



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
Ingeniería en Energía – Sistemas Energéticos

Evaluación comparativa de indicadores energéticos por uso final de energía eléctrica en edificios de Campus Universitario. Caso de estudio: Ciudad Universitaria UNAM.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
Ing. Yeney Martínez Pérez

TUTOR:
Dra. Azucena Escobedo Izquierdo
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

Ciudad Universitaria, CDMX, Diciembre, 2019



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.

Jurado asignado

Presidente: Dr. Quezada García Sergio

Secretario: M.I. Navarro Gómez Judith C.

1er Vocal: Dra. Escobedo Izquierdo M. Azucena

2do. Vocal: M.I. Cortés Eslava Alejandro

3er Vocal: Dr. Chávez Baeza Carlos

Lugar: Universidad Nacional Autónoma de México

TUTOR DE TESIS:

Dra. Escobedo Izquierdo M. Azucena

FIRMA

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico con especial cariño a mis cuatro abuelos,
gracias por cuidarme.

A mi familia por ser mi inspiración para cada día dar mi mejor esfuerzo.

A mis compañeros de maestría, por acompañarme en este recorrido.

A mi esposo, por su paciencia, comprensión y apoyo. Gracias por estar
siempre a mi lado.

Agradecimientos

Este esfuerzo de más de 2 años no hubiera sido posible sin las personas a las que tan grandemente les estoy agradecida.

En primer lugar, a mi tutora la Dra. Azucena, muchas gracias por su paciencia y regalarme parte de su tiempo y de su vasto conocimiento.

Al CONACyT por brindarme la oportunidad de crecer profesionalmente.

Al maestro Alejandro, quien me apoyó en toda la etapa de la recopilación de la información, gracias por brindarme su experiencia.

A los compañeros que tan atentamente me atendieron en los 5 edificios, y me acompañaron, Ing. Luis Jiménez Escobar de la Facultad de Ingeniería; al Ing. José Daniel Pérez Piñeda y los compañeros del departamento de cómputo del Instituto de Geología; al Mcs. Ángel Ramírez Luna del Instituto de Geofísica, al Lic. Manuel López Ramírez de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales; al Lic. Daniel Zamora Fabila de UNIVERSUM.

A las estudiantes Catya y Ana por ayudarme durante la recopilación de la información.

A mis profesores de la maestría, con los que aprendía muchas cosas en cada conferencia y me alentaron a esforzarme y dar lo mejor de mí.

A mis compañeros de maestría, que vinieron conmigo desde Cuba y los que encontré aquí que me apoyaron en cada momento de este proceso.

A todos, MUCHAS GRACIAS.

Resumen

Tras la primera crisis energética mundial y el cambio climático que enfrenta el planeta se han realizado varias investigaciones de cómo ser más eficientes energéticamente. Uno de los métodos para determinar la línea base de políticas y medidas de ahorro de energía es la evaluación comparativa haciendo uso de indicadores. El presente trabajo tiene como objetivo: Realizar una evaluación comparativa del consumo de electricidad total y por uso final en edificios seleccionados del campus de Ciudad Universitaria de la UNAM por medio del indicador energético de consumo ICEE para establecer una línea base como referencia a futuros programas de eficiencia energética dentro del campus.

Se exponen los factores generales que llevaron al desarrollo de la metodología de evaluación comparativa a nivel mundial y al empleo de indicadores. También se realiza un análisis del consumo de energía eléctrica en el mundo, en México y dentro del campus de la UNAM. Como antecedente se presentan los principales programas de eficiencia energética en edificios realizados en el país. Dando paso a la introducción de la metodología de la evaluación comparativa por medio del indicador ICEE y se caracterizan los edificios seleccionados: Facultad de Ingeniería conjunto norte, Instituto de Geología, Instituto de Geofísica, Facultad de Ciencias Políticas y Museo Universum. Se calculó el consumo mensual y anual de los edificios y por uso final como paso intermedio para determinar los valores de ICEE total y por uso final.

El ICEE de los institutos tiende a ser mayor que el calculado para las facultades. El indicador por uso final con mayor impacto para esta región climática resulta ser la iluminación interior. El ICEE tiende a disminuir en el tiempo debido a la sustitución o inserción de nuevas tecnologías más eficientes. Sin embargo, el valor del indicador disminuye de manera más abrupta si se aplica alguna política de ahorro energético, quedando demostrado por el caso de Universum donde su valor de ICEE disminuye más de la mitad (de 84 kWh/m² al año a 32 kWh/m² al año).

Abstract

After the first global energy crisis and climate change facing the planet, several researches have been carried out on how to be more energy efficient. One of the methods to determine the baseline of energy saving policies and measures is the benchmarking using indicators. The main goal of this work is: To carry out a comparative evaluation of total electricity consumption and by end use in selected buildings of the University campus of the UNAM through the energy use intensity (EUI) indicator to establish a baseline for future energy efficiency programs on campus.

The general factors that led to the development of the global benchmarking methodology and the use of the indicators are presented. An analysis of the consumption of electrical energy in the world, in Mexico and within the UNAM campus is also carried out. As background of this work, the main energy efficiency programs in buildings in the country are presented. Giving way to the introduction of the methodology of comparative evaluation through the EUI indicator and the selected buildings: Faculty of Engineering, Institute of Geology, Institute of Geophysics, Political Science and Universum are characterized. The monthly and annual consumptions (total and by end use) of the buildings was calculated as an intermediate step to determine the total EUI values and by end use.

The EUI of the institutes tends to be greater than that calculated for the faculties. The indicator by end use with the greatest impact for this climatic region is the interior lighting. The EUI tends to decrease over time due to the replacement or insertion of new and more efficient technologies. However, the indicator's value decreases more abruptly if an energy saving policy is applied, being demonstrated by Universum, where its EUI value decreases more than half (from 84 kWh/m² per year to 32 kWh/m² per year).

Índice

Dedicatoria.....	I
Agradecimientos	II
Resumen	III
Abstract.....	IV
Índice de Figuras	IX
Glosario	XI
Introducción	1
1.Estado del arte	
.....	5
1.1 Uso de indicadores energéticos en edificios comerciales	5
1.2 Estudios de indicadores energéticos en edificios comerciales	
nacionales. 11	
Resumen del capítulo.....	14
2.Consumo de energía	
.....	15
2.1. Consumo de energía eléctrica mundial	16
2.2. Consumo de energía en México	18
2.3 Usos finales de electricidad en edificios comerciales.....	20
2.3.1 Influencia del clima en el uso final de electricidad	22
2.4 Consumo de electricidad en el campus universitario	22
2.4.1 Suministro de corriente.....	23
2.4.2 Consumo Eléctrico.....	24
Resumen del capítulo.....	28
3.Eficiencia energética en México	
.....	29
3.1 Programas de Eficiencia Energética en México	29

3.2 Programa de Administración Pública Federal	31
3.2.1 Resultados del programa obtenidos durante 2017 en los inmuebles de la APF	33
3.3 Programa Base de Indicadores de Eficiencia Energética.....	34
Resumen del capítulo.....	34
4.Indicadores energéticos	35
4.1 Factores que influyen en los IE de consumo en un edificio.....	38
4.2 Evaluación comparativa	38
4.3 Cálculo del Indicador.....	39
Resumen del capítulo.....	39
5.Caso de estudio	41
Facultad de Ingeniería.....	41
Instituto de Geología	42
Instituto de Geofísica.....	43
Facultad de Ciencias Políticas	45
Museo Universum	46
6.Análisis del histórico de consumo y de los indicadores energéticos	48
Análisis del histórico de consumo para los diferentes casos de estudio	48
Facultad de Ingeniería	48
Instituto de Geología.....	50
Instituto de Geofísica	52
Ciencias Políticas	55
Universum	57
Estudio del indicador ICEE para los diferentes edificios	59

