39.98	K	
		PONIENTE	15.18	72	5.82	28	21.00	K	
		SUR	21.50	54	17.84	46	39.34	D,K	
		TECHUMBRE	0.00	0	68.93	100	68.93		
	EDIFICIO B	ORIENTE	6.76	3	195.59	97	202.35	A,K	SI CUMPLE
		PONIENTE	11.76	6	190.59	94	202.35	A,D,K	
		SUR	0.00	0	23.75	100	23.75	A,K	
		NORTE	2.52	10	21.23	90	23.75	A,K	
		TECHUMBRE	0.00	0	334.68	100	334.68		
	EDIFICIO C	PONIENTE	91.28	39	143.90	61	235.18	A,D,K	NO CUMPLE
		ORIENTE	63.77	24	198.14	76	261.91	D,J,K	
		NORTE	0.00	0	36.75	100	36.75	A,K	
		SUR	0.00	0	36.75	100	36.75	A,K	
TECHUMBRE		0.00	0	455.92	100	455.92			

Fuente: elaboración propia, resultados de la evaluación arquitectónica de cada uno de los edificios analizados

Tabla 17 (continuación). Resumen de datos y evaluación de la norma

EDIFICIOS	EDIFICACIONES	ORIENTACION	AREA VENTANA	%	AREA MURO	%	AREA TOTAL	TIPO DE MURO	CUMPLIMIENTO NORM- 007
CENTRO DE ENSEÑANZA DE LENGUAS EXTRANJERAS	EDIFICIO A	ORIENTE	302.36	39	471.93	61	774.29	A,C,K	NO CUMPLE
		PONIENTE	380.09	47	414.93	53	795.02	A,C	
		NORTE	0.00	0	257.51	100	257.51	A,B,K	
		SUR	41.66	16	215.85	84	257.51	B,K	
		TECHUMBRE	0.00	0	758.24	100	758.24		
	EDIFICIO B	SUR	279.91	55	225.31	45	505.22	B,C,K	NO CUMPLE
		NORTE	298.52	56	226.55	44	525.07	B,C,J	
		PONIENTE	13.12	11	107.11	89	120.23	B,K	
		ORIENTE	28.55	15	158.04	85	186.59	B,K	
		TECHUMBRE	0.00	0	1073.58	100	1,073.58		
BIBLIOTECA "ANTONIO CASO" FACULTAD DE DERECHO	UNICO	NORTE	37.17	7	511.30	93	548.47	D,G,E	SI CUMPLE
		ORIENTE	83.52	17	418.07	83	501.59	D,E,K,G	
		PONIENTE	97.93	20	382.10	80	480.04	G,K	
		TECHUMBRE	106.09	6	1719.78	94	1,826.68		
DIRECCIÓN GENERAL DE COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES	UNICO	NORTE	63.47	51	61.15	49	124.62	D	NO CUMPLE
		INTERNA						J,K	
		PONIENTE	20.82	70	8.73	30	29.55		
		INTERNA SUR	10.67	51	10.21	49	20.88	D	
		NORTE	173.54	70	74.26	30	247.81	A,I,J	
		INTERNA SUR	48.05	78	13.60	22	61.66	J	
		SUR	189.81	51	175.99	49	365.80	I	
		ORIENTE	78.31	41	109.19	59	187.50	A	
PONIENTE	47.42	31	103.73	69	151.15	A,J			
TECHUMBRE	0.00	0	1116.71	100	1,116.71				
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ANTROPOLÓGICAS	UNICO	NORTE	112.00	16	587.38	84	699.38	K	SI CUMPLE
		SUR	113.81	19	471.17	81	589.97	K	
		ORIENTE	52.17	35	94.44	65	146.61	K	
		SUR	33.27	8	344.70	92	377.97	K	
		INTERNA						K	
		NORORIENTE	139.11	20	534.94	80	674.05	K	
		INTERNA SUR	97.71	20	379.41	80	477.12	K	
		INTERNA						K	
		PONIENTE	29.91	20	116.56	80	146.47	K	
		INTERNA						J,K	
		PONIENTE	93.21	24	295.80	76	389.01	J,K	
		INTERNA						J,K	
ORIENTE	14.00	6	219.57	94	233.58	J,K			
TECHUMBRE	0.00	0	2989.70	100	2,989.70				

Fuente: elaboración propia, resultados de la evaluación arquitectónica de cada uno de los edificios analizados

TIPOS DE MURO

- A** BLOCK EXTRUIDO HUECO VIDRIADO CON JUNTAS DE MORTERO CEMENTO- ARENA COLOR BLANCO.
- B** BLOCK EXTRUIDO VIDRIADO CON JUNTAS DE MORTERO CEMENTO- ARENA COLOR AZUL
- C** PANEL DE ASBESTO EN CARA EXTERIOR Y MODULOS DE MADERA DURA EN CARA INTERIOR
- D** MURO DE TABIQUE ROJO RECOCIDO CON JUNTAS DE CEMENTO - ARENA APLANADOS CON ACABADO PINTURA VINILICA BLANCO
- E** CONCRETO ARMADO MARTELINADO APARENTE CON PIGMENTACION ROSA
- F** MURO DE TABIQUE ROJO RECOCIDO CON JUNTAS DE CEMENTO - ARENA
- G** MURO DE TABIQUE ROJO RECOCIDO VIDRIADO APARENTE
- H** TABIQUE ROJO RECOCIDO CON JUNTAS DE MORTERO CEMENTO - ARENA, ACABADO FINAL PINTURA VINILICA BLANCA
- I** TABIQUE ROJO RECOCIDO CON JUNTAS DE MORTERO CEMENTO - ARENA, RECUBRIMIENTO DE MOZAICO BIZANTINO ACABADO FINAL PINTURA VINILICA BLANCA
- J** PIEDRA BASALTO
- K** CONCRETO ARMADO APARENTE

Resultados evaluación energética

El análisis de la información recopilada proporcionó varios datos importantes, divididos por niveles de iluminación, principal consumidor de energía y por demanda en uso final, indicadores energéticos por demanda y consumo totales y por uso final, así como la principal área de potencial de ahorro de energía.

Como se mencionó anteriormente los niveles de iluminación obtenidos en las mediciones son comparadas con la normatividad vigente nacional y con la normatividad internacional como referencia, en la tabla 18 se presenta un resumen de las mediciones obtenidas en los cinco edificios.

Tabla 18. Resumen de valores en luxes obtenidos en las evaluaciones energéticas

EDIF	ÁREAS	Natural y artificial	Natural	Nocturna	NOM-025-STPS	IES
CELE	AULA	800	320	107	300	200-300-500 (D)
	SERVICIOS	962	393	99	50 - 200	50-75-100 (C)
	OFICINAS	689	253	92	300	200-300-500 (D)
ANTROPOLOGICAS	AULA	167	6	---	300	200-300-500 (D)
	LABORATORIOS	410	252	17	500	500-750-1000 (E)
	OFICINAS	593	331	166	300	200-300-500 (D)
	SERVICIOS	248	81	44	200	50-75-100 (C)
BIBLIOTECA	ACERVO	133	0	64	300	50-75-100 (B)
	CATALOGACIÓN	60	7	60		200-300-500 (D)
	CONSULTA	151	22	59		500-750-100 (E)
	LIBRERÍA	124	0	124		n.d.
	SALA DE LECTURA	137	0	95		500-750-100 (E)
	OFICINA ADMINISTRATIVA	281	193	29	300	200-300-500 (D)
	SERVICIOS GENERALES	312	122	85	200	50-75-100 (C)
CCH	OFICINAS	689	253	92	300	200-300-500 (D)
	SERVICIOS	962	393	99	50 - 200	50-75-100 (C)
	SALADE COMP. Y JUNTAS	485	349	72	500	200-300-500 (D)
	TALLERES	500	0	0	300	500 (E)
QUIMICA	AULAS	506	102	345	300	200-300-500 (D)
	LABORATORIOS	791	202	428	500	500-750-1000 (E)
	TALLERES	418	303	91	300	200-300-500 (D)
	OFICINAS ADMON	558	85	445	300	200-300-500 (D)
	OFICINAS INVESTIGACIÓN	754	231	426	300	200-300-500 (D)
	SERVICIOS GRALES	1218	464	184	200	50-75-100 (C)
	SERVICIOS PARTICULARES	1453	1032	219	200	50-75-100 (C)
	SERVICIOS ESPECIALES	414	300	153	200	50-75-100 (C)

Por ser edificios con diferentes tipos de uso existen áreas que no son comunes entre ellos. Se encontraron dos que si lo con, el área definida por aulas se presenta en tres de los cinco edificios analizados, observándose que en dos de ellos el nivel se encuentra por debajo de lo que establece la normatividad. El área identificada como oficinas administrativas y de investigación o cubículos se presenta en los cinco edificios, con valores de luxes por abajo en cuatro de ellos.

En términos generales, el único edificio que presenta valores de niveles de iluminación dentro o por arriba de la norma es el Instituto de Química en estas áreas, hay que recordar que este edificio se identificó en el levantamiento de datos que el sistema de iluminación tiene tecnología de punta y es uno de los menos antiguos con 30 años, factores que influyen en el nivel de iluminación.

La carga de uso final con mayor aportación en la demanda y consumo de energía eléctrica identificada de acuerdo al análisis realizado de la información recabada en el levantamiento de datos, fue la del sistema de iluminación interior, existiendo dos casos especiales, en la Dirección del CCH se observa que el sistema que más impacta en la demanda y en el consumo de energía es el alumbrado público, explicándose esta situación a que varios de los circuitos de este sistema que están distribuidos en el circuito exterior del campus los alimenta el transformador de la Dirección de CCH.

El otro caso atípico es el Instituto de Química, que por su tipología es un edificio que se esperaba que su demanda principal no fuera el sistema de iluminación, siendo los equipos de laboratorio los de mayor aportación en el total de la demanda y consumo de energía eléctrica. Ver tabla 18.

Tabla 18. Aportación en la demanda y consumo por uso final de energía

EDIFICIO	USO FINAL	% demanda	% consumo
ANTROLOPOLOGICAS	Iluminación	54%	57%
	Misceláneos	11%	6%
	Computo	18%	6%
	Calefactores	2%	9%
	Alumbrado Público	14%	16%
	Equipo de laboratorio	2%	6%
BIBLOTECA	Iluminación	71%	80%
	Alumbrado Público	6%	5%
	Misceláneos	11%	4%
	Aire acondicionado	7%	6%
	Computadoras	6%	4%
DIRECCIÓN DE CCH	Iluminación	31%	33%
	Alumbrado Público	37%	45%
	Misceláneos	15%	9%
	Cómputo	14%	8%
	Aire acondicionado	2%	6%
CELE	Iluminación	71%	79%
	Misceláneos	16%	10%
	Computo	8%	6%
	Calefactores	3%	2%
	Aire acondicionado	2%	2%
QUIMICA	Iluminación	13%	18%
	Alumbrado Público	2%	2%
	Misceláneos	5%	4%
	Aire acondicionado	10%	8%
	Computadoras	5%	5%
	Calefactores	0.33%	0.11%
	Equipo especial	5%	2%
	Equipo de laboratorio	60%	60%
Equipo de Taller	0.45%	0.04%	

Fuente: elaboración propia, resultados de la evaluación energética de cada uno de los edificios analizados

Los indicadores energéticos tienen un papel importante dentro de la eficiencia energética son usados para comparar edificaciones con la misma tipología, por uso final de la energía, de referencia, seguimiento en el comportamiento energético e incluso se puede visualizar potenciales de ahorro de energía.

La tabla 19 se presenta un resumen de los indicadores por consumo de energía eléctrica (ICEE) por uso final, cabe mencionar que su cálculo se realiza con información obtenida de los levantamientos de información de los equipos consumidores de energía eléctrica. Por esta razón solamente se tiene un solo valor para cada uso final.

Tabla 19. Resumen de los indicadores energéticos por consumo de energía por uso final

Dependencia	Superficie (m ²)	kWh/m ² -año ¹	ICEE estimado por censo (kWh/m ² -año)							
			Ilum	Alum Pub	Misc	Computo	Calef	A/C	Eq. Lab	Suma
CELE	5,455	61.40	46.98	---	5.97	3.57	1.24	1.44	---	59.19
Dirección CCH	1,648	160.69	38.59	53.41	10.50	9.33	---	6.70	---	118.52
Biblioteca	4,553	35.35	32.54	2.11	1.71	1.74	---	2.58	---	40.68
Antropológicas	8,099	34.54	19.53	5.60	1.90	2.16	3.00	---	1.94	34.14
Química	5,159	118.96	15.84	1.90	3.67	4.44	---	6.73	51.21	83.79

Máximo	46.98	5.60	5.97	3.57	3.00	6.73	1.94
Mínimo	15.84	1.90	1.71	1.74	1.24	2.58	1.94
Promedio	30.70	3.21	3.31	2.98	2.12	5.35	1.94

Fuente: elaboración propia, resultados de la evaluación energética de cada uno de los edificios analizados

ICEE, índice de consumo de energía eléctrica

DPEA densidad de potencia eléctrica por área

¹ Datos promedio de las mediciones llevadas a cabo durante el año pasado

De la tabla anterior se observa, primeramente, que los valores, de prácticamente todos los usos finales, del edificio de la Dirección General de CCH salen de la muestra (exceptuando iluminación interior), por lo tanto el edificio no se tomará en cuenta en futuros análisis.

Asimismo, el valor promedio del ICEE por iluminación interior es de 30.70 kWh/m²-año, el valor mínimo lo presenta el edificio de Química, edificio que cuenta con un sistema de iluminación eficiente y niveles de iluminación dentro de los parámetros de la norma.

Para el sistema de alumbrado público el valor promedio es de 3.21 kWh/m²-año, no se integra el valor correspondiente al edificio de la Dirección de CCH, por ser un valor atípico. El correspondiente a equipos misceláneos 3.31 kWh/m²-año, sistema de computo 2.98 kWh/m²-año, y para el sistema de aire acondicionado 5.35 kWh/m²-año.

De los ICEE totales, la Biblioteca presenta un comportamiento característico, su indicador por uso final de iluminación interior es prácticamente el mismo que el total, es evidente que la carga con mayor aportación en el consumo de energía es justamente ese sistema, lo que se comprueba con la información de la tabla anterior. Esperando que una biblioteca ubicada en algún lugar con condiciones climáticas similares al distrito federal, presenté un indicador similar, para validar dicha hipótesis se tendría que calcular el indicador energético y llevar a cabo un análisis estadístico para tal caso.

Por otro lado, y como se describió en la metodología cada uno de los edificios tiene conectado un equipo de medición de parámetros eléctricos, se cuenta, en prácticamente todos los edificios, con un año de mediciones. Esto nos proporciona información del comportamiento del ICEE total por edificación.

En la tabla 20 se presenta el resumen de las mediciones mencionadas en el edificio de la Biblioteca de la Facultad de Derecho. Calculándose los indicadores totales por consumo y demanda, con respecto al ICEE total existe un comportamiento a lo largo de los periodos de medición, en donde el ICEE se encuentra entre 30 y 40 kWh/m² año, ubicando tres valores mínimos observados en julio y diciembre, periodos vacacionales. El comportamiento energético del edificio es uniforme, presentando un indicador promedio de 34.15 kWh/m² año.

La densidad de potencia eléctrica por área total (DPEAt) presenta un indicador promedio de 12.69 W/m², encontrándose un comportamiento homogéneo después del mes de agosto del 2007.

Tabla 20. Resumen de mediciones de parámetros eléctricos e indicadores eléctricos calculados. Biblioteca

Dependencia	Superficie (m ²)	Consumo (kWh/mes)	Demanda (kW)	ICEE (kWh/m ² año)	DPEA (W/m ²)	Fecha de Mediciones
Biblioteca "Justo Sierra" Facultad de Derecho	4,553.4	14,051	63	37.03	13.90	22 de febrero al 1 de marzo 2006
		11,635	52	30.66	11.42	7 al 29 de enero 2007
		15,603	66	41.12	14.49	1 al 28 de febrero del 2007
		15,049	71	39.66	15.59	1 al 31 de marzo del 2007
		11,510	69	30.33	15.07	1 al 30 de abril del 2007
		14,042	68	37.01	14.94	1 al 31 de mayo del 2007
		14,966	67	39.44	14.71	1 al 30 de junio del 2007
		6,625	63	17.46	13.76	1 al 31 de julio del 2007
		12,569	51	33.13	11.13	1 al 23 de agosto del 2007
		14,907	58	39.29	12.69	1 al 30 de septiembre del 2007
		15,996	52	42.16	11.33	1 al 31 de octubre del 2007
		13,598	52	35.84	11.42	1 al 31 de noviembre del 2007
		6,358	50	16.76	10.98	1 al 31 de diciembre del 2007
		13,436	52	35.41	11.42	7 al 31 de enero del 2008
		13,704	52	36.12	11.42	1 al 28 de febrero del 2008
		10,947	52	28.85	11.42	1 al 31 de marzo del 2008
		15,872	63	41.83	13.84	1 al 30 de abril del 2008
		13,660	54	36.00	11.86	1 al 31 de mayo del 2008
		13,908	50	36.65	10.98	1 al 30 de junio del 2008
		5,083	44	13.40	9.66	1 al 31 de julio del 2008
15,550	50	40.98	10.98	1 al 23 de agosto del 2008		
	Máximo	15,996	71.33	42.16	15.66	
	Mínimo	5,083	44.00	13.40	9.66	
	Promedio	12,813	57.03	33.77	12.53	

Fuente: elaboración propia, base de datos de las mediciones de parámetros eléctricos

El CELE, como se mencionó anteriormente, no cuenta con el mismo periodo de medición debido a que el equipo se conectó después de varios meses. En la tabla 21 se muestran los valores obtenidos y los indicadores calculados.

Tabla 21. Resumen de mediciones de parámetros eléctricos e indicadores eléctricos calculados. CELE

Dependencia	Superficie (m ²)	Consumo (kWh/mes)	Demanda (kW)	ICEE (kWh/m ² año)	DPEA (W/m ²)	Fecha de Mediciones
Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras	5,455	29,802	91	65.56	16.68	27 de septiembre al 3 de octubre 2005
		30,252	91	66.55	16.68	1 al 8 de diciembre del 2005.
		18,692	99	41.12	18.16	14 al 31 de mayo del 2007.
		32,188	100	70.81	18.32	1 al 7 y del 12 al 30 de junio del 2007
		17,358	86	38.18	15.71	1 al 31 de julio del 2007
		24,340	100	53.54	18.29	1 al 23 de agosto del 2007
		33,953	103	74.69	18.87	1 al 30 de septiembre del 2007
		36,706	100	80.75	18.40	1 al 31 de octubre del 2007
		31,626	100	69.57	18.33	1 al 31 de noviembre del 2007
		19,043	91	41.89	16.68	1 al 31 de diciembre del 2007
		32,584	98	71.68	17.97	1 al 29 de febrero del 2008
		29,252	97	64.35	17.78	1 al 31 de marzo del 2008
		34,573	101	76.05	18.52	1 al 30 de abril del 2008
		32,413	101	71.30	18.47	1 al 31 de mayo del 2008
		29,560	94	65.03	17.21	1 al 30 de junio del 2008
		18,538	78	40.78	14.30	1 al 30 de julio del 2008
		32,968	102	72.52	18.63	1 al 31 de agosto del 2008
	MAX	36,706	103	80.75	18.87	
	MIN	17,358	78	38.18	14.30	
	PROM	28,462	96	62.61	17.59	

Fuente: elaboración propia, base de datos de las mediciones de parámetros eléctricos

El comportamiento del ICEE total se encuentra entre 50 y 70 kWh/m² año, con un promedio de 62.61 kWh/m² año, observando que los indicadores mínimos se encuentran en periodo vacacional. Es importante mencionar que en algunos meses la medición no fue completa por problemas en la comunicación del equipo.

La DPEAt presenta un valor promedio de 17.59 W/m², con un comportamiento homogéneo con mínimos en el periodo vacacional.

La Dirección de CCH presenta ICEE total fuera del comportamiento de un edificio con uso de oficina, lo que demuestra en las mediciones realizadas en la tabla 22 se muestra el resumen de las mediciones de parámetros eléctricos y cálculo de indicadores energéticos.

El promedio de ICEE total es de 172.87 kWh/m² año, observándose que a partir de agosto del 2007 existe un incremento en el valor del indicador, en un rango que va de 180 a 200 kWh/m² año. Dentro del segundo periodo, se observa una disminución en el periodo vacacional, aunque no es significativa, esto se debe a que el sistema de alumbrado público opera de la misma manera en periodo de vacaciones o de clases.

Tabla 22. Resumen de mediciones de parámetros eléctricos e indicadores eléctricos calculados. Dirección General de CCH

Dependencia	Superficie (m ²)	Consumo (kWh/mes)	Demanda (kW)	ICEE (kWh/m ² año)	DPEA (W/m ²)	Fecha de Mediciones
Dirección General de CCH	1,648	19,565	59	142.51	35.81	6 al 12 octubre 2005
		18,594	64	135.44	38.64	21 de febrero al 21 de marzo 2006
		18,779	65	136.78	39.62	21 de febrero al 10 de marzo 2007
		21,030	66	153.18	39.78	6 al 31 de enero del 2007
		21,935	65	159.77	39.19	1 al 28 de febrero del 2007
		23,366	66	170.19	39.97	1 al 31 de marzo del 2007
		20,159	57	146.83	34.34	1 al 30 de abril del 2007
		20,347	57	148.20	34.37	1 al 31 de mayo del 2007
		22,217	58	161.82	35.19	1 al 30 de junio del 2007
		21,653	57	157.72	34.40	1 al 31 de julio del 2007
		25,529	60	185.95	36.70	1 al 31 de agosto del 2007
		25,586	63	186.36	38.10	1 al 30 de septiembre del 2007
		28,141	66	204.97	40.06	1 al 31 de octubre del 2007
		26,558	65	193.44	39.45	1 al 31 de noviembre del 2007
		25,605	66	186.50	40.06	1 al 31 de diciembre del 2007
		28,138	68	204.95	41.27	1 al 31 de enero del 2008
		25,826	67	188.11	40.67	1 al 29 de febrero del 2008
		25,361	71	184.72	43.10	1 al 31 de marzo del 2008
		27,447	71	199.92	43.10	1 al 30 de abril del 2008
		26,238	70	191.11	42.49	1 al 30 de mayo del 2008
25,929	62	188.86	37.63	1 al 30 de junio del 2008		
21,661	57	157.77	34.60	1 al 30 de julio del 2008		
26,204	62	190.86	37.63	1 al 30 de agosto del 2008		
	MAX	28,141	71	204.97	43.10	
	MIN	18,594	57	135.44	34.34	
	PROM	23,733	63	172.87	38.53	

Fuente: elaboración propia, base de datos de las mediciones de parámetros eléctricos

El Instituto de Química tiene una distribución del consumo peculiar como su tipología de uso, investigación tecnológica, aún y cuando no es una edificación considerada con sistema de aire acondicionado si el ICEE total contiene una componente importante de los equipos de laboratorio, como se observa en la anterior tabla 18.

En la tabla 23 se muestran los valores obtenidos de las mediciones de parámetros eléctricos y el cálculo de los indicadores de consumo y demanda del Instituto. No se cuenta con la información completa de algunos de los meses, debido a problemas de comunicación entre el analizador de redes y la red interna, como es el caso del mes de abril del 2007, afectando el cálculo del indicador.

Existe un valor mínimo que se presenta en el periodo de vacaciones del mes de julio del presente año, sin embargo, en los otros periodos vacacionales si existe una disminución en el consumo pero no impactando tanto como la mencionada, al ser un Instituto de investigación tecnológica es probable que el personal dedicado a la investigación continúe con sus actividades en periodo vacacional.

Se observa un rango de comportamiento entre 100 y 130 kWh/m² año, con un valor promedio de 121.68 kWh/m² año. Para el indicador de potencia se identifica el promedio en 33.87 W/m². Registrándose el valor mínimo en enero del 2007, 15.44 W/m².

Tabla 23. Resumen de mediciones de parámetros eléctricos e indicadores eléctricos calculados. Instituto de Química

Dependencia	Superficie (m ²)	Consumo (kWh/mes)	Demanda (kW)	ICEE (kWh/m ² año)	DPEA (W/m ²)	Fecha de Mediciones
Instituto de Química	5,158.62	44,995	168	104.67	32.57	23 de junio al 6 de agosto del 2006
		38,162	172	88.77	33.34	2 al 24 de enero 2007
		59,978	189	139.52	36.64	1 al 28 de febrero del 2007
		64,824	179	150.79	34.70	1 al 31 de marzo del 2007
		20,832	80	48.46	15.44	7 al 30 de enero del 2007
		59,978	189	139.52	36.61	1 al 28 de febrero del 2008
		64,824	179	150.79	34.65	1 al 31 de marzo del 2007
		24,880	174	57.88	33.72	1 al 17 de abril del 2007
		63,676	166	148.12	32.25	1 al 30 de mayo del 2007
		66,628	188	154.99	36.45	1 al 30 de junio del 2007
		37,359	169	86.90	32.70	1 al 31 de julio del 2007
		42,180	182	98.12	35.33	1 al 20 de septiembre del 2007
		67,097	171	156.08	33.11	1 al 31 de octubre del 2007
		59,269	171	137.87	33.15	1 al 31 de noviembre del 2007
		41,160	172	95.75	33.34	1 al 31 de diciembre del 2007
		51,309	182	119.36	35.33	1 al 31 de enero del 2008
		58,523	174	136.14	33.76	1 al 29 de febrero del 2008
		56,716	172	131.93	33.43	1 al 31 de marzo del 2008
		68,160	195	158.55	37.89	1 al 30 de abril del 2008
		67,601	196	157.25	37.91	1 al 31 de mayo del 2008
50,548	199	117.58	38.51	1 al 30 de junio del 2008		
29,893	162	69.54	31.44	1 al 31 de julio del 2008		
64,467	190	149.96	36.84	1 al 31 de agosto del 2008		
	MAX	68,160	199	158.55	38.51	
	MIN	20,832	80	48.46	15.44	
	PROM	52,307	175	121.68	33.87	

Fuente: elaboración propia, base de datos de las mediciones de parámetros eléctricos

El edificio del Instituto de Investigaciones Antropológicas presenta ICEE total homogéneo dentro del rango de 32 a 35 kWh/m² año, con mínimos registrados en periodo vacacional de 22.99 kWh/m² año como el valor extremo inferior. El valor promedio es de 33.81 kWh/m² año, ver tabla 24.

Tabla 24. Resumen de mediciones de parámetros eléctricos e indicadores eléctricos calculados. Instituto de Antropológicas

Dependencia	Superficie (m ²)	Consumo (kWh/mes)	Demanda (kW)	ICEE (kWh/m ² año)	DPEA (W/m ²)	Fecha de Mediciones
Instituto de Investigación de Antropológicas	8,099	24,983	76	37.02	9.44	7 abril al 16 de mayo del 2006
		21,908	80	32.46	9.88	6 al 31 de enero 2007
		24,244	81	35.92	10.01	1 al 28 de febrero del 2008
		26,371	81	39.07	9.96	1 al 31 de marzo del 2007
		22,528	73	33.38	9.05	1 al 30 de abril del 2007
		23,945	81	35.48	9.97	1 al 30 de mayo del 2007
		25,657	79	38.02	9.79	1 al 30 de junio del 2007
		15,517	76	22.99	9.39	1 al 31 de julio del 2007
		24,628	82	36.49	10.12	1 al 31 de agosto del 2007
		23,100	79	34.23	9.80	1 al 30 de septiembre del 2007
		24,323	86	36.04	10.59	1 al 31 de octubre del 2007
		22,775	79	33.74	9.75	1 al 31 de noviembre del 2007
		16,336	77	24.20	9.51	1 al 31 de diciembre del 2007
		23,938	81	35.47	10.00	1 al 31 de enero del 2008
		23,656	80	35.05	9.88	1 al 29 de febrero del 2008
		21,531	79	31.90	9.75	1 al 31 de marzo del 2008
		24,807	75	36.76	9.26	1 al 30 de abril del 2008
		24,098	84	35.71	10.37	1 al 31 de mayo 2008
		23,968	78	35.51	9.63	1 al 30 de junio 2008
		16,661	67	24.69	8.27	1 al 31 de julio 2008
24,196	76	35.85	9.38	1 al 31 de agosto 2008		
	MAX	26,371	86	39.07	10.59	
	MIN	15,517	67	22.99	8.27	
	PROM	22,818	79	33.81	9.70	

Fuente: elaboración propia, base de datos de las mediciones de parámetros eléctricos

El DPEAt presenta un comportamiento homogéneo entre 9 y 10 W/m² con un valor promedio de 9.7 W/m² y un valor máximo de 10.59 W/m².

Este edificio tiene un equipo de medición adicional, mencionado en el capítulo II, el cual monitorea siete circuitos que alimentan usos finales de la energía eléctrica: iluminación interior (2), iluminación exterior (2), sala de cómputo (2) y un equipo de laboratorio (medidor de carbono) (1). En la tabla 25 se muestra un resumen de los parámetros eléctricos por cada uno de los circuitos medidos.

Tabla 25. Resumen de mediciones de parámetros eléctricos de los siete circuitos monitoreados.

Fecha	cómputo		medidor de carbono		cómputo		iluminación interior		iluminación exterior		iluminación interior		iluminación exterior	
	kWh/mes	kW/mes	kWh/mes	kW/mes	kWh/mes	kW/mes	kWh/mes	kW/mes	kWh/mes	kW/mes	kWh/mes	kW/mes	kWh/mes	kW/mes
Ene-07	269	1.34	61	0.47	587	2.55	501	3.89	1216	3.28	1330	5.02	610	1.65
Feb-07	269	1.64	218	0.47	586	2.39	542	3.70	1089	3.28	1310	5.02	539	1.65
Mar-07	302	1.80	82	0.35	654	2.58	765	4.20	1,447	3.28	1,382	4.87	574	1.63
Abr-07	254	1.38	96	0.37	569	2.51	542	3.66	1,034	3.23	983	4.97	521	1.62
May-07	308	1.45	287	0.37	657	2.84	648	3.84	1,211	3.54	1,495	4.85	556	1.63
Jun-07	283	1.43	170	1.03	605	2.44	593	4.29	1,101	3.54	1,400	4.97	505	1.70
Jul-07	225	1.38	35	1.38	436	2.27	785	17.04	1,153	3.56	579	4.92	531	1.71
Ago-07	396	1.57	112	0.3	606	2.51	435	2.46	1,141	3.54	1,303	4.85	521	1.66
Sep-07	398	2.11	17	0.87	571	2.34	408	6.12	1,204	3.59	1,254	5.23	564	1.69
Oct-07	383	2.72	20	0.47	593	2.48	181	0.7	1,279	3.54	1,490	5.18	593	1.63
Nov-07	288	3.21	10	0.14	537	2.39	89	0.49	1,272	3.56	1,148	5.16	587	1.65
Dic-07	229	2.09	8	0.7	498	2.32	134	1.71	1,346	3.59	561	5.18	658	1.81
Ene-08	374	3.3	8	0.07	667	2.81	53	0.49	1,336	2.61	1,199	5.37	680	1.8
Feb-08	287	2.04	7	0.12	644	2.91	54	0.7	1,140	3.61	1,237	5.02	570	1.78
Mar-08	298	1.62	5	0.61	601	2.53	91	0.56	1,249	3.61	1,029	5.02	630	1.82
Abr-08	271	1.83	4	0.2	621	2.88	124	0.98	1,166	3.66	1,242	4.9	601	1.89
May-08	286	2.39	14	0.21	643	2.53	1,571	6.3	1,164	3.66	1,408	5.23	614	1.89
Jun-08	302	1.9	9	0.38	513	2.16	1,328	23.23	1,105	3.63	1,105	4.86	583	1.89
Jul-08	308	1.59	3	0.89	323	2.44	622	2.1	1,128	3.63	402	5.34	622	1.95

Fuente: elaboración propia, base de datos de las mediciones de parámetros eléctricos por circuito equipo SEMhunt

La selección de los circuitos se llevó a cabo se determinó por alimentación de una sola carga final o que la mayor parte correspondiera a una carga particular, situación que no fue fácil debido a que no existen circuitos dedicados para un uso final particular a pesar de que existe normatividad que determina que debe de existir circuitos específicos por uso. Como se observa la suma de las demandas a penas representa el 21% en promedio mensual y el consumo 19%.

Adicionalmente, uno de los circuitos que alimenta la iluminación interior presentó dos picos importantes: 17 kW en el mes de julio del 2007 y 23.23 kW en el mes de junio del 2008, sin embargo el consumo no se vio afectado de manera significativa. Personal del Instituto atribuyen estas demandas eléctricas a trabajos que se realizaron de remodelación dentro de las instalaciones del Instituto.

Con el propósito de integrar y facilitar el análisis de la información en la tabla 26 se presenta el cálculo de los indicadores ICEE integrado por usos final y su comparación con el obtenido del levantamiento de datos de los equipos consumidores de energía.

Tabla 26. Resumen de los ICEE integrado por uso final.

Mes	ICEE		
	ALUM PUB	ILUM INT	COMP
enero de 2007	2.71	2.71	1.27
febrero de 2007	2.41	2.75	1.27
marzo de 2007	2.99	3.18	1.42
abril de 2007	2.30	2.26	1.22
mayo de 2007	2.62	3.18	1.43
junio de 2007	2.38	2.95	1.32
julio de 2007	2.49	2.02	0.98
agosto de 2007	2.46	2.58	1.48
septiembre de 2007	2.62	2.46	1.44
octubre de 2007	2.77	2.48	1.45
noviembre de 2007	2.76	1.83	1.22
diciembre de 2007	2.97	1.03	1.08
enero de 2008	2.99	1.85	1.54
febrero de 2008	2.53	1.91	1.38
marzo de 2008	2.78	1.66	1.33
abril de 2008	2.62	2.02	1.32
mayo de 2008	2.63	4.41	1.38
junio de 2008	2.50	3.61	1.21
julio de 2008	2.59	1.52	0.93
PROMEDIO	2.64	2.44	1.30
Valor obtenido del censo	5.60	19.53	2.16

Fuente: elaboración propia, base de datos de las mediciones de parámetros eléctricos por circuito equipo SEMhunt.

Con respecto a los ICEE por uso final y su comparación con los obtenidos en el análisis del levantamiento de datos de los equipos consumidores de energía, se tienen diferencias significativas, el promedio obtenido por el cálculo del ICEE en el sistema de iluminación interior es de 2.44 kWh/m² año, cuando el ICEE obtenido en el levantamiento de datos es 19.53 kWh/m² año. Lo que demuestra que los circuitos elegidos a ser medidos, a pesar de que eran lo únicos que contaban con una mayor cantidad de equipos para un solo uso final, no son representativos, en todo caso habría que medir en un mayor número de circuitos con el fin de validarlo, lamentablemente, esta es una actividad costosa por la

cantidad de quipos necesarios para realizarla y complicada por la distribución de los circuitos derivados y la diversidad de cargas.

Para el caso del ICEE del sistema de alumbrado público la diferencia es menor entre los valores, resultado esperado debido a que la carga por este sistema tiene una menor dispersión entre los circuitos utilizados para éste. El ICEE promedio es de 2.64 kWh/m² año, mientras que el obtenido en el levantamiento es de 5.6 kWh/m² año.

El ICEE promedio para el sistema de cómputo calculado a través de las mediciones es de 1.3 kWh/m² año, el obtenido por el levantamiento es de 2.16 kWh/m² año, existiendo una diferencia menor entre los dos valores, esto puede deberse a varias razones, entre otras, existen salas de cómputo donde se concentra el mayor consumo y los patrones de uso de los equipos.

De esta manera, habiendo finalizado los análisis de los resultados de las evaluaciones arquitectónicas y energéticas de cada uno de los edificios podemos hacer algunas observaciones: el edificio de la Dirección de CCH con uso preponderante de oficinas presenta un comportamiento atípico, siendo tu principal demanda la correspondiente al uso final en alumbrado público.

Asimismo, se cuenta con las mediciones de parámetros eléctricos de los edificios de prácticamente todo el año de 2007 hasta agosto de 2008, información valiosa para el cálculo de indicadores totales y seguimiento del comportamiento energético de los edificios. Sin embargo, contamos con información de un solo edificio para llevar a cabo la modelación por uso final de la energía, el edificio del Instituto de Antropológicas es el que tiene la información de los consumos y demandas eléctricas como se comentó anteriormente, cabe mencionar que se llevaron a cabo esfuerzos para la adquisición de otros equipos con las mismas características del mencionado, pero la adquisición de los mismos resultaba costosa.

En este sentido, el edificio a modelar con base a la presente información y a su análisis será el Instituto de Investigaciones Antropológicas. La modelación se llevará a cabo por medio de herramientas estadísticas, regresión múltiple lineal.

Capítulo VI. Modelación del comportamiento de la demanda eléctrica en función de usos finales de energía eléctrica

El comportamiento de la demanda de energía eléctrica de una edificación terciaria, para este estudio en particular nos referimos a un edificio dentro del Campus de Ciudad Universitaria, se puede comprender a través de los usos finales de energía eléctrica. La modelación de estos parámetros nos llevará a predecir, con un intervalo de confianza superior al 90%, el cambio de la demanda al llevar a cabo modificaciones por cambio de tecnología o estimar su impacto por cambios en el patrón de uso.

La modelación a través de herramientas estadísticas específicamente con Regresión Lineal Múltiple aporta una ecuación que cumple con el objetivo planteado.

Regresión lineal múltiple

Para llevar a cabo la regresión se utilizaron programas estadísticos se usó como variable respuesta la demanda de energía eléctrica total del edificio, con tres variables regresoras: demanda del sistema de iluminación interior, demanda del sistema de iluminación exterior y demanda del sistema de cómputo. Los datos fueron tomados del monitoreo de parámetros eléctricos del edificio del Instituto de Investigaciones Antropológicas, los cuales fueron medidos durante el año 2007 con más de 105,000 datos por cada variable.

De esta manera se llevó a cabo la primera regresión con los datos obtenidos de las mediciones, tomando como variable dependiente la demanda total del edificio (dem_total) y como variables regresoras a las demandas de los sistemas de uso final (cómputo, iluminación interior e iluminación exterior) los resultados se muestran en la tabla 27.

Tabla 27. Resultados de la regresión lineal múltiple

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
Constante	2.08233	0.0588061	35.4102	0.0000
dem_computo	15.4346	0.0451833	341.6	0.0000
dem_ILIMint	3.89478	0.0110658	351.967	0.0000
dem_ILUMext	1.94563	0.00969182	200.75	0.0000

Fuente: Resultados obtenidos de la regresión lineal a través de Programa de estadística

Los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre dem_total y 3 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{dem_total} = 2.08233 + (15.4346) \text{ dem_computo} + (3.89478) \text{ dem_ILIMint} + (1.94563) \text{ dem_ILUMext}$$

El estadístico R^2 indica que el modelo explica un 87.8567% de la variabilidad en dem_total. Lo que implica un buen ajuste. Debido a que los valores de la p-value son menores a 0.05 existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99%.

Tabla 28. Análisis de Varianza (ANOVA)

Fuente	Suma de cuadrados	GL	F	P-Valor
Modelo	3.25006×10^7	3	254886.91	0.0000
Residuo	4.49213×10^6	105689		
Total	3.69928×10^7			

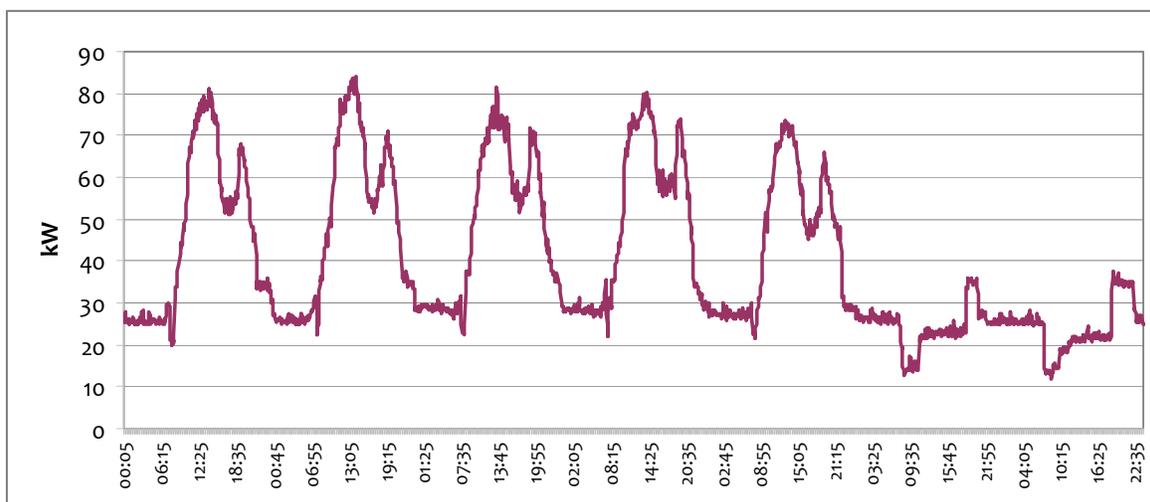
Fuente: Resultados obtenidos de la regresión lineal a través del Programa de estadística

La tabla 28 muestra el análisis de la varianza (ANOVA) de donde se destaca que la suma de cuadrados es mayor en los residuales que en el modelo lo que indica que el modelo de regresión no será del todo bueno debido a que el residual tiene la mayor parte del error. Siendo F grande con un p_valor prácticamente con un valor de cero indica que las variables deben de entrar al modelo de manera conjunta.

Sin embargo, podríamos pensar que con una R^2 cercana a 1 la regresión sería buena y que la dependencia entre los valores podría ser corregido a través de una manipulación de los datos de las variables regresoras, una transformación. No obstante, la cantidad da datos (más de 105,000) aseguran que cualquier variable será significativa en el modelo. Con el fin de validarlo se agregó una variable con todos los datos igual a 1, haciendo la regresión con la nueva variable ésta resultó significativa para el modelo con un p_valor de prácticamente cero.