Evaluación Comparativa	65
Conclusiones	68
Bibliografía.....	70
ANEXO	76
Anexo 1 Zonas Térmicas en inmuebles de oficina.....	76
Anexo 2 Ficha técnica del equipo de medición	77
Anexo 3. Demanda Máxima y Mínima (kW) de la FI	78
Anexo 3. Consumo mensual (kWh al mes) y anual (kWh al año) de la FI	78
Anexo 4. ICEE (kWh/m ² al año) total y por uso final de la FI	78
Anexo 5. Demanda Máxima y Mínima (kW) del Instituto de Geología	79
Anexo 6. Consumo mensual (kWh al mes) y anual (kWh al año) del Instituto de Geología.....	79
Anexo 7. ICEE (kWh/m ² al año) total y por uso final del Instituto de Geología	81
Anexo 8. Demanda Máxima y Mínima (kW) del Instituto de Geofísica	81
Anexo 9. Consumo mensual (kWh al mes) y anual (kWh al año) del Instituto de Geofísica	81
Anexo 10. ICEE (kWh/m ² al año) total y por uso final del Instituto de Geofísica.....	83
Anexo 11. Demanda Máxima y Mínima (kW) de Ciencias Políticas ...	83
Anexo 12. Consumo mensual (kWh al mes) y anual (kWh al año) de Ciencias Políticas	83
Anexo 13. ICEE (kWh/m ² al año) total y por uso final de Ciencias Políticas	84
Anexo 14. Demanda Máxima y Mínima (kW) de Universum	84
Anexo 15. Consumo mensual (kWh al mes) y anual (kWh al año) de Universum.....	84
Anexo 16. ICEE (kWh/m ² al año) total y por uso final de Universum .	85

Índice de Figuras

Fig. 1 ICEE por uso final en edificios universitarios. Fuente elaboración propia con datos de [4]..... 6

Fig. 2 ICEE por uso final en edificios educacionales. Fuente: elaboración propia con datos de [6]..... 7

Fig. 3 ICEE por uso final en edificios educacionales de regiones templadas. Datos tomados de [28]..... 12

Fig. 4 Valores de ICEE promedio en zonas templadas. Fuente [29] 13

Fig. 5 Consumo Global de Energía Primaria. Tomado de [32] 16

Fig. 6 Consumo de energía eléctrica global. Tomado de [35]..... 17

Fig. 7 Consumo de electricidad mundial por sectores. Fuente: elaboración propia con datos de [36] 17

Fig. 8 Generación de electricidad por tipo de combustible. Datos tomados de [38]..... 18

Fig. 9 Consumo de electricidad por sectores. Fuente: elaboración propia con datos tomados de [38] 19

Fig. 10 Consumo de energéticos del sector Residencial, comercial y público. Fuente: elaboración propia con datos tomados de [38] 19

Fig. 11 Consumo de electricidad de CU en horario base. Elaboración propia 25

Fig. 12 Consumo de electricidad de CU en horario intermedio. Elaboración propia 26

Fig. 13 Consumo de electricidad de CU en horario punta. Elaboración propia 27

Fig. 14 Consumo mensual total 49

Fig. 15 Consumo mensual de aire acondicionado UNICA..... 50

Fig. 16 Consumo mensual total del edificio 51

Fig. 17 Consumo por uso final 51

Fig. 18 Consumo total mensual del edificio. 53

Fig. 19 Consumo mensual por uso final..... 54

Fig. 20 Consumo mensual del edificio 56

Fig. 21 Consumo en iluminación exterior..... 56

Fig. 22 Consumo total del edificio 58

Fig. 23 Consumo mensual de los usos finales.....	58
Fig. 24 ICEE total del Instituto de Ingeniería en los 3 años	59
Fig. 25 ICEE total del edificio y de aire acondicionado para el Instituto de Ingeniería	60
Fig. 26 ICEE total del Instituto de Geología	60
Fig. 27 ICEE por uso final del Instituto de Geología	61
Fig. 28 ICEE total del Instituto de Geofísica	61
Fig. 29 ICEE por uso final del Instituto de Geofísica.....	62
Fig. 30 ICEE Total de la Facultad de Ciencias Políticas	63
Fig. 31 ICEE por uso final de la Facultad de Ciencias Políticas	63
Fig. 32 ICEE total de Universum.....	64
Fig. 33 ICEE total de Universum.....	64
Fig. 34 ICEE total de los edificios en el tiempo.....	65
Fig. 35 ICEE total de los edificios de la UNAM y de las fuentes bibliográficas	65
Fig. 36 ICEE de Iluminación exterior	66
Fig. 37 ICEE por uso final	67

Glosario

APF: Administración Pública Federal.

BIEE: Base de Indicadores de Eficiencia Energética.

CBECS: Censo del Consumo de Energía en Edificios Comerciales.

CEUS: *Commercial End Use Survey*

CONAE: Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.

CONUEE: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.

CU: Ciudad Universitaria

DEN: Diagnóstico de Energía.

DPEA: Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado.

EIA: Energy Information Administration.

FIDE: Fideicomiso.

FIPATERM: Fideicomiso Para Aislamiento Térmico.

ICEE: Índice de Consumo de Energía Eléctrica.

IDS: indicadores globales para el desarrollo sostenible.

IE: Indicadores Energéticos.

IEA: International Energy Agency.

IEDS: Indicadores Energéticos de Desarrollo Sostenible.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

ISO: International Standard Office.

LED: Light Emission Diode (por sus siglas en inglés, Diodo de Emisión de Luz).

NOM: Norma Oficial Mexicana.

PAESE: Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico.

SGE: Sistema de Gestión de Energía.

UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México.

UPS: Sistema de alimentación ininterrumpida (por sus siglas en inglés Uninterruptible Power Supply)

Introducción

La evolución humana ha estado acompañada del empleo de diferentes tipos de combustibles (madera, aceites, carbón, petróleo, combustible nuclear). Con el empleo de estos ha logrado combatir las adversidades de la naturaleza. Sin embargo, en la actualidad se está presenciado un cambio climático y parte de la comunidad científica se inclina a pensar que esto tiene que ver en gran medida por la acción del hombre. Entre las causas que provocan el cambio climático se encuentra la generación de energía eléctrica.

La sociedad tiene grandes centros consumidores de energía como son las industrias, las megalópolis (grandes ciudades) y el transporte. El costo que tiene este consumo sobre el medio ambiente es enorme, y se estima de seguir así vamos en camino hacia la destrucción del planeta [1].

Es imperante un cambio en el comportamiento humano y las medidas necesarias para lograrlo se siguen enunciando. Sin embargo, estas siguen siendo insuficientes pues aún existen países que no reconocen la influencia humana sobre el medio ambiente. Cada año que pasa nos hacemos más dependientes de la energía eléctrica, las ciudades se hacen más grandes, las poblaciones continúan creciendo, por consiguiente, la producción y consumo de energía continúa en aumento, teniendo un costo enorme para el medio ambiente [1]. Como usuarios finales debemos estar conscientes de ello y modificar nuestros hábitos para optimizar el uso de la energía eléctrica.

Al ser las ciudades de los principales consumidores de energía eléctrica resulta de interés estudiar los importantes focos de consumo. Al poder ser identificados se pueden tomar medidas al respecto por parte de los gobiernos. Estudios [2] han demostrado que los principales consumidores de energía eléctrica dentro de las ciudades son los edificios. De ahí la importancia de programas y medidas de eficiencia energética para lograr disminuir el consumo de electricidad. Sin embargo, para evaluar la evolución de las acciones que se realizan es necesario contar con una base de datos y una referencia con la cual comparar cuantitativamente los resultados en el tiempo.

En México se tiene normalizado un indicador de demanda de energía eléctrica que es la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA)

pero no existe una norma para indicadores de consumo. La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) y otras instituciones usan como referencia de indicador de consumo el Índice de Consumo de Energía Eléctrica (ICEE). El mismo ha sido empleado en programas nacionales como el de Administración Pública Federal (APF), el Base de Indicadores de Eficiencia Energética (BIEE) y otros. No obstante, no son suficientes los estudios actuales de consumo de energía eléctrica por uso final en edificios del sector comercial en México.

De ahí, que el objetivo de este estudio:

Objetivo General: Realizar una evaluación comparativa del consumo de electricidad total y por uso final en edificios seleccionados del campus de Ciudad Universitaria de la UNAM por medio del indicador energético de consumo (ICEE) para establecer una línea base para futuros programas de eficiencia energética dentro del campus.