En este sentido, se tomó la decisión de reducir el número de datos sin perder información sobre el comportamiento de la demanda eléctrica del edificio a modelar, para lo tal efecto, se calculó una semana promedio por mes con lo que la información se redujo a un poco más de 24,000 datos. A manera de ejemplo se presenta en la gráfica 27 la semana promedio del mes de enero del 2007.

Gráfica 27. Semana Promedio del mes de enero 2007. Demanda (kW)



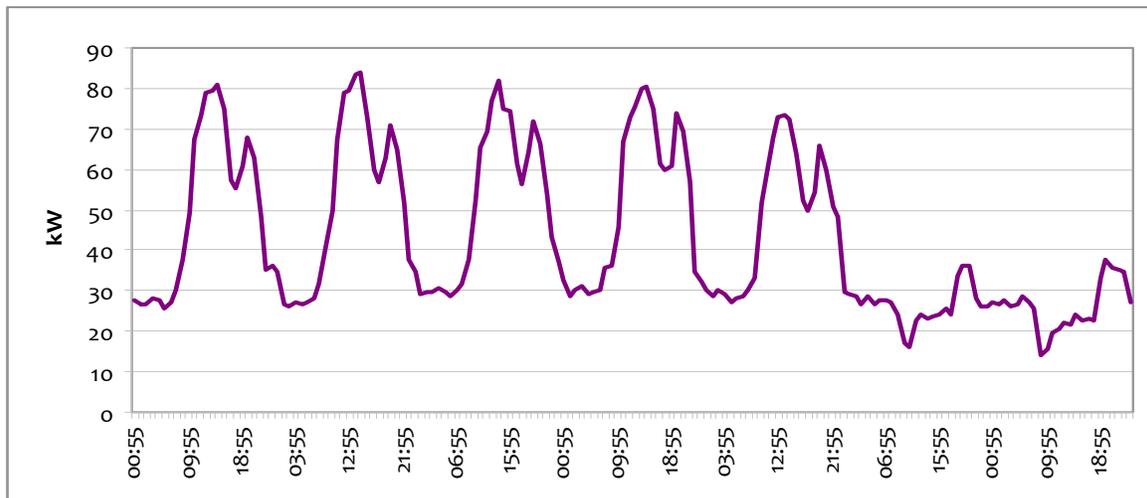
Fuente: Elaboración propia, análisis de las mediciones eléctricas mes de enero 2007

En la gráfica 27 se observa que el impacto de la demanda eléctrica se conservó, con la disminución de la misma el fin de semana, mientras que los días hábiles presentan disminución en el horario de comida y el pico disminuido los viernes. Las gráficas para las semanas de los 11 meses restantes son parecidas con sus respectivos comportamientos debido a vacaciones, horario de verano, etcétera

Nuevamente se llevó a cabo la regresión con los (~24,000) datos, pero los resultados fueron los mismos, todas las variables eran explicativas y significativas para el modelo, debido al número de datos.

Cabe mencionar que las mediciones de las demandas eléctricas fueron monitoreadas cada 5 minutos, siendo la cantidad de datos considerable, una opción sin perder información sobre el comportamiento de la demanda eléctrica fue considerar las demandas por hora, de esta manera el número de datos se redujo a prácticamente 2,000. En la gráfica 28 se muestra el comportamiento de la demanda eléctrica por hora de la semana promedio del mes de enero 2007.

Gráfica 28. Semana Promedio del mes de enero 2007. Demanda horarias (kW)



Fuente: Elaboración propia, análisis de las mediciones eléctricas mes de enero 2007

Comparando las gráficas 27 y 28 se observa que la línea que describe el comportamiento a lo largo de la semana está suavizada (gráfica 28), es decir, las pequeñas desviaciones fueron minimizadas, pero el impacto general se conserva. Con las similares características referidas anteriormente.

La siguiente regresión se llevó a cabo con la reducción de los datos y tomando en cuenta el impacto de otras variables:

- Horas del día (1 a la 24)
- Días (lunes=1, martes=2, miércoles=3, jueves=4, viernes=5, sábado=6 y domingo=7)
- Meses (enero=1, febrero=2, marzo=3, abril=4, mayo=5, junio=6, julio=7, agosto=8, septiembre=9, octubre=10, noviembre=11 y diciembre=12)
- Horario de verano (horario de verano=1 y horario de invierno=0)
- Vacaciones (julio y diciembre =1, no vacaciones=0)
- Estaciones del año (primavera=1, verano=2, otoño=3 e invierno=4)

Cabe mencionar que las variables regresoras (demanda total, demanda de computo, demanda de iluminación interior y demanda exterior) tienen una medición escalar, mientras que las variables agregadas cuentan con medición nominal, siendo variables categóricas por su característica.

Haciendo estas consideraciones se llevó a cabo la regresión tomando como variable dependiente a la demanda total y como variables regresoras a todas las demás variables: demanda de cómputo, demanda de iluminación interior, demanda iluminación exterior, estaciones del año, vacaciones, horario de verano, meses, días y horas del día.

De este ejercicio de regresión se determinó que las variables que aportaban mayor información a la regresión eran: demanda iluminación interior, demanda iluminación exterior, demanda cómputo, horas del día, días de la semana y mes.

En la tabla 29 se presentan los resultados de la regresión. Lo que muestra que las variables son representativas para el modelo debido a que el parámetro de p_valor es menor de 0.05 del estadístico T.

Tabla 29. Resultados de la nueva regresión lineal múltiple

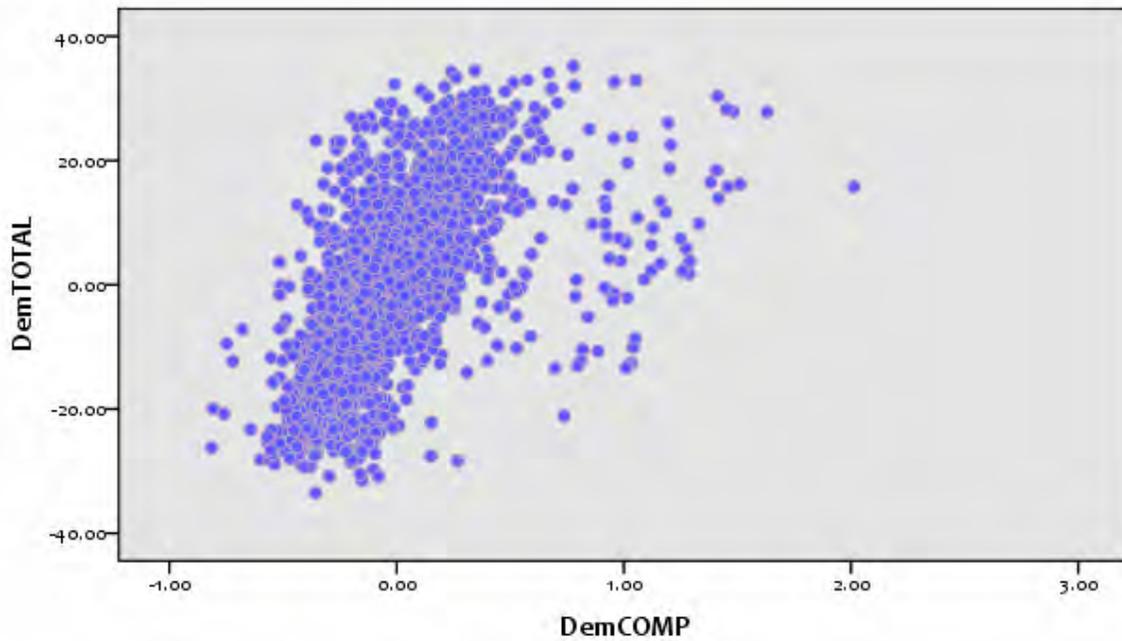
Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-Valor
Constante	36.335	1.250	29.068	0.000
DemComp	27.196	0.807	33.713	0.000
DemllumINTE	1.109	0.126	8.770	0.000
DemllumEXT	-0.909	0.189	-4.806	0.000
Hora	0.465	0.039	11.899	0.000
Meses	-0.823	0.078	-10.594	0.000
Día	-2.662	0.146	-18.230	0.000

Fuente: Resultados obtenidos de la regresión lineal a través de Programa de estadística

Con un valor de R^2 de 0.68, es decir, el modelo explica 68% de la variabilidad de la demanda total. Es un valor menor al obtenido en la primera regresión, sin embargo, no hay que olvidar que en el primer ejercicio usamos todos los datos, y por lo tanto los resultados no eran confiables.

Con el objetivo de observar si las variables regresoras contra las variables explicativas presentan una relación lineal son graficadas, y así determinar que tipo de relación existe entre ellas. En las gráficas 29 a la 34 se muestran la relación entre las variables.

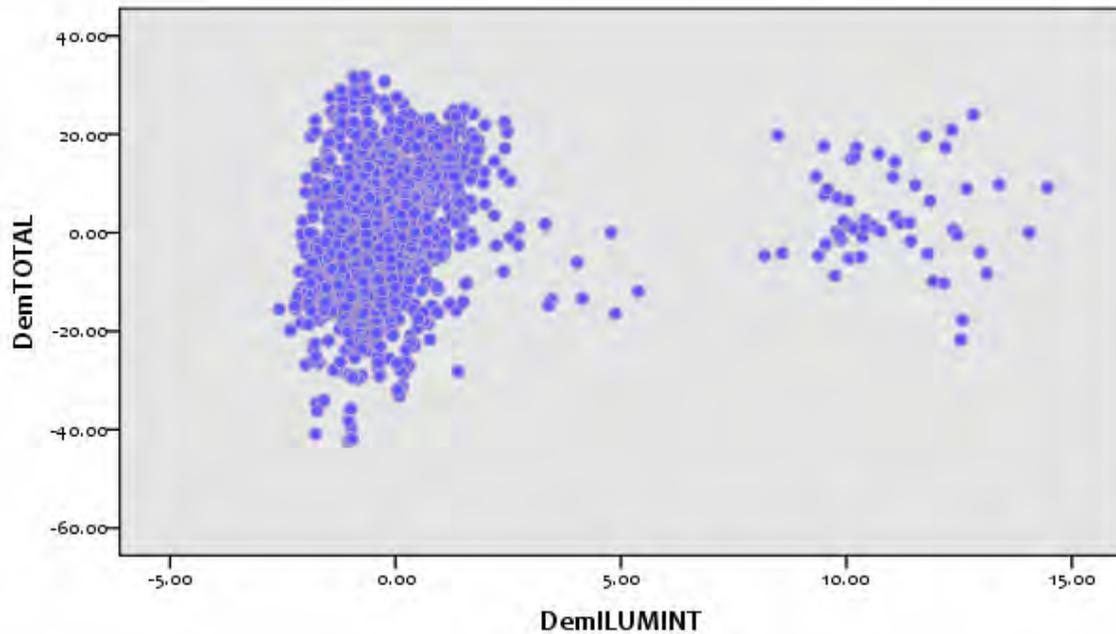
Gráfica 29. Gráfica de dispersión entre demanda total y demanda de cómputo



Fuente: Resultados obtenidos de la regresión lineal a través de Programa de estadística

Se observa una clara relación lineal entre la demanda total del edificio contra la demanda del sistema de computo, con algunos datos con una dispersión mayor.

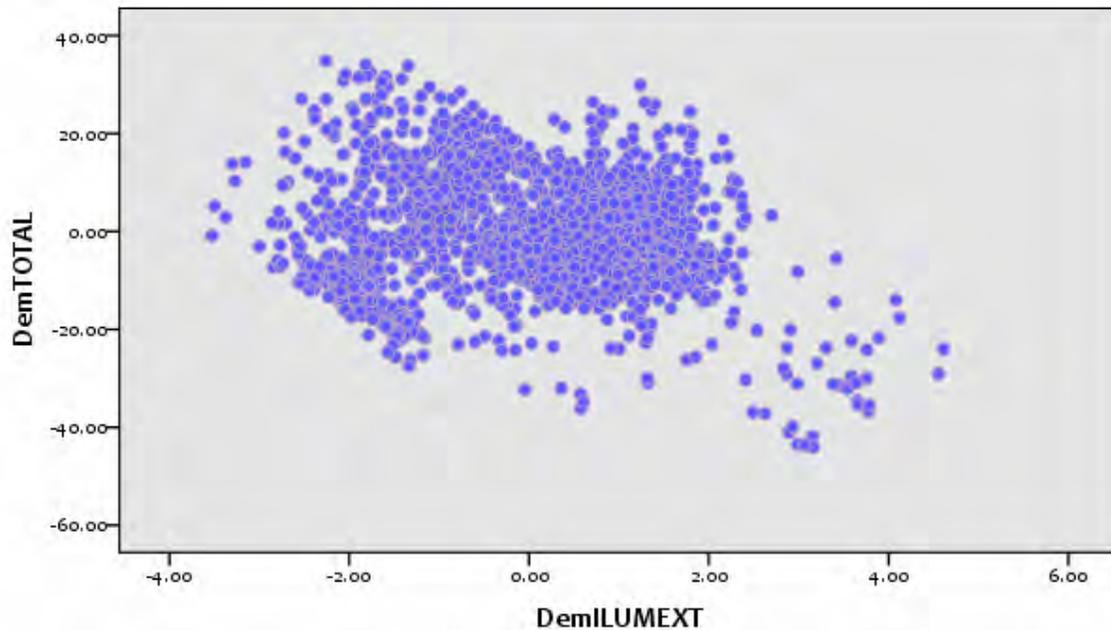
Gráfica 30. Gráfica de dispersión entre demanda total y demanda de iluminación interior



Fuente: Resultados obtenidos de la regresión lineal a través de Programa de estadística

En el caso de la relación que existe entre la demanda total y la demanda por iluminación interior se observan dos grupos, el que contiene la mayor cantidad de datos muestra una relación lineal. El segundo grupo son valores de la demanda que se presentaron en vacaciones en el mes de julio no fue posible ubicar a que se debió tal incremento en la demanda, pero es posible a remodelaciones que se llevaron a cabo en el edificio.

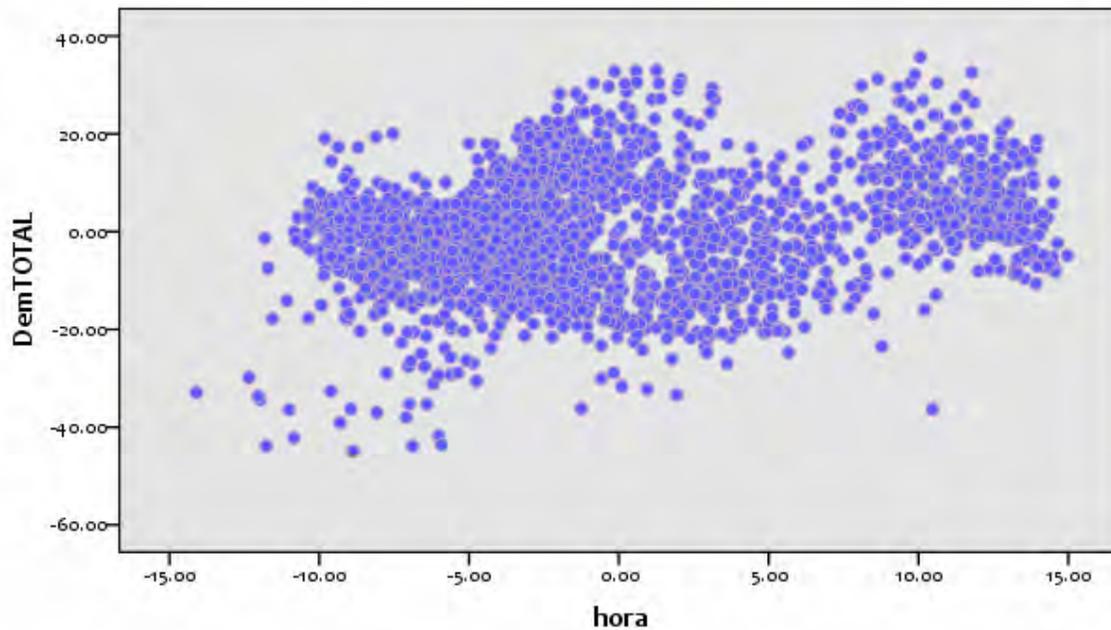
Gráfica 31. Gráfica de dispersión entre demanda total y demanda de iluminación exterior



Fuente: Resultados obtenidos de la regresión lineal a través de Programa de estadística

La demanda por iluminación exterior presenta una relación lineal negativa con la demanda total del edificio, presentándose algunos valores dispersos y eso podría ser a que la iluminación exterior, en algunas ocasiones, permanece encendida en el día.

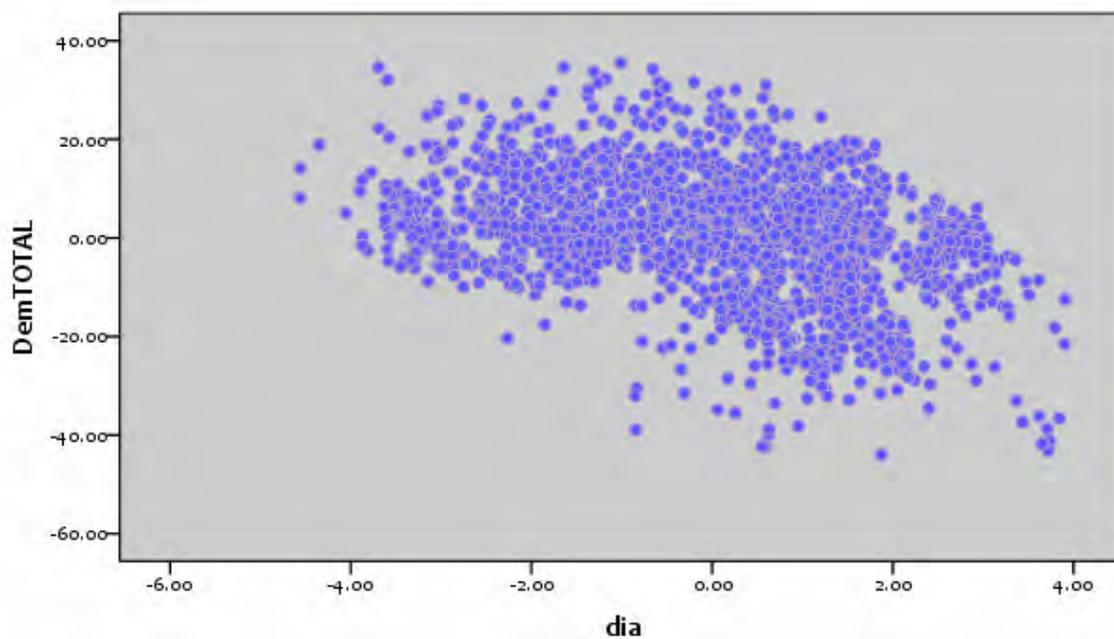
Gráfica 32. Gráfica de dispersión entre demanda total y las horas durante el día



Fuente: Resultados obtenidos de la regresión lineal a través de Programa de estadística

La relación que existe entre la demanda total y las horas del día es lineal como se observa en la gráfica 32, con algunos datos dispersos.

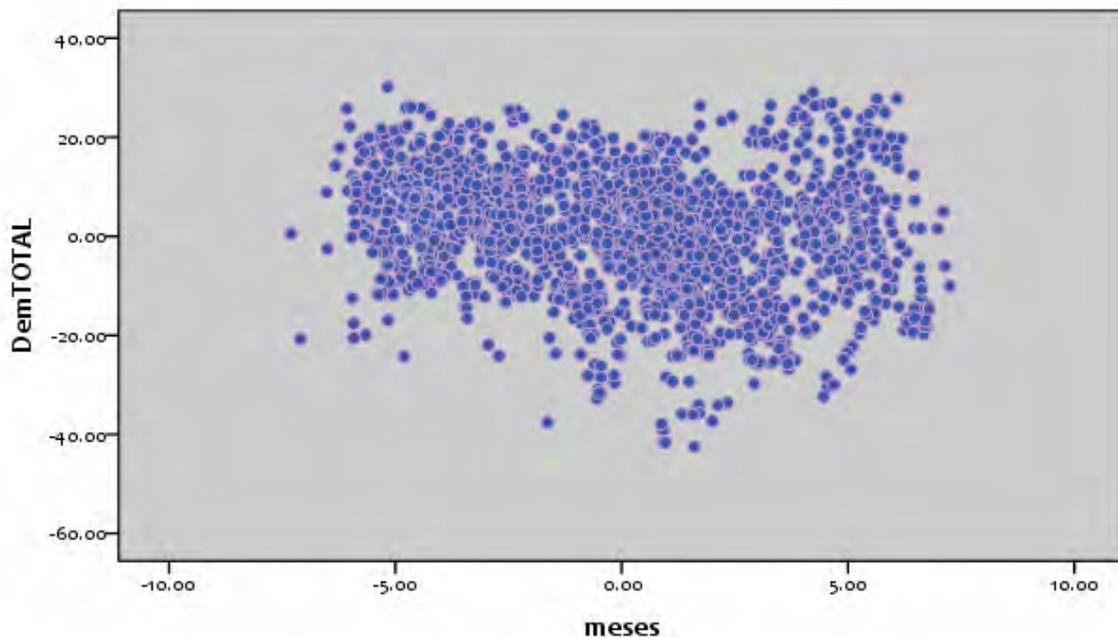
Gráfica 33. Gráfica de dispersión entre demanda total y las horas durante el día



Fuente: Resultados obtenidos de la regresión lineal a través de Programa de estadística

Para el caso de la relación entre la demanda total del edificio y los días de la semana, ésta también es lineal con algunos valores dispersos.

Gráfica 34. Gráfica de dispersión entre demanda total y los mese del año



Fuente: Resultados obtenidos de la regresión lineal a través de Programa de estadística

El comportamiento que presenta la demanda total del edificio y los meses del año es prácticamente constante y por lo tanto lineal, con algunos datos dispersos.

Al analizar cada una de las gráficas comprobamos que existe relación lineal entre las variables, con algunos datos dispersos y que siendo estrictos podríamos realizar alguna transformación de alguna de las variables, sin embargo, no es necesario debido al acercamiento con la relación lineal.

Otro supuesto importante de la regresión es la independencia, es decir correlación entre las variables regresoras. Para comprobar este supuesto se usa la prueba estadística Durbin-Watson (DW), referida en capítulos anteriores, en esta regresión tuvo un valor de 0.404 valor que indica que existe correlación serial entre las variables.

En la tabla 30 se presentan las correlaciones entre las variables, observando que existe cierta relación entre ellas, comprobando la dependencia que muestra el estadístico DW.

Tabla 30. Coeficientes de Correlación entre las variables

Modelo	Día	Meses	Hora	DemILUMEXT	DemILUMINT	DemCOMP
Día	1.000	-.086	-.089	.254	.246	.412
Meses	-.086	1.000	.021	-.179	.104	-.270
Hora	-.089	.021	1.000	.118	-.091	-.165
DemILUMEXT	.254	-.179	.118	1.000	.125	.534
DemILUMINT	.246	.104	-.091	.125	1.000	.003
DemCOMP	.412	-.270	-.165	.534	.003	1.000

Fuente: Resultados obtenidos de la regresión lineal a través de Programa de estadística

Por otro lado, existe otra prueba para determinar la multicolinealidad denominada Factor de Inflación de Varianza (VIF) para cada término del modelo si existe uno o más VIF grandes existe multicolinealidad. La bibliografía indica que si hay uno o más valores VIF mayores que 5 ó 10. La regresión arroja los siguientes valores de VIF que se muestran en la tabla 31.

Tabla 31. Valores de Factor de Inflación de Varianza (VIF) para cada término del modelo

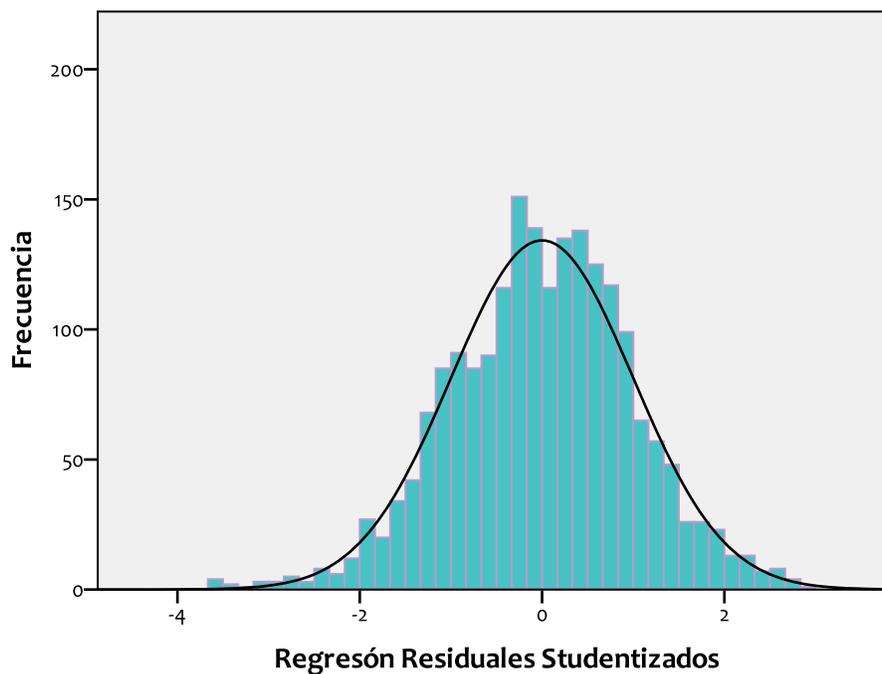
Modelo	VIF
Constante	---
DemComp	1.805
DemIllumINTE	1.132
DemIllumEXT	1.542
Hora	1.115
Meses	1.096
Día	1.298

Fuente: Resultados obtenidos de la regresión lineal a través de Programa de estadística

Los valores anteriores muestran que ninguna de las variables está influyendo en la multicolinealidad.

Comprobar la normalidad de los residuos es otro de los supuestos que debe cumplir la regresión para contar con un buen modelo de regresión. Para lo cual un histograma es de gran ayuda. Ver gráfica 35.

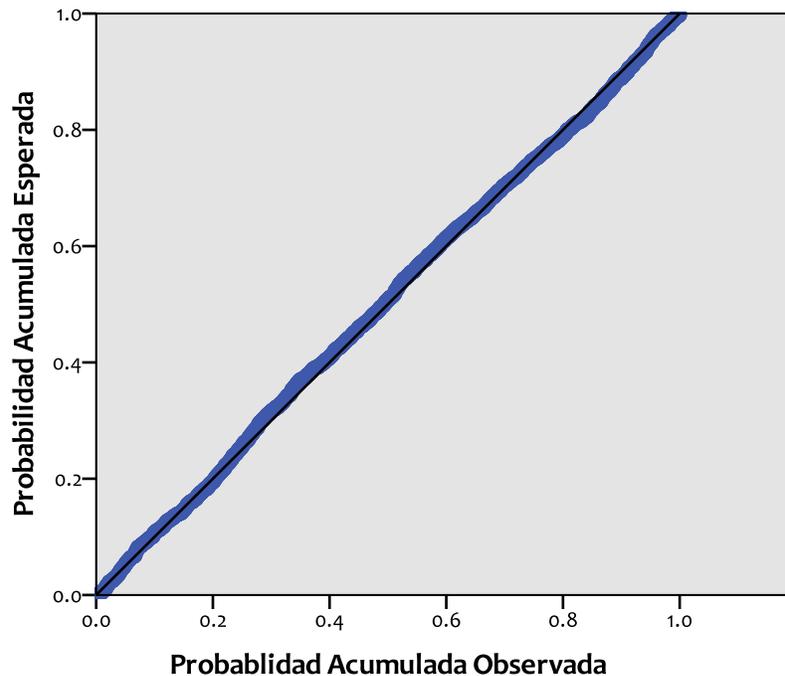
Gráfica 35. Histograma de los residuales



Fuente: Resultados obtenidos de la regresión lineal a través de Programa de estadística

El histograma revela prácticamente una distribución normal entre los valores residuales, lo que podemos comprobar con la gráfica 36 que muestra la probabilidad acumulada esperada contra la probabilidad acumulada observada, entonces, si los valores se encuentran sobre la línea de probabilidad entonces los datos tienen una distribución normal. De acuerdo a la gráfica 36 el supuesto de normalidad no es violado.

Gráfica 36. Gráfica de Probabilidades entre los valores esperados y los observados (Gráfica PP)

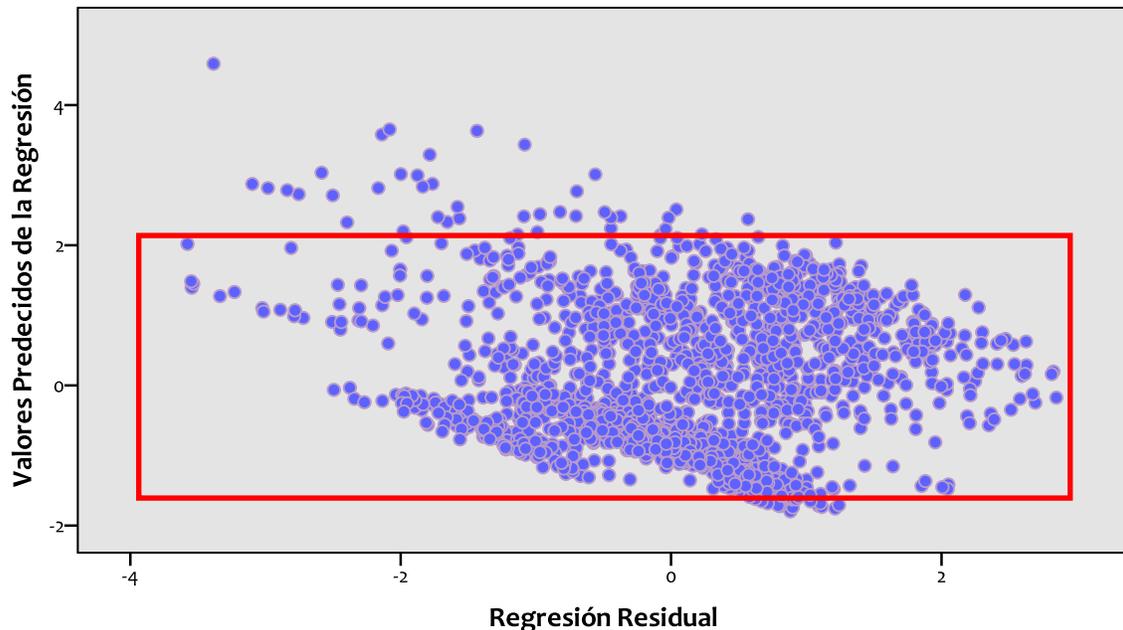


Fuente: Resultados obtenidos de la regresión lineal a través de Programa de estadística

Por último tenemos el supuesto de la varianza constante u Homoscedasticidad, en caso de lo cumplirse ocasiona que las varianzas de los estimadores de los parámetros sean grandes y afecten a R^2 y las pruebas estadísticas. El no cumplimiento a este supuesto puede corregirse a través de una transformación de las variables regresoras. Sin embargo, en este caso particular no es recomendable, debido a que en las gráficas de comprobación de linealidad los valores de las regresoras contra la dependiente no presenta mayor problema.

En la gráfica 37 se presentan los valores de los residuales contra los valores predichos de la regresión. Se observa que el supuesto de varianza constante no se cumple en su totalidad (con valores por fuera del rectángulo).

Gráfica 37. Dispersión entre los valores predichos y los residuales de la regresión



Fuente: Resultados obtenidos de la regresión lineal a través de Programa de estadística

Después de analizar cada uno de los supuestos de la regresión comprobamos que existen algunos de ellos que no se cumplen. La varianza constante es una de ellas, sin embargo y debido a la relación que presentan las variables entre si no es recomendable llevar a cabo una transformación de las variables.

Adicionalmente, la independencia entre las variables no se cumple (estadístico DW) lo cual se observa en la tabla de las correlaciones entre ellas. Sin embargo, este comportamiento es de esperarse cuando se analiza energía eléctrica en una instalación, en este caso un edificio de investigación social.

Finalmente, el modelo de regresión quedaría de la siguiente manera:

$$\text{DemTotal} = 36.335 + 27.196(\text{DemComp}) + 1.109(\text{DemIllumINTE}) - 0.909(\text{DemIllumEXT}) + 0.465(\text{Hora del día}) - 0.823(\text{Mes del año}) - 2.662(\text{Día de la semana})$$

Explicando el 68% del comportamiento de la demanda eléctrica total del edificio a través de los usos finales de energía (iluminación interior, cómputo e iluminación exterior) y otras variables involucradas como: el mes del año, el día de la semana y las horas del día.

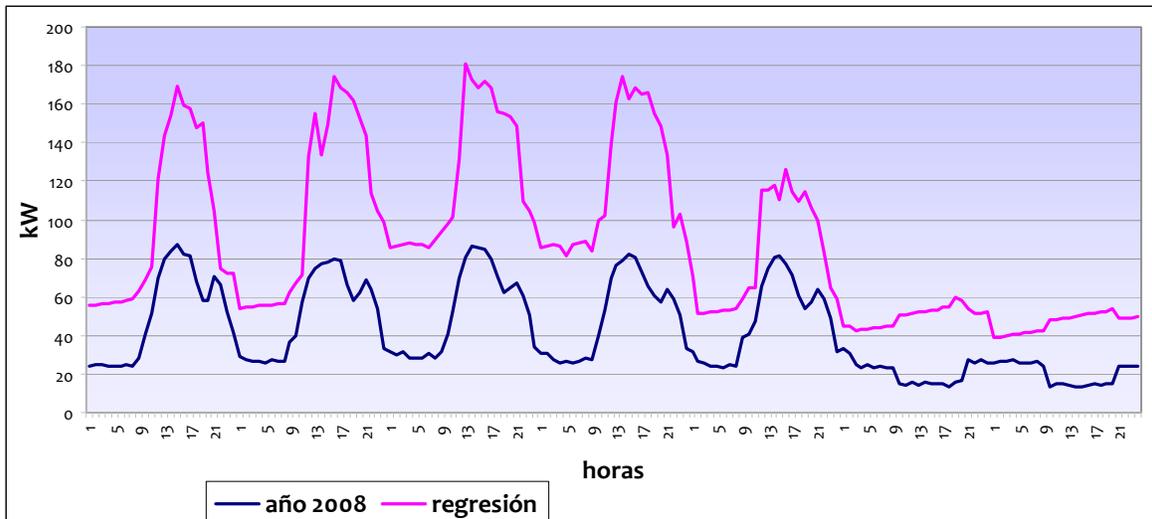
Validación del modelo de regresión

Contamos con un modelo de regresión, el que mejor se ajusta al comportamiento estudiado, sabemos que éste explica el 68% de la variable dependiente en función de las variables regresoras. Pero no sabemos con exactitud si es realmente una buena aproximación de lo que sucede en el edificio con respecto al uso de la energía eléctrica.

En este sentido, para validar el modelo se tomaron las mediciones correspondientes al año 2008, (el análisis de regresión se realizó con los datos de las mediciones del año 2007) sustituyendo los valores correspondientes de demanda eléctrica de los usos finales, así como los días, horas y por mes, en este caso particular no contamos con la información de algunos meses por problemas en la medición, por lo tanto y con el fin de validar el modelo se tomará la información correspondiente a seis meses. Cabe mencionar que los datos corresponden a una semana promedio por mes.

En las gráficas 38 a la 40 se muestra el comportamiento de la demanda total del edificio contra el resultado de la regresión para los meses de enero a marzo del año 2008.

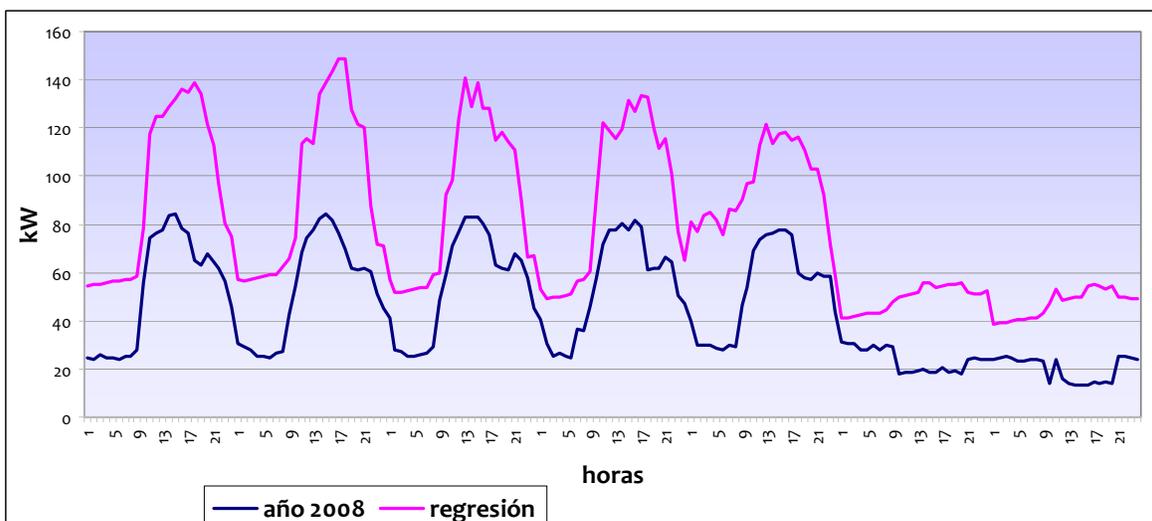
Gráfica 38. Comparación de la regresión contra datos semana/enero 2008



Fuente: Elaboración propia

La regresión para el mes de enero del 2008 presenta una drástica diferencia contra la demanda total real medida, sin embargo el patrón de la curva puede considerarse que se conserva. Se espera que para los meses siguientes: febrero, marzo, abril, mayo y junio el comportamiento sea similar.

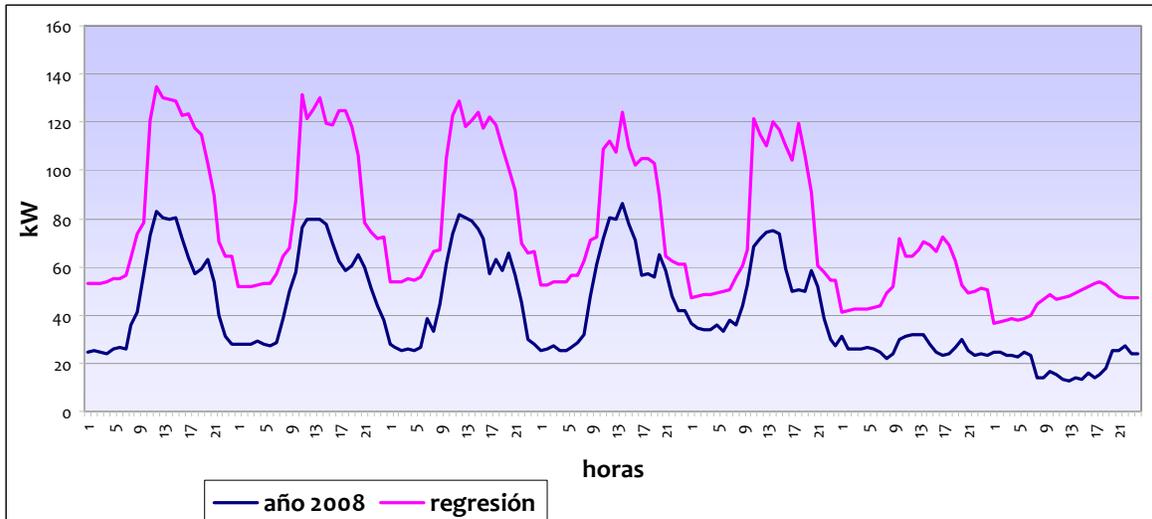
Gráfica 39. Comparación de la regresión contra datos semana/febrero 2008



Fuente: Elaboración propia

El comportamiento para el mes de febrero con la regresión presenta una diferencia importante, el viernes en la noche la demanda eléctrica presenta picos que no debería de acuerdo a la demanda medida. Adicionalmente, el fin de semana no presenta la misma curva característica, siendo la principal carga la iluminación exterior, la regresión presenta una curva característica totalmente diferente.

Gráfica 40. Comparación de la regresión contra datos semana/marzo 2008



Fuente: Elaboración propia

El mes de marzo presenta una situación similar con los valores de la demanda eléctrica por la regresión, con una diferencia notoria para el sábado donde la curva característica definitivamente no representa el comportamiento real de la demanda del edificio.

Podemos notar que los resultados derivados de la regresión tienen un sesgo importante contra los datos reales de la demanda eléctrica, no hay que olvidar que el modelo solamente tiene un ajuste del 68%, con algunos problemas en el cumplimiento de los supuestos, los cuales se deben al mismo comportamiento energético del edificio.

En conclusión, un modelo de regresión lineal múltiple no es la mejor opción para la modelación del comportamiento energético a través de usos finales, de acuerdo a la opción de especialistas en estadística pudiera ser una opción adecuada el uso de series de tiempo combinadas con regresión lineal múltiple, lo cual podría ser una línea de investigación para la modelación de las edificaciones terciarias.

Capítulo VII. Discusión y conclusiones

El análisis de la información generada de los estudios energéticos y arquitectónicos proporcionó resultados importantes. A través de los datos obtenidos de las mediciones de parámetros eléctricos se generaron gráficas de perfiles de carga, con las cuales se puede caracterizar a cada uno de los edificios por su tipo de uso, esto se observa al contrastar las gráficas de un día hábil (miércoles).