Alcance

Con el presente trabajo se analiza el comportamiento del consumo de energía dentro de edificios seleccionados de la Ciudad Universitaria UNAM, haciendo uso del indicador de consumo establecido nacional e internacional. Se calcula el indicador de consumo por uso final de energía eléctrica, estableciendo los valores como línea base para futuros programas de eficiencia energética.

Para lograr el objetivo general se trazaron los siguientes **Objetivos específicos**

- Analizar la base de datos del consumo final de electricidad de los edificios seleccionados.
- Calcular el indicador de consumo energético general y por uso final de electricidad de los edificios seleccionados.
- Analizar el comportamiento del consumo eléctrico por medio del indicador establecido en el tiempo.
- Realizar una evaluación comparativa de este indicador con edificios similares del país e internacional.

La tesis se estructuró de la siguiente manera:

- 1. Capítulo 1. Estado del arte.** En este capítulo se realiza una recopilación de información sobre los estudios de evaluación comparativa que se realizan en edificios del sector comercial, haciendo énfasis en los edificios educacionales a nivel internacional y nacional. Empleando el ICEE como indicador de consumo energético. Se exponen los valores de ICEE obtenidos en los censos de EUA para edificios universitarios, así como de otros países de Asia.
- 2. Capítulo 2. Consumo de energía.** En esta sección se comienza analizando el consumo de energía a nivel mundial, pasando al balance energético de México. Se realiza un resumen de los principales usos finales de energía eléctrica en edificios comerciales. Se estudia el consumo de energía eléctrica en la UNAM por medio de las tarifas eléctricas recibidas.
- 3. Capítulo 3. Eficiencia energética.** En este capítulo se realiza una revisión de los programas de eficiencia energética realizados en territorio nacional referidos a edificios comerciales, haciendo énfasis en el APF y el BIEE.
- 4. Capítulo 4. Indicadores energéticos.** En esta sección se resumen los factores que influyen en los indicadores energéticos de consumo como son la región climática, la edad y el uso del edificio, entre otros. Se expone en que consiste la evaluación comparativa y como se calcula el indicador ICEE.
- 5. Capítulo 5. Caso de estudio.** Se muestran los edificios seleccionados para el estudio. Explicando sus condiciones, área total, uso del edificio y usos de energía eléctrica final medida.
- 6. Capítulo 6. Análisis de resultados.** Se exponen los resultados obtenidos de: la demanda máxima mensual promedio y por temporada del año, el consumo total de cada edificio anual y mensual, el consumo por uso final de energía eléctrica medido y los valores de ICEE obtenidos.
- 7. Conclusiones.** Se resaltan las principales conclusiones del trabajo.

8. **Bibliografía.** Se reconoce los artículos, libros e informes consultados y referenciados en el trabajo
9. **Anexo.** Se exponen las tablas e imágenes utilizadas.

1. Estado del arte

Existe una gran cantidad de informes y estudios sobre evaluación comparativa de indicadores energéticos en edificios comerciales, sector al cual pertenecen los edificios de campus universitarios. Los estudios han sido impulsados por una creciente concientización en temas del cambio climático y por las necesidades de mejorar la eficiencia energética. En estos estudios es común el empleo de indicadores energéticos que ayudan a comprender mejor el comportamiento de los sistemas. Son empleados de manera comparativa, es decir, se comparan las estadísticas para un mismo indicador implementado a una serie de sistemas a lo largo de un período de tiempo y se obtiene un patrón o comportamiento del sistema.

A continuación, se citan algunos que se han llevado a cabo internacionalmente y a nivel nacional.

1.1 Uso de indicadores energéticos en edificios comerciales

Uno de los países pioneros en el estudio del comportamiento del consumo energético en los edificios ha sido EUA., en especial en los edificios comerciales. El proceso de reforma de políticas energéticas inició en este país en el año 1972 a partir de la crisis energética generada por el alza del petróleo. Se efectuaron estudios con la implementación de indicadores para la evaluación de la eficiencia energética de edificios. El ICEE ha sido el indicador de consumo que más se ha empleado y su desarrollo abarca una rama de estudios que van desde el muestreo localizado, el análisis de prototipos, modelos de desempeño hasta el muestreo a escala nacional [3].

La compañía *Itron, Inc* realizó en 2006 un censo de los usos finales de energía en los edificios comerciales (CEUS), para la Comisión de Energía de California. El mismo consiste en un estudio del uso de la energía en una muestra de edificios del sector comercial donde capturaron la información de la geometría del edificio, consumo de electricidad y gas, inventario de equipos, y horarios operativos. Los cuales se estratificaron por tipo de edificio, características climáticas de la región y nivel de consumo de energía [4]. Para los edificios universitarios los valores de ICEE se muestran en la Fig. 1.

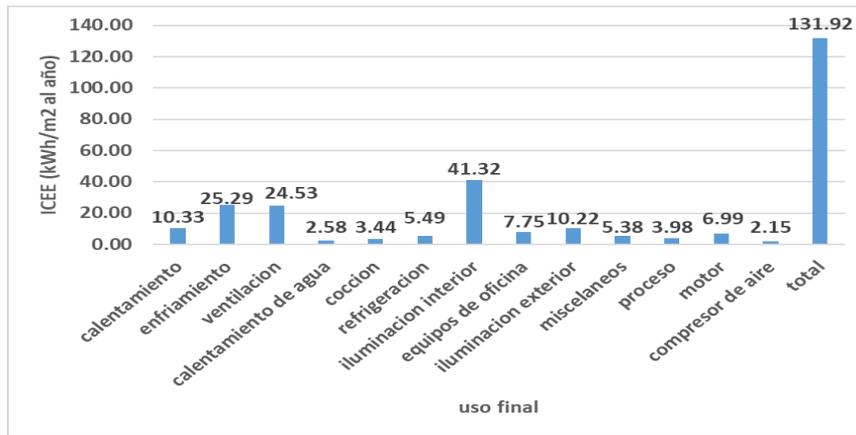


Fig. 1 ICEE por uso final en edificios universitarios. Fuente elaboración propia con datos de [4]

Para este tipo de edificios se puede observar que la iluminación interior es el uso final de mayor impacto en el consumo de energía eléctrica, con un ICEE de 41.32 kWh/m² al año representando un 31% del ICEE total del edificio.

A nivel de país, EUA cuenta con una base de datos del Censo del Consumo de Energía en Edificios Comerciales (CBECS) desde el 1992; que se emplea para realizar la evaluación comparativa y desarrollar las distribuciones de los Índices de Consumo de Energía Eléctrica (ICEEs) en los distintos tipos de edificios, los cuales se desagregan por regiones climáticas [5].

En un estudio de Sharp [3] haciendo uso de la base de datos CBECS de 1992, se realiza una evaluación comparativa de los edificios educacionales por regiones censadas. En el mismo representa en una tabla los valores de consumo eléctrico de los edificios educacionales de las 9 regiones que censaron, dónde el ICEE promedio de mayor valor fue de 138 kWh/m² al año.

En el último reporte de la *Energy Information Administration* (EIA) [6] con la base de datos del CBECS del 2012 se observa que el censo clasifica los edificios por tipo de actividad, por región climática, por antigüedad, por ocupantes y por horas de operación, además, los usos finales de electricidad que define son para climatización (enfriamiento o calentamiento), ventilación, calentamiento de agua, iluminación, cocción, refrigeración, equipos de oficina, cómputos y otros. La gráfica de la Fig. 2 muestra los valores de ICEE para edificios educacionales.