El CELE con un uso preponderante de aulas presenta un comportamiento en el cual no existe disminución de la demanda durante el día, no existe, de manera evidente un horario de comida, pero si de entrada y de salida. Mientras que para los edificios del Instituto de Antropológicas y el Instituto de Química si existe un horario de comida con una consecuente disminución de la demanda.

Sin embargo, la diferencia entre los usos de los Institutos se presenta en la demanda base. El Instituto dedicado al uso de investigación científica tiene una demanda base que representa el 37% de la demanda máxima, esto se explica precisamente en el uso propio del edificio con servidores procesando información y equipo de laboratorio que no puede ser apagado.

La biblioteca “Antonio Caso” presenta un comportamiento definido en donde se aprecia claramente el horario de inicio y término de labores sin horarios intermedios con una demanda base del 8% de la demanda máxima.

La Dirección de CCH con un uso de oficinas administrativas tiene un comportamiento atípico la demanda máxima se presenta en la noche lo que implica que su carga principal corresponde al sistema del alumbrado público o exterior, esto se comprueba con los indicadores energéticos por uso final que se calcularon en el capítulo V.

Por otro lado, los indicadores energéticos calculados dan oportunidad a clasificar a los edificios de acuerdo a su uso particular, la biblioteca presentó un indicador de alrededor de 35 kWh/m² año, mientras que el Instituto de Química tiene un indicador de 119 kWh/m² año. Como se mostró en el capítulo IV cada edificio tiene una carga diferente debido al equipamiento instalado, así como los patrones de uso, de esta manera es posible hacer distinción entre tipo edificios.

De la misma forma, los indicadores por uso final determinan el sistema analizado, para la iluminación interior el indicador por consumo promedio es de 31 kWh/m² año, mientras que para el alumbrado exterior o público el valor es de 3 kWh/m² año, esto permite corroborar o validar información obtenida a través de un diagnóstico energético.

La evaluación arquitectónica se realizó a través de la metodología desarrollada para evaluar el cumplimiento de la normatividad energética vigente en esta materia, NOM008-ENER-2001. Se observó que los edificios que cumplen con lo establecido con la norma tiene un ahorro de energía por arriba del 37% con respecto del edificio de referencia, es decir su ganancia de calor total es menor que el edificio de referencia. Adicionalmente, estos edificios cuentan con volados o ventanas remetidas o incluso se encuentran entre una zona de árboles como es el caso del Instituto de Antropológicas.

Los edificios que no cumplen con lo establecido con la norma tienen una mayor área de ventanas en las orientaciones sur y poniente, son menos altos y el techo presenta una mayor ganancia de calor hacia el interior. Existe un caso extremo como el comedor del Instituto de Química el cual es prácticamente una caja de vidrio.

Asimismo, se encontró que el porcentaje de ventana con respecto al muro para que el edificio cumpla con la disposición de la norma debe tener como máximo 35 %, la norma establece 40% máximo.

Las mediciones (2007) de demanda total del Instituto de Antropológicas, así como en circuitos dedicados a usos finales: iluminación interior, iluminación exterior o alumbrado público y cómputo proporcionaron información suficiente para llevar a cabo la modelación del comportamiento eléctrico a través del uso de herramientas estadísticas.

La regresión lineal múltiple permite modelar y predecir el comportamiento de fenómenos lineales con más de una variable dependiente, por lo tanto es la mejor opción de análisis. Para tal caso se realizaron varias corridas, con variables adicionales y número de datos, como se expone en el capítulo VI.

En este sentido, el resultado obtenido de la regresión es una ecuación con seis variables dependientes que fue validada con la información de las mediciones de demanda realizadas durante 2008. La validación mostró una diferencia de tres veces los valores de la demanda total pero conservó el perfil de demanda, cabe mencionar que debido a los valores de las mediciones, así como a su comportamiento la regresión tuvo un ajuste del 68%, lo que implica una búsqueda de un método que se ajuste a las necesidades del comportamiento de los datos. Una combinación entre regresión lineal múltiple y series de tiempo sería una opción a estudiar, así como las redes neuronales.

Adicionalmente, se identificaron áreas de los edificios que no cumplen con la normatividad vigente sobre niveles de iluminación (NOM025-STPS-2008) esto se debe a que existen luminarias junto con lámpara balastro con tecnología obsoleta (lámparas T12 con balastro electromagnético convencional) y que afectan también a la densidad de potencia eléctrica (DPEA) del sistema de iluminación con valores por encima de lo que establece la normatividad sobre eficiencia energética (NOM007-SENER-2005).

Es importante mencionar que uno de los edificios contaba en un 60% del sistema de iluminación interior con una mejor opción tecnológica (lámparas T8 con balastro electrónico), por consiguiente un mejor nivel de iluminación y el cumplimiento de la normatividad sobre eficiencia energética. También se observó que han realizado algunos cambios de lámparas de manera aislada, es decir, en algunas áreas de los edificios que no llegan a representar más del 10 por ciento.

Después de este planteamiento en donde se discutieron los resultados derivados del estudio de investigación de edificios Universitarios del Campus de Ciudad Universitaria se presentan las siguientes conclusiones.

Conclusiones

El consumo de energía en el sector comercial ha tomado un importante lugar en la estrategia energética del país debido a que, en conjunto con el sector residencial representa más del 25% del consumo de energía eléctrica¹. Los edificios presentan un comportamiento energético que depende de una serie de variables que en algunos casos eran desconocidas o no habían sido estudiadas.

Este trabajo de investigación sobre edificaciones en un Campus Universitario de la importancia y tamaño que tiene Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) presenta los resultados de los análisis energéticos y arquitectónicos realizados, que dieron datos suficientes para modelar a través de herramientas estadísticas la demanda eléctrica.

Para realizar los estudios energéticos se desarrolló una metodología que, en este momento, con el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM se está automatizando a través de programas informáticos con el fin de reducir el tiempo de proceso del mismo. De esta manera se contribuirá con una herramienta para la elaboración de diagnósticos energéticos en edificios del sector comercial.

Derivado del análisis de la distribución de cargas eléctricas se observó que el sistema de iluminación interior es la carga más importante dentro de la mayoría de los edificios. Así como la existencia de tecnología obsoleta instalada, esto representa el sistema con mayor potencial de ahorro de energía y por lo tanto una línea de acción dentro de un programa integral de ahorro de energía de la Universidad.

En este sentido, los indicadores energéticos han comprobado ser una excelente herramienta de seguimiento en la aplicación de medidas de ahorro de energía. Así como, la comparación entre edificaciones con el mismo tipo de uso para determinar el grado o nivel de eficiencia con que es usada la energía. Los valores obtenidos en este trabajo son la base para llevar a cabo tal acción e identificar potenciales de ahorro en el edificio y por uso final de energía.

¹ Edificación Sustentable en América del Norte, oportunidades y retos, Informe del Secretariado al Consejo conforme al artículo 13 del acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 2008

Por otra parte, estos indicadores sientan las bases para establecer normatividad en materia de ahorro y uso eficiente de energía en Campus Universitarios ubicados en el centro del país con condiciones climatológicas similares a los edificios del Campus en estudio.

Los resultados obtenidos de la modelación de la demanda eléctrica total, en función de los usos finales no presentaron un buen ajuste cuando se compararon con los valores de las mediciones correspondientes al año 2008. Esto se debió primeramente, al comportamiento de los mismos datos, lo que deja como línea de investigación abierta aplicar herramientas como la combinación de la regresión lineal múltiple con series de tiempo y redes neuronales y llevar a cabo una comparación de los resultados.

En este sentido, se plantean algunas líneas de investigación adicionales como: determinar una relación entre los niveles de iluminación y la densidad de potencia eléctrica por alumbrado (DPEA) con el fin de predecirlos y el impacto de la iluminación natural debido a la orientación de los edificios, tamaño de ventana, colores de paredes, piso y techos.

Finalmente, se recomienda a los responsables del mantenimiento y adquisición de equipo elaborar fichas técnicas de lámparas y balastos de tecnología eficiente con el fin de sustituir los sistemas actuales, con lo que se obtendrá una mejora en los niveles de iluminación y un aumento en el confort de los usuarios.

Así mismo y como se observó en el desarrollo de este trabajo, el estudio de los edificios del sector comercial requiere de una integración de esfuerzos multidisciplinarios, para lo cual se recomienda desarrollar bases de datos sobre los estudios del comportamiento eléctrico y térmico; así el análisis detallado por equipo consumidor de energía.

Bibliografía

A.F. TZIKOPOULOS, M.C. KARATZA, J.A. PARAVANTIS, “Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings” Magazine Elsevier Energy and Buildings, 2004.

CALIFORNIA ENERGY COMMISSION, “Commercial Building Energy Benchmarking”, TECHNICAL REPORT, 2003.

CARLOS MALLO GONZÁLEZ, “Predicción de la demanda eléctrica horaria mediante redes neuronales artificiales”, Departamento de Economía Cuantitativa. Universidad de Oviedo.

COMISIÓN PARA LA COOPERACIÓN AMBIENTAL, “Edificación Sustentable del Norte, Oportunidades y Retos,” 2008.

ESCOBEDO IZQUIERDO MANUELA AZUCENA, Tesis de maestría, “Indicadores energéticos en iluminación para inmuebles destinados al uso de oficinas públicas caso: Centro del país”, 2005.

G. MIHALAKAKOU, M. SANTAMOURIS, A. TSANGRASSOULIS, “On the energy consumption in residential buildings”, Magazine Elsevier Energy and Buildings, 2001.

GERARDO LORETO GÓMEZ, Tesis de maestría, “Visual Servoing con compensación utilizando Redes Neuronales”, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, 2002.

JUAN JOSÉ MONTAÑO MORENO, Tesis de doctorado, “Redes Neuronales Artificiales aplicadas al Análisis de Datos” Universitat de les Illes Balears , 2002.

KAORU KAWAMOTO, YOSHIYUKI SHIMODA, MINORU MIZUNO, “Energy saving potential of office equipment power management”, Magazine Elsevier Energy and Buildings, 2004.

L. BARELLI, G. BIDINI, “Development of an energetic diagnosis method for the buildings: example of the Perugia University”, Magazine Elsevier Energy and Buildings, 2001.

M. BODART, A. DE HARDE, “Global energy saving in offices buildings by the use of daylighting”, Magazine Elsevier Energy and Buildings, 2001.

MATICH DAMIÁN JORGE, Apuntes de la cátedra de Informática Aplicada a la Ingeniería de Procesos – Orientación I, Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rosario, 2001.

MERIH AYDINALP, V. ISMET UGURSAL, ALAN S. FUNG, “Modeling of the appliance, lighting, and spacecooling energy consumptions in the residential sector using neural networks”, Magazine Elsevier Applied Energy, 2001.

MERIH AYDINALP-KOKSAL A, V. ISMET UGURSAL, “Comparison of neural network, conditional demand analysis, and engineering approaches for modeling end-use energy consumption in the residential sector”, Magazine Elsevier Applied Energy, 2007.

MONTGOMERY, PERCK, VINING, Introducción al Análisis de Regresión Lineal, CECSA, 3era edición, 2006.

MORCEGO SEIX, BERNARDO, Tesis de doctorado, “Estudio de redes neuronales modulares para el modelado de sistemas dinámicos no lineales”, Universidad Politécnica de Cataluña, 2000.

PEDRO A. GONZÁLEZ, JESU’S M. ZAMARRENˆO, “Prediction of hourly energy consumption in buildings based on a feedback artificial neural network”, Magazine Elsevier Energy and Buildings, 2004.

PHILIP C.H. YU, W.K. CHOW, “Energy use in commercial buildings in Hong Kong”, Magazine Elsevier Applied Energy, 2001.

S. KARATASOU , M. SANTAMOURIS, V. GEROS, “Modeling and predicting building’s energy use with artificial neural networks: Methods and results”, Magazine Elsevier Energy and Buildings, 2005.

S. KARATASOU , M. SANTAMOURIS, V. GEROS, “Modeling and predicting building’s energy use with artificial neural networks: Methods and results”, Magazine Elsevier Energy and Buildings, 2005.

TERRY SHARP, “Energy Benchmarking In Commercial Office Buildings”, Oak Ridge National Laboratory.

THE US DEPARTMENT OF ENERGY, “Energy Design Guidelines for High Performance Shools”, sin fecha.

TORRA PORRAS SALVADOR, Tesis de doctorado, “Siniestralidad en seguros de consumo anual de las entidades de previsión social, La Perspectiva probabilística y econométrica. Propuesta de un modelo econométrico neuronal para Cataluña”, Universidad de Barcelona, 2003.

VINCENC BUTALA, PETER NOVAK,” Energy consumption and potential energy savings in old school buildings, Magazine Elsevier Energy and Buildings, 1998.

NORMA Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Energía.- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.- Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE).

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-008-ENER-2001, EFICIENCIA ENERGETICA EN EDIFICACIONES, ENVOLVENTE DE EDIFICIOS NO RESIDENCIALES.

ODON DE BUEN RODRIGUEZ, Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos y Director General de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, con fundamento en los artículos 17 y 33 fracciones VIII y IX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 1o., 38 fracciones II y III, 40 fracciones I, X y XII, 43 y 47 fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y 34 de su Reglamento; 1o., 2o., 3o. fracción I y 8o. fracciones I y VIII del Decreto por el que se crea la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, como órgano desconcentrado de la Secretaría de Energía y 1o. del Acuerdo por el que se delega en favor del Director General de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, las facultades para presidir el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, así como expedir las normas oficiales mexicanas en el ámbito de su competencia, publicados en el **Diario Oficial de la Federación** el 20 de septiembre y 29 de octubre de 1999, respectivamente, y

CONSIDERANDO

Que las reformas a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal publicadas en el **Diario Oficial de la Federación** el 28 de diciembre de 1994, delimitaron las facultades de la Secretaría de Energía, mismas entre las que se encuentra la de expedir normas oficiales mexicanas que promueven la eficiencia del sector energético;

Que el Programa Nacional de Normalización de 2001 publicado en el **Diario Oficial de la Federación** el 12 de marzo de ese mismo año, contempla la expedición de la presente Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales, cuya finalidad es la preservación y uso racional de los recursos energéticos;

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, ordenó la publicación del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-008-ENER-1999, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales; lo que se realizó en el **Diario Oficial de la Federación** el 22 de septiembre de 2000, con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo que lo propuso;

Que durante el plazo de 60 días naturales contados a partir de la fecha de publicación de dicho proyecto de norma oficial mexicana, la Manifestación de Impacto Regulatorio a que se refiere el artículo 45 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, estuvo a disposición del público en general para su consulta; y que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto de norma, los cuales fueron analizados por el citado Comité Consultivo, realizándose las modificaciones procedentes;

Que en la sesión celebrada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos con fecha 9 de marzo de 2001, los miembros del Comité aprobaron por consenso la norma referida;

Que con fecha 29 de marzo de 2001 se publicaron en el **Diario Oficial de la Federación** las respuestas a los comentarios recibidos respecto del Proyecto de Norma PROY-NOM-008-ENER-1999, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales, y

Que la Ley Federal sobre Metrología y Normalización establece que las normas oficiales mexicanas se constituyen como el instrumento idóneo para la prosecución de estos objetivos, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., a 6 de abril de 2001.- El Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE) y Director General de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, **Odón de Buen Rodríguez**.- Rúbrica.

**NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-008-ENER-2001, EFICIENCIA ENERGETICA
EN EDIFICACIONES, ENVOLVENTE DE EDIFICIOS NO RESIDENCIALES**

PREFACIO

La presente Norma fue elaborada bajo la coordinación del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE) con el apoyo del Instituto de Investigaciones Eléctricas y con la colaboración de los siguientes organismos y empresas:

- Aislantes Minerales
- ASHRAE, Capítulo México
- Asociación Mexicana de Directores Responsables de Obra y Corresponsables, A.C.
- Asociación Mexicana de Empresas del Ramo de Instalaciones para la Construcción, A.C.
- Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción
- Colegio de Arquitectos de México
- Comisión Federal de Electricidad
- Colegio de Ingenieros Mecánicos Electricistas
- Colegio Nacional de Ingenieros Arquitectos
- Dirección General de Normas de la Secofi
- Fideicomiso de Ahorro de Energía
- Instituto de Ingeniería de la UNAM
- Instituto de Investigaciones Eléctricas
- Instituto Mexicano del Petróleo
- Luz y Fuerza del Centro
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C.
- Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico
- Programa Universitario de Energía
- Secretaría de Desarrollo Social
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, actualmente Secretaría de Economía, Dirección General de Normas
- Vitro Vidrio Plano de México, S.A. de C.V.

CONTENIDO

0. Introducción
1. Objetivo
2. Campo de aplicación
3. Referencias
4. Definiciones
 - 4.1 Ampliación de edificación
 - 4.2 Area construida
 - 4.3 Barreras para vapor
 - 4.4 Coeficiente de sombreado (CS)
 - 4.5 Edificio; edificación
 - 4.6 Edificio proyectado
 - 4.7 Edificio de referencia
 - 4.8 Envolverte de un edificio

- 4.9 Muro ligero
- 4.10 Muro masivo
- 4.11 Opaco
- 4.12 Pared
- 4.13 Sistemas de enfriamiento
- 4.14 Superficie inferior
- 4.15 Techo
- 4.16 Temperatura equivalente promedio (t_e)
- 4.17 Transparente y/o translúcido
- 5. Clasificación
- 6. Especificaciones
 - 6.1. Ganancia de Calor
- 7. Método de prueba (Cálculo del Presupuesto Energético)
 - 7.1 Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado
 - 7.2 Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia
 - 7.3 Determinación del coeficiente global de transferencia de calor (K) de las porciones de la envolvente
 - 7.4 Barreras para vapor
 - 7.5 Orientación
- 8. Muestreo
- 9. Informe de resultados
- 10. Información al público
- 11. Etiquetado
 - 11.1 Permanencia
 - 11.2 Ubicación
 - 11.3 Información
 - 11.4 Material
 - 11.5 Dimensiones
 - 11.6 Distribución de la información y colores
- 12. Vigilancia
- 13. Sanciones
- 14. Bibliografía
- 15. Concordancia con normas internacionales
- 16. Transitorios

APENDICES NORMATIVOS

- A. Tablas
- B. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor
- C. Formato para el informe del cálculo del presupuesto energético

APENDICE INFORMATIVO

- D. Valores de conductividad y aislamiento térmico de diversos materiales

0. Introducción

La normalización para la eficiencia energética en edificios representa un esfuerzo encaminado a mejorar el diseño térmico de edificios, y lograr la comodidad de sus ocupantes con el mínimo consumo de energía.

En México, el mayor consumo de energía en las edificaciones es por concepto de acondicionamiento de aire, durante las épocas de mayor calor, principalmente en las zonas norte y costera del país. La ganancia por radiación solar es la fuente más importante a controlar, lo cual se logra con un diseño adecuado de la envolvente.

En este sentido, esta Norma optimiza el diseño desde el punto de vista del comportamiento térmico de la envolvente, obteniéndose como beneficios, entre otros, el ahorro de energía por la disminución de la capacidad de los equipos de enfriamiento y un mejor confort de los ocupantes.

Las unidades que se utilizan en esta Norma corresponden al Sistema General de Unidades de Medida, único legal y de uso obligatorio en los Estados Unidos Mexicanos, con las excepciones y consideraciones permitidas en su Norma NOM-008-SCFI vigente.

1. Objetivo

Esta Norma limita la ganancia de calor de las edificaciones a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento.

2. Campo de aplicación

Esta Norma aplica a todos los edificios nuevos y las ampliaciones de edificios existentes.

Quedan excluidos edificios cuyo uso primordial sea industrial o habitacional.

Si el uso de un edificio dentro del campo de aplicación de esta Norma constituye el 90 por ciento o más del área construida, esta Norma aplica a la totalidad del edificio.

3. Referencias

Para la correcta aplicación de esta Norma se deben consultar las siguientes normas vigentes.

NOM-008-SCFI -1993 Sistema General de Unidades de Medida.

NOM-018-ENER-1997 Aislantes térmicos para edificaciones. Características, límites y métodos de prueba.

4. Definiciones

Para los efectos de esta Norma se definen los siguientes términos:

4.1 Ampliación de edificación

Cualquier cambio en la edificación que incremente el área construida.

4.2 Área construida

Es la suma en metros cuadrados de las superficies de todos los pisos de un edificio, medidos a nivel de piso por el exterior de las paredes. No incluye área de estacionamiento.

4.3 Barreras para vapor

Es un material, producto o componente de un muro o techo que proporciona resistencia a la transmisión de vapor de agua en forma continua sobre la totalidad de la superficie del muro o techo.

4.4 Coeficiente de sombreado (CS)

La razón entre el calor de radiación solar que se gana a través de un vidrio específico, al calor por radiación solar que se gana a través de un vidrio claro de 3 mm de espesor, bajo idénticas condiciones.

4.5 Edificio; edificación

Cualquier estructura que limita un espacio por medio de techos, paredes, piso y superficies inferiores, que requiere de un permiso o licencia de la autoridad municipal o delegacional para su construcción.

4.6 Edificio proyectado

El edificio que se pretende construir.

4.7 Edificio de referencia

Es el edificio que conservando la misma orientación, las mismas condiciones de colindancia y las mismas dimensiones en planta y elevación del edificio proyectado, es utilizado para determinar un presupuesto energético máximo.

4.8 Envolvente de un edificio

Está formada por techo, paredes, vanos, piso y superficies inferiores, que conforman el espacio interior de un edificio.

4.9 Muro ligero

Es aquel construido empleando un bastidor o estructura soportante abierta, la cual se recubre en ambos lados, con tableros de material con espesores hasta de 2,5 cm, dejando al interior un espacio hueco o relleno con aislante térmico.

4.10 Muro masivo

Es aquel construido con concreto, bloque hueco de concreto, tabicón, tabique rojo recocido, bloque perforado de barro extruido, bloque o tableros de concreto celular curado con autoclave, bloque de tepetate o adobe, o materiales semejantes con espesor igual o mayor a 10 cm.

4.11 Opaco

Lo que no permite pasar la luz visible.

4.12 Pared

Es la componente de la envolvente de un edificio cuya normal tiene un ángulo con respecto a la vertical mayor a 45° y hasta 135°.

4.13 Sistemas de enfriamiento

Aparato o equipo eléctrico utilizado para enfriar mecánicamente un espacio al interior de un edificio.

4.14 Superficie inferior

Es la componente de la envolvente de un edificio que tiene una superficie exterior cuya normal tiene un ángulo con respecto a la vertical mayor a 135° y hasta 180°. Comúnmente se le conoce como el piso o entrepiso del 1er. nivel habitable.

4.15 Techo

Es la componente de la envolvente de un edificio que tiene una superficie exterior cuya normal tiene un ángulo con respecto a la vertical mayor o igual a 0° y hasta 45°.

4.16 Temperatura equivalente promedio (t_e)

Es una temperatura indicativa, de la temperatura exterior promedio, durante el periodo de uso de sistemas de enfriamiento.

4.17 Transparente y/o translúcido

Lo que permite el paso de la luz visible

5. Clasificación

Para fines de esta Norma, las partes que conforman la envolvente de un edificio se clasifican y denominan de la siguiente manera.

Nombre de la componente	Angulo de la normal a la superficie exterior con respecto a la vertical	Partes
Techo	Desde 0° y hasta 45°	Opaco transparente
Pared	Mayor a 45° y hasta 135°	Opaca (muro) transparente
Superficie inferior	Mayor a 135° y hasta 180°	Opaca transparente
Piso	Generalmente 180°; también se deben considerar los pisos inclinados	Opaco

6. Especificaciones

6.1 Ganancia de calor

La ganancia de calor (ϕ_p) a través de la envolvente del edificio proyectado debe ser menor o igual a la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia (ϕ_r), es decir:

$$\phi_p \leq \phi_r$$

6.1.1 Características del edificio de referencia

Se entiende por edificio de referencia aquel que conservando la misma orientación, las mismas condiciones de colindancia y las mismas dimensiones en planta y elevación del edificio proyectado, considera las siguientes especificaciones para las componentes de la envolvente:

Techo			
Parte	Porcentaje del área total %	Coefficiente global de transferencia de calor K (W/m ² K)	Coefficiente de Sombreado CS
Opaca	95	Tabla 1, Apéndice A	-----
Transparente	5	5,952	0,85

Pared			
Parte	Porcentaje del área total %	Coefficiente global de transferencia de calor K (W/m ² K)	Coefficiente de Sombreado CS
Fachada opaca	60	Tabla 1, Apéndice A	-----
Fachada transparente	40	5,319	1
Colindancia opaca	100	Tabla 1, Apéndice A	-----

Para el cálculo de ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia no se toma en cuenta la ganancia de calor a través del piso, debido a que se supone que se encuentra sobre el suelo. Sin embargo, en el caso de que el edificio proyectado tenga uno o más pisos de estacionamiento por encima del suelo, se debe sumar la ganancia de calor a través del piso o entrepiso del 1er. nivel habitable del mismo.

7. Método de prueba (Cálculo del Presupuesto Energético)

A continuación se describe el método de cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado y del edificio de referencia.

7.1 Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado

La ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado, es la suma de la ganancia de calor por conducción, más la ganancia de calor por radiación solar, es decir:

$$\phi_p = \phi_{pc} + \phi_{ps}$$

en donde:

ρ es la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado, en W;

ρ_{pc} es la ganancia de calor por conducción a través de las partes opacas y transparentes de la envolvente del edificio proyectado, determinada según el inciso 7.1.1, en W;

ρ_{ps} es la ganancia de calor por radiación solar a través de las partes transparentes de la envolvente del edificio proyectado, determinada según el inciso 7.1.2, en W.

7.1.1 Ganancia de calor por conducción

Es la suma de la ganancia por conducción a través de cada una de las componentes, de acuerdo con su orientación, y utilizando la siguiente ecuación:

en donde:

i son las diferentes orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur, 5 es oeste y 6 es superficie inferior.

Cualquier porción de la envolvente con colindancia con la tierra se considera que tiene una ganancia de calor de cero. Sin embargo, si el edificio proyectado tiene ganancia de calor a través del piso, éste debe considerarse como una superficie inferior, y su ganancia de calor debe sumarse a la del resto de la envolvente. Un ejemplo típico es un edificio cuyo estacionamiento ocupa los primeros pisos.

La ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación i , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

en donde:

ϕ_{pci} es la ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación i , en W;

j son las diferentes porciones que forman la parte de la componente de la envolvente. Cada porción tendrá un coeficiente global de transferencia de calor. Por ejemplo, una porción típica de una parte opaca de una pared, es un muro formado por un repellado exterior, tabique y un repellado interior, o un repellado exterior, una placa de poliestireno expandido y un tapiz plástico en el interior;

K_j es el coeficiente global de transferencia de calor de cada porción, determinado según el Apéndice B, en $W/m^2 K$;

A_{ij} es el área de la porción j con orientación i , en m^2 ;

t_{ei} es el valor de la temperatura equivalente promedio, para la orientación i , determinada según la Tabla 1 del Apéndice A, en $^{\circ}C$;

t es el valor de la temperatura interior del edificio, que se considera igual a $25^{\circ}C$.

Nota: este valor de temperatura interior de $25^{\circ}C$, es sólo una referencia para el cálculo de la ganancia de calor (presupuesto energético)

7.1.2 Ganancia de calor por radiación

Es la suma de la ganancia por radiación solar a través de cada una de las partes transparentes, la cual se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi_{ps} = \sum_{i=1}^5 \phi_{psi}$$

en donde:

i son las diferentes orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur, 5 es oeste;

La ganancia de calor por radiación solar a través de la componente con orientación i , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

en donde:

ϕ_{psi} es la ganancia de calor por radiación solar a través de las porciones transparentes de la envolvente del edificio proyectado, en W;

j son las diferentes porciones transparentes que forman la parte de la componente de la envolvente. Cada porción tendrá un coeficiente de sombreado, un factor de ganancia de calor solar y un factor de corrección por sombreado exterior. Una porción típica de una parte transparente es una pared de vidrio, o con bloques de vidrio;

A_{ij} es el área de la porción transparente j con orientación i , en m²;

CS_j es el coeficiente de sombreado del vidrio de cada porción transparente, según la especificación del fabricante, con valor adimensional entre cero y uno;

FG_i es la ganancia de calor solar por orientación, determinada según la Tabla 1 del Apéndice A, en W/m²;

SE_{ij} es el factor de corrección por sombreado exterior para cada porción transparente, determinado de acuerdo a las tablas 2, 3, 4 y 5 según corresponda, localizadas en el Apéndice A, con valor adimensional entre cero y uno;

7.2 Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia

Para que el edificio de referencia corresponda al edificio proyectado, el área total de cada una de las componentes para cada orientación debe ser igual para ambos. Las paredes del edificio de referencia se consideran con 60% de parte opaca (muro) y 40% de parte no opaca (transparente) y el techo con 95% de parte opaca y 5% de parte no opaca.

La ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia, es la suma de la ganancia de calor por conducción, más la ganancia de calor por radiación solar, es decir:

$$\phi_r = \phi_{rc} + \phi_{rs}$$

en donde:

ϕ_r es la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia, en W;

ϕ_{rc} es la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia por conducción, en W;

ϕ_{rs} es la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia por radiación solar, en W.

7.2.1 Ganancia de calor por conducción

Es la suma de la ganancia por conducción a través de cada una de las componentes, de acuerdo con su orientación, y utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi_{rc} = \sum_{i=1}^5 \phi_{rci}$$

en donde:

i son las diferentes orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur y 5 es oeste.

La ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación i , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi_{rci} = \sum_{j=1}^n [K_j \times A_{ij} \times (t_{ei} - t)]$$

en donde:

ϕ_{rci} es la ganancia de calor por conducción a través de la envolvente del edificio de referencia, en W;

j son las diferentes partes de la componente de la envoltura del edificio de referencia;

K_j es el coeficiente global de transferencia de calor de la envolvente del edificio de referencia j . Para las partes opacas se determina según la Tabla 1 del Apéndice A, y para las partes transparentes de los techos es 5,952 W/m² K y para las partes transparentes de las paredes es 5,319 en W/m² K;

A_{ij} es el área de cada parte de la envolvente j , con orientación i , en m²;

t_{ei} es el valor de la temperatura equivalente promedio, para la orientación i , determinado según la Tabla 1 del Apéndice A, en °C;

t es el valor de la temperatura interior del edificio, que se considera igual a 25°C.

Nota: este valor de temperatura interior de 25°C, es sólo una referencia para el cálculo de la ganancia de calor (presupuesto energético)

7.2.2 Ganancia de calor por radiación

Es la suma de la ganancia por radiación solar a través de cada una de las partes transparentes, la cual se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi_{rs} = \sum_{i=1}^5 \phi_{rsi}$$

en donde:

i son las diferentes orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur y 5 es oeste.

La ganancia de calor por radiación solar a través de la parte con orientación i , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi_{rsi} = \sum_{i=1}^5 [A_{ri} \times CS_{ri} \times FG_i]$$

en donde:

ϕ_{rsi} es la ganancia de calor por radiación solar a través de la parte transparente de la envolvente del edificio de referencia, con orientación i , en W;

A_{ri} es el área de la parte transparente de la envolvente del edificio de referencia, con orientación i , en m²;

CS_{ri} es el coeficiente de sombreado del vidrio empleado en el edificio de referencia, con orientación i , con valor adimensional de 0,85 para el techo y 1,0 para las paredes.

Para las partes opacas de las paredes del edificio de referencia se deben utilizar las temperaturas correspondientes a muro masivo, según se determina en la Tabla 1 del Apéndice A.

7.3 Determinación del coeficiente global de transferencia de calor (K) de las porciones de la envolvente

Los valores del coeficiente global de transferencia de calor de las porciones de la envolvente proyectada, se determinarán de acuerdo al método de cálculo establecido en el Apéndice B.

7.4 Barreras para vapor

La Tabla 1 del Apéndice A indica las ciudades donde es necesario utilizar barreras para vapor, para que la envolvente del edificio no pierda sus características aislantes.

7.5 Orientación

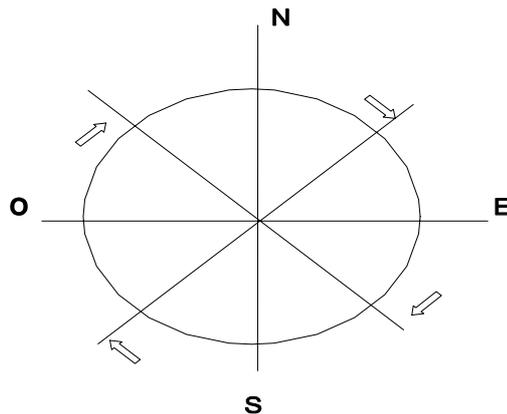
Debido a que la ganancia de calor a través de las paredes varía con la orientación, se establecen en esta Norma las siguientes convenciones:

Norte: cuyo plano normal está orientado desde 45° al oeste y menos de 45° al este del norte verdadero.

Este: cuyo plano normal está orientado desde 45° al norte y menos de 45° al sur del este verdadero.

Sur: cuyo plano normal está orientado desde 45° al este y menos de 45° al oeste del sur verdadero.

Oeste: cuyo plano normal está orientado desde 45° al sur y menos de 45° al norte del oeste verdadero.



8. Muestreo

Todos los edificios nuevos o ampliaciones a edificios existentes, incluidos en el campo de aplicación de esta Norma, están sujetos al cumplimiento de la misma.

9. Informe de resultados

En el Apéndice C se muestra el formato para informar los resultados de la ganancia de calor obtenidos por el método de prueba especificado. La Unidad de Verificación es la responsable de verificar el cumplimiento de esta Norma.

10. Información al público

Los propietarios de los edificios nuevos o ampliaciones a edificios existentes incluidos en el campo de aplicación de esta Norma que se construyan en la República Mexicana deben proporcionar a los usuarios la información sobre la ganancia de calor solar, que se compara con el edificio de referencia que cumple con las condiciones mínimas establecidas en esta Norma a través de la etiqueta correspondiente (véase 11. Etiquetado).

11. Etiquetado

Los edificios nuevos o ampliaciones a edificios existentes incluidos en el campo de aplicación de esta Norma que se construyan en la República Mexicana deben incorporar una etiqueta que proporcione a los usuarios una relación de la ganancia de calor solar del edificio proyectado con relación al edificio de referencia.

11.1 Permanencia

La etiqueta no debe removerse del edificio.

11.2 Ubicación

La etiqueta debe ir colocada en el acceso o vestíbulo principal del edificio por medio de una placa (véase 11.4 Material).

11.3 Información

La etiqueta debe contener la información que se lista a continuación:

El tipo de letra puede ser Arial o Helvética

11.3.1 La leyenda "EFICIENCIA ENERGETICA", en tipo negrita.

11.3.2 La leyenda "Ganancia de Calor", en tipo normal.

11.3.3 La leyenda "Determinada como se establece en la NOM-008-ENER-1999", en tipo normal.

11.3.4 La leyenda "Ubicación de la Edificación" en tipo negrita.

11.3.5 La leyenda "Nombre", seguida del nombre del edificio, en tipo normal.

11.3.6 La leyenda "Dirección", seguida de la dirección del edificio, en tipo normal.

11.3.7 La leyenda "Colonia", seguida de la colonia en la que se encuentra el edificio, en tipo normal.

11.3.8 La leyenda "Ciudad", seguida de la ciudad en la que se encuentra el edificio, en tipo normal.

11.3.9 La leyenda "Delegación y/o Municipio", seguida de la delegación y/o estado en el que se encuentra el edificio, en tipo normal.

11.3.10 La leyenda "Entidad Federativa", seguida de la entidad federativa en la que se encuentra el edificio, en tipo normal.

11.3.11 La leyenda "Código Postal", seguida del código postal en el que se encuentra el edificio, en tipo normal.

11.3.12 La leyenda "Ganancia de Calor del Edificio de Referencia (Watts)", seguida del valor de la ganancia de calor.

11.3.13 La leyenda "Ganancia de Calor del Edificio Proyectado (Watts)", seguida del valor de la ganancia de calor.

11.3.14 La leyenda "Ahorro de Energía", en tipo negrita.

11.3.15 Una flecha con el porcentaje de ahorro de energía que tiene el edificio comparado con el edificio de referencia, obtenido con el siguiente cálculo, en tipo negrita.

Ahorro de Energía = $(\text{ganancia de calor del edificio de referencia} / \text{ganancia de calor del edificio proyectado}) \times 100$

Esta flecha debe colocarse en el punto en que el ahorro de energía se presente gráficamente, de tal manera que coincida la punta y los tonos de la barra que están descritos en el inciso anterior.

11.3.16 La leyenda "Ahorro de Energía de este Edificio", en tipo normal, sobre la flecha.

11.3.17 Una barra horizontal de 34 cm \pm 1,0 cm, de tonos crecientes de blanco hasta negro, con una escala en la parte interior de 0 a 100 en porcentaje, con divisiones de 10 en 10, en tipo normal.

Debajo de la barra en 0% debe colocarse la leyenda "menor ahorro", en tipo negrita y abajo de la barra en 100% debe colocarse la leyenda "mayor ahorro", en tipo negrita.

11.3.18 La leyenda "Ahorro de Energía de este Edificio", en tipo normal, sobre la flecha.

11.3.19 La leyenda "IMPORTANTE", en tipo negrita.

11.3.20 La leyenda "Cuando la ganancia calor del edificio proyectado sea igual a la del edificio de referencia el ahorro será del 0% y por lo tanto cumple con la Norma. La etiqueta no debe retirarse del edificio" en tipo normal.

11.3.21 La leyenda "Fecha", seguida de la fecha en la que la Unidad de Verificación otorgó el dictamen de cumplimiento de acuerdo con la Norma, en tipo normal.

11.3.22 La leyenda "Nombre y Clave de la Unidad de Verificación", seguida del nombre de la Unidad de Verificación que otorgó el dictamen de cumplimiento de acuerdo con la Norma, en tipo normal.

11.4 Material

Puede ser plástico, acrílico o lámina galvanizada en color amarillo con caracteres en negro.

11.5 Dimensiones

Las dimensiones de la etiqueta deben ser las siguientes:

Alto	60 cm \pm 1,0 cm
Ancho	40 cm \pm 1,0 cm

11.6 Distribución de la información y colores

11.6.1 La información debe distribuirse como se muestra en la figura 1, en donde se presenta un ejemplo de la etiqueta

11.6.2 La distribución de los colores se realiza de la siguiente manera:

- El contorno de la etiqueta y las letras deben ser en color negro
- El resto de la etiqueta debe ser de color amarillo

12. Vigilancia

La Secretaría de Energía es la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana, a través de las Unidades de Verificación acreditadas y aprobadas.

El cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana no releva ninguna responsabilidad en cuanto a la observancia de lo dispuesto en otras normas oficiales mexicanas y reglamentos existentes aplicables a la construcción.

13. Sanciones

El incumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana se sancionará conforme a lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Reglamento de Construcción vigente y demás disposiciones legales aplicables.

14. Bibliografía

- 1997 ASHRAE Handbook - Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, GA, E.U.A.
- 90.1 Energy Code for Commercial and High-Rise Residential Buildings. ASHRAE, Atlanta, GA, E.U.A. 1993
- A Method for Optimizing Solar Control and Daylighting Performance in Commercial Office Buildings, S. Selkowitz; LBL -32931; September 1992; p. 14 CIEE, University of California, California, E.U.A.
- Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings. California Energy Commission Publications. California 1992
- ISO/TC 163 Thermal Insulation. CEN/TC 89 Thermal Performance of Buildings and Building Components. International Standards Organization, 1991
- ISO/TC 163 Thermal Insulation. CEN/TC 205 Building Environmental Design. International Standards Organization, 1993
- Nonresidential Manual: for Compliance with the 1995 Energy Efficiency Standards (For Nonresidential Buildings, High-Rise Residential Buildings, and Hotels/Motels). Sacramento: California Energy Commission, Efficiency Standards Office, Energy Efficiency Division, 1995

- Odón de Buen Rodríguez. Air conditioning in Mexicali: Economic and environmental impacts Energy and resources group. University of California at Berkeley. Enero 1993
- Standard Methods of Measuring and Expressing Building Energy Performance. ASHRAE, Atlanta, GA, E.U.A. 1985
- Szokolay, S.V. - Thermal Design of Buildings - RAI, Canberra 1996
- The Influence of Glazing Selection on Commercial Building Energy Performance in Hot and Humid Climates, Sullivan R., Arasteh D., Sweitzer G., Johnson R., and Selkowitz S., Proceedings of the ASHRAE Conference on Air Conditioning in Hot Climates, Singapore, September 3-5, 1987.
- The benefits of including energy efficiency early in the design stage -Anglia Polytechnic University. BRECSU Enquiries Bureau at the Building Research Establishment, Garston. Waterford, WD2 7JR, Reino Unido.
- Vansant James H., "Conduction Heat Transfer Solutions", Lawrence Livermore National Laboratory, 1983

15. Concordancia con normas internacionales

Esta Norma no concuerda con ninguna norma internacional al momento de su elaboración.

16. Transitorio

Unico.- La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor 120 días naturales después de su publicación en el **Diario Oficial de la Federación**.

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., a 6 de abril de 2001.- El Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE) y Director General de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, **Odón de Buen Rodríguez**.- Rúbrica.

EFICIENCIA ENERGÉTICA	
Ganancia de Calor	
Determinada como se establece en la NOM-008-ENER-2001	
Ubicación de la Edificación	
Nombre:	Corporativo Energético
Dirección:	Av. Ahorro de Energía Sur N° 1582
Colonia:	Uso Eficiente de la Energía
Ciudad:	México
Delegación y/o Municipio:	Benito Juárez
Entidad Federativa:	Distrito Federal
Código Postal:	03900
Ganancia de Calor del Edificio de Referencia (Watts)	346 392
Ganancia de Calor del Edificio Proyectado (Watts)	287 483
Ahorro de Energía	
Ahorro de Energía de este Edificio	
<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">17 %</div> <div style="text-align: center;"> </div> </div>	
Fecha:	9 de marzo de 2001
Nombre y Clave de la Unidad de Verificación: Juan Pérez López UV/C-008	
Importante	
Cuando la ganancia de calor del edificio proyectado sea igual a la del edificio de referencia el ahorro será del 0% y por lo tanto cumple con la norma. La etiqueta no debe retirarse del edificio.	

Figura 1. Ejemplo de distribución de la información de la etiqueta de la envolvente de los edificios no residenciales

**APENDICE A
NORMATIVO
TABLAS**

Nota: Todos los valores establecidos en estas tablas sólo aplican a esta Norma.

Tabla 1. Valores para el cálculo de la Ganancia de Calor a través de la Envolvente

ESTADO	Ciudad	CONDUCCIÓN												RADIACIÓN				Barrera para vapor						
		OPACA						TRANSPARENTE						TRANSPARENTE										
		Coeficiente de transferencia de calor, K (W / m² K)		Temperatura equivalente promedio te (° C)										Factor de ganancia solar promedio FG (W / m²)										
				Superficie inferior	Techo	Muro masivo				Muro ligero									Tragaluz y domo	Ventanas				
		Techo	Muro			N	E	S	O	N	E	S	O	N	E	S	O			Tragaluz y domo	N	E	S	O
AGUASCALIENTES	Aguascalientes	0,391	2,200	26	37	24	27	25	25	30	33	32	32	22	23	24	24	24	274	91	137	118	146	
BAJA CALIF. SUR	La Paz	0,358	0,722	30	44	30	34	32	32	36	40	38	39	25	27	28	28	28	322	70	159	131	164	
	Cabo S. Lucas	0,360	0,798	30	43	30	33	31	31	35	39	37	38	25	27	28	28	28	322	70	159	131	164	
BAJA CALIFORNIA	Ensenada	0,391	2,200	24	35	22	24	23	23	28	31	30	30	20	22	22	22	22	322	70	159	131	164	
	Mexicali	0,354	0,521	32	47	33	36	34	35	38	42	40	41	27	28	30	30	30	322	70	159	131	164	
	Tijuana	0,391	2,200	26	37	24	26	25	25	29	32	31	32	21	23	23	24	24	322	70	159	131	164	
CAMPECHE	Campeche	0,357	0,640	31	45	31	35	32	33	36	40	38	40	26	27	29	29	29	284	95	152	119	133	Si
	Cd. del Carmen	0,356	0,601	31	45	32	35	33	33	37	41	39	40	26	28	29	29	29	284	95	152	119	133	
COAHUILA	Monclova	0,357	0,666	31	45	31	34	32	33	36	40	38	39	26	27	28	29	29	322	70	159	131	164	
	Piedras Negras	0,356	0,598	31	46	32	35	33	33	37	41	39	40	26	28	29	29	29	322	70	159	131	164	Si
	Saltillo	0,391	2,200	27	38	25	28	26	26	30	34	33	33	22	24	24	24	25	322	70	159	131	164	
	Torreón	0,360	0,792	30	43	30	33	31	31	35	39	37	38	25	27	28	28	28	322	70	159	131	164	
COLIMA	Colima	0,362	1,020	29	42	28	32	30	30	34	38	36	37	24	26	27	27	27	274	91	137	118	146	Si
	Manzanillo	0,358	0,691	31	44	31	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	28	29	274	91	137	118	146	Si
CHIAPAS	Arriaga	0,357	0,629	31	45	31	35	33	33	36	41	39	40	26	27	29	29	29	272	102	140	114	134	Si
	Comitán	0,391	2,200	24	35	22	24	23	23	28	31	30	30	20	22	22	22	23	272	102	140	114	134	
	San Cristóbal	0,391	2,200	22	31	19	20	20	20	25	27	27	26	18	20	20	20	20	272	102	140	114	134	
	Tapachula	0,361	0,867	30	43	29	33	31	31	35	38	37	38	25	26	27	27	28	272	102	140	114	134	Si
	Tuxtla Gutiérrez	0,362	1,033	29	42	28	32	30	30	34	38	36	37	24	26	27	27	27	272	102	140	114	134	Si
CHIHUAHUA	N. Casas Grandes	0,391	1,724	28	40	27	30	28	28	32	36	34	35	23	25	25	26	26	322	70	159	131	164	
	Chihuahua	0,365	1,362	28	41	27	30	29	29	33	36	35	36	24	25	26	26	26	322	70	159	131	164	
	Cd. Juárez	0,363	1,153	29	41	28	31	29	29	33	37	35	36	24	25	26	27	27	322	70	159	131	164	
	Hidalgo del Parral	0,391	2,200	27	39	26	28	27	27	31	34	33	34	23	24	25	25	25	322	70	159	131	164	
D. F.	México (a)	0,391	2,200	23	32	20	22	21	21	26	28	28	27	19	20	21	21	21	272	102	140	114	134	
DURANGO	Durango	0,391	2,200	26	37	24	27	25	25	30	33	32	32	22	23	24	24	24	322	70	159	131	164	
	Lerdo	0,360	0,848	30	43	29	33	31	31	35	39	37	38	25	26	27	28	28	322	70	159	131	164	
GUANAJUATO	Guanajuato	0,391	2,200	25	35	23	25	24	24	28	31	30	30	21	22	23	23	23	274	91	137	118	146	
	León (b)	0,391	2,200	26	38	25	27	26	26	30	33	32	33	22	23	24	24	24	274	91	137	118	146	
GUERRERO	Acapulco	0,356	0,621	31	45	31	35	33	33	36	41	39	40	26	28	29	29	29	274	91	137	118	146	Si
	Chilpancingo	0,391	2,200	26	38	25	27	26	26	30	34	32	33	22	23	24	24	24	274	91	137	118	146	
	Zihuatanejo	0,362	0,944	29	42	29	32	30	30	34	38	36	37	25	26	27	27	27	274	91	137	118	146	
HIDALGO	Pachuca	0,391	2,200	22	30	18	20	20	19	24	26	26	26	18	19	19	19	20	272	102	140	114	134	
	Tulancingo	0,391	2,200	22	31	19	21	20	20	25	27	27	27	18	20	20	20	20	272	102	140	114	134	

Tabla 1 (continuación). Valores para el cálculo de la Ganancia de Calor a través de la Envolvente

ESTADO	Ciudad	CONDUCCIÓN														RADIACIÓN					Barrera para vapor			
		OPACA							TRANSPARENTE							TRANSPARENTE								
		Coeficiente de transferencia de calor, K (W / m² K)		Temperatura equivalente promedio te (°C)														Factor de ganancia solar promedio						
				Superficie inferior		Techo		Muro masivo				Muro ligero				Tragaluz y domo	Ventanas					FG (W / m²)		
		Techo	Muro					N	E	S	O	N	E	S	O		N	E	S	O		Tragaluz y domo	N	E
JALISCO	Guadalajara (c)			0,391	2,200	26	37									24					27			
	Huejucar	0,391	2,200	26	38	25	27	26	26	30	33	32	33	22	23	24	24	24	274	91	137	118	146	
	Lagos de Morelos	0,391	2,200	26	36	23	26	25	25	29	32	31	31	21	23	23	23	24	274	91	137	118	146	
	Ocotlán	0,391	2,200	26	38	25	27	26	26	30	34	33	33	22	23	24	24	25	274	91	137	118	146	
	Puerto Vallarta	0,357	0,639	31	45	31	35	32	33	36	40	38	40	26	27	29	29	29	274	91	137	118	146	
MÉXICO	Chapingo	0,391	2,200	23	32	20	22	21	21	26	28	28	27	19	20	21	21	21	274	91	137	118	146	
	Toluca	0,391	2,200	21	28	17	18	18	17	23	25	25	24	17	18	18	18	19	274	91	137	118	146	
MICHOACÁN	Morelia	0,391	2,200	25	35	22	25	24	23	28	31	30	30	20	22	22	22	23	274	91	137	118	146	
	Lázaro Cardenas	0,358	0,700	30	44	30	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	28	28	274	91	137	118	146	
	Uruapan	0,391	2,200	25	35	22	25	24	24	28	31	30	30	21	22	22	23	23	274	91	137	118	146	
MORELOS	Cuernavaca	0,391	2,200	26	38	25	27	26	26	30	33	32	33	22	23	24	24	24	274	91	137	118	146	
	Cuautla	0,391	1,368	28	41	27	30	29	29	33	36	35	36	24	25	26	26	26	274	91	137	118	146	
NAYARIT	Tepic	0,391	2,200	27	39	26	29	27	27	31	35	33	34	23	24	25	25	25	274	91	137	118	146	
NUEVO LEÓN	Monterrey (d)	0,359	0,768	30	44	30	33	31	32	35	39	37	38	25	27	28	28	28	274	91	137	118	146	
OAXACA	Oaxaca	0,391	2,200	26	37	24	27	26	25	30	33	32	32	22	23	24	24	24	272	102	140	114	134	
	Salina Cruz	0,355	0,586	31	46	32	35	33	34	37	41	39	40	26	28	29	29	29	272	102	140	114	134	Si
PUEBLA	Puebla	0,391	2,200	24	33	21	23	22	22	27	29	29	28	20	21	21	21	22	272	102	140	114	134	
	Atlixco	0,391	2,200	25	35	22	25	24	24	28	31	30	30	21	22	22	23	23	272	102	140	114	134	
	Tehuacán	0,391	2,200	25	35	22	25	24	24	28	31	30	30	21	22	22	23	23	272	102	140	114	134	
QUERÉTARO	Querétaro	0,391	2,200	26	37	24	26	25	25	29	33	32	32	21	23	23	24	24	274	91	137	118	146	
	San Juan del Rio.	0,391	2,200	24	34	22	24	23	23	27	30	29	29	20	21	22	22	22	274	91	137	118	146	
QUINTANA ROO	Cozumel	0,359	0,763	30	44	30	33	31	32	35	39	37	38	25	27	28	28	28	284	95	152	119	133	Si
	Chetumal	0,358	0,679	31	45	31	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	29	29	284	95	152	119	133	Si
	Cancun	0,355	0,587	31	46	32	35	33	34	37	41	39	40	26	28	29	29	29	284	95	152	119	133	
	Playa del Carmen	0,356	0,623	31	45	31	35	33	33	36	41	39	40	26	28	29	29	29	284	95	152	119	133	
SAN LUIS POTOSÍ	Río Verde	0,391	1,503	28	40	27	30	28	29	32	36	35	35	23	25	26	26	26	274	91	137	118	146	
	San Luis Potosi	0,391	2,200	24	34	21	24	23	23	27	30	29	29	20	21	22	22	22	274	91	137	118	146	
	Cd. Valles	0,356	0,611	31	45	31	35	33	33	37	41	39	40	26	28	29	29	29	274	91	137	118	146	
	Matehuala	0,391	2,200	27	39	25	28	27	27	31	34	33	34	22	24	25	25	25	274	91	137	118	146	
SINALOA	Culiacán	0,355	0,579	31	46	32	35	33	34	37	41	39	41	26	28	29	29	29	322	70	159	131	164	Si
	Mazatlán	0,358	0,720	30	44	30	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	28	28	322	70	159	131	164	Si
	Guasave	0,355	0,563	32	46	32	36	33	34	37	41	39	41	27	28	29	29	30	322	70	159	131	164	
	Los Mochis	0,357	0,651	31	45	31	34	32	33	36	40	38	40	26	27	28	29	29	322	70	159	131	164	

Tabla 1 (continuación). Valores para el cálculo de la Ganancia de Calor a través de la Envolvente

ESTADO	Ciudad	CONDUCCIÓN														RADIACIÓN					Barrera para vapor			
		OPACA										TRANSPARENTE				TRANSPARENTE								
		Coeficiente de transferencia de calor, K (W / m ² K)		Temperatura equivalente promedio te (°C)												Factor de ganancia solar promedio FG (W / m ²)								
				Superficie inferior	Techo	Muro masivo				Muro ligero				Tragaluz y domo	Ventanas									
		Techo	Muro			N	E	S	O	N	E	S	O		N	E	S	O	Tragaluz y domo	N		E	S	O
SONORA	Guaymas	0,354	0,521	32	47	33	36	34	35	38	42	40	41	27	28	30	30	30	322	70	159	131	164	Si
	Hermosillo	0,352	0,467	33	48	34	38	35	36	39	43	41	43	28	29	30	31	31	322	70	159	131	164	
	Cd. Obregón	0,357	0,634	31	45	31	35	33	33	36	40	38	40	26	27	29	29	29	322	70	159	131	164	Si
	Navojoa	0,348	0,392	34	50	35	40	37	38	40	45	43	45	29	30	32	32	32	322	70	159	131	164	
TABASCO	Nogales	0,391	1,557	28	40	27	30	28	28	32	36	35	35	23	25	26	26	26	322	70	159	131	164	
	Villahermosa	0,354	0,540	32	46	32	36	34	34	38	42	40	41	27	28	29	30	30	272	102	140	114	134	
TAMAULIPAS	Comalcalco	0,356	0,617	31	45	31	35	33	33	37	41	39	40	26	28	29	29	29	272	102	140	114	134	
	Cd. Victoria	0,357	0,631	31	45	31	35	33	33	36	40	38	40	26	27	29	29	29	272	102	140	114	134	
	Tampico	0,358	0,715	30	44	30	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	28	28	272	102	140	114	134	Si
	Matamoros	0,364	1,223	29	41	28	31	29	29	33	37	35	36	24	25	26	26	27	272	102	140	114	134	
	Reynosa	0,355	0,583	31	46	32	35	33	34	37	41	39	40	26	28	29	29	29	272	102	140	114	134	
	Nuevo Laredo	0,354	0,546	32	46	32	36	34	34	37	42	40	41	27	28	29	30	30	272	102	140	114	134	
TLAXCALA	Tlaxcala	0,391	2,200	23	33	20	23	22	21	26	29	28	28	19	21	21	21	21	272	102	140	114	134	
VERACRUZ	Coatzacoalcos	0,358	0,677	31	45	31	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	29	29	272	102	140	114	134	Si
	Córdoba	0,391	2,200	27	38	25	28	27	26	31	34	33	33	22	24	24	25	25	272	102	140	114	134	
	Jalapa	0,391	2,200	25	35	23	25	24	24	28	31	31	31	21	22	23	23	23	272	102	140	114	134	
	Orizaba	0,391	2,200	26	37	24	26	25	25	29	32	31	32	21	23	23	23	24	272	102	140	114	134	
	Tuxpan	0,360	0,792	30	43	30	33	31	31	35	39	37	38	25	27	28	28	28	272	102	140	114	134	Si
	Poza Rica	0,357	0,642	31	45	31	35	32	33	36	40	38	40	26	27	29	29	29	272	102	140	114	134	
YUCATÁN	Veracruz	0,358	0,687	31	44	31	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	28	29	272	102	140	114	134	Si
	Mérida	0,358	0,704	30	44	30	34	32	32	36	40	38	39	26	27	28	28	28	284	95	152	119	133	Si
	Progreso	0,359	0,741	30	44	30	34	31	32	35	39	38	39	25	27	28	28	28	284	95	152	119	133	Si
ZACATECAS	Valladolid	0,360	0,815	30	43	30	33	31	31	35	39	37	38	25	26	27	28	28	284	95	152	119	133	Si
	Fresnillo	0,391	2,200	24	34	21	23	22	22	27	30	29	29	20	21	21	22	22	274	91	137	118	146	
	Zacatecas	0,391	2,200	22	31	18	20	20	19	24	27	27	26	18	19	20	20	20	274	91	137	118	146	

(a) Utilizar los mismos valores para los municipios conurbados del Estado de México que forman la zona metropolitana

(b) Utilizar los mismos valores para las ciudades de Celaya, Irapuato, Salamanca y Silao

(c) Utilizar los mismos valores para los municipios de Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan.

(d) Utilizar los mismos valores para los municipios de Apodaca, Garza García, Guadalupe, San Nicolás de los Garza y Santa Catarina.

Tablas para determinar el Factor de Corrección de Sombreado Exterior (SE), por el uso de volados, ventanas remetidas y partesoles para diferentes orientaciones y latitudes.

Volado sobre la ventana, con extensión lateral más allá de los límites de ésta.- Si se construye un volado sobre la ventana y se extiende lateralmente más allá de los límites de ésta (A), una distancia igual o mayor a la proyección del volado (L), se podrá afectar el valor del coeficiente de sombreado del vidrio, multiplicándolo por el factor de corrección establecido en la Tabla 2.

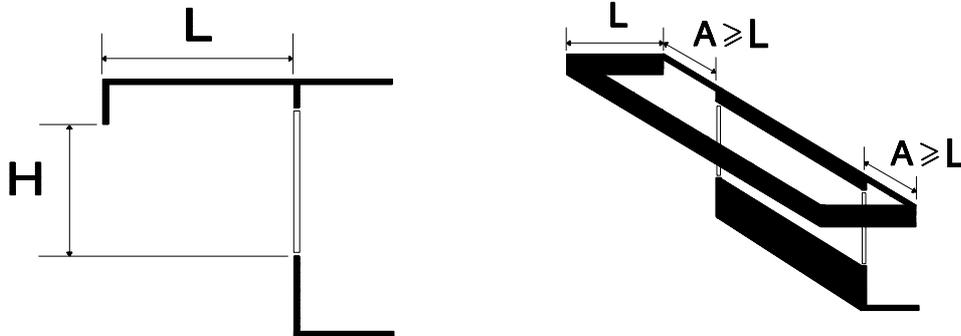


Tabla 2. Factor de corrección de sombreado exterior (se) por el uso de volados sobre la ventana, con extensión lateral más allá de los límites de ésta.

L/H	Este y Oeste		Sur	
	I(*)	II(**)	I(*)	II(**)
0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,10	0,95	0,98	0,92	0,96
0,20	0,90	0,96	0,85	0,93
0,30	0,85	0,93	0,79	0,90
0,40	0,80	0,92	0,73	0,87
0,50	0,77	0,90	0,68	0,84
0,60	0,73	0,89	0,63	0,82
0,70	0,70	0,87	0,59	0,79
0,80	0,67	0,86	0,55	0,78
1,00	0,63	0,84	0,49	0,75
1,20	0,60	0,83	0,45	0,74

(*) **ZONA I** (latitud desde 33° y hasta 28°)

(**) **ZONA II** (latitud menor de 28° y hasta 14°)

Nota: El factor de corrección de sombreado exterior para ventanas orientadas al norte es 1.

Volado sobre la ventana, con extensión lateral hasta los límites de ésta.- Si se construye un volado sobre la ventana y se extiende lateralmente hasta los límites de ésta, o más allá de los límites de ésta, una distancia menor a la proyección del volado (L), se podrá afectar el valor del coeficiente de sombreado del vidrio, multiplicándolo por el factor de corrección por sombreado exterior de la Tabla 3.

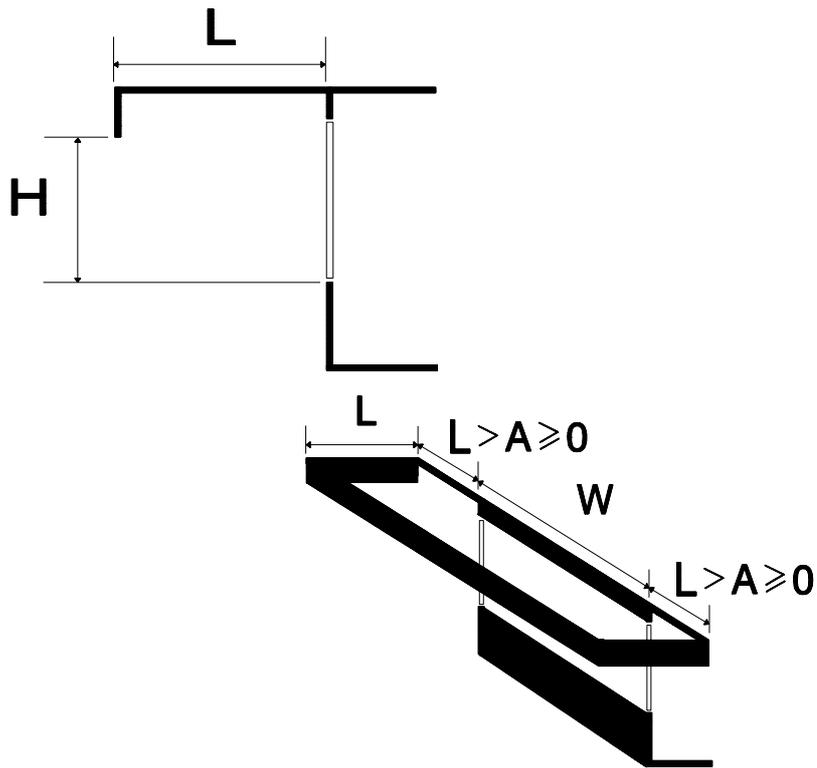


Tabla 3. Factor de corrección de sombreado exterior (SE) por el uso de volados sobre la ventana, con extensión lateral hasta los límites de ésta.

Ventanas al Norte con latitud de 14° y hasta 19°						
W/H →	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,94	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89
0,2	0,90	0,85	0,82	0,81	0,80	0,80
0,3	0,88	0,81	0,77	0,74	0,73	0,72
0,4	0,84	0,77	0,72	0,69	0,67	0,66
0,5	0,82	0,73	0,67	0,64	0,62	0,61
0,6	0,80	0,70	0,63	0,60	0,57	0,56
0,7	0,79	0,67	0,61	0,56	0,53	0,52
0,8	0,78	0,66	0,58	0,53	0,50	0,49
1,0	0,75	0,64	0,54	0,48	0,44	0,43
1,2	0,73	0,62	0,51	0,44	0,40	0,39

Ventanas al Norte con latitud de 19° y hasta 23°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91	0,91
0,2	0,90	0,89	0,87	0,84	0,84	0,84
0,3	0,87	0,85	0,83	0,78	0,78	0,79
0,4	0,85	0,83	0,79	0,74	0,74	0,74
0,5	0,83	0,80	0,80	0,74	0,74	0,70
0,6	0,82	0,78	0,77	0,74	0,74	0,72
0,7	0,81	0,76	0,76	0,74	0,72	0,70
0,8	0,84	0,75	0,75	0,74	0,69	0,68
1,0	0,79	0,73	0,72	0,70	0,66	0,64
1,2	0,78	0,72	0,70	0,68	0,63	0,61

Ventanas al Norte con latitud de 23° y hasta 28°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,94	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93
0,2	0,90	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
0,3	0,86	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82
0,4	0,84	0,79	0,79	0,78	0,77	0,77
0,5	0,82	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74
0,6	0,80	0,75	0,73	0,71	0,70	0,70
0,7	0,79	0,73	0,71	0,68	0,67	0,67
0,8	0,78	0,71	0,69	0,66	0,65	0,64
1,0	0,76	0,69	0,66	0,62	0,61	0,60
1,2	0,74	0,67	0,63	0,59	0,57	0,56

Ventanas al Norte con latitud de 28° y hasta 32°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,95	0,95	0,94	0,93	0,93	0,93
0,2	0,92	0,91	0,89	0,88	0,88	0,88
0,3	0,90	0,88	0,86	0,84	0,84	0,84
0,4	0,89	0,86	0,83	0,81	0,81	0,80
0,5	0,87	0,84	0,81	0,78	0,78	0,77
0,6	0,86	0,82	0,80	0,76	0,75	0,74
0,7	0,86	0,81	0,78	0,74	0,73	0,72
0,8	0,85	0,80	0,77	0,72	0,71	0,70

1,0	0,84	0,79	0,74	0,69	0,68	0,67
1,2	0,84	0,78	0,72	0,68	0,66	0,65

Ventanas al Este y Oeste con latitud de 14° y hasta 19°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,94	0,92	0,91	0,90	0,89	0,89
0,2	0,89	0,84	0,83	0,81	0,80	0,79
0,3	0,86	0,78	0,76	0,73	0,71	0,71
0,4	0,83	0,73	0,70	0,65	0,64	0,63
0,5	0,79	0,69	0,65	0,59	0,58	0,57
0,6	0,77	0,65	0,61	0,54	0,52	0,51
0,7	0,76	0,63	0,58	0,50	0,48	0,47
0,8	0,74	0,61	0,54	0,46	0,44	0,43
1,0	0,72	0,57	0,48	0,40	0,37	0,36
1,2	0,71	0,54	0,44	0,36	0,32	0,30

Ventanas al Este y Oeste con latitud de 19° y hasta 23°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,93	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
0,2	0,87	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85
0,3	0,82	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79
0,4	0,78	0,76	0,74	0,73	0,73	0,73
0,5	0,75	0,72	0,69	0,68	0,68	0,68
0,6	0,73	0,68	0,65	0,64	0,64	0,63
0,7	0,70	0,65	0,62	0,60	0,59	0,59
0,8	0,68	0,62	0,59	0,57	0,56	0,56
1,0	0,65	0,58	0,54	0,51	0,50	0,50
1,2	0,63	0,55	0,50	0,47	0,45	0,45

Ventanas al Este y Oeste con latitud de 23° y hasta 28°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,10	0,92	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91
0,20	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,83
0,30	0,82	0,79	0,77	0,76	0,76	0,76
0,40	0,78	0,74	0,72	0,70	0,70	0,70
0,50	0,74	0,70	0,67	0,65	0,64	0,64
0,60	0,71	0,66	0,62	0,60	0,59	0,59
0,70	0,69	0,63	0,59	0,56	0,55	0,55

0,80	0,67	0,60	0,55	0,52	0,51	0,51
1,00	0,64	0,56	0,50	0,46	0,45	0,45
1,20	0,61	0,53	0,46	0,42	0,40	0,40

Ventanas al Este y Oeste con latitud de 28° y hasta 32°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,93	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91
0,2	0,87	0,86	0,83	0,83	0,83	0,82
0,3	0,83	0,79	0,78	0,76	0,75	0,74
0,4	0,79	0,74	0,72	0,69	0,68	0,67
0,5	0,76	0,70	0,67	0,63	0,62	0,61
0,6	0,73	0,66	0,62	0,59	0,57	0,56
0,7	0,71	0,63	0,58	0,55	0,52	0,52
0,8	0,69	0,60	0,55	0,51	0,49	0,48
1,0	0,66	0,56	0,49	0,45	0,43	0,41
1,2	0,64	0,52	0,45	0,40	0,38	0,36

Ventanas al Sur con latitud de 14° y hasta 19°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,94	0,91	0,90	0,87	0,86	0,86
0,2	0,90	0,84	0,81	0,76	0,75	0,74
0,3	0,87	0,78	0,74	0,68	0,65	0,64
0,4	0,84	0,74	0,68	0,61	0,57	0,55
0,5	0,81	0,71	0,63	0,55	0,51	0,49
0,6	0,79	0,69	0,60	0,50	0,46	0,43
0,7	0,78	0,67	0,56	0,46	0,42	0,39
0,8	0,77	0,66	0,54	0,43	0,39	0,36
1,0	0,76	0,64	0,50	0,39	0,34	0,31
1,2	0,76	0,62	0,47	0,36	0,30	0,28

Ventanas al Sur con latitud de 19° y hasta 23°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,92	0,91	0,91	0,89	0,86	0,87
0,2	0,87	0,84	0,84	0,82	0,81	0,75
0,3	0,82	0,79	0,79	0,79	0,79	0,71
0,4	0,79	0,74	0,72	0,72	0,73	0,69
0,5	0,75	0,71	0,67	0,67	0,67	0,64
0,6	0,73	0,67	0,63	0,63	0,62	0,59

0,7	0,71	0,64	0,60	0,59	0,58	0,55
0,8	0,70	0,62	0,57	0,56	0,54	0,51
1,0	0,68	0,60	0,53	0,51	0,49	0,46
1,2	0,67	0,58	0,50	0,48	0,45	0,42

Ventanas al Sur con latitud de 23° y hasta 28°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,91	0,89	0,89	0,89	0,88	0,88
0,2	0,86	0,82	0,80	0,79	0,79	0,79
0,3	0,82	0,77	0,73	0,72	0,71	0,71
0,4	0,80	0,72	0,68	0,65	0,65	0,64
0,5	0,76	0,69	0,63	0,60	0,59	0,58
0,6	0,74	0,65	0,59	0,55	0,53	0,53
0,7	0,73	0,63	0,55	0,51	0,49	0,48
0,8	0,71	0,61	0,52	0,47	0,45	0,44
1,0	0,69	0,58	0,48	0,42	0,40	0,38
1,2	0,68	0,56	0,46	0,39	0,36	0,35

Ventanas al Sur con latitud de 28° y hasta 32°						
W/H→	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
L/H						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84
0,2	0,85	0,79	0,77	0,74	0,73	0,72
0,3	0,81	0,74	0,69	0,65	0,63	0,62
0,4	0,78	0,69	0,63	0,58	0,55	0,54
0,5	0,76	0,67	0,59	0,53	0,50	0,48
0,6	0,75	0,64	0,56	0,49	0,46	0,44
0,7	0,74	0,63	0,53	0,46	0,43	0,41
0,8	0,74	0,62	0,52	0,44	0,41	0,39
1,0	0,73	0,61	0,50	0,42	0,39	0,37
1,2	0,73	0,60	0,49	0,40	0,37	0,35



DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

EN EL

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ANTROPOLÓGICAS



PRESENTADO POR:
PROYECTOS DE AHORRO DE ENERGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA

MEXICO, D.F.

Eliminado: SEPTIEMBRE DE
2006

Índice

Resumen

Introducción

1. Datos del edificio
2. Datos acometida eléctrica
3. Mediciones de parámetros eléctricos
 - 3.1. Demanda eléctrica (kW)
 - 3.2. Consumo de energía eléctrica (kWh/mes)
 - 3.3. Factor de Potencia (F.P.)
 - 3.4. Regulación en tensión (V) y desbalanceo en corriente (I)
4. Uso general de la energía
 - 4.1. Distribución de cargas
 - 4.1.1. Sistema de iluminación
 - 4.1.2. Equipos misceláneos
 - 4.1.3. Sistema de computo personal
 - 4.1.4. Equipos de calefacción
 - 4.1.5. Equipo de laboratorio
5. Niveles de Iluminación
6. Indicadores energéticos
7. Recomendaciones para el ahorro de energía eléctrica
 - 7.1. Tecnológicas
 - 7.2. Operativas
8. Evaluación de la NOM008-SENER-2001

← Con formato: Numeración y viñetas

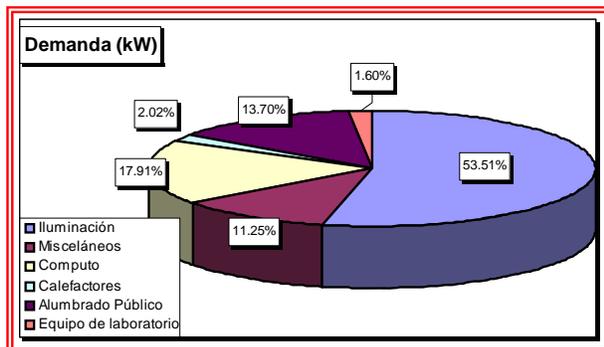
RESUMEN

El edificio del Instituto de Investigaciones Antropológicas (Instituto) de la Universidad Nacional Autónoma de México cuenta con un área construida de 8,099 m² y tiene un horario de operación de 09:00 a 19:00 horas, las curvas de demanda muestran que existe actividad a partir de las 7:00 am y después del horario oficial hasta las 20:00 horas. El horario de comida comprende de las 15:00 a 17:00 horas

El Instituto cuenta con un edificio con una arquitectura asimétrica y con patio interior. En su porción exterior, su orientación es sur - oeste y el área de ventanas ocupa el 21% en la envolvente total. En la porción interior, el área de ventanas ocupa el 29% en la envolvente.

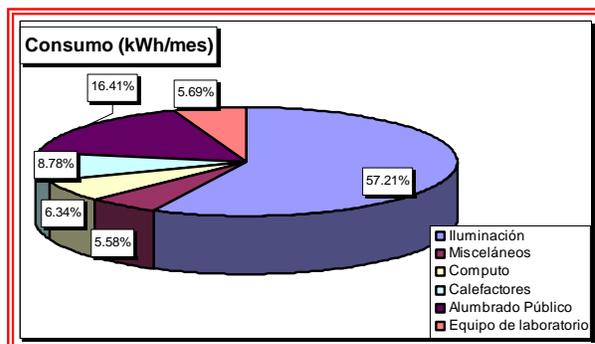
El suministro de energía eléctrica es por medio de una subestación la cual tiene instalado un transformador de 500 KVA que está conectado en el anillo CI-CII, seccionador 2 CI-CII, alimentador CI-CII de la Subestación General 2 de C.U. que corresponde a una tarifa HM. En este transformador se conectó un analizador de redes con el objeto de conocer el comportamiento de las variables eléctricas del edificio.

De la medición de los principales parámetros eléctricos se determinó que la demanda máxima es de 76.4 kW, con un consumo promedio estimado mensual de 24,983 kWh/mes, se detectó un desbalanceo de cargas máximo del 60.72%. Con un desbalanceo promedio de 38.55%. El factor de potencia en promedio se encuentra por arriba del 90%, lo que implica cumplir con la normatividad que establece la compañía suministradora (Luz y Fuerza del Centro).



Los sistemas consumidores de energía eléctrica se concentraron en seis sistemas: iluminación interior, alumbrado público, misceláneos, cómputo, equipo de laboratorio y calefacción. El sistema de iluminación interior representa 53.5% de la demanda eléctrica del edificio.

En lo que se refiere al consumo de energía eléctrica el sistema de iluminación interior representa el 57%. El sistema de alumbrado público representa el 16%, mientras que los sistemas restantes aportan el 26%.



Siendo el principal consumidor de energía eléctrica el sistema de iluminación interior, es el que mayor potencial en ahorro de energía representa. Se recomienda llevar a cabo una sustitución de los equipos actuales por equipos de tecnología eficiente. En el capítulo 7.1 se muestra la justificación técnico

Por otro lado, se analizó la envolvente arquitectónica del edificio a través de la NOM-008-SENER-2001 con el fin de verificar si el edificio cumple con la resistencia térmica de su envolvente, que establece la norma. Concluyéndose que el Instituto cumple con esta normatividad. Para mayor detalle ver el capítulo 8.

Introducción.

El pasado 8 de agosto del 2005 fue aprobado el proyecto **Caracterización energética de edificios de la Ciudad Universitaria** por el Comité Interno del Macroproyecto **“La Ciudad Universitaria y la Energía”**.

En este sentido, se llevó a cabo una selección de edificios para ser estudiados energéticamente con el objetivo llevar a cabo un estudio de los usos finales de la energía eléctrica y de esta manera llegar a predecir el comportamiento energético por cada uno de esos usos finales. Uno de los edificios considerados como representativos por su uso específico de institutos de investigación de Ciencias Social es el **Instituto de Investigaciones Antropológicas**.

El presente estudio muestra en forma general el uso de la energía del edificio, así como sus indicadores energéticos principales y los potenciales de ahorro de energía detectados tanto por tecnología como por medidas operativas. Asimismo, la evaluación de la envolvente del edificio a través de la herramienta de la NOM-008-SENER-2001.

1. Datos del edificio.

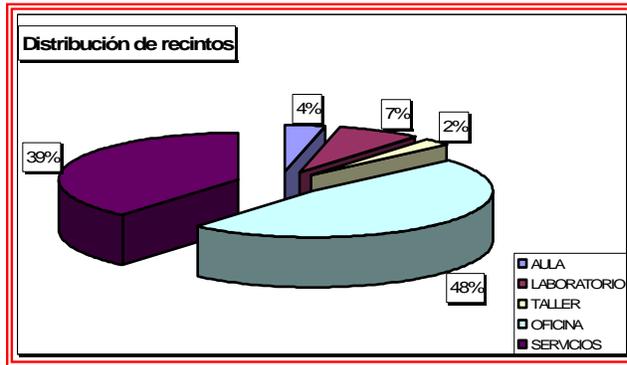


El Instituto de Investigaciones Antropológicas (El Instituto) cuenta con un edificio principal, tiene una superficie total construida de 8,099 m², su ubicación es Circuito interior s/n Ciudad Universitaria Del. Coyoacán C.P. 04510, México D.F.

El Instituto cuenta con un edificio con una arquitectura asimétrica. En su porción exterior, su orientación es sur - oeste y el área de ventanas ocupa el 21% en la envolvente total. En la porción interior, el área de ventanas ocupa el 29% de la envolvente

Actualmente el Instituto ocupa a 300 personas entre investigadores, personal administrativo y de mantenimiento. El horario oficial entre semana es de 09:00 a 19:00 horas, sin embargo las gráficas de demanda eléctrica muestran actividad a partir de las 7:00 a.m.

Cuenta con 162 recintos en total, de los cuales 77 están destinados para oficinas administrativas y cubículos de investigación, 63 para servicios, 12 laboratorios, 6 para aulas y 4 para talleres.



2. Datos acometida eléctrica.



El Instituto recibe la energía eléctrica en 6 kV de la red de distribución de CU y lo transforma a 220/127 V con un transformador de 500 KVA que está conectado en el anillo CI-CII, seccionador 2 CI-CII, alimentador CI-CII de la Subestación General 2 que corresponde a una tarifa HM. El Instituto representa dentro de esta facturación el 2.79% y el 3.58% del consumo y de la demanda eléctrica, respectivamente, de acuerdo a la facturación eléctrica del

mes de abril del presente. Por otro lado, se estima una facturación mensual¹ de \$ 25,596 al mes.

En lo que se refiere a la distribución de la energía, el edificio cuenta con 31 tableros, 2 de los cuales se encuentran en la subestación, 24 trifásicos y 7 bifásicos.

¹ precio medio de CFE del 2005 correspondiente a la tarifa HM. Último dato proporcionado por CFE. www.cfe.gob.mx

3. Mediciones de Parámetros eléctricos

Se realizaron mediciones en el transformador de 500 kVA del edificio, tomando datos a intervalos de 15 minutos durante 40 días (del 7 abril al 16 de mayo de 2006) que corresponde al horario de verano y cubre el período de semana santa, en que no hubo labores oficiales, por medio de un analizador de redes que mide y registra simultáneamente parámetros eléctricos; dentro de los parámetros medidos se encuentran: voltaje, corriente, potencia activa, factor de potencia, energía consumida y la frecuencia. De la medición se calculó la regulación en tensión y desbalanceo en corriente.



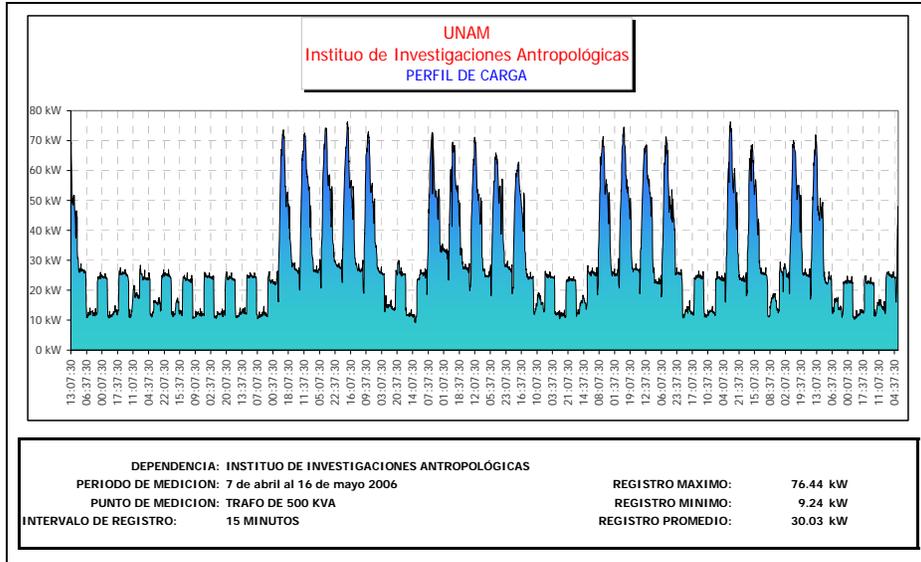
Subestación del Instituto

3.1 Demanda (kW).

De los registros obtenidos en la medición correspondiente se encontró que la demanda máxima es de 76.44 kW, valor que se presenta a las 12:52 horas en el día jueves. Durante la semana, en días hábiles, la demanda oscila entre 41 y 76.44 kW.

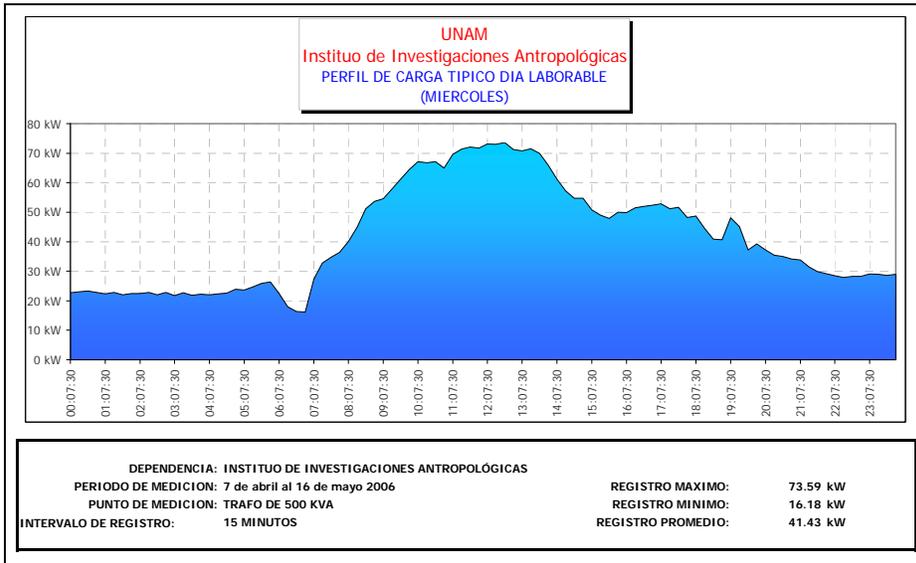
La demanda mínima registrada entre semana (carga base) es de alrededor de 17 kW, la cual se produce alrededor de las 6:00 horas de lunes a viernes, el fin de semana el valor disminuye a 11.6 kW, localizándose alrededor de las 6:00 horas como se aprecia en la Gráfica 1.