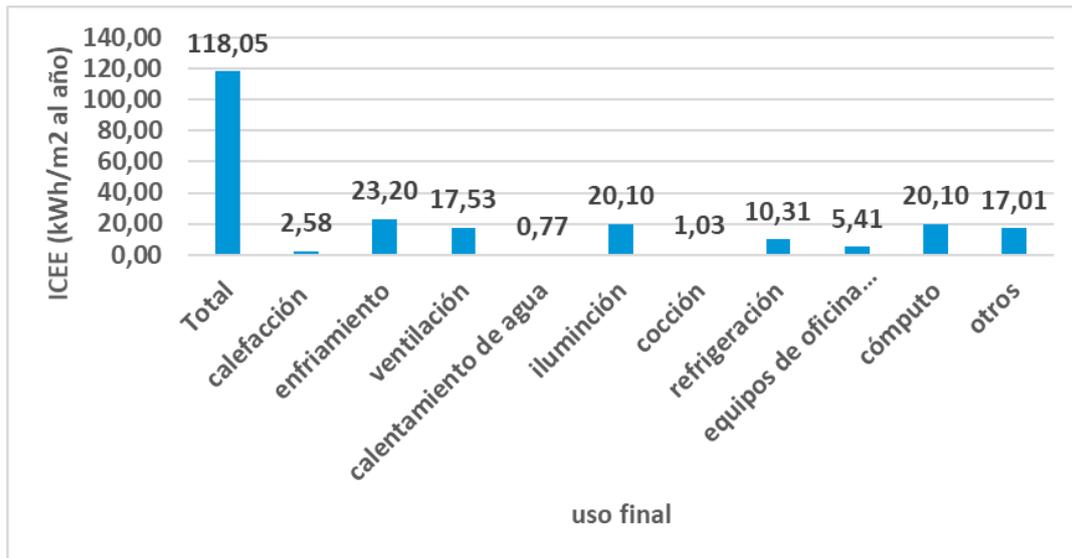


Fig. 2 ICEE por uso final en edificios educacionales. Fuente: elaboración propia con datos de [6]

Se puede observar que el ICEE del total de edificios educacionales disminuyó en 2012 respecto a los valores obtenidos en el estudio de Sharp con los datos de 1992. Otra conclusión importante es que el consumo, en este tipo de edificio, se debe a climatización, iluminación y cómputo.

En 2012 Vance y Boss [7] propusieron un modelo de evaluación de la eficiencia energética para campus universitarios de los Estados Unidos al comparar el consumo real de los edificios y el consumo que necesitan para realizar sus actividades. En este estudio no utilizan el ICEE como indicador, sin embargo, es interesante esta perspectiva para analizar el potencial de ahorro de un edificio ya que este indicador puede ser empleado como una medida de la eficiencia de los edificios a lo largo del tiempo y también como comparador entre edificios del mismo tipo y región geográfica.

En otro estudio realizado por Deng et al. [8] aplican la metodología de “*Machine Learning*” a la base de datos CBECS con el objetivo de predecir el comportamiento futuro del consumo final energético de los edificios comerciales. El estudio no pudo llegar a una predicción con un nivel de precisión aceptable, por lo que llegan a la conclusión de que se debe profundizar en el comportamiento de los usuarios, la administración energética y el desempeño térmico, así como en las interacciones entre ellos.

Canadá es otro de los países que emplea el ICEE para la evaluación comparativa en edificios con resultados positivos. Según “*Minister of Natural Resources*” [9] el objetivo de establecer la evaluación comparativa energética es observar y comparar el desempeño actual con anteriores, además de identificar las oportunidades de ahorro. En este estudio, separan la evaluación comparativa en interna y externa, donde la interna es la comparación de un mismo edificio en el tiempo y con otros edificios de la misma organización, mientras que la evaluación externa compara los edificios con otros fuera de la organización, pero del mismo sector. Además, se definieron las edificaciones según el tipo y la zona climática donde se encontraban localizados. El ICEE general de los edificios estudiados fue de 789 kWh/m² al año en 2011. Los datos fueron tomados de un reporte de la Agencia de Protección Ambiental de los EUA. Estos valores incluyen el consumo de energía primaria en los edificios, es elevado ya que Canadá es un país frío por lo que existe un alto consumo energético para calefacción. En el estudio no clasifican el ICEE por tipos de edificios ni desagregan la información por uso final.

Otro estudio realizado por Ouf et al. [10] analiza el comportamiento por consumo final en 30 edificios escolares en Manitoba, Canadá, donde se mostró que el consumo total de electricidad de las nuevas edificaciones se ha incrementado mientras que el consumo de gas ha disminuido y el ICEE total de las escuelas nuevas fue de 180 kWh/m² al año. Sin embargo, el mismo estudio analiza el consumo por uso final de iluminación y de cargas conectadas en las aulas, en el que se observa un mayor consumo de estos usos en los edificios más antiguos respecto a los modernos, donde se obtuvo un ICEE de 4.15 kWh/m² al año para iluminación y de 3.14 kWh/m² al año para cargas conectadas en las aulas de clases.

Otro país que ha implementado los indicadores de eficiencia energética para realizar evaluaciones comparativas es Singapur. Desde el 2014 Singapur emite anualmente un reporte de evaluación comparativa de energía en edificios comerciales con el objetivo de informar a los propietarios y gerentes sobre el rendimiento energético de los edificios y motivarlos a implementar medidas de eficiencia energética. En el reporte más reciente, con datos del 2016, se analiza la tendencia del consumo de electricidad anual mediante el ICEE. Este

indicador se aplica a los edificios en general, haciéndose un análisis posterior a los sistemas de aire acondicionado debido a su alto consumo y su presencia en casi todos los edificios, pero no lo extienden a otros usos finales como iluminación, misceláneos, refrigeración y otros. Además, clasifican los edificios por tipología (oficinas, hoteles, minoristas y mixtos) pero no por región climática. Cabe destacar que el reporte del 2016 el valor promedio de ICEE en los edificios universitarios fue de 394 kWh/m² al año [11].

En 2017, Yan Ding et al. [12] establecieron puntos de referencia de consumo de electricidad. Calcularon el ICEE general de varios edificios y por uso final de iluminación y equipamiento. Obtuvieron un ICEE normalizado para todas las regiones climáticas de China de 90.76 kWh/m² al año para iluminación y de 65.15 kWh/m² al año para equipamientos.

Otro estudio anterior fue realizado en la Universidad del Norte de China por Su et al. [13] donde se realizó una comparación entre dos edificios del campus, correspondientes a esa zona geográfica para el año 2010, además se presentó el consumo energético por horas y las características de los edificios y los resultados arrojaron que se puede reducir el consumo de energía. Un estudio similar fue llevado a cabo por Su et al. [14] pero en la región del sur de China, en este caso se estudiaron 11 edificios y el objetivo principal radicó en encontrar los picos de energía y las formas de reducirlos.

En 2018 Maryam Khoshbakht et al [15] publicaron un estudio realizado a 80 edificios universitarios en Australia donde determinan el ICEE como línea base para futuras comparaciones. En el mismo clasifican los edificios del campus por actividad que realizan. Calculan el ICEE total por tipo de edificio donde promedian un ICEE 180 kWh/m² al año para los edificios del campus de uso general, se observa que los edificios de ciencias tienen un ICEE más elevado, de 210 kWh/m² al año. El análisis no abarca los usos finales de electricidad.

En un estudio publicado realizado por Zhan et al. [16] hacen uso del indicador ICEE para un campus universitario en Japón que emplea un sistema de cogeneración. En el estudio se desagregan los datos de acuerdo con el tipo de local clasificándolos en aulas, laboratorios, oficinas y comedores. El estudio

arrojó que el mayor consumo estaba en las oficinas con 124.4kWh/m² al año. Sin embargo, en el estudio no diferencian el ICEE por uso final llegando solo hasta el consumo de electricidad de los locales.

Mientras tanto en Corea, Won-Hwa et al. [17] se enfocaron en determinar las potencialidades de ahorro en los edificios de un campus universitario atendiendo a las características de las construcciones, los patrones de consumo por ocupantes en un período determinado. A pesar de que no emplearon el indicador ICEE, este estudio utilizó como indicador el consumo por ocupantes arrojando que para el año 2008 se consumían sobre los 16 GWh de electricidad por persona, el consumo de gas de acuerdo con el estudio se mantuvo relativamente estable. De ahí que se propusieran diferentes escenarios para el ahorro de energía. A pesar de que en el estudio no se diferenció entre usos finales se logra hacer un diagnóstico del estado del consumo del campus universitario posibilitando la propuesta de posibles soluciones.

En Hong Kong, Li [18] en 2008 desarrolló un estudio de eficiencia energética en 19 oficinas gubernamentales, logrando identificar las oportunidades de mejora en el manejo energético de estas oficinas. Sin embargo, se ha sufrido un incremento significativo de las oficinas hacia el año 2013 lo que ha llevado al estudio de ciclo de vida por parte de Wang et al. [19] y el estudio del incremento de la eficiencia energética en las oficinas por Jia et al. [20]. Este último tuvo como resultado que existe un incremento en la eficiencia energética y alerta a las constructoras acerca del potencial de reducción del consumo de energía de las edificaciones comerciales.

También en Turquía se han llevado a cabo estudios en eficiencia energética por Eskin et al. [21] en el 2008 donde investigaron sobre los requerimientos para la calefacción y refrigeración para edificios comerciales en diferentes regiones del país. También la investigación realizada por Sagbansua et al. [22] sobre el grosor óptimo para los aislantes atendiendo a las diferentes condiciones de las edificaciones a partir de modelos a análisis de sensibilidad. Yigit et al. [23] realizaron una simulación para mejorar el diseño de edificios con alta eficiencia energética atendiendo a las regulaciones gubernamentales y la

certificación de edificio verde, y a la vez optimizar el consumo y mantener un confort térmico.

A nivel mundial las investigaciones siguen suscitándose en las áreas de eficiencia energética a edificios comerciales aplicando indicadores de uso final de energía para la evaluación. El impacto que se logra al cuantificar el ahorro económico y disminución de las emisiones es importante. Además, se determinan dónde están los puntos de mayor consumo y se hace posible la toma de medidas eficaces para lograr un sistema más eficiente.

1.2 Estudios de indicadores energéticos en edificios comerciales nacionales.

En México, en el 2005, Escobedo expuso una recopilación de datos de los levantamientos de sistemas de iluminación interior de inmuebles con información de los años 1999 y 2000, para determinar indicadores energéticos de consumo y de potencia eléctrica. Además de comparar los resultados con los valores de la NOM-007 y valores internacionales. El trabajo se centra en la iluminación como uso final y no abarca otros usos. El ICEE calculado para iluminación promedio fue de 43.23 kWh/m² con máximos de 97.29 kWh/m² al año, y el ICEE general de los edificios fue de 76.21 kWh/m² con máximos de 110.33 kWh/m² al año.

Después en el 2011 I. García [28] presentó información de varios Diagnóstico de Energía (DEN) realizados a edificios comerciales y de servicio. En este se analiza el consumo de los edificios por uso final, identificándose diferentes tipos de uso final de la energía eléctrica que hay en estos edificios, así como conocer la línea base de consumo. En el estudio se clasifican los edificios por tipología y se desagregan por tipo de clima. El ICEE calculado para los edificios de escuela en la región templada fue de 52.09 kWh/m² al año, los valores de ICEE por uso final se presentan en la Fig. 3 en ella se puede apreciar que para los edificios de regiones templadas el mayor consumo eléctrico es en iluminación.

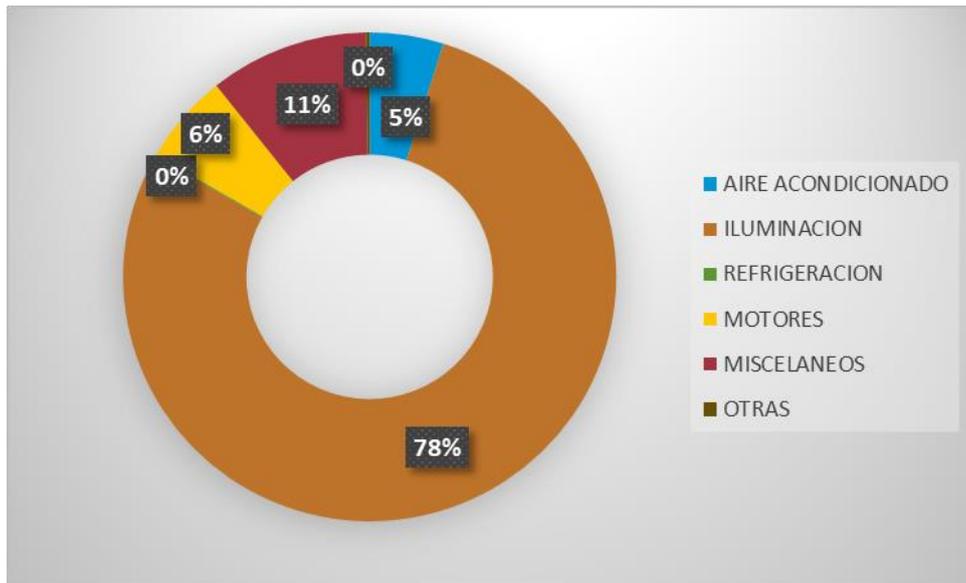


Fig. 3 ICEE por uso final en edificios educacionales de regiones templadas. Datos tomados de [28]

En ese mismo año D. Morillon, et al. [25] hacen una recopilación de los programas y estudios de eficiencia energética realizados en México y en el mundo. Además, analizan 117 DEN de los casos más representativos del país y de los cuales se contaba con la información completa y fiable. Este estudio fue el primero en lograr analizar el consumo por uso final de energía en cada tipo de edificio y separarlo por regiones climáticas, logrando establecer una línea base de indicadores energéticos, compararlos a nivel nacional e internacional, con edificios del mismo uso. Se observa cómo cambia el consumo por tecnología de uso final de un tipo de edificio a otro, además, dentro de un mismo tipo de edificio en diferentes regiones climáticas.

Como resultado del estudio se obtuvo un ICEE promedio para el país de 137.14 kWh/m² al año para oficinas y 79,97 kWh/m² al año para escuelas. En el caso de regiones templadas (en la cual se incluye la Ciudad de México) el ICEE promedio para oficinas y escuelas fue de 86.36 kWh/m² al año y 40.76 kWh/m² al año respectivamente, en edificios construidos después del 1995. Los datos obtenidos en el estudio de ICEE por uso final en los edificios de oficina y escuela para la región templada se muestran en la Fig. 4.

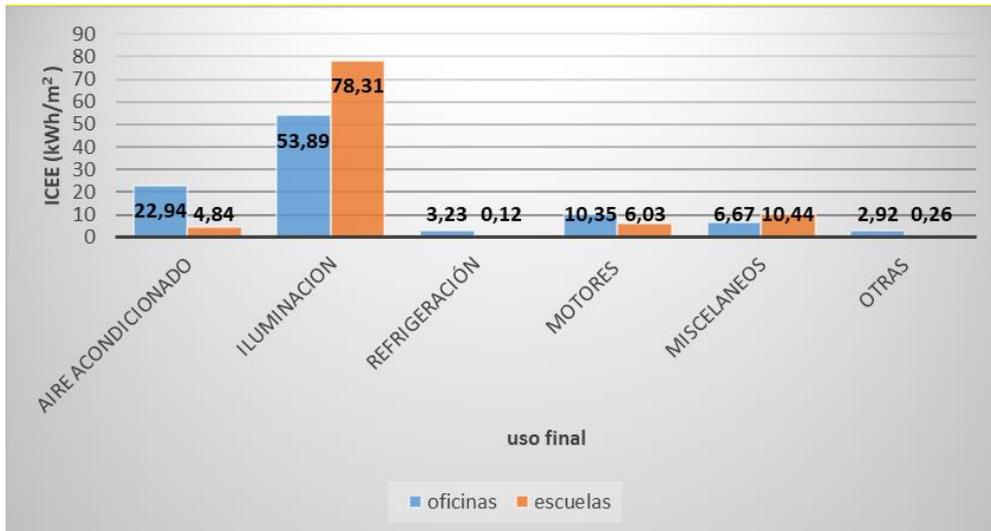


Fig. 4 Valores de ICEE promedio en zonas templadas. Fuente [29]

En los datos se puede observar que para zonas templadas el uso final de mayor consumo es la iluminación.

Al año siguiente en 2012, Toral [30], presenta los ICEE de varias escuelas primarias dentro de la Ciudad de México, pero no se desagrega los valores de ICEE por usos finales. El ICEE promedio calculado en el estudio fue de 51.57 kWh/m² al año.