Gráfica 1
Perfil de carga semanal



Con respecto al perfil de carga semanal se detectó un comportamiento uniforme durante los días laborables y fines de semana. En éste se observa que la carga importante es durante el día, en el horario de trabajo. Ver Gráfica 2.

Gráfica 2
Perfil de carga día hábil



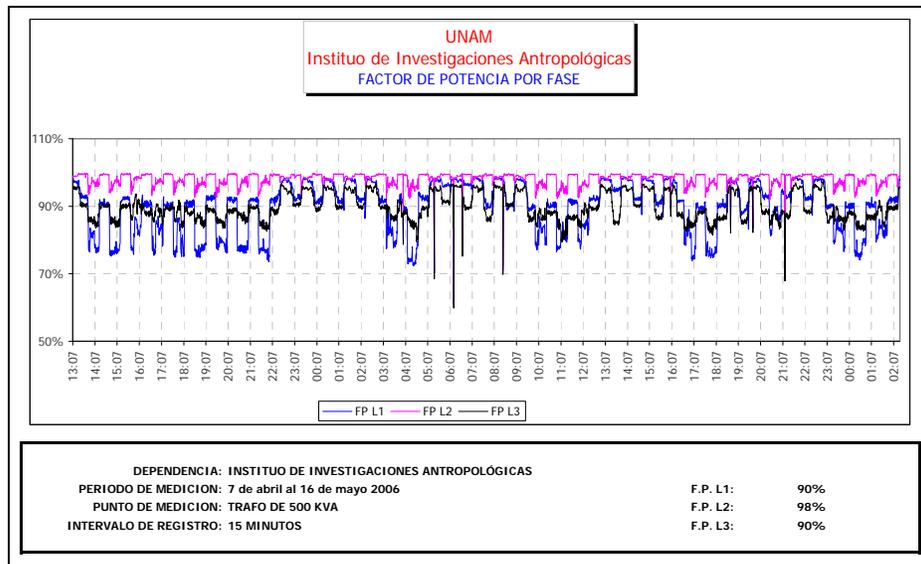
3.2 Consumo de energía (kWh).

Realizando el cálculo para el consumo de energía típico de un mes completo y considerando los valores obtenidos en las mediciones, se tiene que el consumo estimado mensual asciende a 24,983 kWh.

3.3 Factor de potencia (F.P.).

La medición de parámetros eléctricos por medio del analizador de redes, permitió conocer el comportamiento del F.P. a lo largo de las 24 horas del día durante toda el periodo de medición, mostrando que durante todos los días el F.P. promedio mayor del 90%, la compañía suministradora Luz y Fuerza de Centro penaliza al tener un factor de potencia menor al 90%, bonificando al tener un valor mayor a 90%, esto aplicaría si el edificio contará con una acometida propia. Ver Gráfica 3.

Gráfica 3
Factor de Potencia



3.4 Regulación en tensión y desbalanceo en corriente.

Con los resultados obtenidos en la medición eléctrica se procedió a realizar el cálculo de regulación de tensión y desbalanceo en corriente con la finalidad de detectar condiciones que pudieran afectar el correcto funcionamiento de los equipos.

La regulación de tensión promedio en condiciones de carga máxima es de 7.11%, es decir, 9 Volts por arriba del nivel de tensión normalizado de 127 Volts y en condiciones de carga mínima la regulación promedio es de 5.83%; estos

porcentajes se encuentran dentro del $\pm 10\%$ de tolerancia permitida por el artículo 18 del Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

Con relación al desbalanceo en corriente, el máximo detectado entre fases durante condiciones de carga mínima en días hábiles es de 47.44%, mientras que para carga máxima en las mismas condiciones es de 16.41%.

Asimismo, el desbalanceo máximo detectado durante la medición es de 60.72%, este se localizó en lunes a las 00:22 horas. Mientras el desbalanceo promedio durante todo el periodo medido es de 38.55%. Este aspecto representa problemas importantes que pudieran afectar seriamente la operación adecuada de los equipos y la seguridad de las instalaciones, además de ser una fuga de energía.

4. Uso general de la energía

En lo que se refiere al uso general de la energía en el Instituto tiene como principales cargas la iluminación interior, alumbrado público, cómputo, calefactores, equipos misceláneos y equipo de laboratorio propios de un instituto de investigación como el que se está estudiando.

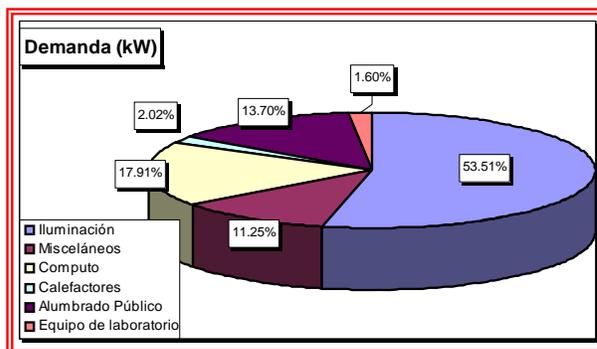
En lo que se refiere al seccionamiento de circuitos, el 96% del edificio cuenta con la opción para apagar la iluminación interior por cada recinto. El 85% de los apagadores controla como máximo cuatro luminarios, por lo que se tiene un buen seccionamiento de circuitos con flexibilidad de poder apagar las luces que no se utilizan.

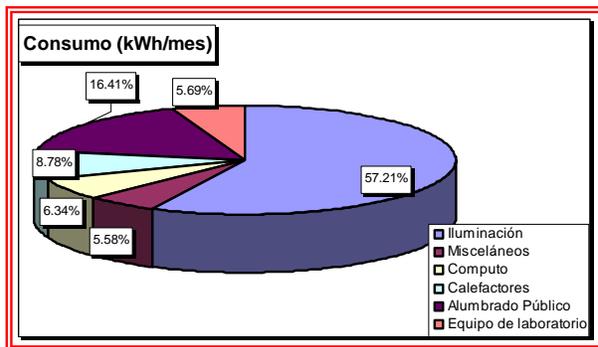
4.1 Distribución de Cargas.

Para efectos de análisis se consideraron seis sistemas consumidores de energía: iluminación interior, alumbrado público, misceláneos, cómputo equipos de laboratorio y calefacción. El sistema de iluminación interior comprende todas las luminarias que se encuentran en el interior del edificio. Para el caso de los sistemas de cómputo, estos están integrados por computadoras portátiles y de escritorio, escáneres e impresoras láser y de punto.

El sistema de misceláneos comprende equipo de oficina: cafeteras, ventiladores, radios, reguladores, refrigeradores, enfriadores-calentadores, fotocopiadoras, etc. El alumbrado público comprende los luminarios que se encuentran en la azotea, accesos externos, estacionamiento y pasillos externos. El sistema de calefacción comprende equipos calentadores individuales.

El sistema de iluminación interior es la carga más importante con una aportación en la demanda del 53.5%. El segundo sistema en importancia es el sistema de cómputo, seguido del alumbrado público, misceláneos, calefacción y equipos de laboratorio.





Para el caso del consumo de energía, el sistema más importante es la iluminación interior con una aportación del 57%, El sistema de alumbrado público representa el 16%, mientras que los sistemas restantes aportan el 26%.



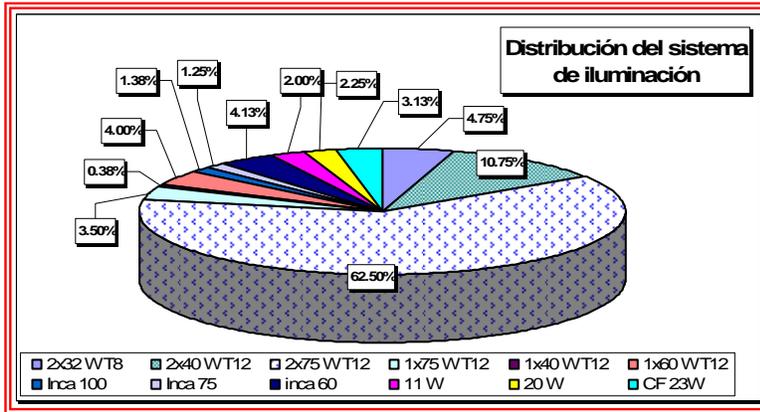
Como se puede observar en las gráficas, el principal sistema consumidor de energía, así como, el que mayor impacto en la demanda máxima, es el sistema de iluminación interior. Por lo tanto conviene enfocarse a dicho sistema para obtener ahorros significativos que permitan reducir al máximo la demanda máxima y por lo tanto el consumo de energía.

Adicionalmente, el edificio cuenta con equipo de fuerza, un compresor y un motor para el elevador pero su operación es mínima por lo tanto esta carga no está considerada en el análisis.

4.1.1 Sistemas de Iluminación.



Siendo este sistema uno de los más rentables para obtener ahorros y uno de los más importantes en cuanto a consumo de energía se refiere, se procedió a realizar un análisis minucioso de estos equipos. El levantamiento realizado en el Instituto reporta un total de 800 luminarios, de los cuales el 86% corresponden a sistemas de iluminación fluorescente..



Los sistemas fluorescentes de dos lámparas de 75W T12 encendido instantáneo con balastro electromagnético convencional representan el 62.5% del total de los sistemas instalados, el segundos más

importantes es el sistema de dos lámparas fluorescentes de 40W T12 encendido rápido con el 10.75%, seguido el sistema de dos lámparas ahorradoras de 32W T8 con balastro electrónico con el 4.75%, el sistema de una lámpara de 75W T12 encendido instantáneo con balastro convencional representa el 3.5%, el sistema incandescente de 60W representa el 4.3%, la de 100W con 1.38% y la 75W con 1.25%.

Para el caso del sistema de alumbrado público, el Instituto cuenta con 35 lámparas de vapor de sodio de alta presión de 275 W. Este tipo de lámpara es la adecuada para este tipo de uso.

Es importante mencionar que en el balance energético no se contempla el total de los luminarios instalados debido a que no se considera que el 100% de ellos estén funcionando al mismo tiempo. Es decir, se considera un factor de coincidencia en su operación de acuerdo a la información recabada en el levantamiento.

4.1.2 Equipos misceláneos

Estos equipos representan el 11.25% de la demanda máxima y 6% en el consumo de energía. Los equipos más representativos por cantidad son los reguladores. Sin embargo, los equipos enfriadores-calentadores de agua y los refrigeradores son los más representativos en el consumo de energía.



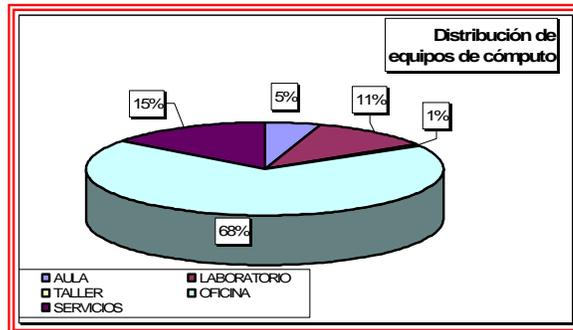
Equipo misceláneo

4.1.3 Sistema de cómputo personal



El sistema de computadoras personales es el cuarto en importancia para el consumo y el segundo en la demanda de energía eléctrica, el Instituto cuenta con 162 computadoras personales, 57 impresoras láser, 23 impresoras de puntos y 7 computadoras portátiles. De acuerdo al censo de equipos consumidores de energía que se realizó.

La mayor cantidad de equipos instalados se encuentran en oficinas o cubículos de investigación 68%, como se observa en la gráfica.



4.1.4 Equipos de calefacción



El Instituto cuenta con 14 equipos de calefacción personal de capacidades de 1 kW a 1.5 kW. Estos operan, de acuerdo a la información proporcionada por los usuarios no de manera continua a través del año.

Este sistema, se estima que impacta en el consumo de energía eléctrica en un 8.78%. Tiene una capacidad instalada estimada de 18.4 kW.

4.1.5 Equipos de laboratorio

El Instituto cuenta con varios equipos de laboratorio: microscopio, microcentrifugadora, mini-centrifugadora, vibradora de pipetas, potenciómetro, báscula electrónica, balanza analítica, horno eléctrico, refrigerador, parrilla calentadora, bomba de vacío, campana de



flujo laminar. Con una capacidad instalada 14.56 kW. la operación de estos equipos se consideró de acuerdo a la información proporcionada por los usuarios.

Este sistema se estima que impacta en el consumo de energía eléctrica en un 5.69%.

5. Niveles de Iluminación.

Para conocer los niveles de iluminación dentro de las instalaciones del Instituto, se procedió a realizar mediciones con un luxómetro analógico debidamente calibrado en todas las áreas de aulas, oficinas, laboratorios y servicios. En la Tabla 1 se presentan los valores obtenidos y su referencia con la NOM-025-STPS-1999 y las recomendaciones internacionales de la Illuminating Engineering Society of North America (IES).

Tabla 1
Niveles de Iluminación (luxes)

Zona	Natural y artificial	Natural	Nocturna	NOM025-STPS	IESNA
AULA	167	6	---	300	200-300-500 (D)
LABORATORIOS	410	252	17	500	500-750-1000 (E)
OFICINAS	593	331	166	300	200-300-500 (D)
SERVICIOS	248	81	44	200	50-75-100 (C)

Como se puede observar los valores promedio obtenidos en la medición con luz natural y artificial comparándolos con los de la normatividad nacional, la zona de aulas está por debajo de lo indicado. En el caso de las lecturas nocturnas ninguna de las zonas se encuentra dentro de los límites y en algunos casos como es la zona del laboratorio es alarmante el nivel de iluminación tan bajo.

Para el caso de la normatividad internacional comparándola con las lecturas hechas con luz natural y artificial, las zonas de oficinas y servicios se encuentran dentro de los valores recomendados, mientras que para las zonas de aulas y laboratorios están ligeramente por abajo.

En el caso de las lecturas nocturnas, éstas se encuentran debajo de lo que normatividad internacional recomienda, siendo la zona de laboratorios la más impactada.

Es importante mencionar que el área considerada como “servicios” agrupa a varios tipos de usos como: pasillos, almacenes, baños, escaleras, archivos, vestíbulos y recepción, por mencionar algunos. Esto explica el amplio rango en los valores que establece la norma.

En el caso de los valores recomendados por la IESNA, estos presentan un rango de valores de acuerdo a la categoría (letra mayúscula) en donde hay que tomar en cuenta la edad de los ocupantes, reflectancia, actividad, etc.

6. Indicadores energéticos

Los indicadores energéticos son una herramienta para llevar a cabo el seguimiento del comportamiento energético de los edificios y realizar una comparación entre edificios del mismo uso.

El índice energético calculado total por medición en el edificio del Instituto es de 37 kWh/m²-año, considerando una superficie construida de 8,099 m² y un consumo estimado anual de 299,801 kWh/año por medición.

La densidad de potencia eléctrica por alumbrado² se encuentra en 13.65 W/m², valor inferior a los 16 W/m² establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2005, "Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios no Residenciales".

El hecho de que el índice de densidad de potencia eléctrica por área (DPEA) esté por abajo en un 15%, esto no refleja un uso eficiente de la energía eléctrica, de hecho refleja un nivel de iluminación inferior, como se aprecia en el punto anterior. Esto se debe en parte a un sembrado de lámparas inadecuado, así como, a la tecnología obsoleta, el estado en el que se encuentran las lámparas (falta de limpieza, fallando) y su tiempo de vida, además del equipo instalado que se encuentra fuera de operación. El índice por concepto de consumo de energía eléctrica en el sistema de iluminación resultó de 19.53 kWh/m²-año

En la Tabla 2 se presenta un resumen con los principales índices energéticos detectados en la Biblioteca.

Tabla 2
Indicadores Energéticos

Indicadores energéticos	kWh/m ² -año	W/m ²
TOTAL	37.00	9.4
Iluminación	19.53	13.65

Nota: Los indicadores totales son los calculados con la demanda y consumo de energía eléctrica obtenidas en las mediciones eléctricas.

El indicador por sistema es calculado de acuerdo al levantamiento de cargas que se lleva a cabo en sitio y de acuerdo a la información que el usuario proporciona.

² Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA). Índice de la carga conectada para alumbrado por superficie de construcción; se expresa en W/m²

7. Recomendaciones para el ahorro de la energía eléctrica



En esta sección se presentan las medidas de ahorro de energía propuestas en base al presente estudio. Se encuentran divididas en medidas tecnológicas, es decir por sustitución de tecnología y por operativas, medidas en las que no es necesario llevar a cabo una inversión, asimismo son de fácil aplicación.

Como se mencionó en la sección 4.1.1 no todas las luminarias son tomadas en cuenta para el cálculo de la demanda (kW), debido al factor de coincidencia en la demanda máxima y por su factor de utilización.

Sin embargo, en el cálculo para la sustitución del sistema de iluminación por una tecnología eficiente si es importante que el total de ellas sean sustituidas. Por lo tanto, las medidas de ahorro de energía en su conjunto no son rentables, mientras que para algunas individuales si lo son. Incluso se observan ahorros negativos en algunas medidas, esto se explica por el número de luminarias evaluadas.



7.1 Medidas tecnológicas

Esta medida consiste básicamente en optimizar los sistemas de iluminación existentes, compuestos por lámparas fluorescentes lineales de 75 y 40 Watts, bulbo T12, temperatura de color “luz de día” y “blanco frío”, operadas con balastos electromagnéticos del tipo convencional. Estos sistemas representan el 77% de los sistemas instalados. Así como, la sustitución de los equipos incandescentes: bulbos A-19 de 100, 75 y 60W (focos).

Se propone la instalación de equipo de iluminación eficiente, a base de lámparas fluorescentes lineales de 59 y 32 Watts bulbo T8, temperatura de color 5000°K, operadas con un balastro electrónico de encendido instantáneo y rápido, respectivamente. Y para el sistema incandescente, la sustitución por compactas fluorescentes de 23, 20 y 15W, con base E-26. Balastro electrónico integrado.

Para el caso de la sustitución de los sistemas de 1x75W la propuesta consiste en sustituirlo por un sistema de 2x59W T8 colando en cada luminario una lámpara de 59W T8 cableando el balastro que estará controlando a dos luminarios, es decir dos lámparas.

Se propone el mismo arreglo para la sustitución de 1x40W por el sistema de 2x32W T8 cableando el balastro que estará controlando a dos luminarios, es decir dos lámparas.

Adicionalmente, se recomienda analizar el sembrado de luminarios del sistema de iluminación interior, con el objetivo de verificar que es adecuado para proporcionar el nivel de iluminación para las actividades que se desarrollan en el Instituto.

Como puede observarse en la tabla 3, la suma de las medidas de ahorro de energía no es rentable, obteniéndose ahorros negativos tanto en energía como económicos lo que se debe a la cantidad de luminarios a sustituir. Como ya se explico al inicio de este tema.

Tabla 3
Tabla resumen de medidas de ahorro de energía

MAE	Descripción		Ahorros					Inversión	TSR
			Demanda	%	Consumo	%	Economico		
			kW		kWh/año		\$/mes	\$	Años
1	Lámpara	Lámpara TL-80 T-8 encendido instantáneo de 59W, #100K, CRI 96, vida promedio 24000h, lum 5780 iniciales.	-21.96	-28.72	-7,121	-28.54	-7,305	157,570	-1.80
	Balastro	Balastro electrónico de encendido programado para sistema de 2x59W, bulbo T-8, alto factor de potencia, con termoprotector.							
2	Lámpara	Lámpara TL-80 T-8 encendido instantáneo de 59W, #100K, CRI 96, vida promedio 24000h, lum 5780 iniciales.	-0.54	-0.71	-176	-0.71	-181	3,650	-1.08
	Balastro	Balastro electrónico de encendido programado para sistema de 2x59W, bulbo T-8, alto factor de potencia, con termoprotector.							
3	Lámpara	Lámpara 32W T8 encendido rápido de 4100K, CRI 95, vida promedio 20000h, lum 3000 iniciales, convencional.	-2.33	-3.05	-757	-3.03	-776	10,286	-1.10
	Balastro	Balastro electrónico de encendido rápido para sistema de 2x32W, bulbo T-8, alto factor de potencia.							
4	Propuesta	Lámpara Lámpara compacta fluorescente 20W, lum 1850, vida promedio 3000 h, temperatura de color 2700K, base E-26. Balastro electrónico dimmable.	0.00	0.07	18	0.07	18	-375	-1.70
5	Propuesta	Lámpara Lámpara compacta fluorescente 15W, lum 1000, vida promedio 8000 h, temperatura de color 2700K, base E-26. Balastro electrónico.	0.18	0.24	59	0.24	61	1,095	1.50
6	Propuesta	Lámpara Lámpara compacta fluorescente 23W, lum 1550, vida promedio 6000 h, longitud 113mm temperatura de color 2700K, base E-26. Balastro electrónico.	0.13	0.17	42	0.17	43	-422	0.82
TOTAL			-24.47	-32.01	-7,945	-31.80	-8,140	173,399	-1.78

7.2 Medidas operativas

Esta medida consiste, principalmente en llevar a cabo medidas de ahorro de energía sin inversión, es decir se aplican con el mismo personal de mantenimiento con que el cuenta el edificio y de los usuarios. De esta manera, se enuncian de manera indicativa y no limitativa las siguientes recomendaciones:

- ▶ Los niveles de iluminación, como se indica en la sección 5, se encuentran por debajo de los valores internacionales recomendados y de lo que dicta la normatividad nacional. Al realizar la sustitución de equipos el nivel se verá beneficiado. Sin embargo, existen zonas que requieren de una atención especial como es el caso de los laboratorios.
- ▶ Existen áreas en donde la iluminación natural es suficiente para tener un buen nivel de iluminación. Sin embargo, se encontraron recintos con las luces encendidas.
- ▶ Programar racionalmente tiempos y turnos de operación de las fotocopiadoras y, de acuerdo con sus especificaciones técnicas, apagarlas cuando no se utilicen.
- ▶ A partir de 1993 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos inició un programa conjunto con los fabricantes de equipo de computo, para la producción e identificación del equipo eficiente a través del sello de "Energy Star". De acuerdo a recientes estudios, al activar la primera etapa se ahorra un 30% del consumo de energía. Se recomienda activar el sistema en cada una de las computadoras.
- ▶ Los ventiladores deben utilizarse sólo en caso necesario y apagarse al abandonar el área de trabajo.
- ▶ Realizar el balanceo de circuitos.

8. Evaluación de la NOM008-SENER-2001

La norma de eficiencia energética NOM-008-ENER-2001 publicada el 25 de abril del 2001 en el Diario Oficial de la Federación tiene como principal objetivo disminuir la ganancia térmica proveniente del exterior a través de la envolvente del edificio. Ésta aplica a edificaciones nuevas o ampliaciones para instalaciones existentes.

El diagnóstico consistió principalmente en el análisis de la ganancia de calor de la envolvente del edificio³. Se cuantificó la ganancia térmica del edificio del Instituto de Investigación Antropológicas de acuerdo a los lineamientos que la norma establece, realizando algunas propuestas de adecuación para mejorar las condiciones de confort de los usuarios. Es importante señalar que la valoración del edificio se realizó acorde con el software que diseñó la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía para evaluar las edificaciones. Concluyéndose que cumple con lo dispuesto en la norma.

Es importante mencionar que el diseño de la envolvente permite tener una temperatura interior de confort que no es necesario el uso de equipos de aire acondicionado.

En la Tabla 4 se muestra por orientación el porcentaje de ventanas (vano) con respecto al área de pared (macizo).

Tabla 4
Tabla resumen por orientación

		Macizo	%	Vano	%	Total
Fachadas Externas	Norte	146.6	21.0	552.8	79.0	699.4
	Sur-oriente	464.6	79.4	120.5	20.6	585.0
	Oriente	87.9	60.0	58.7	40.0	146.6
	Sur	322.0	85.2	56.1	14.8	378.0
Fachadas Internas	Nor-oriente	447.9	66.4	226.2	33.6	674.1
	Sur	149.3	78.0	42.2	22.0	191.5
	Poniente1	284.1	73.0	105.0	27.0	389.0
	Poniente2	105.1	71.7	41.4	28.3	146.5
	Oriente	158.7	70.7	65.7	29.3	224.3
	Norte	101.2	82.0	22.2	18.0	123.35

³ Está formada por techo (losa de azotea), paredes, vanos, piso y superficies inferiores que conforman el espacio interior de un edificio.



DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

EN LA

BIBLIOTECA "ANTONIO CASO" DE LA FACULTAD DE
DERECHO



PRESENTADO POR:
PROYECTOS DE AHORRO DE ENERGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA

MEXICO, D.F.

Índice

Resumen

Introducción

1. Datos del edificio
2. Datos acometida eléctrica
3. Mediciones de parámetros eléctricos
 - 3.1. Demanda eléctrica (kW)
 - 3.2. Consumo de energía eléctrica (kWh/mes)
 - 3.3. Factor de Potencia (F.P.)
 - 3.4. Regulación en tensión (V) y desbalanceo en corriente (I)
4. Uso general de la energía
 - 4.1. Distribución de cargas
 - 4.1.1. Sistema de iluminación
 - 4.1.2. Equipos misceláneos
 - 4.1.3. Sistema de computo personal
 - 4.1.4. Equipos de acondicionamiento ambiental
5. Niveles de Iluminación
6. Indicadores energéticos
7. Recomendaciones para el ahorro de energía eléctrica
 - 7.1. Tecnológicas
 - 7.2. Operativas
8. Evaluación de la NOM008-SENER-2001

RESUMEN

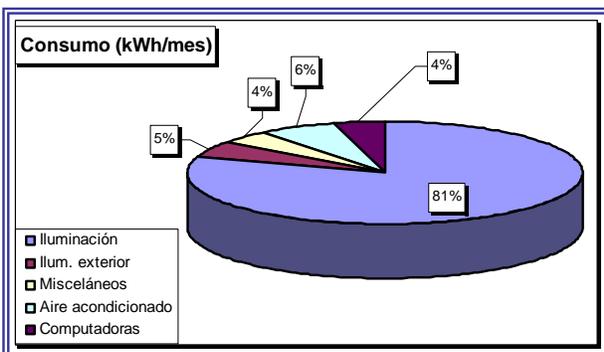
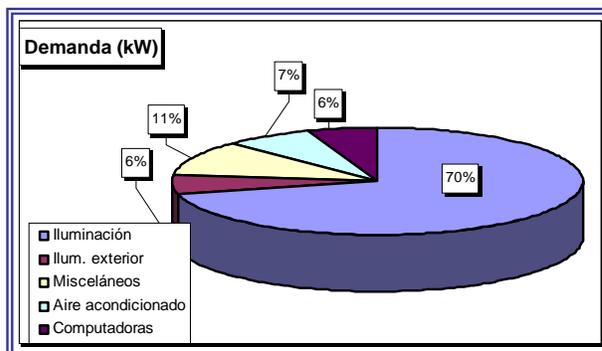
El edificio de la Biblioteca "Antonio Caso" de la Facultad de Derecho (Biblioteca) de la Universidad Nacional Autónoma de México cuenta con un área construida de 4,553.4 m² y tiene un horario de servicio de 09:00 a 21:00 horas, entre semana y 09:00 a 14:00 horas el sábado.

La Biblioteca cuenta con un edificio. Su orientación es este -oeste y el área de ventanas ocupa 12% en la envolvente total del edificio.

El suministro de energía eléctrica es por medio de una subestación la cual tiene instalado un transformador de 300 KVA que está conectado en el anillo JI, seccionador 1 JI, alimentador J de la Subestación General 1 de C.U. que corresponde a una tarifa HM. En este transformador se conectó un analizador de redes con el objeto de conocer el comportamiento de las variables eléctricas del edificio.

De la medición de los principales parámetros eléctricos se determinó que la demanda máxima es de 63 kW, con un consumo promedio estimado mensual de 14,051 kWh/mes, se detectó un desbalanceo de cargas máximo del 91%. Con un desbalanceo promedio de 45%. El factor de potencia en promedio se encuentra por arriba del 90%, lo que implica cumplir con la normatividad que establece la compañía suministradora (Luz y Fuerza del Centro).

Los sistemas consumidores de energía eléctrica se concentraron en cinco sistemas: iluminación interior, iluminación exterior, misceláneos, cómputo y aire acondicionado. El sistema de iluminación interior representa 70% de la demanda eléctrica del edificio.



Los sistemas de iluminación exterior, misceláneos y cómputo representan el 30% de la demanda de energía estimada en el edificio. Por el lado, la iluminación interior representa el 81% del consumo de energía eléctrica del edificio.

Asimismo, el edificio cuenta con equipos de lavado de aire los cuales no se operan y equipos de aire acondicionado del tipo paquete y unidades minisplit que operan diariamente.

Siendo el principal consumidor de energía eléctrica el sistema de iluminación interior, es el que mayor potencial en ahorro de energía representa. Se recomienda llevar a cabo una sustitución de los equipos actuales por equipos de tecnología eficiente. En el capítulo 7.1 se muestra la justificación técnico

El ahorro estimado en la demanda máxima es del orden de 28.3 kW (44.7%), mientras que para el consumo el ahorro es de 4,536 kWh/mes (32.28%), con una reducción económica⁴ de 4,281 \$/mes (32%). La inversión estimada para llevar a cabo esta sustitución es de \$ 144,385 recuperándose en aproximadamente en 2.8 años. Es importante mencionar que los datos de facturación son calculados de acuerdo a las mediciones realizadas.

Por otro lado, se analizó la envolvente arquitectónica del edificio a través de la NOM-008-SENER-2001 con el fin de verificar si el edificio cumple con la resistencia térmica de su envolvente, que establece la norma. Concluyéndose que la Biblioteca cumple con esta normatividad. Para mayor detalle ver el capítulo 8.

⁴ Precio medio, tarifa HM. CFE – 2004. Último dato proporcionado por CFE. www.cfe.gob.mx

Introducción.

El pasado 8 de agosto del 2005 fue aprobado el proyecto **Caracterización energética de edificios de la Ciudad Universitaria** por el Comité Interno del Macroproyecto **“La Ciudad Universitaria y la Energía”**.

En este sentido, se llevó a cabo una selección de edificios para ser estudiados energéticamente con el objetivo llevar a cabo un estudio de los usos finales de la energía eléctrica y de esta manera llegar a predecir el comportamiento energético por cada uno de esos usos finales. Uno de los edificios considerados como representativos por su uso específico de bibliotecas es la **Biblioteca “Antonio Caso” de la Facultad de Derecho**.

El presente estudio muestra en forma general el uso de la energía del edificio, así como sus indicadores energéticos principales y los potenciales de ahorro de energía detectados tanto por tecnología como por medidas operativas. Asimismo, la evaluación de la envolvente del edificio a través de la herramienta de la NOM-008-SENER-2001.

1. Datos del edificio.

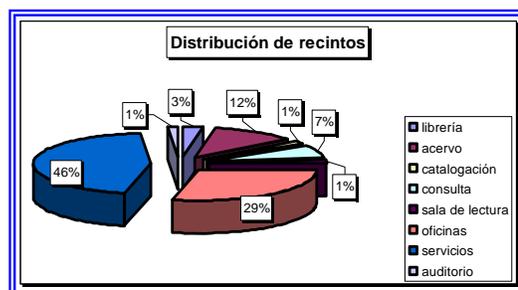


La Biblioteca “Antonio Caso” de la Facultad de Derecho (la Biblioteca) cuenta con un edificio principal, tiene una superficie total construida de 4,553.4 m², su ubicación es Circuito interior s/n Ciudad Universitaria Del. Coyoacán C.P. 04510, México D.F.

El edificio tiene una orientación de este - oeste con un área total de ventanas que ocupa el 12% de la envolvente del edificio.

Actualmente la biblioteca atiende a 4,500 alumnos diariamente y cuenta con 63 personas como personal fijo. El horario oficial entre semana es de 09:00 a 21:00 horas, sin embargo las gráficas de demanda eléctrica muestran actividad a partir de las 7:00 a.m. También tienen servicio los sábados de 9:00 a 14:00 horas.

Cuenta con 69 recintos en total, de los cuales 20 están destinados para oficinas administrativas, 17 para el uso propio de una biblioteca (sala de lectura, acervo, librería, etc.), 1 auditorio y 31 para servicios.



2. Datos acometida eléctrica.



La Biblioteca recibe la energía eléctrica en 6 kV de la red de distribución de CU y lo transforma a 220/127 V con un transformador de 300 KVA que está conectado en el anillo JI, seccionador 1 JI, alimentador J de la Subestación General 1 que corresponde a una tarifa HM. La Biblioteca representa dentro de esta facturación el 0.68% y el 0.4% del consumo y de la demanda eléctrica, respectivamente, de acuerdo a la facturación eléctrica del mes de marzo del presente. Por otro lado, se estima

una facturación mensual⁵ de \$ 13,263 al mes.

En lo que se refiere a la distribución de la energía, el edificio cuenta con 15 tableros, 8 trifásicos, 5 bifásicos y 2 monofásico.

3. Mediciones de Parámetros eléctricos

Se realizaron mediciones en el transformador de 300 kVA del edificio, tomando datos a intervalos de 5 minutos durante 7 días (del 22 de febrero al 1 de marzo del 2006) (horario de invierno), por medio de un analizador de redes que mide y registra simultáneamente parámetros eléctricos; dentro de los parámetros medidos se encuentran: voltaje, corriente, potencia activa, factor de potencia, energía consumida y la frecuencia. De la medición se calculó la regulación en tensión y desbalanceo en corriente.



Medición en la
Subestación de La Biblioteca

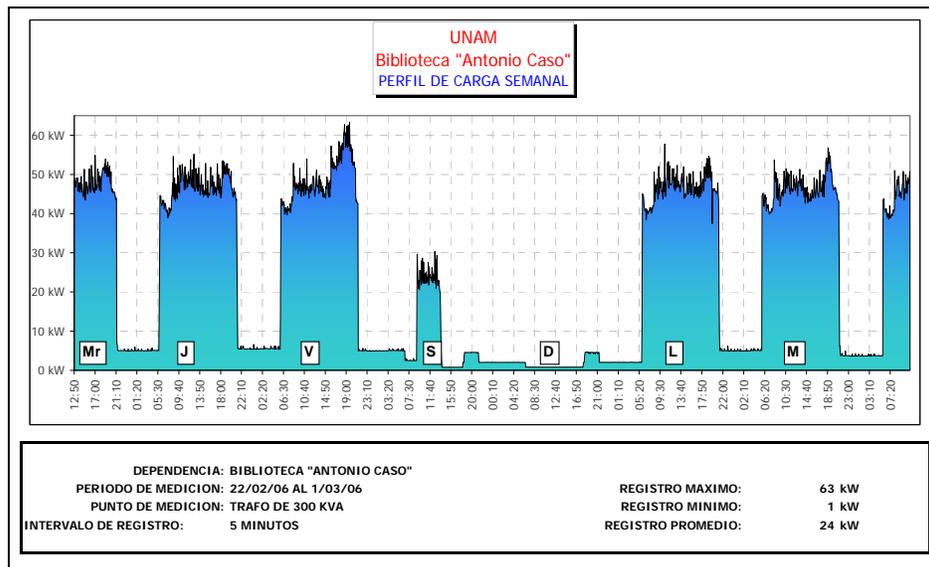
⁵ precio medio de CFE del 2004 correspondiente a la tarifa HM. Último dato proporcionado por CFE. www.cfe.gob.mx

3.1 Demanda (kW).

De los registros obtenidos en la medición correspondiente se encontró que la demanda máxima es de 63 kW, valor que se presenta a las 19:40 horas en el día viernes. Durante la semana, en días hábiles, la demanda oscila entre 55 y 63 kW.

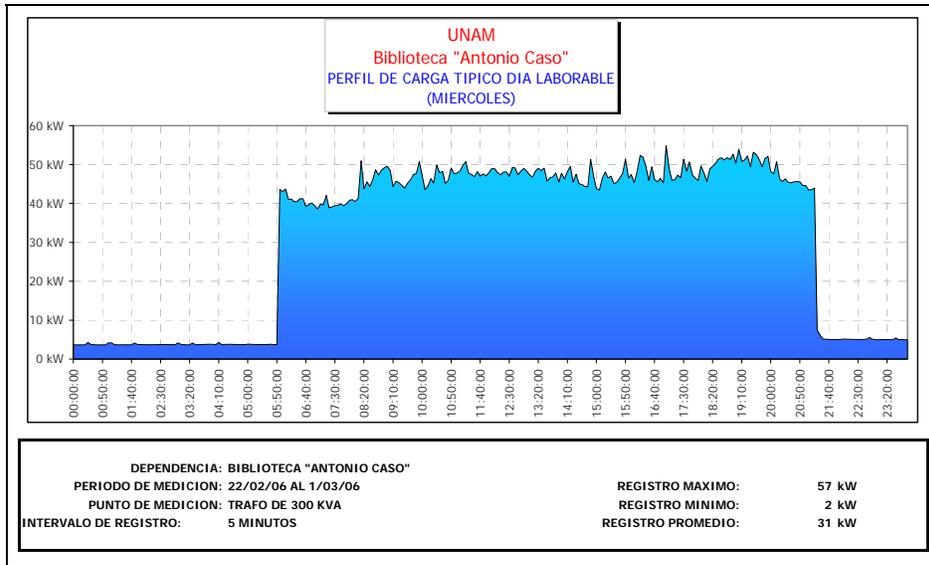
La demanda mínima registrada entre semana (carga base) es de alrededor de 5 kW, la cual se produce después de las 22:00 horas de lunes a viernes, el fin de semana el valor disminuye a 1 kW, localizándose entre las 14:00 y 18:00 horas como se aprecia en la Gráfica 1.

Gráfica 1
Perfil de carga semanal



Con respecto al perfil de carga semanal se detectó un comportamiento uniforme durante los días laborables y fines de semana. En éste se observa que la carga importante es durante el día, en el horario de atención a público. Ver Gráfica 2.

Gráfica 2
Perfil de carga día hábil



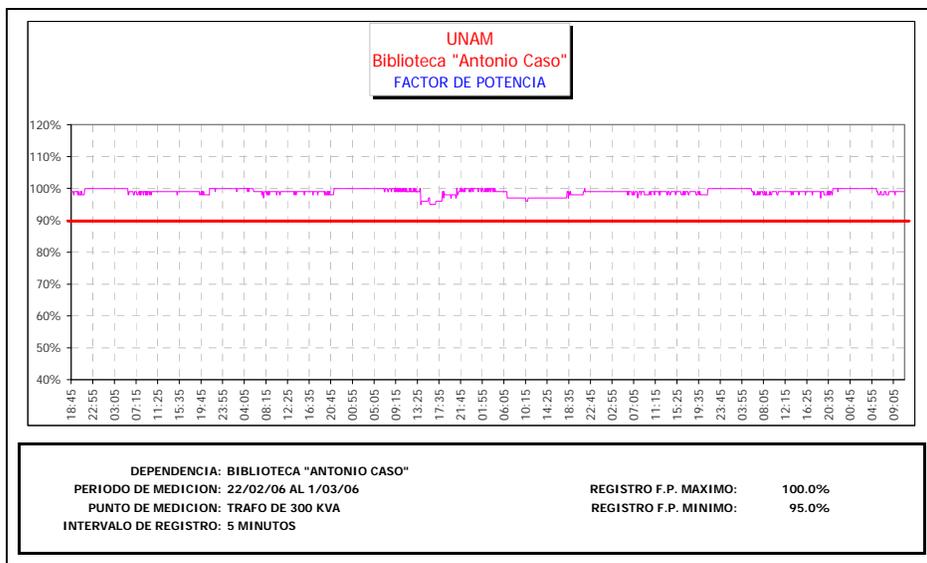
3.2 Consumo de energía (kWh).

Realizando el cálculo para el consumo de energía típico de un mes completo y considerando los valores obtenidos en las mediciones, se tiene que el consumo estimado mensual asciende a 14,051 kWh.

3.3 Factor de potencia (F.P.).

La medición de parámetros eléctricos por medio del analizador de redes, permitió conocer el comportamiento del F.P. a lo largo de las 24 horas del día durante toda una semana completa, mostrando que durante todos los días el F.P. general es mayor del 95%, la compañía suministradora Luz y Fuerza de Centro penaliza al tener un factor de potencia menor al 90%, bonificando al tener un valor mayor a 90%, esto aplicaría si el edificio contará con una acometida propia. Ver Gráfica 3.

Gráfica 3
Factor de Potencia



3.4 Regulación en tensión y desbalanceo en corriente.

Con los resultados obtenidos en la medición eléctrica se procedió a realizar el cálculo de regulación de tensión y desbalanceo en corriente con la finalidad de detectar condiciones que pudieran afectar el correcto funcionamiento de los equipos.

La regulación de tensión promedio en condiciones de carga máxima es de -1.20%, es decir, 1.53Volts por abajo del nivel de tensión normalizado de 127 Volts y en condiciones de carga mínima la regulación promedio es de -1.99%; estos porcentajes se encuentran dentro del $\pm 10\%$ de tolerancia permitida por el artículo 18 del Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

Con relación al desbalanceo en corriente, el máximo detectado entre fases durante condiciones de carga mínima en días hábiles es de 50.29%, mientras que para carga máxima en las mismas condiciones es de 28.03%.

Asimismo, el desbalanceo máximo detectado durante la medición es de 90.8%, este se localizó en sábado a las 13:55 horas, cuando se cierra la Biblioteca a los alumnos. Mientras el desbalanceo promedio durante todo el periodo medido es de 45.3%. Este aspecto representa problemas importantes que pudieran afectar seriamente la operación adecuada de los equipos y la seguridad de las instalaciones, además de ser una fuga de energía.