En 2014, Escobedo et al. [31] realizaron un estudio donde estimaron el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero para los edificios del campus principal de la UNAM. En este estudio se empleó una auditoría energética de nivel 1¹ y cuando fue posible nivel 2² a una muestra representativa del campus. En el estudio se encontraron los principales consumidores y se establecieron escenarios que propiciarían un ahorro a partir de la inclusión de un sistema híbrido.

¹ Auditoría energética nivel 1 (Diagnóstico energético): se basa en el análisis de facturas energéticas, mínimo un año, y de la revisión de formularios.

² Auditoría energética nivel 2: consiste en un análisis detallado del uso de la energía desglosando las cargas principales e identificando las medidas de ahorro que cumplen los requerimientos del cliente. Se elabora un balance energético y finalmente se listan las medidas de ahorro energético con costos y beneficios estimados.

Resumen del capítulo

Los estudios que toman en cuenta los indicadores energéticos son ampliamente empleados en el mundo entero. La utilidad de estos es amplia y permiten conocer el comportamiento de los sistemas e identificar donde implementar las medidas de ahorro. En México también han sido empleado los indicadores para cuantificar la eficiencia energética y como parte de los estudios poder planificar correctamente las políticas. Amplios han sido los estudios tanto a nivel internacional como nacional, sin embargo, como la sociedad continúa en constante evolución así se debe continuar con el monitoreo de las edificaciones y comprobar que se mantienen dentro del rango de eficiencia deseado.

2. Consumo de energía

La matriz energética mundial ha experimentado cambios a través de los años. En sus inicios (antes de 1800) se mantuvo estable pues se consumía básicamente biocombustibles tradicionales y en una pequeña parte del mundo (principalmente Inglaterra) se consumía un poco de carbón. No es hasta la década de 1870 cuando se comienza a diversificar y aparecen los primeros consumos de petróleo (1^{ra} Revolución Industrial), años más tarde comienza el consumo del gas natural y la hidroelectricidad.

Ya para el año 1910, el consumo de carbón era más de la mitad del consumo global. En la década de 1960 ocurren dos cambios significativos, el primero es la introducción de la energía nuclear a la matriz energética mundial y el segundo es que el petróleo pasa a ser el mayor energético consumido a nivel mundial para mantenerse en la cima hasta la actualidad [32].

Si se analiza la gráfica de Consumo Global de Energía Primaria (Fig. 5) es posible notar ciertos períodos de disminución en el consumo mundial de energéticos, que están localizados alrededor de los años 1973, 1982 y 2009. Estos períodos estuvieron matizados por una disminución del consumo debido a diversas causas. Por ejemplo, en 1973 la crisis estuvo dada por un aumento desproporcionado del precio de barril de petróleo a causa de la guerra entre Israel por un lado y Egipto y Siria por el otro, con un trasfondo de enfrentamiento entre los Estados Unidos de América (EUA) y la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS). Este enfrentamiento provocó que la Organización de Países Productores de Petróleo (OPEP) que se encontraba dominada principalmente por países del oriente medio subieran los precios del petróleo. De igual manera ocurriría en el año 1979 llegando al pico en 1982 (altos precios y bajo consumo) y en 2008 con un pico en 2009, estos aumentos de los precios estuvieron dados por conflictos en los países del oriente medio [33] [34].

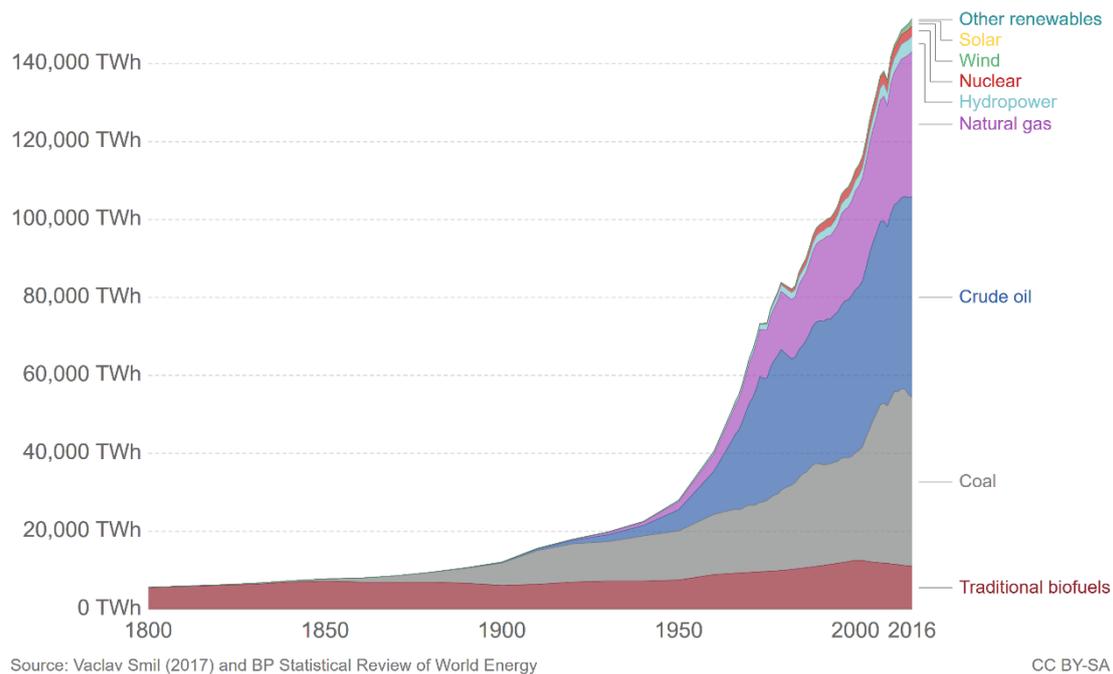


Fig. 5 Consumo Global de Energía Primaria. Tomado de [32]

Actualmente, a pesar de la diversificación de las fuentes primarias de energía y de la matriz de generación, el petróleo y sus derivados siguen siendo el energético primario de mayor consumo. No obstante, se hará énfasis en la demanda de electricidad y sus principales consumidores, ya que el consumo de electricidad es el que más rápido se ha incrementado en los últimos años.

2.1. Consumo de energía eléctrica mundial

La generación eléctrica es directamente proporcional a la demanda y por ende al consumo, por lo que mientras más electricidad se consume más hay que generar para satisfacer la demanda. Según los datos de la IEA [35] el consumo de energía global en el 1990 fue de 10,901.84 TWh y para el 2016 fue de 23,106.86 TWh, en 26 años creció más del doble (ver Fig. 6).

Total electricity consumption
World 1990 - 2016

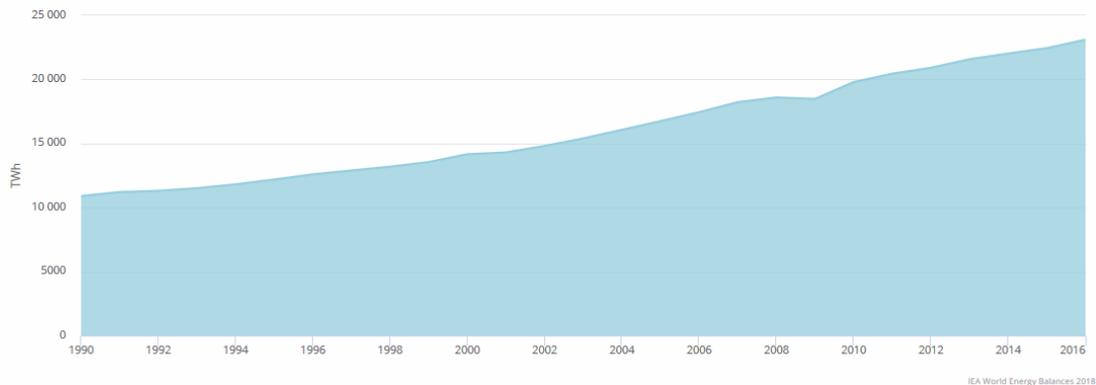


Fig. 6 Consumo de energía eléctrica global. Tomado de [35]

El aumento de la demanda puede ser por diversas causas, ya sea por la urbanización, la electrificación de regiones antes no electrificadas, el crecimiento demográfico o mayor acceso a tecnologías que usan electricidad. Si embargo, es un hecho que la demanda seguirá aumentando a pesar de los esfuerzos por emplear tecnologías más eficientes.

Es importante identificar los sectores consumidores de electricidad que, según la base de datos de la IEA [36], son: Industria, Transporte, Residencial, Comercial y Servicios Públicos, Agricultura, Pesca y Otros.

Para el 2016 el principal consumidor de electricidad a nivel global fue el sector industrial con un 41% del total, seguido del sector residencial con un 27% y el sector comercial y público con un 22% del consumo total de electricidad (ver Fig. 7).

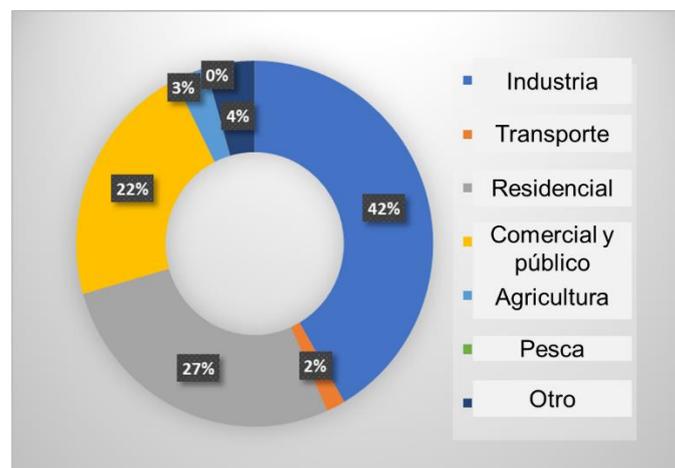


Fig. 7 Consumo de electricidad mundial por sectores. Fuente: elaboración propia con datos de [36]

Se puede observar la importancia del sector comercial y público en el consumo de electricidad, de ahí el impacto que tienen las políticas o programas enfocados a este sector.

Los edificios se encuentran en este sector y son de vital importancia ya que según la IEA son los responsables del 30% del consumo final de energía y del 55% del consumo de electricidad.

Dentro de esta matriz global México juega un papel importante, siendo el 16to país de mayor consumo de electricidad según datos de la Agencia Central de Inteligencia de los EUA. (CIA) [37].

2.2. Consumo de energía en México

A pesar del esfuerzo por diversificar las tecnologías de generación eléctrica y de los compromisos internacionales, el petróleo y sus derivados siguen siendo la principal fuente de generación de energía eléctrica. Según el balance nacional de energía de México del 2017 más del 80% de la electricidad se genera mediante combustibles fósiles como se muestra en la Fig. 8.

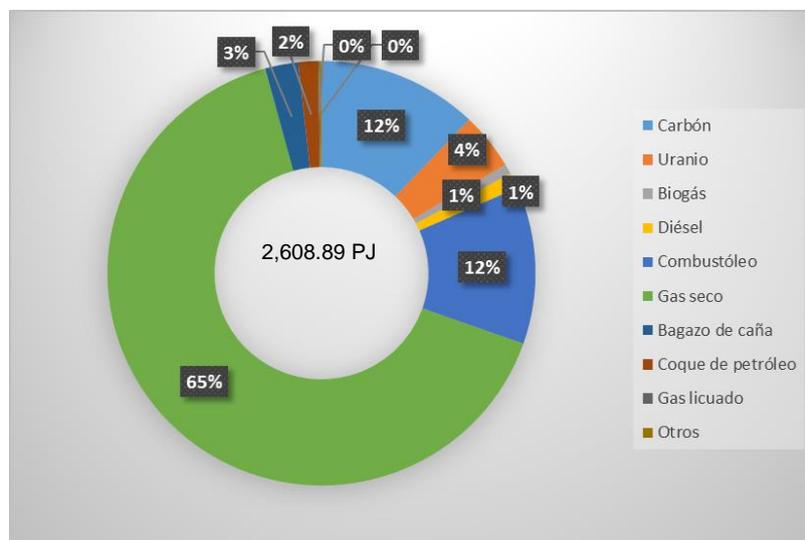


Fig. 8 Generación de electricidad por tipo de combustible. Datos tomados de [38]

Por otro lado, el consumo de electricidad del país ha aumentado en un 30 % en la última década, y los sectores consumidores de energía eléctrica en México son: transporte; industrial; residencial, comercial y público; y agropecuario y pesca.

Consumo de Energía

Como consumidor de energía primaria el sector residencial, comercial y público es el tercero de mayor impacto en el país, sin embargo, es el segundo en consumo de electricidad con un 35% después del sector industrial (ver Fig. 9) [38].

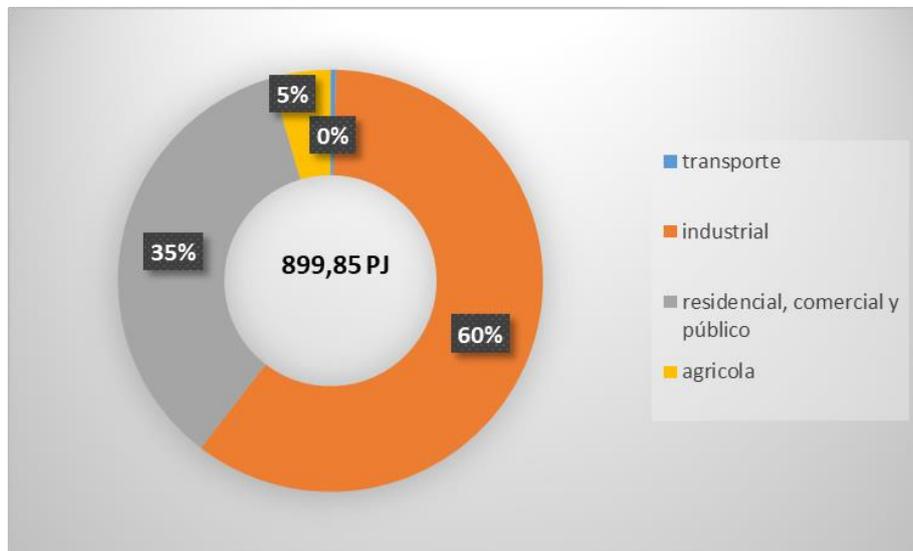


Fig. 9 Consumo de electricidad por sectores. Fuente: elaboración propia con datos tomados de [38]

Es importante destacar la distribución del consumo de energía dentro del sector residencial, comercial y público (ver Fig. 10, los datos se encuentran en PJ).

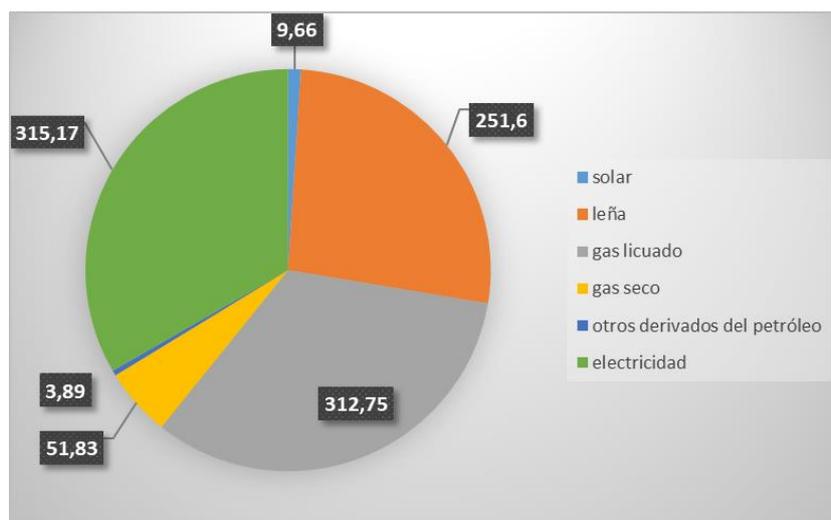


Fig. 10 Consumo de energéticos del sector Residencial, comercial y público. Fuente: elaboración propia con datos tomados de [38]

Como se observa en la Fig. 10, la electricidad es el energético de mayor importancia dentro de este sector, puesto que la gran mayoría de los equipos o sistemas que se emplean funcionan con corriente.