4. Uso general de la energía

En lo que se refiere al uso general de la energía en la Biblioteca tiene como principales cargas la iluminación interior, iluminación exterior, computo, y equipos misceláneos propios de una biblioteca y equipos de aire acondicionado tipo minisplits y lavadoras de aire.

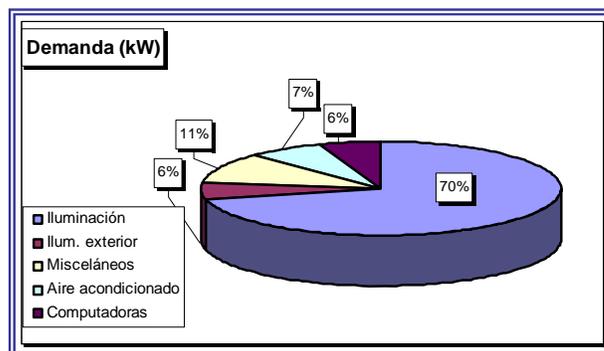
En lo que se refiere al seccionamiento de circuitos, el 52% del edificio cuenta con la opción para apagar la iluminación interior por cada recinto. El 92% de los apagadores controla como máximo cuatro luminarios, por lo que se tiene un buen seccionamiento de circuitos con flexibilidad de poder apagar las luces que no se utilizan.

4.1 Distribución de Cargas.

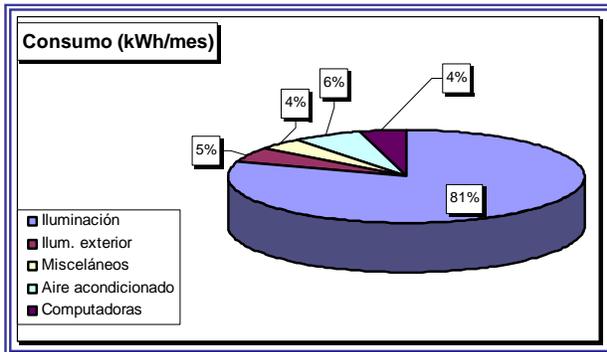
Para efectos de análisis se consideraron cinco sistemas consumidores de energía: iluminación interior, iluminación exterior, misceláneos, cómputo y aire acondicionado. El sistema de iluminación interior comprende todas las luminarias que se encuentran en el interior del edificio. Para el caso de los sistemas de cómputo estos están integrados por computadoras portátiles y de escritorio, scanners e impresoras láser y de punto.

El sistema de misceláneos comprende equipo de oficina: cafeteras, ventiladores, radios, reguladores, refrigeradores, enfriadores-calentadores, fotocopiadoras, etc. La iluminación exterior comprende los luminarios que se encuentran en el acceso del paso cubierto a la Biblioteca y los de la azotea. El sistema de aire acondicionado comprende equipos minisplit, equipos centrales y lavadoras de aire. Estas últimas su principio de funcionamiento consiste en saturar el aire al 100% de humedad, esto en libros no es recomendable debido a que puede producir hongos en los libros.

El sistema de iluminación interior es la carga más importante con una aportación en la demanda del 70%. El segundo sistema en importancia los equipos contenidos en el sistema de misceláneos con una aportación del 11% en la demanda.



El tercer sistema consumidor más importante es el que se refiere a los equipos de aire acondicionado con una aportación del 7%, Por último los sistemas de computo e iluminación exterior representan el 6% de la demanda, cada sistema.



Para el caso del consumo de energía, el sistema más importante es la iluminación interior con una aportación del 81%, como un segundo sistema importante es el de aire acondicionado con 6%, seguido del sistema de iluminación exterior, cómputo y misceláneos.



Como se puede observar en las gráficas, el principal sistema consumidor de energía, así como, el que mayor impacto en la demanda máxima, es el sistema de iluminación interior. Por lo tanto conviene enfocarse a dicho sistema para obtener ahorros significativos que permitan reducir al máximo la demanda máxima y por lo tanto el consumo de energía.

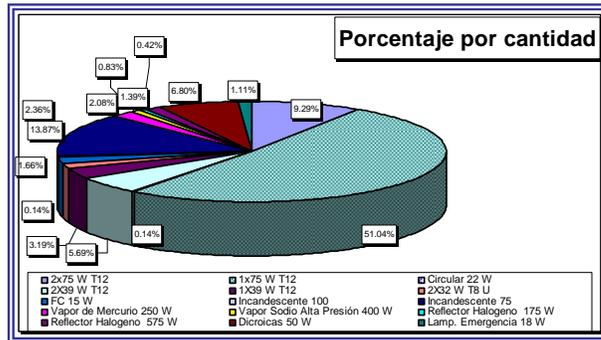
Adicionalmente, el edificio cuenta con equipo de fuerza (Montacargas, Ventilador industrial colectores de polvo, Ventilador de ducto, Bomba centrífuga) pero su operación es mínima por lo tanto esta carga no está considerada en el análisis.

4.1.1 Sistemas de Iluminación.



Siendo este sistema uno de los más rentables para obtener ahorros y uno de los más importantes en cuanto a consumo de energía se refiere, se procedió a realizar un análisis minucioso de estos equipos. El levantamiento realizado en la Biblioteca reporta un total de 723 luminarios, de los cuales el 73% corresponden a sistemas de iluminación fluorescente.

Los sistemas fluorescentes de una lámpara de 75W T12 encendido instantáneo con balastro electromagnético convencional representan el 51% del total de los sistemas instalados, el segundos más importantes son las lámparas incandescentes de 75W con el 13.8%, seguido por las lámparas dicróicas de 50W con 6.78%, las lámparas de 39W T12 encendido instantáneo representan el 8.85% del total de las lámparas instaladas.



4.1.2 Equipos misceláneos

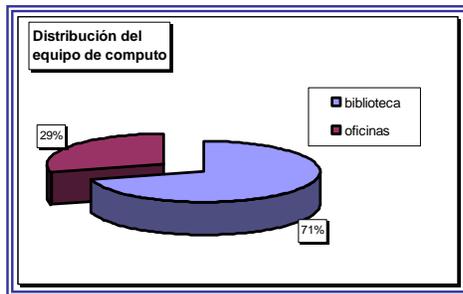
Estos equipos representan el 11% de la demanda máxima y 4% en el consumo de energía. Los equipos más representativos por cantidad son equipos del auditorio. Sin embargo, los equipos enfriadores-calentadores de agua son los más representativos en el consumo de energía.



Equipo misceláneo

4.1.3 Sistema de computo.

El sistema de computadoras personales es el cuarto en importancia tanto para la demanda como para el consumo de energía eléctrica, la Biblioteca cuenta con 41 computadoras personales, 6 impresoras láser y una portátil. De acuerdo al censo de equipos consumidores de energía que se realizó.



La mayor cantidad de equipos instalados se encuentran en las zonas representativas para el uso de una biblioteca (acervo, sala de consulta, etc.) 71%, como se observa en la gráfica. El 29% de los equipos se encuentra en las zonas para oficinas administrativas.

4.1.4 Equipos de acondicionamiento ambiental



La Biblioteca cuenta con 2 equipos de aire acondicionado del tipo minisplit de capacidades de 1 a 2 toneladas de refrigeración, tres equipos tipo paquete de de capacidades de 1 a 5 toneladas de refrigeración y cuatro lavadoras de aire. Estos operan, de acuerdo a la información proporcionada por los usuarios no de manera continua a través del año.

Este sistema, se estima que impacta en el consumo de energía eléctrica en un 6%. Tiene una capacidad instalada estimada de 45 kW.



5. Niveles de Iluminación.

Para conocer los niveles de iluminación dentro de las instalaciones de la Biblioteca, se procedió a realizar mediciones con un luxómetro analógico debidamente calibrado en todas las áreas de salas, oficinas,

talleres y servicios. En la Tabla 1 se presentan los valores obtenidos y su referencia con la NOM-025-STPS-1999 y las recomendaciones internacionales de la Illuminating Engineering Society of North America (IES).

Tabla 1
Niveles de Iluminación (luxes)

	Zona	natural y artificial	natural	nocturna	NOM025-STPS	IESNA
Biblioteca	acervo	133	0	64	300	50-75-100 (B)
	catalogación	60	7	60		200-300-500 (D)
	consulta	151	22	59		500-750-100 (E)
	librería	124	0	124		n.d.
	sala de lectura	137	0	95		500-750-100 (E)
Zonas varias	oficina administrativa	281	193	29	300	200-300-500 (D)
	servicios generales	312	122	85	200	50-75-100 (C)



Como se puede observar los valores promedio obtenidos en la medición con luz natural y artificial comparándolos con los de la normatividad nacional, para las zonas en la biblioteca, se encuentran por debajo. El mismo fenómeno se observa con las lecturas con iluminación nocturna. Esta área es sensible por el tipo de actividad que se lleva (lectura) por lo tanto requiere de cuidado.

Para el caso de la normatividad internacional la zona de acervo es la única que se encuentra dentro de los valores que se recomiendan.

En la zona de oficinas administrativas prácticamente los valores promedio se encuentran dentro tanto de lo que establece la normatividad nacional como la internacional. Para la zona de servicios generales el valor promedio está por arriba tanto de la referencia nacional como internacional.

Es importante mencionar que el área considerada como “servicios” agrupa a varios tipos de usos como: pasillos, almacenes, baños, escaleras, archivos, vestíbulos y recepción, por mencionar algunos. Esto explica el amplio rango en los valores que establece la norma.

En el caso de los valores recomendados por la IESNA, estos presentan un rango de valores de acuerdo a la categoría (letra mayúscula) en donde hay que tomar en cuenta la edad de los ocupantes, reflectancia, actividad, etc.

6. Indicadores energéticos

Los indicadores energéticos son una herramienta para llevar a cabo el seguimiento del comportamiento energético de los edificios y realizar una comparación entre edificios del mismo uso.

El índice energético calculado total por medición en el edificio de la Biblioteca es de 37 kWh/m²-año, considerando una superficie construida de 4,553.4 m² y un consumo estimado anual de 168,614 kWh/año por medición.

La densidad de potencia eléctrica por alumbrado⁶ se encuentra en 15.53 W/m², valor inferior a los 16 W/m² establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2005, "Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios no Residenciales".

El hecho de que el índice de densidad de potencia eléctrica por área (DPEA) esté por abajo en un 3%, esto no refleja un uso eficiente de la energía eléctrica o que los niveles de iluminación se encuentren dentro de lo recomendado, lo que se aprecia en el punto anterior. Esto se debe en parte a un sembrado de lámparas inadecuado, así como, a la tecnología obsoleta, el estado en el que se encuentran las lámparas (falta de limpieza, fallando) y su tiempo de vida, además del equipo instalado que se encuentra fuera de operación. El índice por concepto de consumo de energía eléctrica en el sistema de iluminación resultó de 32.54 kWh/m²-año

En la Tabla 2 se presenta un resumen con los principales índices energéticos detectados en la Biblioteca.

Tabla 2
Indicadores Energéticos

Indicadores energéticos	kWh/m ² -año	W/m ²
TOTAL	37.03	13.90
Iluminación	32.54	15.53

Nota: Los indicadores totales son los calculados con la demanda y consumo de energía eléctrica obtenidas en las mediciones eléctricas.

El indicador por sistema es calculado de acuerdo al levantamiento de cargas que se lleva a cabo en sitio y de acuerdo a la información que el usuario proporciona.

7. Recomendaciones para el ahorro de la energía eléctrica

En esta sección se presentan las medidas de ahorro de energía propuestas en base al presente estudio. Se encuentran divididas en medidas tecnológicas, es decir por sustitución de tecnología y por operativas, medidas en las que no es necesario llevar a cabo una inversión, asimismo son de fácil de aplicación.

⁶ Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA). Índice de la carga conectada para alumbrado por superficie de construcción; se expresa en W/m²

7.1 Medidas tecnológicas

Esta medida consiste básicamente en optimizar los sistemas de iluminación existentes, compuestos por lámparas fluorescentes lineales de 75 y 39 Watts, bulbo T12, temperatura de color “luz de día” y “blanco frío”, operadas con balastos electromagnéticos del tipo convencional. Estos sistemas representan el 69% de los sistemas instalados. Así como, la sustitución de los equipos incandescentes: bulbos A-19 de 75W (focos) y lámparas dicróicas de 50W.

Se propone la instalación de equipo de iluminación eficiente, a base de lámparas fluorescentes lineales de 59 y 32 Watts bulbo T8, temperatura de color 5000°K, operadas con un balastro electrónico de encendido instantáneo y rápido, respectivamente. Y para el sistema incandescente, la sustitución por compactas fluorescentes de 20W, con base E-26. Balastro electrónico dimeable. Para el caso de las lámparas dicróicas se recomienda el cambio por una lámpara dicróica de 20W, con una intensidad luminosa 780 candelas y vida media de 4000 horas.

Se estiman ahorros de energía anual de 54,428 kWh con una reducción en la demanda máxima de 28.3 kW, con un ahorro en la facturación eléctrica anual de \$51,375 con una inversión de \$ 144,385 antes de IVA recuperable en 2.8 años (periodo simple de recuperación). Ver tabla 3.

Tabla 3
Tabla resumen de ahorros

MAE	Descripción		Ahorros					Inversión \$	TSR Años
			Demanda kW	%	Consumo kWh/mes	%	Económico \$/mes		
1	Lámpara	Lámpara 59W encendido instantáneo de 4100K, CRI 62, vida promedio 15000h, lum 5900 iniciales.	4.62	7.31	741	5.27	699	21,938	2.61
	Balastro	Balastro electrónico de encendido instantáneo para sistema de 2X59W, bulbo T-8, alto factor de potencia							
2	Lámpara	Lámpara 59W encendido instantáneo de 4100K, CRI 62, vida promedio 15000h, lum 5900 iniciales.	14.35	22.68	2,301	16.37	2,172	105,800	4.06
	Balastro	Balastro electrónico de encendido instantáneo para sistema de 1X59W, bulbo T-8, alto factor de potencia							
3	Lámpara	Lámpara 32W encendido rápido de 4100K, CRI 85, vida promedio 20000h, lum 3000 iniciales, convencional.	1.72	2.72	276	1.96	261	4,904	1.57
	Balastro	Balastro electrónico de encendido rápido para sistema de 2X32W, bulbo T-8, alto factor de potencia							
4	Lámpara	Lámpara 32W encendido rápido de 4100K, CRI 85, vida promedio 20000h, lum 3000 iniciales.	0.78	1.23	125	0.89	118	3,648	2.58
	Balastro	Balastro electrónico de encendido rápido para sistema de 1X32W, bulbo T-8, alto factor de potencia							
5	Propuesta	Lámpara Lámpara halógeno dicróico 20W, 12volts, ángulo de radiación 38°, intensidad luminosa 780cd, casquillo GU5.3, longitud 45mm, diametro 51mm, vida media 4000h	1.52	2.40	243	1.73	230	2,375	0.86
6	Propuesta	Lámpara Lámpara compacta fluorescente 20W, lum 1050, vida promedio 8000 h, temperatura de color 2700K, base E-26. Balastro electrónico dimeable	5.30	8.37	850	6.05	802	5,720	0.59
TOTAL			28.30	44.71	4,536	32.28	4,281	144,385	2.81

7.2 Medidas operativas

Esta medida consiste, principalmente en llevar a cabo medidas de ahorro de energía sin inversión, es decir se aplican con el mismo personal de mantenimiento con que el cuenta el edificio y de los usuarios. De esta manera, se enuncian de manera indicativa y no limitativa las siguientes recomendaciones:

- ▶ Al no contar con un seccionamiento de circuitos adecuado (la iluminación es controlada desde tablero) son encendidas las luminarias de áreas donde no es requerida, se recomienda seccionar en esas áreas conectando no más de cuatro luminarios por apagador.
- ▶ En acervos, áreas donde no es necesario contar con la iluminación constante y no hay flujo continuo de usuarios, es conveniente analizar la instalación de sensores de presencia.
- ▶ Existen áreas en donde la iluminación natural es suficiente para tener un buen nivel de iluminación. Sin embargo, se encontraron recintos con las luces encendidas.
- ▶ Programar racionalmente tiempos y turnos de operación de las fotocopiadoras y, de acuerdo con sus especificaciones técnicas, apagarlas cuando no se utilicen.
- ▶ A partir de 1993 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos inició un programa conjunto con los fabricantes de equipo de computo, para la producción e identificación del equipo eficiente a través del sello de "Energy Star". De acuerdo a recientes estudios, al activar la primera etapa se ahorra un 30% del consumo de energía. Se recomienda activar el sistema en cada una de las computadoras.
- ▶ Los ventiladores deben utilizarse sólo en caso necesario y apagarse al abandonar el área de trabajo.
- ▶ Realizar el balanceo de circuitos.

8. Evaluación de la NOM008-SENER-2001

La norma de eficiencia energética NOM-008-ENER-2001 publicada el 25 de abril del 2001 en el Diario Oficial de la Federación tiene como principal objetivo disminuir la ganancia térmica proveniente del exterior a través de la envolvente del edificio. Ésta aplica a edificaciones nuevas o ampliaciones para instalaciones existentes.

El diagnóstico consistió principalmente en el análisis de la ganancia de calor de la envolvente del edificio⁷. Se cuantificó la ganancia térmica del edificio de la Biblioteca “Antonio Caso” de la Facultad de Derecho a los lineamientos que la norma establece, realizando algunas propuestas de adecuación para mejorar las condiciones de confort de los usuarios. Es importante señalar que la valoración del edificio se realizó acorde con el software que diseñó la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía para evaluar las edificaciones. Concluyéndose que cumple con lo dispuesto en la norma.

En la Tabla 4 se muestra por orientación el porcentaje de ventanas (vano) con respecto al área de pared (macizo).

Tabla 4
Tabla resumen por orientación

		Macizo	%	Vano	%	Total
Techumbre		1,592.09	92.6	123.3	7.4	1,719.78
Fachadas	Norte	796.21	84.6	144.9	15.4	941.21
	Sur	562.42	100	0.0	0.0	562.42
	Este	333.44	77.75	95.5	22.2	428.94
	Oeste	209.28	65.95	108	34.0	317.28
Total		3,493.44	88.0	475.66	11.98	3,969.63

⁷ Está formada por techo (losa de azotea), paredes, vanos, piso y superficies inferiores que conforman el espacio interior de un edificio.



DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

EN LA

DIRECCIÓN GENERAL DE COLEGIOS DE CIENCIAS Y
HUMANIDADES



PRESENTADO POR:
PROYECTOS DE AHORRO DE ENERGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA

MEXICO, D.F.

Índice

Resumen

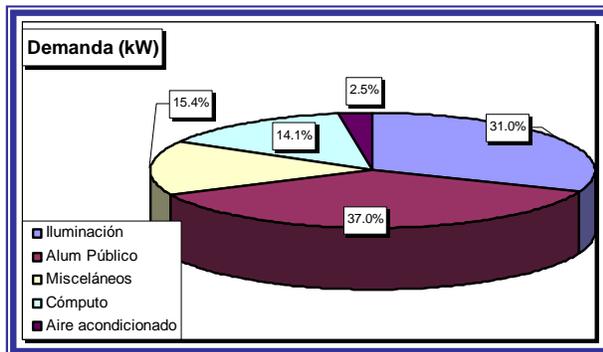
Introducción

1. Datos del edificio
2. Datos acometida eléctrica
3. Mediciones de parámetros eléctricos
 - 3.1. Demanda eléctrica (kW)
 - 3.2. Consumo de energía eléctrica (kWh/mes)
 - 3.3. Factor de Potencia (F.P.)
 - 3.4. Regulación en tensión (V) y desbalanceo en corriente (I)
4. Uso general de la energía
 - 4.1. Distribución de cargas
 - 4.1.1. Sistema de iluminación
 - 4.1.2. Equipos misceláneos
 - 4.1.3. Sistema de computo personal
 - 4.1.4. Equipos de acondicionamiento ambiental
5. Niveles de Iluminación
6. Indicadores energéticos
7. Recomendaciones para el ahorro de energía eléctrica
 - 7.1. Tecnológicas
 - 7.2. Operativas
8. Evaluación de la NOM008-SENER-2001

RESUMEN

El edificio de la Dirección General del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) de la Universidad Nacional Autónoma de México está destinado al uso de oficinas administrativas; cuenta con un área construida de 1,647.5 m² y tiene un horario de servicio (oficial) de 10:00 a 20:00 horas.

La Dirección del CCH cuenta con un edificio destinado al uso de oficinas administrativas, sin embargo tiene una cantidad importante de salas de juntas y una sala de cómputo grande. Su orientación es norte - sur y el área de ventanas ocupa 27% en la envolvente del edificio.

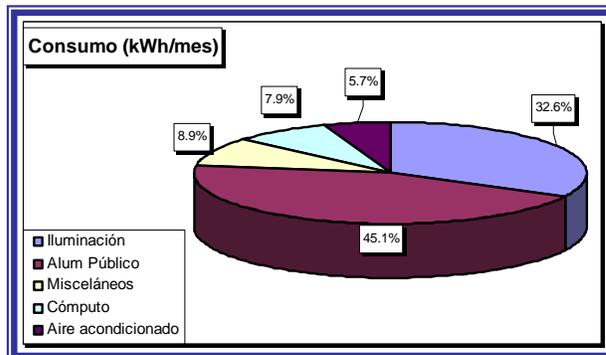


El suministro de energía eléctrica es por medio de una subestación la cual tiene instalado un transformador de 100 KVA que está conectado en el anillo 4, seccionador 3 GH, alimentador G de la Subestación General 1 de C.U. que corresponde a una tarifa HM. En este transformador se conectó un analizador de redes con el objeto de conocer el

comportamiento de las variables eléctricas del edificio.

De la medición de los principales parámetros eléctricos se determinó que la demanda máxima es de 59 kW, con un consumo promedio mensual de 23,053 kWh/mes, se detectó un desbalanceo de cargas máximo del 46.25%. Con un desbalanceo promedio de 23.56%. El factor de potencia en promedio se encuentra por abajo de 90%, lo que implica estar fuera de la normatividad que establece la compañía suministradora (Luz y Fuerza del Centro).

Los sistemas consumidores de energía eléctrica se concentraron en cinco sistemas: iluminación interior, iluminación exterior, misceláneos, cómputo y aire acondicionado. El sistema de iluminación exterior representa 37% de la demanda eléctrica del edificio. Los sistemas de iluminación, misceláneos y cómputo representan el 60%



Siendo el sistema de iluminación el más representativo con 31% y 33% en la demanda y consumo de energía eléctrica, respectivamente. El edificio cuenta con equipos de aire acondicionado teniendo un uso variable en los meses del año.

El sistema de iluminación interior es el que mayor potencial en ahorro de energía representa, además de ser el segundo en importancia en demanda y consumo de

energía eléctrica, los sistemas instalados son de tecnología obsoleta. Se recomienda llevar a cabo una sustitución de los equipos actuales por equipos de tecnología eficiente. En el capítulo 7.1 se muestra la justificación técnico económica.

El ahorro estimado en la demanda máxima es del orden de 11.3 kW que representa una reducción del 19.2%, en consumo 1,910 kWh/mes con lo que se tiene una reducción del 8.3%, económico⁸ de 1,802 \$/mes que representa una disminución del 8%. La inversión estimada para llevar a cabo esta sustitución es de \$ 38,910 recuperándose en aproximadamente en 21.6 meses. Es importante mencionar que los datos de facturación son calculados de acuerdo a las mediciones realizadas.

Por otro lado, se analizó la envolvente arquitectónica del edificio a través de la NOM-008-SENER-2001 con el fin de verificar si el edificio cumple con la resistencia térmica de su envolvente, que establece la norma. Concluyéndose que el CCH no cumple con esta normatividad. Para mayor detalle ver el capítulo 8.

⁸ Precio medio, tarifa HM. CFE – 2004. Último dato proporcionado por CFE. www.cfe.gob.mx

Introducción.

El pasado 8 de agosto del 2005 fue aprobado el proyecto **Caracterización energética de edificios de la Ciudad Universitaria** por el Comité Interno del Macroproyecto **“La Ciudad Universitaria y la Energía”**.

En este sentido, se llevó a cabo una selección de edificios para ser estudiados energéticamente con el objetivo llevar a cabo un estudio de los usos finales de la energía eléctrica y de esta manera llegar a predecir el comportamiento energético por cada uno de esos usos finales. Uno de los edificios considerados como representativos por su uso específico de oficinas administrativas es la **Dirección General de Colegios de Ciencias y Humanidades**.

El presente estudio muestra en forma general el uso de la energía del edificio, así como sus indicadores energéticos principales y los potenciales de ahorro de energía detectados tanto por tecnología como por medidas operativas. Asimismo, la evaluación de la envolvente del edificio a través de la herramienta de la NOM-008-SENER-2001.

1. Datos del edificio.



La Dirección General del Colegio de Ciencias y Humanidades (Dirección del CCH) cuenta con 1 edificio principal, tiene una superficie total construida de 1,647.5 m², su ubicación es Circuito interior s/n Ciudad Universitaria Del. Coyoacán C.P. 04510, México D.F.

El edificio cuenta principalmente con oficinas de uso administrativo, salas de juntas y una sala de cómputo para el uso de los profesores. Su orientación es norte – sur con un área total de ventanas que ocupa el 27% de la envolvente del edificio.

Actualmente el CCH cuenta instalaciones para alojar a 200 personas y atender de 50 a 70 profesores diariamente, estos últimos no se encuentran en sitio. El horario oficial es de 10:00 a 20:00 horas, sin embargo existe personal a partir de las 7:00 horas y pueden permanecer hasta a las 21:00 horas. Cuenta con 150 recintos destinados para oficinas administrativas, 1 para talleres y 33 para servicios.

2. Datos acometida eléctrica.

El CCH recibe la energía eléctrica en 6 kV de la red de distribución de CU y lo transforma a 220/127 V con un transformador de 100 KVA que está conectado en el anillo 4, seccionador 3 GH, alimentador G de la Subestación General 1 que corresponde a una tarifa HM. El CCH representa dentro de esta facturación el 0.65% y el 0.63% del consumo y de la demanda eléctrica, respectivamente, de acuerdo al facturación eléctrica del mes de diciembre del 2005. Se estima una facturación mensual⁹ de \$ 21,760 al mes.



En lo que se refiere a la distribución de la energía, el Edificio cuenta con 7 tableros monofásicos y 5 circuitos directos de la subestación, trifásicos.

3. Mediciones de Parámetros eléctricos

Se realizaron mediciones en el transformador de 100 kVA del edificio, tomando datos a intervalos de 60 minutos durante 7 días (del 6 al 12 de octubre del 2005) (horario de verano), por medio de un analizador de redes que mide y registra simultáneamente 25 parámetros; dentro de los parámetros medidos se encuentran: voltaje, corriente, potencia activa, factor de potencia, energía consumida y la frecuencia. De los parámetros anteriores, se realizó el análisis de regulación en tensión y desbalanceo en corriente.



Subestación del CCH

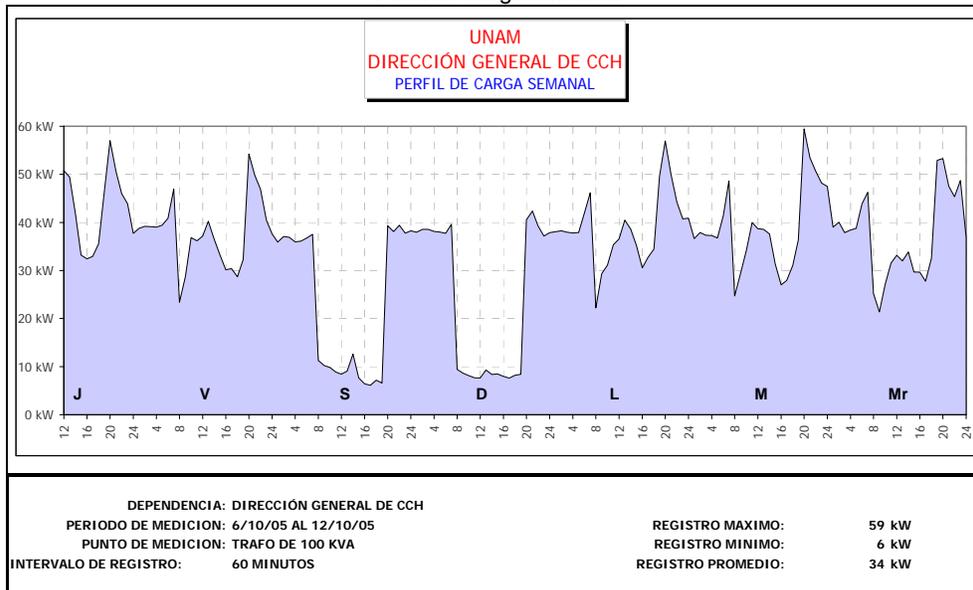
⁹ precio medio de CFE del 2004 correspondiente a la tarifa HM. Último dato proporcionado por CFE. www.cfe.gob.mx

3.1 Demanda (kW).

De los registros obtenidos en la medición correspondiente se encontró que la demanda máxima es de 59 kW, valor que se presenta a las 20:00 horas en el día lunes. Durante la semana, en días hábiles, la demanda oscila entre 53 y 59 kW presentándose todos los días a las 20:00 horas.

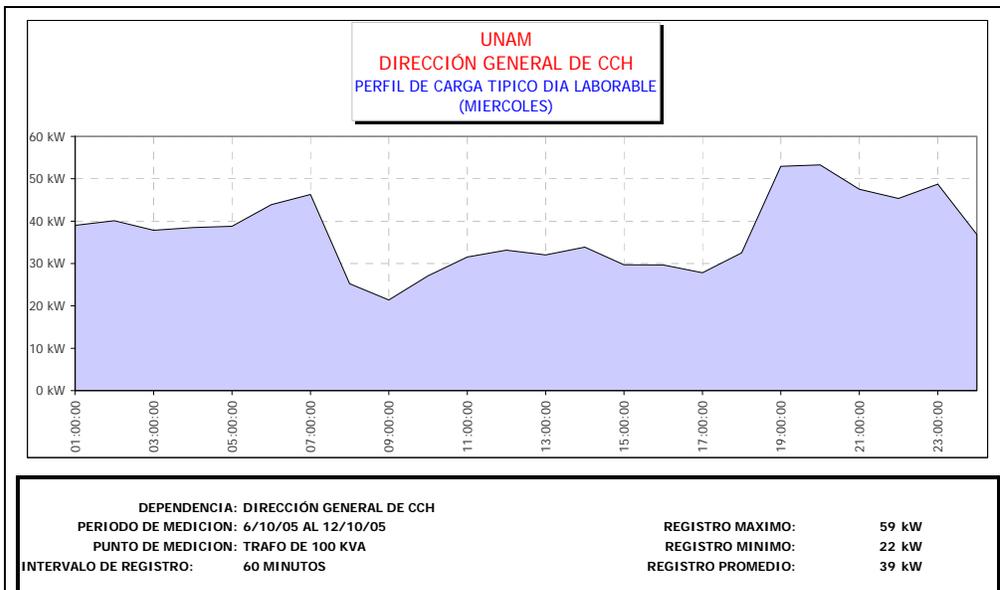
La demanda mínima registrada (carga base) oscila alrededor de los 20 kW, la cual se produce entre las 08:00 y las 10:00 horas de lunes a viernes, el fin de semana el valor disminuye a 6 kW, localizándose entre las 16:00 y 19:00 horas como se aprecia en la Gráfica 1.

Gráfica 1
Perfil de carga semanal



Con respecto al perfil de carga semanal se detectó un comportamiento uniforme durante los días laborables y fines de semana. En éste se observa que la carga importante es en la noche lo que implica que el alumbrado exterior es el más importante. Ver Gráfica 2.

Gráfica 2
Perfil de carga día hábil



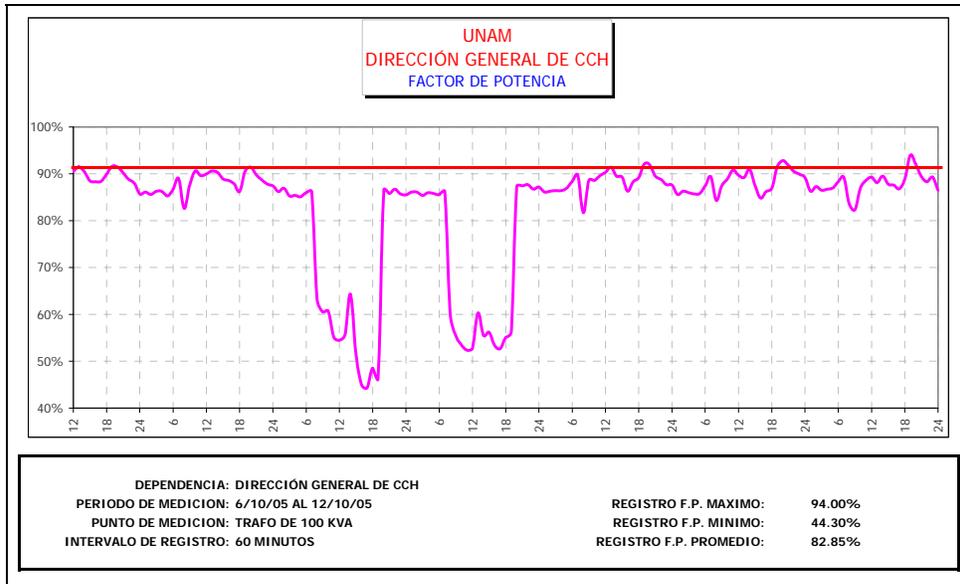
3.2 Consumo de energía (kWh).

Realizando el cálculo para el consumo de energía típico de un mes completo y considerando los valores obtenidos en las mediciones, se tiene que el consumo estimado mensual asciende a 23,053 kWh.

3.3 Factor de potencia (F.P.).

La medición de parámetros eléctricos por medio del analizador de redes, permitió conocer el comportamiento del F.P. a lo largo de las 24 horas del día durante toda una semana completa, mostrando que durante los días laborables el F.P. general oscila del 81.7 al 94.0%. Mientras que en fines de semana se presenta un F.P. con un rango de 44.3 a 87.7%, presentándose los menores valores en el transcurso del día. Ver Gráfica 3; esto es debido a que en estos periodos, al no tener actividades laborales, el transformador se queda prácticamente operando en vacío durante el día, tomando la carga de alumbrado público por la noche.

Gráfica 3
Factor de Potencia



3.4 Regulación en tensión y desbalanceo en corriente.

Con los resultados obtenidos en la medición eléctrica se procedió a realizar el cálculo de regulación de tensión y desbalanceo en corriente con la finalidad de detectar condiciones que pudieran afectar el correcto funcionamiento de los equipos.

La regulación de tensión promedio en condiciones de carga máxima es de 1.58%, es decir, 2.01Volts por arriba del nivel de tensión normalizado de 127 Volts y en condiciones de carga mínima la regulación promedio es de 1.37%; estos porcentajes se encuentran dentro del $\pm 10\%$ de tolerancia permitida por el artículo 18 del Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

Con relación al desbalanceo en corriente, el máximo detectado entre fases durante condiciones de carga mínima en días hábiles es de 27.96%, mientras que en para carga máxima en las mismas condiciones es de 16.55%.

Asimismo, el desbalanceo máximo detectado durante la medición es de 46.25%, mientras el desbalanceo promedio durante todo el periodo medido es de 23.56%. Este aspecto representa problemas importantes que pudieran afectar seriamente la operación adecuada de los equipos y la seguridad de las instalaciones, además de ser una fuga de energía.

4. Uso general de la energía

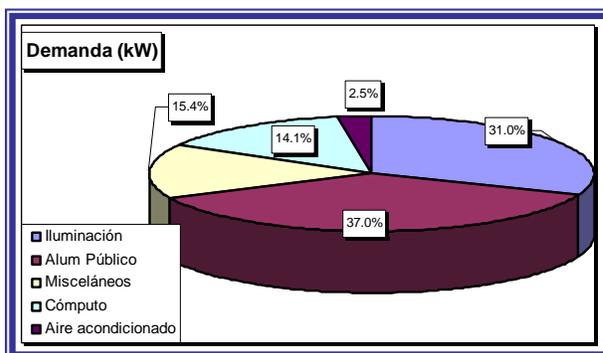
En lo que se refiere al uso general de la energía el CCH tiene como principales cargas la iluminación público, iluminación interior, computo, equipos misceláneos propios de un edificio de uso predominantemente de oficinas administrativas, y equipos de aire acondicionado tipo minisplits.

En lo que se refiere al seccionamiento de circuitos, el 45% del edificio cuenta con la opción para apagar la iluminación interior por cada recinto. El 96% de los apagadores controla como máximo cuatro luminarios, por lo que se tiene un buen seccionamiento de circuitos con flexibilidad de poder apagar las que no se utilizan.

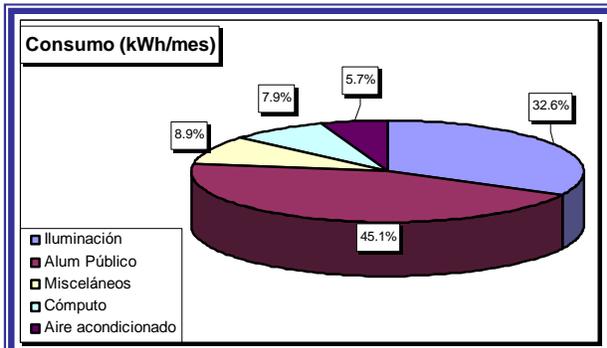
4.1 Distribución de Cargas.

Para efectos de análisis se consideraron cinco sistemas consumidores de energía: alumbrado público, iluminación interior, misceláneos, cómputo y aire acondicionado. El sistema de alumbrado público comprende todas las luminarias que se encuentran en: la azotea del edificio, estacionamiento del estadio de prácticas, estacionamiento del edificio, del circuito sobre Av. Insurgentes y parte del estacionamiento del MUCA. Para el caso del sistema de iluminación interior, éste comprende todas las luminarias que se encuentran en el interior del edificio. Para el caso de los sistemas de cómputo estos están integrados por computadoras portátiles y de escritorio, scanners e impresoras láser y de punto. El sistema de misceláneos comprende equipo de oficina: cafeteras, ventiladores, radios, reguladores, refrigeradores, enfriadores-calentadores, fotocopiadoras, etc.

El sistema de alumbrado público es la carga más importante con un aportación a la demanda del 37%. El segundo sistema en importancia es la iluminación interior con 31% de la demanda de energía total, lo cual nos determina la importancia de realizar un análisis particular para detectar oportunidades de ahorro de energía. El tercer sistema



consumidor más importante es el que se refiere a los equipos de cómputo con una contribución del 15.4%, el sistema de misceláneos representa el 14.1% por último al equipo de aire acondicionado con un 2.5%.



Para el caso del consumo de energía, el sistema más importante es el alumbrado público con 45%, como un segundo sistema importante es el de iluminación interior con 32.6% y el sistema de misceláneos con 8.9%.

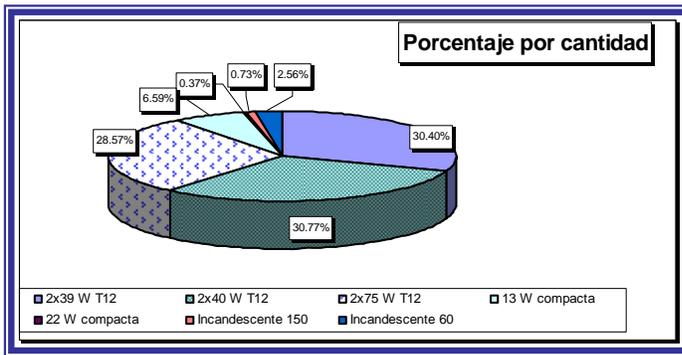
Como se puede observar en las gráficas, el sistema principal consumidor de energía, así como, el que mayor impacto tiene en la demanda máxima, es el sistema de alumbrado público, seguido por el sistema de iluminación interior y en menor medida el sistema de computo y misceláneos. Por lo tanto conviene enfocarse a dichos sistemas para obtener ahorros significativos que permitan reducir al máximo el monto de facturación eléctrica. Sin embargo, el alumbrado público cuenta con tecnología de vapor de sodio a alta presión, la cual es la adecuada para esa aplicación. Por lo tanto el sistema a estudiar es el de iluminación interior.



4.1.1 Sistemas de Iluminación.



Siendo este sistema uno de los más rentables para obtener ahorros y uno de los más importantes en cuanto a consumo de energía se refiere, se procedió a realizar un análisis minucioso de estos equipos. El levantamiento realizado en el CCH reporta un total de 273 luminarios, de los cuales el 97% corresponden a sistemas de iluminación fluorescente.



Los sistemas fluorescentes de dos lámparas de 40W T12 encendido rápido con balastro electromagnético convencional representan prácticamente el 31% del total de los sistemas instalados, el segundos más importantes es el sistema de dos lámparas de 39W T12 encendido

instantáneo con balastro electromagnético con el 30%, seguido por el sistema de una lámpara 75W T12 con balastro electromagnético convencional con un 29%.

4.1.2 Equipos misceláneos

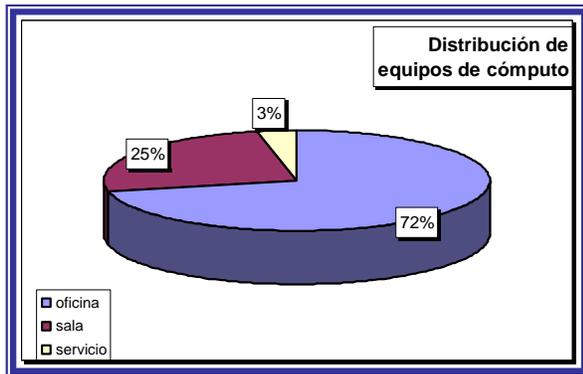
Estos equipos representan el 15.4% de la demanda máxima y 8.9% en el consumo de energía. Los equipos más representativos por cantidad son los reguladores, ventiladores y no-break. Sin embargo, los equipos enfriadores-calentadores de agua son los más representativos en el consumo de energía.



Equipo misceláneo de oficina

4.1.3 Sistemas de computo.

El sistema de computadoras personales es el cuarto en importancia tanto para la demanda como para el consumo de energía eléctrica, la Dirección del CCH cuenta con 140 computadoras personales, 29 impresoras láser y 13 impresoras de punto. De acuerdo al censo de equipos consumidores de energía que se realizó.



La mayor cantidad de equipos instalados se encuentran en las oficinas 72%, como se observa en la gráfica. El 25% de los equipos se encuentra en el área de salas, en esta área se encuentran salas destinadas a cómputo.

4.1.4 Equipos de acondicionamiento ambiental



La Dirección del CCH cuenta con 6 equipos de aire acondicionado del tipo minisplit de capacidades de 1 a 2 toneladas de refrigeración estos operan, de acuerdo a la información proporcionada por los usuarios de cuatro a seis meses al año en la temporada de verano, teniendo el máximo uso de nueve meses el equipo que se encuentra en la sala

de cómputo.

Este sistema, se estima que impacta en el consumo de energía eléctrica en un 6%. Tiene una capacidad instalada estimada de 16.4 kW,

5. Niveles de Iluminación.

Para conocer los niveles de iluminación dentro de las instalaciones del CCH, se procedió a realizar mediciones con un luxómetro analógico debidamente calibrado

en todas las áreas de salas, oficinas, talleres y servicios. En la Tabla 1 se presentan los valores obtenidos y su referencia con la NOM-025-STPS-1999 y las recomendaciones internacionales de la Illuminating Engineering Society of North America (IES).

Tabla 1
Niveles de Iluminación (luxes)

ÁREAS	Natural y artificial	Natural	Nocturna	NOM-025-STPS	IES
OFICINAS	689	253	92	300	200-300-500 (D)
SERVICIOS	962	393	99	50 - 200	50-75-100 (C)
SALAS ^A	485	349	72	500	200-300-500 (D)
TALLERES	500	0	0	300	500 (E)

^A Salas: Comprende salas de juntas y de cómputo.

Como se puede observar los valores obtenidos en la medición con luz natural y artificial comparándolos con lo que la normatividad nacional e internacional establecen, se encuentran por arriba en ambos casos. En el caso con la iluminación natural únicamente, la zona de servicios cumple con la normatividad nacional, mientras que las zonas de oficinas y salas se encuentran dentro de los parámetros de la normatividad internacional.

Es importante mencionar que el área considerada como “servicios” agrupa a varios tipos de usos como: pasillos, almacenes, baños, escaleras, archivos, vestíbulos y recepción, por mencionar algunos. Esto explica el amplio rango en los valores que establece la norma.



Para el caso de las mediciones realizadas en el horario nocturno se observa que el área de servicios es la que cumple con la normatividad tanto nacional como internacional.

En el caso de los valores recomendados por la IESNA, estos presentan un rango de valores de acuerdo a la categoría (letra mayúscula) en donde hay que tomar en cuenta la edad de los ocupantes,

reflectancia, actividad, etc.

6. Indicadores energéticos

Los indicadores energéticos son una herramienta para llevar a cabo el seguimiento del comportamiento energético de los inmuebles y realizar una comparación entre inmuebles del mismo uso.

El índice energético calculado total por medición en el edificio de la Dirección del CCH es de 167.9 kWh/m²-año, considerando una superficie construida de 1,647.5

m² y un consumo estimado anual de 276,636 kWh/año por medición. Este indicador contempla el consumo del alumbrado público, el cual impacta de manera importante en el indicador general. Si no se toma en cuenta esta carga el indicador del edificio sería de 114.5 kWh/m²-año.

La densidad de potencia eléctrica por alumbrado¹⁰ se encuentra en 19.0 W/m², valor superior a los 14 W/m² establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2005, "Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios no Residenciales".

El hecho de que el índice de densidad de potencia eléctrica por área (DPEA) esté por arriba en un 36%, esto no refleja que se tengan niveles de iluminación altos. Eso se debe en parte a un sembrado de lámparas inadecuado, así como, a la tecnología obsoleta y su tiempo de vida, además del equipo instalado que se encuentra fuera de operación. El índice por concepto de iluminación resultó de 38.59 kWh/m²-año

En la Tabla 2 se presenta un resumen con los principales índices energéticos detectados en el CCH.

Tabla 2
Indicadores Energéticos

Indicadores energéticos	kWh/m ² -año	W/m ²
TOTAL	114.5	35.8
Iluminación	38.59	19.0

Nota: Los indicadores totales son los calculados con la demanda y consumo de energía eléctrica obtenidas en las mediciones eléctricas.

El indicador por sistema es calculado de acuerdo al levantamiento de cargas que se lleva a cabo en sitio y de acuerdo a la información que el usuario proporciona.

¹⁰ Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA). Índice de la carga conectada para alumbrado por superficie de construcción; se expresa en W/m²

7. Recomendaciones para el ahorro de la energía eléctrica

En esta sección se presentan las medidas de ahorro de energía propuestas en base al presente estudio. Se encuentran divididas en medidas tecnológicas, es decir por sustitución de tecnología y por operativas, medidas en las que no es necesario llevar a cabo una inversión, asimismo son de fácil de aplicación.

7.1 Medidas tecnológicas

Esta medida consiste básicamente en optimizar los sistemas de iluminación existentes, compuestos por lámparas fluorescentes lineales de 75, 40 y 39 Watts, bulbo T12, temperatura de color “luz de día” y “blanco frío”, operadas con balastos electromagnéticos del tipo convencional. Estos sistemas representan el 90% de los sistemas instalados.



Se propone la instalación de equipo de iluminación eficiente, a base de lámparas fluorescentes lineales de 59 y 32 Watts bulbo T8, temperatura de color 5000°K, operadas con un balastro electrónico de encendido instantáneo y rápido, respectivamente.

Se estiman ahorros de energía anual de 1,910 kWh con una reducción en la demanda máxima mensual de 11.3 kW, con un ahorro en la facturación eléctrica anual de \$21,629 con una inversión de \$ 38,910 antes de IVA recuperable en 1.8 años (periodo simple de recuperación). Ver tabla 3.



Tabla 3
Tabla resumen de ahorros

MAE	Descripción		Ahorros				
			Demanda kW	%	Consumo kWh/mes	%	Económico \$/mes
1	Lámpara	59W encendido instantáneo, bulbo T-8, temperatura de color de 4100K, CRI 62, vida promedio 15000h, lúmenes iniciales 5900	5.38	9.12	909	3.94	858
	Balastro	Electrónico estándar de encendido instantáneo para sistema de 2X59W, alto factor de potencia					
2	Lámpara	32W encendido rápido, bulbo T-8, temperatura de color 4100K, CRI 85, vida promedio 20000hrs, lum 3000	2.77	4.70	468	2.03	442
	Balastro	Electrónico estándar de encendido rápido para sistema de 2X32W, bulbo T-8, alto factor de potencia					
3	Lámpara	32W encendido rápido, bulbo T-8, temperatura de color 4100K, CRI 85, vida promedio 20000hrs, lum 3000	3.15	5.35	533	2.31	503
	Balastro	Electrónico estándar de encendido rápido para sistema de 2X32W, bulbo T-8, alto factor de potencia					
TOTAL			11.31	19.17	1,910	8.28	1,802

7.2 Medidas operativas

Esta medida consiste, principalmente en llevar a cabo medidas de ahorro de energía sin inversión, es decir se aplican con el mismo personal de mantenimiento con que el cuenta el edificio y de los usuarios. De esta manera, se enuncian de manera indicativa y no limitativa las siguientes recomendaciones:

- ▶ Se detectaron áreas sin personal pero con las luces encendidas, se recomienda apagarlas cuando no haya personal ocupando el área correspondiente.
- ▶ Existen áreas en donde la iluminación natural es suficiente para tener un buen nivel de iluminación. Sin embargo, se encontraron recintos con las luces encendidas.
- ▶ Programar racionalmente tiempos y turnos de operación de las fotocopiadoras y, de acuerdo con sus especificaciones técnicas, apagarlas cuando no se utilicen.
- ▶ A partir de 1993 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos inició un programa conjunto con los fabricantes de equipo de computo, para la producción e identificación del equipo eficiente a través del sello de "Energy Star". De acuerdo a recientes estudios, al activar la primera etapa se ahorra un 30% del consumo de energía. Se recomienda activar el sistema en cada una de las computadoras.
- ▶ Aprovechar la capacidad plena del refrigerador, compartiendo el uso, cuando sea posible.
- ▶ Desconectar los refrigeradores y enfriadores-calentadores en vacaciones y fines de semana.
- ▶ Optimizar el uso de cafeteras; mantenerlas limpias y desconectarlas al terminar su uso.
- ▶ Los ventiladores deben utilizarse sólo en caso necesario y apagarse al abandonar el área de trabajo.
- ▶ Los radios deben usarse sólo cuando un usuario se beneficie directamente y apagarlo al no requerir escucharlo.
- ▶ Realizar el balanceo de circuitos.

8. Evaluación de la NOM008-SENER-2001

La norma de eficiencia energética NOM-008-ENER-2001 publicada el 25 de abril del 2001 en el Diario Oficial de la Federación tiene como principal objetivo disminuir la ganancia térmica proveniente del exterior a través de la envolvente del edificio. Ésta aplica a edificaciones nuevas o ampliaciones para instalaciones existentes.

El diagnóstico consistió principalmente en el análisis de la ganancia de calor de la envolvente del edificio¹¹. Se cuantificó la ganancia térmica del edificio de la Dirección General de Colegios de Ciencias y Humanidades a los lineamientos que la norma establece, realizando algunas propuestas de adecuación para mejorar las condiciones de confort de los usuarios. Es importante señalar que la valoración del edificio se realizó acorde con el software que diseñó la Conae para evaluar las edificaciones. Concluyéndose que no cumple con lo dispuesto en la norma.

En la Tabla 4 se muestra por orientación el porcentaje de ventanas (vano) con respecto al área de pared (macizo).

Tabla 4
Tabla resumen por orientación

		Macizo	%	Vano	%	Total
Techumbre		1,186.25	100	0.00	0.0	1,186.25
Fachadas	Norte	89.80	25.81	258.15	74.2	347.95
	Sur	194.50	43.41	253.55	56.6	448.05
	Oriente	109.35	58.29	78.25	41.7	187.60
	Poniente	133.65	73.92	47.15	26.1	180.80
Total		1,713.55	72.9	637.10	27.1	2,350.65

¹¹ Está formada por techo (losa de azotea), paredes, vanos, piso y superficies inferiores que conforman el espacio interior de un edificio.



DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

EN EL

CENTRO DE ENSEÑANZA DE LENGUAS EXTRANJERAS



PRESENTADO POR:
PROYECTOS DE AHORRO DE ENERGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA

MEXICO, D.F.

Índice

Resumen

Introducción

1. Datos del edificio
2. Datos acometida eléctrica
3. Mediciones de parámetros eléctricos
 - 3.1. Demanda eléctrica (kW)
 - 3.2. Consumo de energía eléctrica (kWh/mes)
 - 3.3. Factor de Potencia (F.P.)
 - 3.4. Regulación en tensión (V) y desbalanceo en corriente (I)
4. Uso general de la energía
 - 4.1. Distribución de cargas
 - 4.1.1. Sistema de iluminación
 - 4.1.2. Equipos misceláneos
 - 4.1.3. Sistema de computo personal
 - 4.1.4. Equipos de acondicionamiento ambiental
5. Niveles de Iluminación
6. Indicadores energéticos
7. Recomendaciones para el ahorro de energía eléctrica
 - 7.1. Tecnológicas
 - 7.2. Operativas
8. Evaluación de la NOM008-SENER-2001

RESUMEN

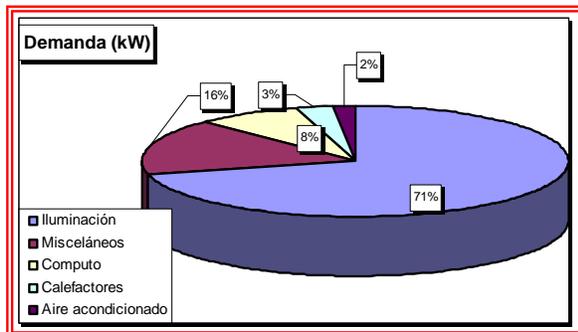
El edificio del Centro de Enseñanza de Lenguas Extranjeras (CELE) de la Universidad Nacional Autónoma de México está destinado al uso de enseñanza de idiomas; cuenta con un área construida de 5,455 m² y tiene un horario de servicio (oficial) de 8:00 a 21:00 horas.

El CELE cuenta con dos edificaciones y la mediateca, el edificio A tiene cubículos de uso administrativo y de investigación, laboratorios de idiomas, auditorio y aulas. Su orientación es norte - sur y el área de ventanas ocupa 32% en la envolvente del edificio.

El edificio B tiene cubículos de uso administrativo, auditorio, la mediateca y aulas. Su orientación es oriente - poniente y el área de ventanas ocupa 31% en la envolvente del edificio.

El suministro de energía eléctrica es por medio de una subestación la cual tiene instalado un transformador de 225 KVA que está conectado en el anillo 5, seccionador 6 JI, alimentador J de la Subestación General 1 que corresponde a la tarifa HM. En este transformador se conectó un analizador de redes con el objeto de conocer el comportamiento de las variables eléctricas del edificio.

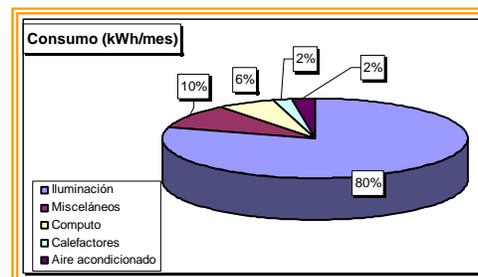
De la medición de los principales parámetros eléctricos se determinó que la demanda máxima es de 91 kW, con un consumo promedio mensual de 29,802 kWh/mes, se detectó un desbalanceo de cargas máximo del 52.34%. Con un desbalanceo promedio de 27.3%. El factor de potencia en promedio se encuentra por arriba de 90%, cumpliendo con la normatividad que establece la compañía suministradora (Luz y Fuerza del Centro).



Los sistemas consumidores de energía eléctrica se concentraron en cinco sistemas: iluminación interior, misceláneos, cómputo, aire acondicionado y calefacción. El sistema de iluminación, misceláneos y cómputo representan el 95% de la demanda de energía estimada en el edificio. Siendo el sistema de iluminación el más representativo con 71% y 80%

en la demanda y consumo de energía eléctrica, respectivamente. El edificio cuenta con equipos de aire acondicionado y de calefacción teniendo un uso en pocos meses del año.

El sistema de iluminación es el que mayor demanda y consumo de energía eléctrica, los sistemas instalados son de tecnología obsoleta. Se recomienda llevar a cabo una



sustitución de los equipos actuales por equipos de tecnología eficiente. En el capítulo 7.1 se muestra la justificación técnico económica.

El ahorro estimado en la demanda máxima es del orden de 36.95 kW que representa una reducción del 40%, en consumo 7,280 kWh/mes con lo que se tiene una reducción del 24.4%, económico¹² de 6,872 \$/mes que representa una disminución del 24%. La inversión estimada para llevar a cabo esta sustitución es de \$ 135,608 recuperándose en aproximadamente en 20 meses. Es importante mencionar que los datos de facturación son calculados de acuerdo a las mediciones realizadas.

Por otro lado, se analizó la envolvente arquitectónica del CELE a través de la NOM-008-SENER-2001 con el fin de verificar si el edificio cumple con la resistencia térmica de su envolvente, que establece la norma. Concluyéndose que el CELE no cumple con esta normatividad. Para mayor detalle ver el capítulo 8.

¹² Precio medio, tarifa HM. CFE – 2004. Último dato proporcionado por CFE. www.cfe.gob.mx

Introducción.

El pasado 8 de agosto del 2005 fue aprobado el proyecto **Caracterización energética de edificios de la Ciudad Universitaria** por el Comité Interno del Macroproyecto **“La Ciudad Universitaria y la Energía”**.

En este sentido, se llevó a cabo una selección de edificios para ser estudiados energéticamente con el objetivo llevar a cabo un estudio de los usos finales de la energía eléctrica y de esta manera llegar a predecir el comportamiento energético por cada uno de esos usos finales. Uno de los edificios considerados como representativos por su uso específico de aulas es el **Centro de Enseñanza de Estudios de Lenguas Extranjeras**.

El presente estudio muestra en forma general el uso de la energía del edificio, así como sus indicadores energéticos principales y los potenciales de ahorro de energía detectados tanto por tecnología como por medidas operativas. Asimismo, la evaluación de la envolvente del edificio a través de la herramienta de la NOM-008-SENER-2001.

1. Datos del edificio.



El Centro de Enseñanza de Estudios de Lenguas Extranjeras (CELE) cuenta con 2 edificios: Edificios A,B y la Mediateca. El edificio en su conjunto tiene una superficie total construida de 5,455 m² su ubicación es Circuito interior s/n Ciudad Universitaria Del. Coyoacán C.P. 04510, México D.F.

El edificio A cuenta principalmente con cubículos de uso administrativo y de investigación, laboratorios de idiomas, auditorio y aulas, su orientación es norte – sur con un área de ventanas que ocupa el 32% de la envolvente.

El edificio B cuenta con principalmente con aulas, cubículos administrativos, biblioteca, auditorio y la mediateca, su orientación es oriente - poniente con un área de ventanas



que ocupa el 31% de la envolvente del edificio.



Actualmente el CELE atiende a 7,200 alumnos al día. El horario de clases es de 8:00 a 21:00 horas. Cuenta 42 aulas y laboratorios, 58 servicios y 68 oficinas.

2. Datos acometida eléctrica.

El CELE recibe la energía eléctrica en 6 kV de la red de distribución de CU y lo transforma a 220/127 V con un transformador de 225 KVA que está conectado en el anillo 5, seccionador 6 JI, alimentador J de la Subestación General 1 que corresponde a la tarifa HM. El CELE representa dentro de esta facturación el 0.86 % y el 1.11% del consumo y de la demanda eléctrica, respectivamente de acuerdo al facturación eléctrica del mes de septiembre del 2005. Se estima una facturación mensual¹³ de \$28,000 al mes.



En lo que se refiere a la distribución de la energía, el Edificio A cuenta con 15 tableros 60% de ellos trifásicos y 40% monofásicos. En el Edificio B existen 12 tableros 60% de ellos trifásicos y 40% monofásicos.

3. Mediciones de Parámetros eléctricos

Se realizaron mediciones en el transformador de 225 kVA del edificio, tomando datos a intervalos de 60 minutos durante 7 días (del 27 de septiembre al 4 de octubre del 2005), por medio de un analizador de redes que mide y registra simultáneamente 25 parámetros; dentro de los parámetros medidos se

¹³ precio medio de CFE del 2004 correspondiente a la tarifa HM. Último dato proporcionado por CFE. www.cfe.gob.mx

encuentran: voltaje, corriente, potencia activa, factor de potencia, energía consumida y la frecuencia. De los parámetros anteriores, se realizó el análisis de regulación en tensión y desbalanceo en corriente.



Subestación del CELE



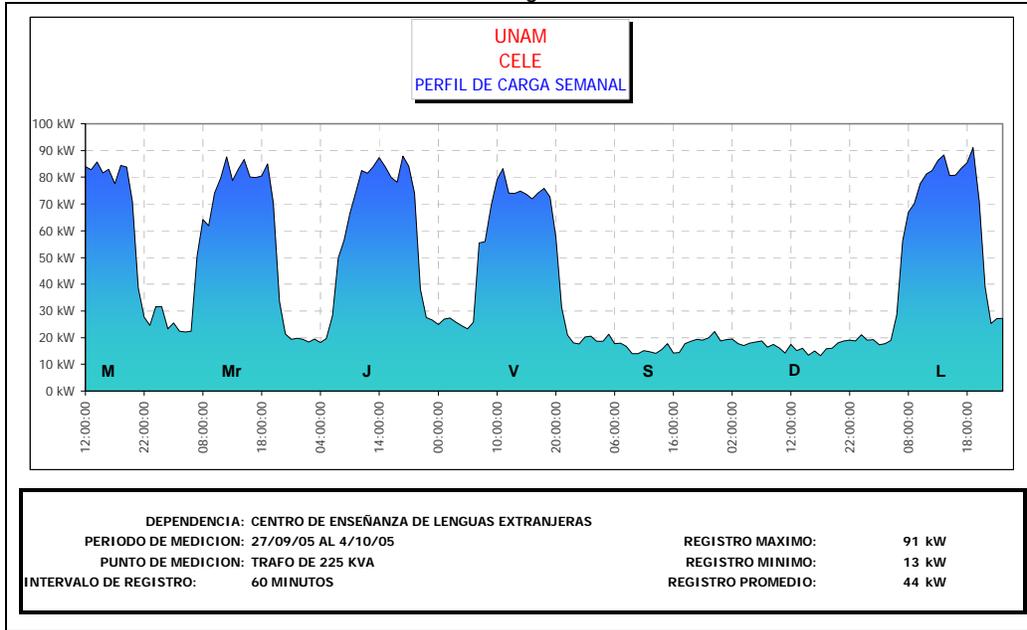
Equipo de medición

3.1 Demanda (kW).

De los registros obtenidos en la medición correspondiente se encontró que la demanda máxima es de 91 kW, valor que se presenta a las 19:00 horas en el día lunes. Durante la semana, en días hábiles, la demanda oscila entre 83 y 91 kW presentándose entre las 11:00 y las 19:00 horas.

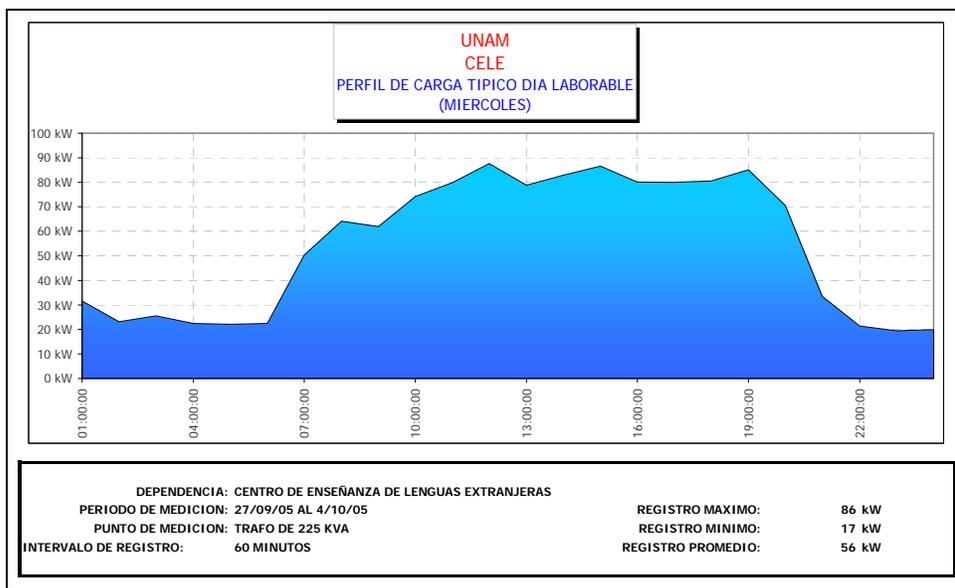
La demanda mínima registrada (carga base) oscila alrededor de los 20 kW, la cual se produce entre las 3:00 y las 5:00 horas de lunes a viernes, el fin de semana el valor disminuye a 14 kW, localizándose entre las 12:00 y 14:00 horas como se aprecia en la Gráfica 1.

Gráfica 1
Perfil de carga semanal



Con respecto al perfil de carga semanal se detectó un comportamiento uniforme durante los días laborables a diferencia de los fines de semana. El perfil de carga se relaciona directamente con los horarios de clase y con la ocupación del inmueble. Ver Gráfica 2.

Gráfica 2
Perfil de carga día hábil



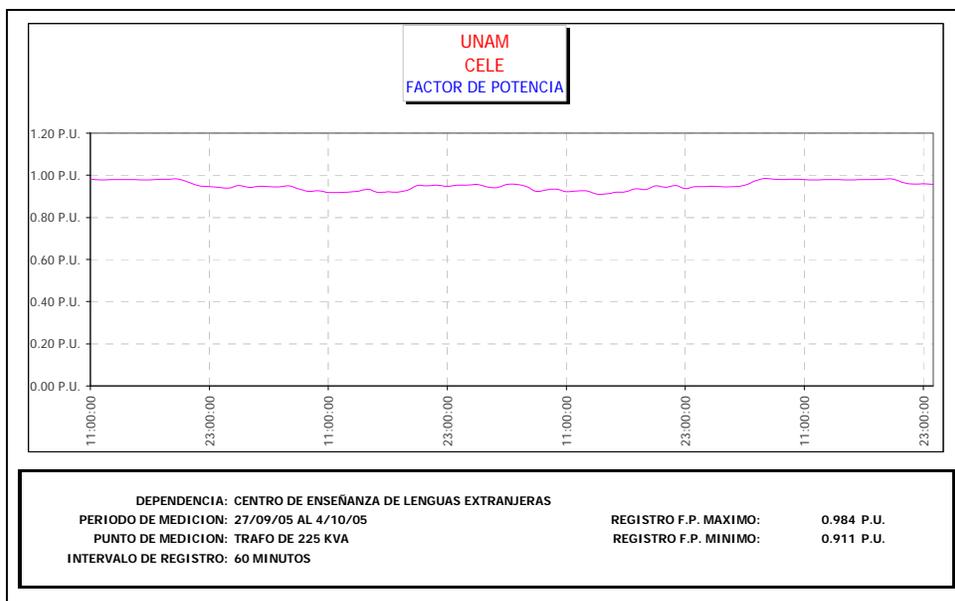
3.2 Consumo de energía (kWh).

Realizando el cálculo para el consumo de energía típico de un mes completo y considerando los valores obtenidos en las mediciones, se tiene que el consumo estimado mensual asciende a 29,802 kWh.

3.3 Factor de potencia (F.P.).

La medición de parámetros eléctricos por medio del analizador de redes, permitió conocer el comportamiento del F.P. a lo largo de las 24 horas del día durante toda una semana completa, mostrando que durante los días laborables el F.P. general oscila del 94 al 98%. Ver Gráfica 3

Gráfica 3
Factor de Potencia



3.4 Regulación en tensión y desbalanceo en corriente.

Con los resultados obtenidos en la medición eléctrica se procedió a realizar el cálculo de regulación de tensión y desbalanceo en corriente con la finalidad de detectar condiciones que pudieran afectar el correcto funcionamiento de los equipos.

La regulación de tensión promedio en condiciones de carga máxima es de 0.97%, es decir, 1.23Volts por arriba del nivel de tensión normalizado de 127 Volts y en condiciones de carga mínima la regulación promedio es de 0.71%; estos

porcentajes se encuentran dentro del $\pm 10\%$ de tolerancia permitida por el artículo 18 del Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

Con relación al desbalanceo en corriente, el desbalanceo máximo entre fases durante condiciones de carga mínima durante días hábiles es de 36.36%, mientras que en condiciones de carga máxima en las mismas condiciones es de 16.37%.

Asimismo, el desbalanceo máximo detectado en la medición es de 52.34%, mientras el desbalanceo promedio durante todo el periodo medido es de 27.29%. Este aspecto representa problemas importantes que pudieran afectar seriamente la operación adecuada de los equipos y la seguridad de las instalaciones, además de ser una fuga de energía.

4. Uso general de la energía

En lo que se refiere al uso general de la energía el CELE tiene como principales cargas la iluminación, computo, equipos misceláneos propios de un edificio de uso predominantemente de aulas, equipos de aire acondicionado tipo minisplits y equipo de calefacción.

Adicionalmente, el edificio cuenta con una carga en alumbrado exterior de 3.75 kW el cual alumbraba una parte de los estacionamientos y del circuito interior de Ciudad Universitaria.

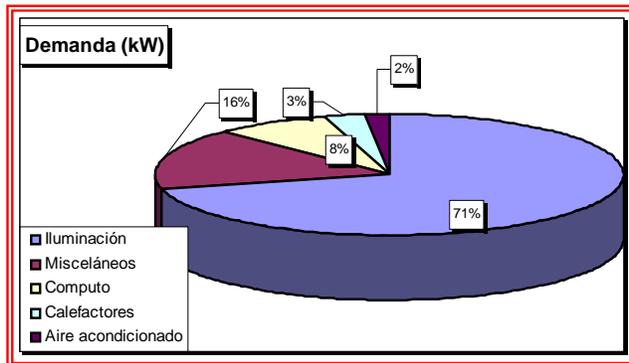
En lo que se refiere al seccionamiento de circuitos, prácticamente el 90% del edificio no tiene problema para apagar la iluminación interior por cada recinto. Cada apagador controla como máximo cuatro luminarios.



Fachadas de los edificios A y B del
CELE

4.1 Distribución de Cargas.

Para efectos de análisis se consideraron cinco sistemas consumidores de energía: iluminación interior, misceláneos, cómputo, calefacción y aire acondicionado. El sistema de iluminación interior comprende todas las luminarias que se encuentran en el interior del edificio y las que se encuentran en el techo. Para el caso de los sistemas de cómputo estos están integrados por computadoras portátiles y de escritorio e impresoras láser y de punto. El sistema de misceláneos comprende equipo de oficina: cafeteras, ventiladores, radios, reguladores, refrigeradores, enfriadores-calentadores, fotocopiadoras, etc.



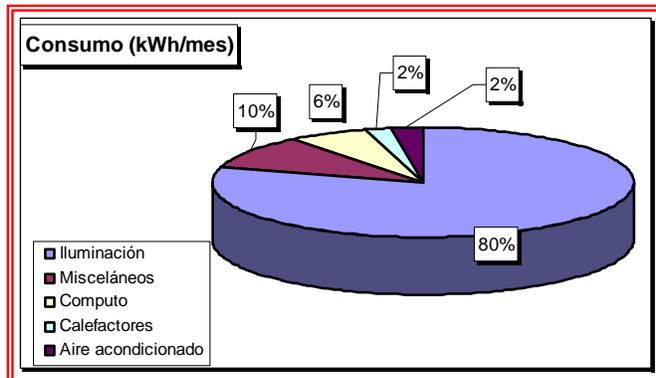
Los sistemas de iluminación, computo y cargas misceláneas representan el 95% de la demanda de energía estimada del edificio.

Como se observa en la gráfica, el 71% de la demanda de energía total es utilizada por los sistemas de iluminación, lo cual nos determina la importancia de realizar un

análisis particular para detectar oportunidades de ahorro de energía.

El segundo sistema consumidor más importante es el que se refiere a los equipos misceláneos con una contribución del 16%, por último al equipo de computo personal con un 8%.

Para el caso del consumo de energía, el sistema más importante es el de la iluminación con 80%, como un segundo sistema importante son los equipos misceláneos con 10% y el sistema de la computadoras personales con 6%.





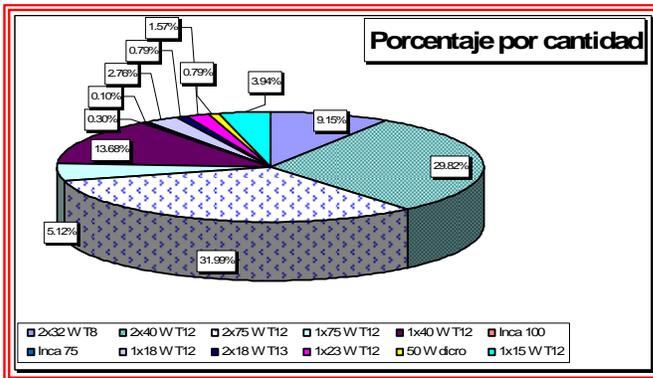
Como se puede observar en las gráficas, el sistema principal consumidor de energía así como el que mayor impacto tiene en la demanda máxima, es el sistema de iluminación, seguido por los equipos misceláneos y en menor medida el sistema de computo personal. Por lo tanto conviene enfocarse a estos sistemas para obtener ahorros significativos que permitan reducir al máximo el monto de facturación eléctrica. Especialmente en el sistema de iluminación.

4.1.1 Sistemas de Iluminación.



Siendo este sistema uno de los más rentables para obtener ahorros y uno de los más importantes en cuanto a consumo de energía se refiere, se procedió a realizar un análisis minucioso de estos equipos. El levantamiento realizado en el CELE reporta un total de 1018 luminarios, de los cuales el 99% corresponden a sistemas de iluminación fluorescente.

Los sistemas fluorescentes de dos lámparas de 75W T12 con balastro electromagnético convencional representan prácticamente el 32% del total de los sistemas instalados, los segundos más importantes es el sistema de dos lámparas de 40W T12 con balastro electromagnético con el 30%, seguido por el sistema de una lámpara 40 W T12 con balastro electromagnético convencional con un 13.6%.



4.1.2 Equipos misceláneos

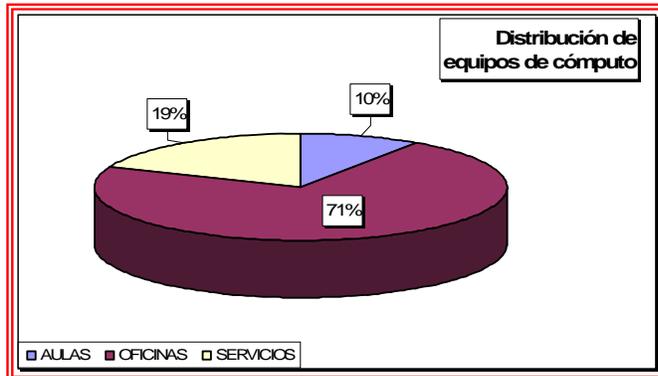
Estos equipos representan el 16% de la demanda máxima y 10% en el consumo de energía. Los equipos más representativos por cantidad son los reguladores, ventiladores, grabadoras, televisiones y videocaseteras, así como máquinas de escribir y sacapuntas. Sin embargo, los equipos enfriadores-calentadores de agua son los más representativos tanto de la demanda máxima como en el consumo de energía.



Equipo misceláneo de oficina

4.1.3 Sistemas de computo personal.

El sistema de computadoras personales es el tercero en importancia tanto para la demanda como para el consumo de energía eléctrica, el CELE cuenta con un estimado de 355 computadoras personales, 48 impresoras láser y 10 impresoras de punto.



La mayor cantidad de equipos instalados se encuentran en las oficinas 71%, como se observa en la gráfica. En el área de servicios se encuentra el 19% de los equipos instalados. En esta área se encuentran los recintos destinados a servicios audiovisuales.

4.1.4 Equipos de acondicionamiento ambiental



El CELE cuenta con 13 equipos de aire acondicionado del tipo minisplit de capacidades de 1 a 2 toneladas de refrigeración estos operan, de acuerdo a la información proporcionada por los usuarios, solamente cuatro meses al año en la temporada de verano.

Este sistema, se estima que impacta en el consumo de energía eléctrica en un 3%. Tiene una capacidad instalada estimada de 22.6 kW,

También se cuentan con alrededor de 29 equipos para calefacción que operan únicamente en temporada de frío, 30 días al año. Este sistema se estima que impacta en el consumo en un 2%. Tiene una capacidad instalada de 37.7 kW.

5. Niveles de Iluminación.

Para conocer los niveles de iluminación dentro del CELE, se procedió a realizar mediciones con un luxómetro analógico debidamente calibrado en todas las áreas de aulas, oficinas y servicios. En la Tabla 1 se presentan los valores obtenidos y su referencia con la NOM-025-STPS-1999 y las recomendaciones internacionales de la Illuminating Engineering Society of North America (IES).

Tabla 1
Niveles de Iluminación

ÁREAS	Natural y artificial	Natural	Nocturna	NOM-025-STPS	IES
AULA	800	320	107	300	200-300-500 (D)
SERVICIOS	962	393	99	50 - 200	50-75-100 (C)
OFICINAS	689	253	92	300	200-300-500 (D)

Como se puede observar los valores obtenidos en la medición con luz natural y artificial comparándolos con lo que la norma establece estos se encuentran por arriba más del 100%, en el caso con la iluminación natural únicamente, la diferencia es mucho menor, cumpliendo con la normatividad.

Es importante mencionar que el área considerada como “servicios” agrupa a varios tipos de usos como: pasillos, bodegas, baños, escaleras, archivos, vestíbulos y recepción, por mencionar algunos. De aquí el rango en los valores que establece la norma.



Para el caso de las mediciones realizadas en el horario nocturno se observa que prácticamente todas las áreas se encuentran por debajo de lo que establece la norma.

En el caso de los valores recomendados por la IESNA, estos presentan un rango de valores de acuerdo a la categoría (letra mayúscula) en donde hay que tomar en cuenta la edad de los ocupantes, reflectancia, actividad, etc.

Comparando los valores promedio obtenidos con iluminación natural y artificial, estos se encuentran por arriba, incluso del límite superior del rango, para los valores promedio con iluminación natural se encuentran, para las áreas destinadas a aulas y oficinas en el valor medio. Para el área de servicios, el valor se encuentra por arriba casi tres veces. Sin



embargo, esto se puede deber a que en esta área hay varios tipos de actividades.

Para las lecturas realizadas en el horario nocturno los valores en las áreas de aulas y oficinas se encuentran por abajo, mientras que el valor correspondiente al área de servicios está en el límite superior de lo que la IESNA recomienda.

6. Indicadores energéticos

Los indicadores energéticos son una herramienta para llevar a cabo el seguimiento del comportamiento energético de los inmuebles, así como para realizar una comparación entre inmuebles del mismo uso.

El índice energético estimado total en el CELE es de 65.6 kWh/m²-año, considerando una superficie construida de 5,455 m² y un consumo estimado anual de 357,625 kWh/año. La densidad de potencia eléctrica por alumbrado se encuentra en 19.9 W/m², valor superior a los 16 W/m² establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2005, "Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios no Residenciales". El índice por concepto de iluminación resultó de 46.98 kWh/m²-año.

El hecho de que el índice de densidad de potencia eléctrica por área (DPEA) esté por arriba en un 24%, esto no refleja que se tengan niveles de iluminación altos. Eso se debe en parte a un sembrado de lámparas inadecuado, así como, a la tecnología obsoleta y su tiempo de vida, además del equipo instalado que se encuentra fuera de operación.

En la Tabla 2 se presenta un resumen con los principales índices energéticos detectados en el CELE.

Tabla 2
Indicadores Energéticos

Indicadores energéticos	kWh/m ² -año	W/m ²
TOTAL	65.6	16.7
Iluminación	46.98	19.9

7. Recomendaciones para el ahorro de la energía eléctrica

En esta sección se presentan las medidas de ahorro de energía detectadas en el presente estudio. Estas se encuentran divididas en tecnológicas, es decir por sustitución de tecnología y por operativas, medidas en las que no es necesario llevar a cabo una inversión, asimismo son de fácil de aplicación.

7.1 Medidas tecnológicas

Esta medida consiste básicamente en optimizar los sistemas de iluminación existentes, compuestos por lámparas fluorescentes lineales de 75 y 40 Watts, bulbo T12, temperatura de color “luz de día” y “blanco frío”, operadas con balastos electromagnéticos del tipo convencional. Estos sistemas representan el 80% de los sistemas instalados.



Se propone la instalación de equipo de iluminación eficiente, a base de lámparas fluorescentes lineales de 32 Watts bulbo T8, temperatura de color 5000°K, operadas con un balastro electrónico calidad Premium de encendido rápido.

Se estiman ahorros de energía anual de 87,366 kWh con una reducción en la demanda máxima mensual de 36.95 kW, lo que se traduce en un ahorro en la facturación eléctrica anual de \$82,495 con una inversión de \$ 135,608 antes de IVA y un periodo simple de recuperación de 1.64 años.



7.2 Medidas operativas

Esta medida consiste, principalmente en llevar a cabo medidas de ahorro de energía sin inversión, es decir se aplican con el mismo personal de mantenimiento con que el cuenta el edificio y de los usuarios. De esta manera, se enuncian de manera indicativa y no limitativa las siguientes recomendaciones:

- ▶ Se detectaron áreas sin personal pero con las luces encendidas, se recomienda apagarlas cuando no haya personal ocupando el área correspondiente.
- ▶ Existen áreas en donde la iluminación natural es suficiente para tener un buen nivel de iluminación. Sin embargo, se encontraron recintos con las luces encendidas.
- ▶ Programar racionalmente tiempos y turnos de operación de las fotocopiadoras y, de acuerdo con sus especificaciones técnicas, apagarlas cuando no se utilicen.
- ▶ A partir de 1993 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos inició un programa conjunto con los fabricantes de equipo de cómputo, para la producción e identificación del equipo eficiente a través del sello de "Energy Star". De acuerdo a recientes estudios, al activar la primera etapa se ahorra un 30% del consumo de energía. Se recomienda activar el sistema en cada una de las computadoras.
- ▶ Aprovechar la capacidad plena del refrigerador, compartiendo el uso, cuando sea posible.
- ▶ Desconectar los refrigeradores en vacaciones y fines de semana.
- ▶ Optimizar el uso de cafeteras; mantenerlas limpias y desconectarlas al terminar su uso.
- ▶ Los ventiladores deben utilizarse sólo en caso necesario y apagarse al abandonar el área de trabajo.
- ▶ Los calefactores deben usarse sólo en caso necesario y apagarse antes de retirarse del área de trabajo.
- ▶ Los radios deben usarse sólo cuando un usuario se beneficie directamente y apagarlo al no requerir escucharlo.
- ▶ Realizar el balanceo de circuitos.

8. Evaluación de la NOM008-SENER-2001

La norma de eficiencia energética NOM-008-ENER-2001 publicada el 25 de abril del 2001 en el Diario Oficial de la Federación tiene como principal objetivo disminuir la ganancia térmica proveniente del exterior a través de la envolvente del edificio. Ésta aplica a edificaciones nuevas o ampliaciones para instalaciones existentes.

El diagnóstico consistió principalmente en el análisis de la ganancia de calor de la envolvente del edificio¹⁴. Se cuantificó la ganancia térmica de los edificios del Centro de Lenguas Extranjeras conforme a los lineamientos que la norma establece, realizando algunas propuestas de adecuación para mejorar las condiciones de confort de los usuarios. Es importante señalar que la valoración del edificio se realizó acorde con el software que diseñó la Conae para evaluar las edificaciones. Concluyéndose que no cumple con lo dispuesto en la norma.

¹⁴ Está formada por techo (losa de azotea), paredes, vanos, piso y superficies inferiores que conforman el espacio interior de un edificio.



DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

EN EL

INSTITUTO DE QUÍMICA



PRESENTADO POR:
PROYECTOS DE AHORRO DE ENERGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA

MEXICO, D.F.

Índice

Resumen

Introducción

1. Datos del edificio
 2. Datos acometida eléctrica
 3. Mediciones de parámetros eléctricos
 - 3.1. Demanda eléctrica (kW)
 - 3.2. Consumo de energía eléctrica (kWh/mes)
 - 3.3. Factor de Potencia (F.P.)
 - 3.4. Regulación en tensión (V) y desbalanceo en corriente (I)
 - 3.5. Distorsión total de armónicas
 4. Uso general de la energía
 - 4.1. Distribución de cargas
 - 4.1.1. Sistema de iluminación
 - 4.1.2. Equipos misceláneos
 - 4.1.3. Sistema de computo personal
 - 4.1.4. Equipos de calefacción
 - 4.1.5. Equipo de laboratorio
 - 4.1.6. Sistema de aire acondicionado
 - 4.1.7. Equipo especial y de taller
 5. Niveles de Iluminación
 6. Indicadores energéticos
 7. Recomendaciones para el ahorro de energía eléctrica
 - 7.1. Tecnológicas
 - 7.2. Operativas
 8. Evaluación de la NOM008-SENER-2001
-

RESUMEN

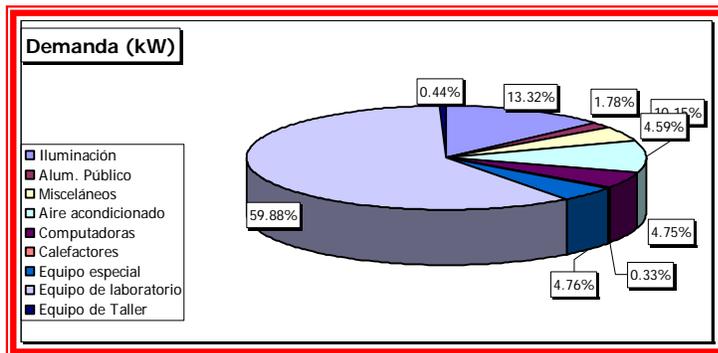
El edificio del Instituto de Química (Instituto) de la Universidad Nacional Autónoma de México cuenta con un área construida de 5,158.62 m² y opera normalmente con un horario de 7:00 a 21:30 durante el cuál laboran 293 personas entre investigadores, alumnos y personal administrativo y de mantenimiento.

El Instituto cuenta con cinco edificios identificados como:

- Edificio C
- Edificio A
- Comedor
- Unidad de desarrollo tecnológico (torre de destilación)
- Cuarto de máquinas

El suministro de energía eléctrica es por medio de una subestación con un transformador de 600 KVA nominales, que está conectado en el anillo CII-CI, seccionador 7 CII-CI, alimentador CII de la Subestación General 2 de C.U. por lo que le corresponde una tarifa HM. En este transformador se conectó un analizador de redes con el objeto de conocer el comportamiento de las variables eléctricas del edificio.

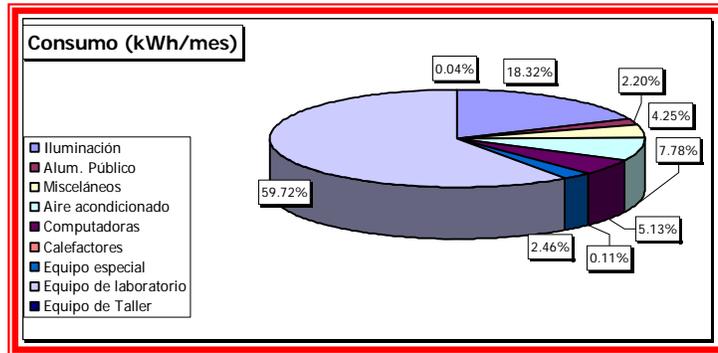
De la medición de los principales parámetros eléctricos se determinó que la demanda máxima es de 168 kW, con un consumo promedio estimado mensual de 44,995 kWh/mes, se detectó un desbalanceo de cargas máximo del 54.43%. Con un desbalanceo promedio de 25.96%. El factor de potencia en promedio se encuentra por arriba del 90%, lo que implica cumplir con la normatividad que establece la compañía suministradora (Luz y Fuerza del Centro).



Los sistemas consumidores de energía eléctrica se concentraron en nueve sistemas: iluminación interior, alumbrado público, misceláneos, cómputo, equipo de laboratorio, equipo especial, equipo de taller, aire

condicionado y calefacción. El sistema de equipo de laboratorio es el más importante con una participación del 59.88% de la demanda eléctrica del edificio.

En lo que se refiere al consumo de energía eléctrica el sistema de el sistema de equipo de laboratorio representa el 59.72%, siendo el sistema de iluminación interior el segundo en importancia con una aportación del 18.32%. Los sistemas restantes representan el 21.96%.



El principal consumidor de energía eléctrica tanto de consumo como de demanda eléctrica es el sistema de equipos de laboratorio, para este tipo de sistema no existen medidas de ahorro de energía a menos que sean enfocadas al modo de operación. Sin embargo, por el tipo de actividad desarrollada no aplican recomendaciones de este tipo.

En el caso del sistema de iluminación interior este cuenta con más del 70% de los equipos instalados con tecnología eficiente. Por lo tanto, las medidas de ahorro de energía son marginales. En el capítulo 7.1 se muestra la justificación técnico

Por otro lado, se analizó la envolvente arquitectónica de cada uno de los edificios que integran el Instituto de Química a través de la NOM-008-SENER-2001 con el fin de verificar si cumplen con la resistencia térmica, que establece la norma. Concluyéndose que: de los cinco edificios el Edificio A, el Edificio C y el Comedor no cumplen con esta normatividad. Para mayor detalle ver el capítulo 8.

Introducción.

El 8 de agosto del 2005 fue aprobado el proyecto **Caracterización energética de edificios de la Ciudad Universitaria** por el Comité Interno del Macroproyecto “La Ciudad Universitaria y la Energía”.

En este sentido, se llevó a cabo una selección de edificios para ser estudiados energéticamente con el objetivo llevar a cabo un estudio de los usos finales de la energía eléctrica y de esta manera llegar a predecir el comportamiento energético por cada uno de esos usos finales. Uno de los edificios considerados como representativos por su uso específico de institutos en investigación técnica es el **Instituto de Química**.

El presente estudio muestra en forma general el uso de la energía del edificio, así como sus indicadores energéticos principales y los potenciales de ahorro de energía detectados tanto por tecnología como por medidas operativas. Asimismo, la evaluación de la envolvente del edificio a través de la herramienta de la NOM-008-SENER-2001.

1. Datos del edificio.



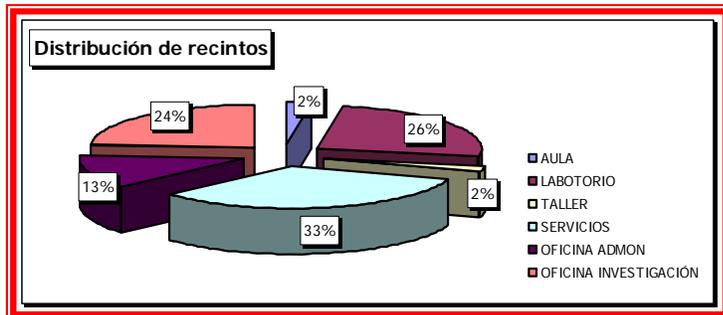
El Instituto de Química (El Instituto) cuenta con cinco edificios, tiene una superficie total construida de 5,158.62 m², su ubicación es Circuito interior s/n Ciudad Universitaria Del. Coyoacán C.P. 04510, México D.F.

El Instituto cuenta con cinco edificios: Edificio A, Edificio C, Comedor, la Torre de destilación y Cuarto de máquinas. En la tabla 1 se muestra la distribución arquitectónica de su envolvente.

Tabla 1. Distribución arquitectónica de la envolvente de cada edificio

Edificios	AREA VENTANA	%	AREA MURO	%	AREA TOTAL
EDIFICIO A	1,218.4	22.5%	4,205.6	77.5%	5,424.0
TORRE DE DESTILACION	8.5	3.9%	212.6	96.1%	221.1
COMEDOR	75.4	39.6%	114.8	60.4%	190.3
EDIFICIO B	21.0	2.7%	765.8	97.3%	786.9
EDIFICIO C	155.0	15.1%	871.5	84.9%	1,026.5

Actualmente en el Instituto colaboran 293 personas entre investigadores, personal administrativo y de mantenimiento, alumnos. El horario oficial entre semana es de 7:00 a 21:30 horas, horario que se ratifica en las gráficas de demanda eléctrica.



Cuenta con 125 recintos en total, de los cuales 41 están destinados para servicios (generales, particulares y especiales), 32 para laboratorios y 30 para oficinas de investigación por mencionar algunas.

2. Datos acometida eléctrica.

El Instituto recibe la energía eléctrica en 6 kV de la red de distribución de CU y lo transforma a 220/127 V con un transformador de 600 KVA que está conectado en el anillo CII-CI, seccionador 7 CII-CI, alimentador CII de la Subestación General 2 al que corresponde una tarifa HM. El Instituto representa dentro de esta facturación el 5.84% y el 7.92% del consumo y de la demanda eléctrica, respectivamente, de acuerdo a la facturación eléctrica del mes de octubre del presente. Por otro lado, se estima una facturación mensual¹⁵ de \$46,097 al mes.

En lo que se refiere a la distribución de la energía, el edificio cuenta con 71 tableros: 62 trifásicos, 7 bifásicos y 2 monofásicos.

3. Mediciones de Parámetros eléctricos

Se realizaron mediciones en el transformador de 600 kVA del edificio, tomando datos a intervalos de 15 minutos durante 44 días (del 23 junio al 6 de agosto de 2006) (horario de verano), por medio de un analizador de redes que mide y registra simultáneamente parámetros eléctricos; dentro de los parámetros medidos se encuentran: voltaje, corriente, potencia activa, factor de potencia, energía consumida y la frecuencia. De la medición se calculó la regulación en tensión y desbalanceo en corriente.

¹⁵ precio medio de CFE del 2005 correspondiente a la tarifa HM. Último dato proporcionado por CFE. www.cfe.gob.mx



Subestación del Instituto



Conexión de equipo de medición

3.1 Demanda (kW).

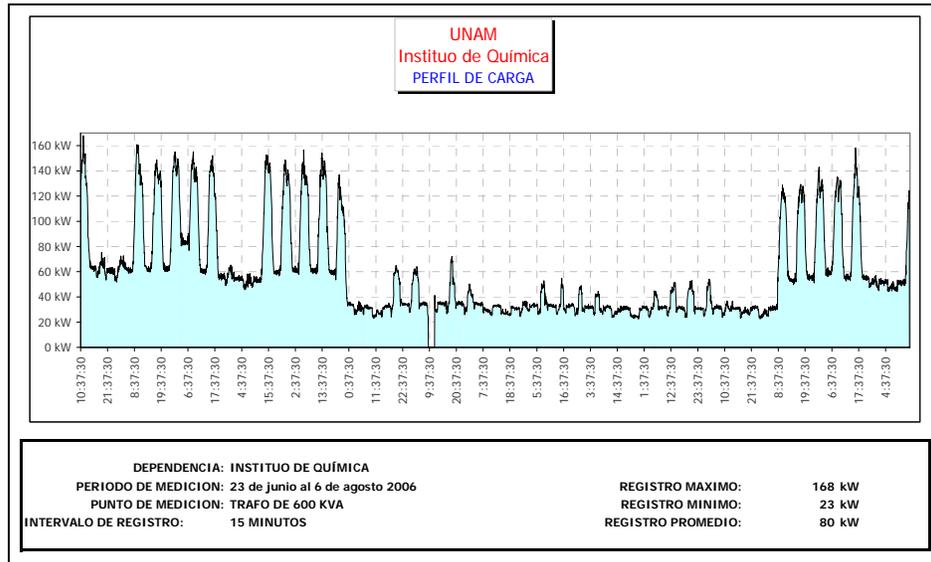
De los registros obtenidos en la medición correspondiente se encontró que la demanda máxima es de 168 kW, valor que se presenta a las 14:07 horas en el día viernes. Durante la semana, en días hábiles, la demanda oscila entre 120 y 168 kW.

La demanda mínima registrada entre semana (carga base) es de alrededor de 60 kW, la cual se produce después de las 22:00 horas y durante la madrugada de lunes a viernes, el fin de semana el valor disminuye alrededor de 50 kW, localizándose prácticamente durante todo el día como se aprecia en la Gráfica 1.

El periodo de medición comprende las vacaciones de verano (10 de julio al 31 de julio del 2006) mismas que se pueden apreciar en la gráfica siguiente donde la

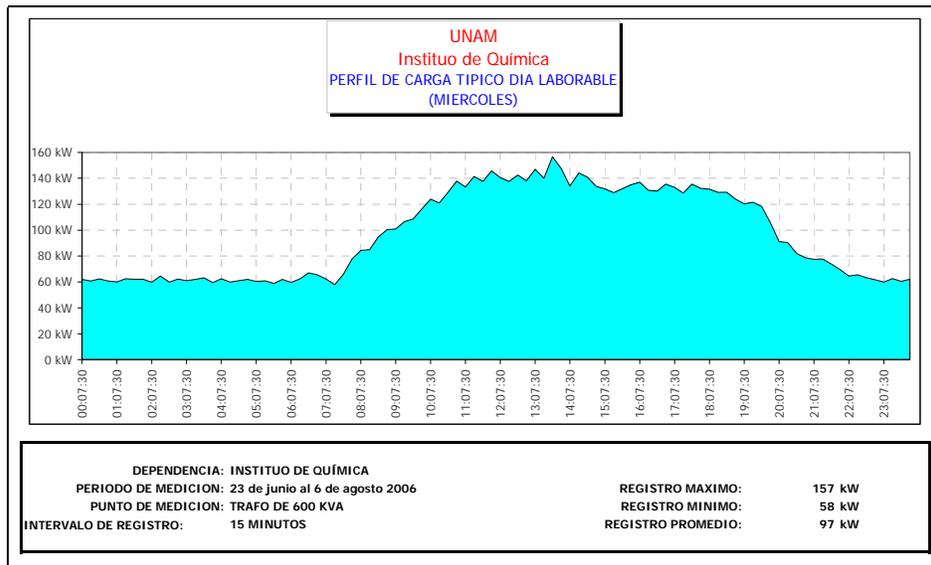
demanda promedio del periodo vacacional es de 33 kW con algunos picos de 60 kW registrándose el más alto de 72 kW el 13 de julio a las 14:52 horas. La demanda en vacaciones se reduce más del 50% que la demanda registrada en días laborables.

Gráfica 1
Perfil de carga semanal



Con respecto al perfil de carga semanal se detectó un comportamiento uniforme durante los días laborables y fines de semana. En éste se observa que la carga importante es durante el día, en el horario de trabajo. Ver Gráfica 2.

Gráfica 2
Perfil de carga día hábil



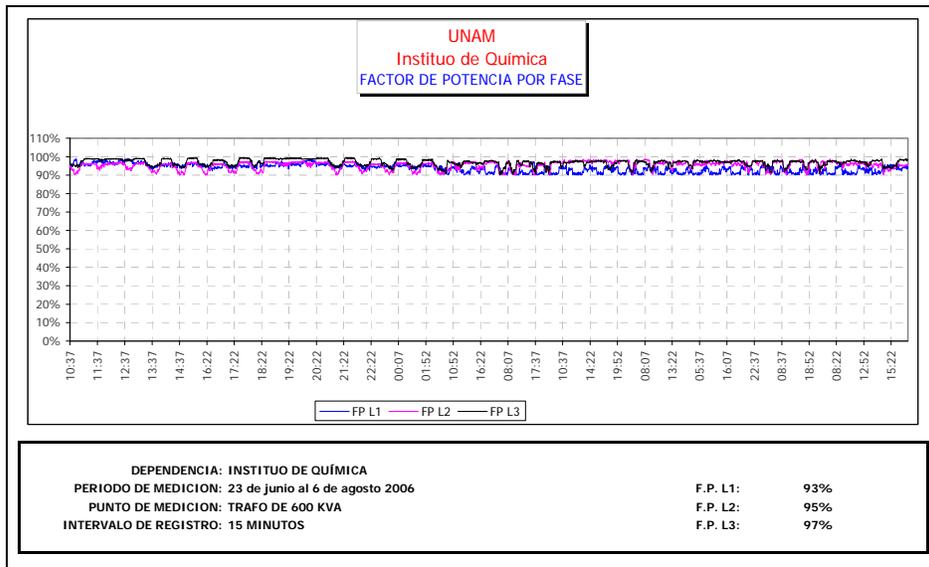
3.2 Consumo de energía (kWh).

Realizando el cálculo para el consumo de energía típico de un mes completo y considerando los valores obtenidos en las mediciones, se tiene que el consumo estimado mensual asciende a 44,995 kWh.

3.3 Factor de potencia (F.P.).

La medición de parámetros eléctricos por medio del analizador de redes, permitió conocer el comportamiento del F.P. a lo largo de las 24 horas del día durante toda el periodo de medición, mostrando que durante todos los días el F.P. promedio es mayor del 90%, la compañía suministradora Luz y Fuerza de Centro penaliza al tener un factor de potencia menor al 90%, bonificando al tener un valor mayor a 90%, esto aplicaría si el edificio contará con una acometida propia. Ver Gráfica 3.

Gráfica 3
Factor de Potencia



3.4 Regulación en tensión y desbalanceo en corriente.

Con los resultados obtenidos en la medición eléctrica se procedió a realizar el cálculo de regulación de tensión y desbalanceo en corriente con la finalidad de detectar condiciones que pudieran afectar el correcto funcionamiento de los equipos.

La regulación de tensión promedio en condiciones de carga máxima es de 1.13%, es decir, 1.44 Volts por arriba del nivel de tensión normalizado de 127 Volts y en condiciones de carga mínima la regulación promedio es de 0.8%; estos porcentajes se encuentran dentro del $\pm 10\%$ de tolerancia permitida por el artículo 18 del Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

Con relación al desbalanceo en corriente, el máximo detectado entre fases durante condiciones de carga mínima en días hábiles es de 22.34%, mientras que para carga máxima en las mismas condiciones es de 16.77%.

Asimismo, el desbalanceo máximo detectado durante la medición es de 54.43%, éste se localizó en jueves a las 16:37 horas, en periodo de vacaciones. Mientras el desbalanceo promedio durante todo el periodo medido es de 25.96%. Este aspecto representa problemas importantes que pudieran afectar seriamente la

operación adecuada de los equipos y la seguridad de las instalaciones, además de ser una fuga de energía.

3.5 Distorsión total de armónicas.

Otro aspecto importante dentro del análisis de mediciones eléctricas corresponde al concepto de distorsión armónica total; en los últimos años el uso cada vez mayor de cargas no lineales de uso común como computadoras, balastos electrónicos, variadores de velocidad y fuentes de poder in-interrumpibles (UPSs), generan voltajes y corrientes armónicos que pueden tener efectos adversos en equipos que están diseñados para trabajar con cargas lineales, es decir que fueron diseñados para trabajar con una forma de onda senoidal de 60 Hz, por lo que es necesario evaluar el impacto que tienen las corrientes y tensiones armónicas dentro de las instalaciones del Instituto.

El objetivo principal de este trabajo no contempla un estudio detallado del contenido de armónicas en la red, pero a continuación se presenta la Tabla 2 en donde se aprecia la distorsión armónica total por fase tanto en tensión como en corriente producto de la medición eléctrica.

Tabla 2
Distorsión Armónica Total.

	THD Voltaje			THD Corriente		
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Máximo	2.20	2.30	2.30	11.50	13.40	16.40
Promedio	1.13	1.20	1.16	6.00	6.51	7.81
Mínimo	0.20	0.20	0.20	0.80	1.00	1.40

Los parámetros anteriores no son evidencia para concluir si existe o no un problema de armónicas en la red, pues de acuerdo con la metodología recomendada en la norma IEEE STD 519-1992, la medición eléctrica junto con un análisis minucioso de corrientes de corto circuito, son sólo el principio de una serie de pasos a seguir para poder evaluar si el contenido de armónicas en la red cumple con el estándar mencionado.

4. Uso general de la energía

En lo que se refiere al uso general de la energía en el Instituto tiene como principales cargas la iluminación interior, alumbrado público, cómputo, calefactores, equipos misceláneos, aire acondicionado, equipo de taller, equipo especial y equipo de laboratorio propios de un instituto de investigación como el que se está estudiando.

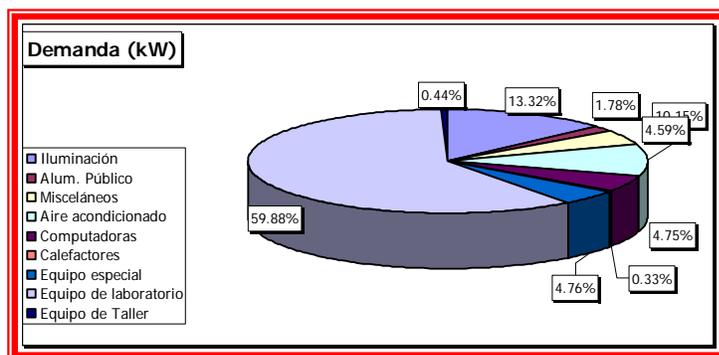
En lo que se refiere al seccionamiento de circuitos, el 82% del edificio cuenta con la opción para apagar la iluminación interior por cada recinto. El 88% de los apagadores controla como máximo cuatro luminarios, por lo que se tiene un buen seccionamiento de circuitos con flexibilidad de poder apagar las luces que no se utilizan.

4.1 Distribución de Cargas.

Para efectos de análisis se consideraron nueve sistemas consumidores de energía: iluminación interior, alumbrado público, misceláneos, cómputo, equipos de laboratorio, equipo de taller, equipo especial, aire acondicionado y calefacción.

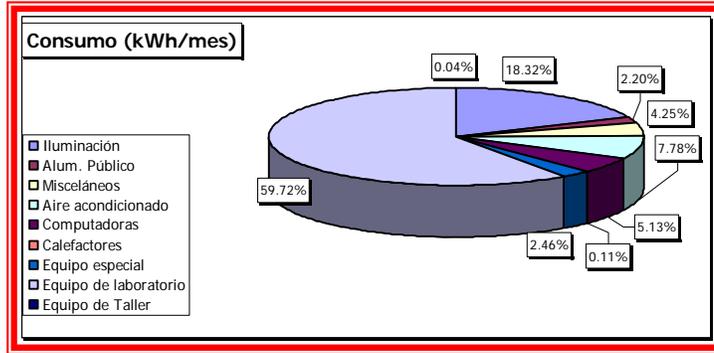
El sistema de iluminación interior comprende todas las luminarias que se encuentran en el interior del edificio. Para el caso de los sistemas de cómputo estos están integrados por computadoras de escritorio e impresoras láser y de punto.

El sistema de misceláneos comprende equipo de oficina: cafeteras, ventiladores, radios, reguladores, refrigeradores, enfriadores-calentadores, fotocopiadoras, etc. El alumbrado público comprende los luminarios que se encuentran en la azotea. El sistema de calefacción comprende equipos calentadores individuales. Los equipos de aire acondicionado están comprendidos por equipo de ventana, minisplits, equipo paquete, etc.



El sistema que comprenden los equipo de laboratorio es la carga más importante con una aportación en la demanda del 59.88%. El segundo sistema en importancia es el sistema de iluminación.

Para el caso del consumo de energía, el sistema más importante son los equipos de laboratorio con una aportación del 59.72%. El sistema de iluminación interior representa el 18.32%, mientras que los sistemas restantes aportan el 26%.



Como se puede observar en las gráficas, el principal sistema consumidor de energía, así como, el que mayor impacto en la demanda máxima, es el sistema de equipos de laboratorio. Conclusión que era de esperarse debido a la actividad científica que tiene un Instituto como el analizado.

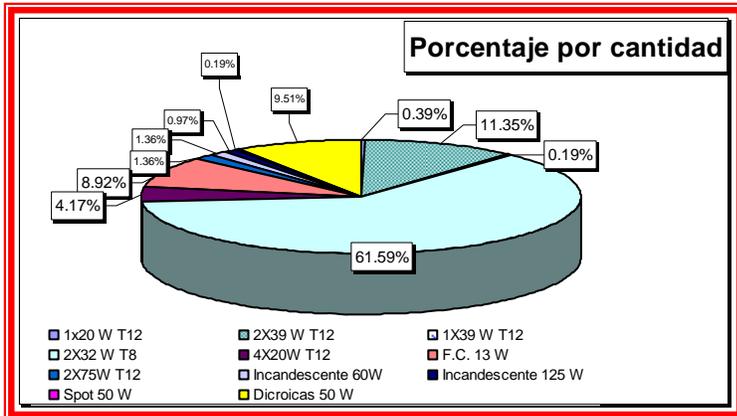
El sistema de iluminación interior es el segundo en importancia. Sin embargo, el Instituto cuenta con tecnología de punta en una gran parte de los equipos instalados. Mismos que se describen en el siguiente punto.

4.1.1 Sistemas de Iluminación.



El levantamiento realizado en el Instituto reporta un total de 1031 luminarios, de los cuales el 88% corresponden a sistemas de iluminación fluorescente.

Existen 33 luminarios de alta intensidad de descarga destinados al uso de alumbrado público.



Los sistemas fluorescentes de dos lámparas de 32W T8 encendido instantáneo con balastro electrónico representan el 61.6% del total de los sistemas instalados, este sistema es uno de los más eficientes en el mercado. El segundo más importantes es el

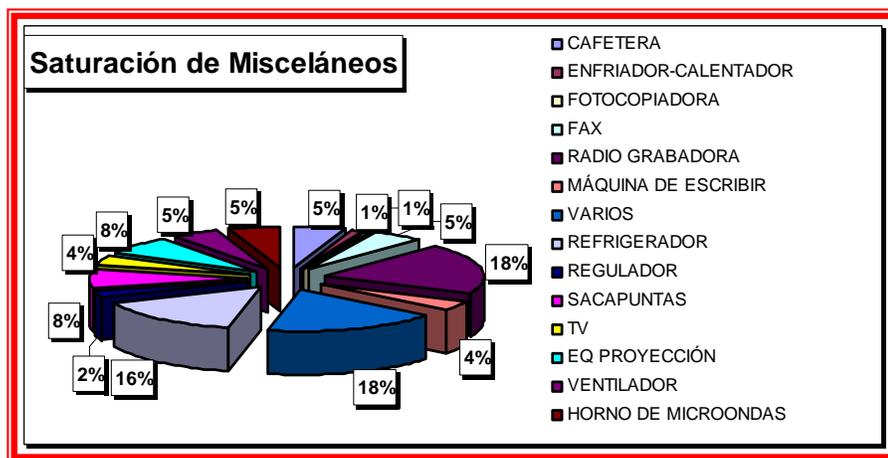
sistema de dos lámparas fluorescentes de 39W T12 encendido instantáneo con el 11.3%, seguido de lámparas dicroicas (halógenas) con el 9.8%.

Para el caso del sistema de alumbrado público, el Instituto cuenta con 33 lámparas de alta intensidad de descarga: 21 vapor de sodio de alta presión de 250 W y 12 de vapor de mercurio de 175W.

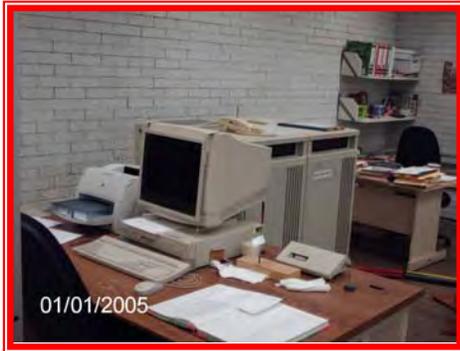
Las lámparas dicroicas se encuentran ubicadas en el auditorio y salón de usos múltiples, por lo tanto no es recomendable su sustitución.

4.1.2 Equipos misceláneos

Estos equipos representan el 4.6% de la demanda máxima y 4.2% en el consumo de energía. Los equipos más representativos por cantidad son radio grabadoras. Sin embargo, los equipos enfriadores-calentadores de agua son los más representativos en el consumo de energía.

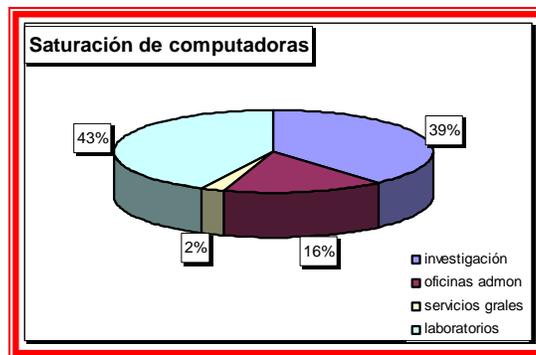


4.1.3 Sistema de cómputo personal



El sistema de computadoras personales representa 4.8% en la demanda y 5% en el consumo de energía eléctrica. El Instituto cuenta con 116 computadoras personales, 6 computadoras portátiles, 57 impresoras láser. De acuerdo al censo de equipos consumidores de energía que se realizó.

La mayor cantidad de equipos instalados se encuentran en laboratorios con 43% y en cubículos de investigación 39%, como se observa en la gráfica.



4.1.4 Equipos de calefacción



El Instituto cuenta con cuatro equipos de calefacción personal de capacidades de 1 kW a 1.5 kW. Estos operan, de acuerdo a la información proporcionada por los usuarios de manera discontinua a través del año.

Este sistema, no es significativo en la demanda ni el consumo de energía eléctrica Debido, principalmente al tiempo de uso. Tiene una capacidad instalada estimada de 6 kW.

4.1.5 Equipos de laboratorio



El Instituto cuenta con varios equipos de laboratorio: Parrilla de agitación, recirculador de agua, aparato de punto de fusión, bomba de vacío, balanza, estufa, espectro fotómetro, analizador termogravimétrico, enfriador thermo, equipo de resonancia magnética, entre otros. Con una capacidad instalada 464 kW. Estos operan de acuerdo a la información proporcionada por los usuarios.

Este sistema se estima que impacta en el consumo de energía eléctrica en un 59.9%.



4.1.6 Sistema de aire acondicionado

Este sistema cuenta con una carga instalada de 64 kW, y representa el 10% en la demanda total del edificio. Existen 19 kW dedicados a enfriar equipos de resonancia, rayos X y espectrometría, entre otros. Estos equipos son importantes debido al tiempo que son utilizados. Existen cuatro unidades personales pero su tiempo de operación y su capacidad no son importantes, los equipos restantes son extractores que principalmente se encuentran en los laboratorios.

4.1.7 Equipo especial y de taller

El equipo de taller (torno, esmeril, sierra eléctrica, fresa, taladro, etc) no representa una carga importante en la demanda total con menos del 1%. El equipo especial comprende compresores, bombas de vacío y un conmutador que representan prácticamente 5% de la demanda total del Instituto.

5. Niveles de Iluminación.

Para conocer los niveles de iluminación dentro de las instalaciones del Instituto, se procedió a realizar mediciones con un luxómetro analógico debidamente calibrado en todas las áreas de aulas, oficinas, laboratorios y servicios. En la Tabla 1 se presentan los valores obtenidos y su referencia con la NOM-025-STPS-1999 y las recomendaciones internacionales de la Illuminating Engineering Society of North America (*IES*).

Tabla 1
Niveles de Iluminación (luxes)

Recinto	Natural y Artificial	Natural	Nocturna	NOM-025-STPS	IESNA
AULAS	506	102	345	300	200-300-500 (D)
LABORATORIOS	791	202	428	500	500-750-1000 (E)
TALLERES	418	303	91	300	200-300-500 (D)
OFICINAS ADMON	558	85	445	300	200-300-500 (D)
OFICINAS INVESTIGACIÓN	754	231	426	300	200-300-500 (D)
SERVICIOS GRALES	1218	464	184	200	50-75-100 (C)
SERVICIOS PARTICULARES	1453	1032	219	200	50-75-100 (C)
SERVICIOS ESPECIALES	414	300	153	200	50-75-100 (C)

Como se puede observar los valores promedio obtenidos en la medición con luz natural y artificial comparándolos con los de la normatividad nacional, todas las zonas se encuentran por encima del valor de referencia, en algunos casos la diferencia es de hasta cinco veces por arriba, por ejemplo en las zonas de servicios particulares. Esto se debe a que este tipo de actividad existen ventanas y los recintos cuentan con pintura clara en las paredes.

Si comparamos los valores medidos en horario nocturno con los valores de referencia de la normatividad nacional, la zona con mayor dificultad es la destinada al uso de talleres.

Para el caso de la normatividad internacional comparándola con las lecturas nocturnas, la zona de talleres se encuentra por debajo del valor de referencia, las zonas de servicios están por arriba de lo recomendado, mientras que las zonas restantes se encuentran dentro de los valores de referencia.

6. Indicadores energéticos

Los indicadores energéticos son una herramienta para llevar a cabo el seguimiento del comportamiento energético de los edificios y realizar una comparación entre edificios del mismo uso.

El índice energético calculado total por medición en el edificio del Instituto es de 104.7 kWh/m²-año, considerando una superficie construida de 5,158.62 m² y un consumo estimado anual de 539,937 kWh/año por medición.

La densidad de potencia eléctrica por alumbrado¹⁶ se encuentra en 13.39 W/m², valor inferior a los 16 W/m² establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2005, "Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios no Residenciales", considerando la zona de "Escuelas/Universidades".

El hecho de que el índice de densidad de potencia eléctrica por área (DPEA) esté por abajo en un 19%, y que los niveles de iluminación se encuentren dentro del rango de valores establecidos por la normatividad nacional se debe a que el Instituto cuenta con en prácticamente todo el edificio con tecnología eficiente en el sistema de iluminación. El índice por concepto de consumo de energía eléctrica en el sistema de iluminación resultó de 15.84 kWh/m²-año

¹⁶ Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA). Índice de la carga conectada para alumbrado por superficie de construcción; se expresa en W/m²

En la Tabla 2 se presenta un resumen con los principales índices energéticos detectados en el Instituto.

Tabla 2
Indicadores Energéticos

Indicadores energéticos	kWh/m ² -año	W/m ²
TOTAL	104.7	32.60
Iluminación	15.84	13.39

Nota: Los indicadores totales son los calculados con la demanda y consumo de energía eléctrica obtenidas en las mediciones eléctricas.

El indicador por sistema es calculado de acuerdo al levantamiento de cargas que se lleva a cabo en sitio y de acuerdo a la información que el usuario proporciona.

1. Recomendaciones para el ahorro de la energía eléctrica



En esta sección se presentan las medidas de ahorro de energía propuestas en base al presente estudio. Se encuentran divididas en medidas tecnológicas, es decir por sustitución de tecnología y por operativas, medidas en las que no es necesario llevar a cabo una inversión, asimismo son de fácil de aplicación.

Como se mencionó en la sección 4.1.1 el 70.5% de los luminarios son de tecnología eficiente (lámparas T8 y compactas fluorescentes). Sin embargo, se evaluará una sustitución de tecnología.



7.1 Medidas tecnológicas

Esta medida consiste en optimizar los sistemas de iluminación compuestos por lámparas fluorescentes lineales de 39 Watts, bulbo T12, temperatura de color “luz de día” y “blanco frío”, operadas con balastos electromagnéticos del tipo convencional. Estos sistemas representan el 11.35% de los sistemas instalados.

Se propone la instalación de equipo de iluminación eficiente, a base de lámparas fluorescentes lineales de 32 Watts bulbo T8, temperatura de color 5000°K, operadas con un balastro electrónico de encendido rápido

En la tabla 3, se presenta el resumen de ahorros calculados por sustitución de tecnología.

Tabla 3
Tabla resumen de ahorros

MAE	Descripción		Ahorros			Inversión	TSR			
			Demanda kW	%	Consumo kWh/mes			%	Económico \$/mes	
Única	Propuesta	Lámpara Bulbo Balastro	Lámpara 32W T8 encendido rápido de 4100K, CRI 95, vida promedio 20000h, lum 3000 iniciales, convencional. Balastro electrónico de encendido rápido para sistema de 2x32W, bulbo T-8, alto factor de potencia	4.45	2.65	1,348	2.99	1,381	13,994	0.84
TOTAL			4.45	2.65	1,348	2.99	1,381	13,994	0.84	

7.2 Medidas operativas

Esta medida consiste, principalmente en llevar a cabo medidas de ahorro de energía sin inversión, es decir se aplican con el mismo personal de mantenimiento con que el cuenta el edificio y de los usuarios. De esta manera, se enuncian de manera indicativa y no limitativa las siguientes recomendaciones:

- ▶ Existen áreas en donde la iluminación natural es suficiente para tener un buen nivel de iluminación. Sin embargo, se encontraron recintos con las luces encendidas.
- ▶ Programar racionalmente tiempos y turnos de operación de las fotocopiadoras y, de acuerdo con sus especificaciones técnicas, apagarlas cuando no se utilicen.
- ▶ A partir de 1993 la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos inició un programa conjunto con los fabricantes de equipo de cómputo, para la producción e identificación del equipo eficiente a través del sello de “Energy Star”. De acuerdo a recientes estudios, al activar la primera etapa se ahorra un 30% del consumo de energía. Se recomienda activar el sistema en cada una de las computadoras.
- ▶ Realizar el balanceo de circuitos.

8. Evaluación de la NOM008-SENER-2001

La norma de eficiencia energética NOM-008-ENER-2001 publicada el 25 de abril del 2001 en el Diario Oficial de la Federación tiene como principal objetivo disminuir la ganancia térmica proveniente del exterior a través de la envolvente del edificio. Ésta aplica a edificaciones nuevas o ampliaciones para instalaciones existentes.

El diagnóstico consistió principalmente en el análisis de la ganancia de calor de la envolvente del edificio¹⁷. Se cuantificó la ganancia térmica del edificio del Instituto de Química de acuerdo a los lineamientos que la norma establece, realizando algunas propuestas de adecuación para mejorar las condiciones de confort de los usuarios. Es importante señalar que la valoración del edificio se realizó acorde con el software que diseñó la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía para evaluar las edificaciones. Concluyéndose que tres (El edificio A, edificio C, el comedor) de los cinco edificios cumplen con lo dispuesto en la norma.

En la Tabla 4 se muestra por orientación el porcentaje de ventanas (vano) con respecto al área de pared (macizo).

Tabla 4
Tabla resumen por orientación

Edificios	ORIENTACION	AREA VENTANA	%	AREA MURO	%	AREA TOTAL
EDIFICIO A	EXTERIOR SUR	246.0	42	335.8	58	581.8
	EXTERIOR NORTE	246.0	42	335.8	58	581.8
	SUR-ORIENTE	150.1	52	140.3	48	290.4
	PONIENTE	50.9	18	234.9	82	285.7
	INTERNA SUR	213.8	57	161.0	43	374.9
	INTERNA NORTE	213.8	57	161.0	43	374.9
	INTERNA PONIENTE	42.2	38	69.1	62	111.3
	INTERNA ORIENTE	55.7	50	55.6	50	111.3
	TECHUMBRE	0.0	0	2712.0	100	2712.0
TOTAL		1,218.4	22.5%	4,205.6	77.5%	5,424.0
TORRE DE DESTILACION	SUR	3.0	6	42.2	94	45.2
	ORIENTE	5.5	8	62.7	92	68.2
	NORTE	0.0	0	45.2	100	45.2
	TECHUMBRE	0.0	0	62.6	100	62.6
TOTAL		8.5	3.9%	212.6	96.1%	221.1
COMEDOR	ORIENTE	13.5	64	7.5	36	21.0
	NORTE	25.2	63	14.8	37	40.0
	PONIENTE	15.2	72	5.8	28	21.0
	SUR	21.5	54	17.8	46	39.3
	TECHUMBRE	0.0	0	68.9	100	68.9
TOTAL		75.4	39.6%	114.8	60.4%	190.3
EDIFICIO B	ORIENTE	6.8	3	195.6	97	202.4
	PONIENTE	11.8	6	190.6	94	202.4
	SUR	0.0	0	23.7	100	23.7
	NORTE	2.5	10	21.2	90	23.8
	TECHUMBRE	0.0	0	334.7	100	334.7
TOTAL		21.0	2.7%	765.8	97.3%	786.9
EDIFICIO C	PONIENTE	91.3	39	143.9	61	235.2
	ORIENTE	63.8	24	198.1	76	261.9
	NORTE	0.0	0	36.8	100	36.8
	SUR	0.0	0	36.8	100	36.8
	TECHUMBRE	0.0	0	455.9	100	455.9
TOTAL		155.0	15.1%	871.5	84.9%	1,026.5

¹⁷ Está formada por techo (losa de azotea), paredes, vanos, piso y superficies inferiores que conforman el espacio interior de un edificio.