Según el INEGI [39] el 78% de la población mexicana se encuentra en regiones urbanas, por lo que las principales actividades económicas y sociales se realizan en las ciudades. En éstas se encuentran concentraciones de edificios donde habitan y trabajan las personas, los cuales se caracterizan por ser grandes consumidores de energía eléctrica.

Los edificios se dividen en residenciales y comerciales. Estos últimos se clasifican en función de la actividad económica que realizan en: Hospitales, Hoteles, Escuelas, Restaurantes, Oficinas, Tiendas y Centros comerciales.

2.3 Usos finales de electricidad en edificios comerciales

Es importante identificar correctamente los usos finales de la energía para poder diagnosticar donde se encuentra el potencial de ahorro e implementar medidas específicas, ya que cualquier cambio dentro de una instalación conlleva gastos y no se deben de hacer sustituciones innecesarias.

Los usos finales de electricidad en los edificios comerciales se clasifican en 6 grupos [29].

Aire acondicionado

Está constituido por los sistemas y equipos dirigidos a acondicionar el aire dentro de un local o espacio. Son los responsables de mantener la calidad del ambiente regulando temperatura (calefacción o refrigeración), humedad, circulación de aire y limpieza. Se caracterizan por ser equipos altamente consumidores de electricidad. Se diseña el sistema de aire acondicionado dependiendo del tipo de edificio y de las necesidades del espacio que se quiere ambientar.

Iluminación

La iluminación artificial es de vital importancia para el confort visual de los ocupantes. En los edificios se puede clasificar en iluminación interior y

exterior. El consumo energético para la iluminación varía en dependencia de las actividades que se realizan.

Existe una tendencia de usar iluminación natural sin embargo esto no siempre es factible ni posible puesto que hay actividades nocturnas, edificaciones que no cuentan con iluminación natural, puede afectar la actividad que se realiza, e incluso aumentar el consumo eléctrico, ya que aumentar los ventanales o domos para que entre la luz natural afecta la temperatura del local y se consume más en climatizar el espacio.

Refrigeración

Son equipos destinados a refrigerar principalmente alimentos, sin embargo, existen edificios que por su actividad lo ocupan en otras necesidades ya sea en laboratorios o la morgue. Estos equipos pueden ser desde un refrigerador común hasta cámaras de refrigeración, las cuales se emplean principalmente en centros comerciales, restaurantes, y hospitales donde necesitan refrigerar grandes volúmenes.

A diferencia de la iluminación, Son equipos con baja tasa de saturación lo cual significa que no está presente en la mayoría de los locales, pero son altamente consumidores.

Cómputos y Misceláneos

Las computadoras son cada vez más comunes en la vida diaria y para casi cualquier actividad, este uso final agrupa a todos los equipos de cómputo instalado incluyendo servidores, impresoras y escáner, monitores, CPU y baterías de respaldo.

Se entiende por misceláneo a aquellos equipos de uso variado que pueden encontrarse en cualquier local, como sacapuntas, cafeteras, ventiladores, sistema de filtrado de pecera, televisores, bocinas entre otros.

Motores

Estos son equipos cuyo uso depende del tipo de edificio por lo que no son muy empleados. Sin embargo, su alto consumo hace que sean importantes. Dentro de esta clasificación se encuentran los motores de los

elevadores, las bombas de agua o compresores, presurizadores, motores de puertas automáticas, etc.

Otros

Son equipos especiales difíciles de agrupar por sus características, ya sean equipos especiales de hospitales o laboratorios o de otro tipo de edificio.

2.3.1 Influencia del clima en el uso final de electricidad

El clima es uno de los factores que más afecta el consumo de electricidad, ya que las tecnologías de uso final varían en dependencia de la región del país en que se localiza el edificio.

En las zonas costeras o los estados del norte la mayor parte del consumo es por uso de aire acondicionado para la refrigeración de los locales debido a las altas temperaturas y la humedad. Mientras que en las regiones frías se utilizan estos equipos para la calefacción.

Por otro lado, en las regiones más frescas como la Ciudad de México es la iluminación la que juega un papel crucial en el consumo final. Los sistemas de aire acondicionado sólo se emplean para lugares específicos que por su actividad lo requieren, por eso a pesar de su alto consumo no son representativos en estas regiones.

2.4 Consumo de electricidad en el campus universitario

Dentro del sector comercial se encuentra los edificios educacionales incluyendo los de campus universitarios. Estos complejos se identifican por tener edificios destinados a salones de clases, oficinas, laboratorios, bibliotecas, espacios deportivos, comedores y almacenes o combinaciones de éstos.

Ciudad Universitaria es el campus universitario de mayor área dentro de la Ciudad México y se compone de todos los espacios mencionados.

2.4.1 Suministro de corriente

La Ciudad Universitaria se abastece mediante 7 acometidas, las cuales reciben la energía eléctrica a media tensión de 23,000 kV, que a su vez se distribuye a subestaciones, las cuales reducen el voltaje a baja tensión y son los encargados de abastecer todos los edificios e instalaciones. La capacidad de estas estaciones es por demanda contratada.

Subestación 1, Ciudad Universitaria. Es una subestación general con capacidad nominal de 15 MVA. Alimenta a toda la zona de facultades del trazo original de CU y la zona de Anexos, por medio de 82 subestaciones derivadas que suministran la energía adecuada para la operación de las diferentes entidades y dependencias de esa zona. Se ubica sobre el circuito vial denominado Exterior, a un costado de la Escuela de Trabajo Social con un consumo³ promedio de 2,300,000 kWh mensuales en los últimos años.

Subestación 2, Dirección General de Obras y Conservación. Tiene una capacidad nominal de 13 MVA, para alimentar por medio de 26 subestaciones derivadas, a los edificios de la zona de institutos de investigación. Se encuentra en el circuito vial denominado Escolar a un costado de la Facultad de Psicología, durante los últimos años tuvo un consumo mensual de 2,800,000 kWh mensuales.

Subestación 3, Zona Cultural. No cuenta con transformador y la acometida va directa al seccionador. Es una estación de medición que distribuye internamente al circuito denominado Zona Cultural, a 23 kV por medio de 11 subestaciones derivadas. Se ubica en el circuito centro cultural cerca de Av. del Imán y el local de registro con un consumo promedio de 820,000 kWh mensuales.

Subestación 4. La acometida va directa al seccionador, no cuenta con transformador y suministra al edificio de Biomédicas y otras. Se ubica en el circuito Mario de la Cueva cerca del Instituto de

³ Se refiere al consumo que se registra en cada subestación, los cuales se corresponden a los usuarios finales que se alimentan de cada una de las subestaciones correspondientes.

Investigaciones Biomédica y posee un consumo promedio de 600,000 kWh mensuales.

Subestación 5. La subestación UNAM Coordinación Asuntos Laborables, localizada en el circuito Escolar al norte del Estadio Olímpico Universitario en la Coordinación de Asuntos Laborables, se encuentra funcionando desde mediados del 2015 con un consumo promedio de 120,000 kWh mensuales.

Subestación 6. Similar a la subestación 5, funciona desde mediados del 2015. Se ubica en el circuito Escolar al norte del Estadio Olímpico Universitario dentro de la Coordinación de Asuntos Laborables. Con un consumo promedio de 75,000 kWh mensuales.

Subestación 7. La SG 7 es la más reciente, comenzó a trabajar en 2017 y se ubica en el circuito centro cultural, a un costado de la Hemeroteca Nacional con un consumo promedio de 620,000 kWh mensuales.

2.4.2 Consumo Eléctrico

Hasta el 2018 la tarifa eléctrica que le correspondía a la UNAM era la horaria en media tensión (HM), a raíz de los cambios realizados con la reforma energética pasó a ser Gran Demanda en Media Tensión Horaria (GDMTH). En esta tarifa se cobra por: un cargo fijo, cargo por distribución, cargo por capacidad y cargo por el consumo horario, es decir, si se consume en horario pico, intermedio, o base. La Tabla 1 muestra los horarios que se consideran base, intermedio punta para la región central en los horarios de verano y de invierno según [36].

Tabla 1 Horarios base, intermedio y punta para la región central

Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre			
Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	0:00 – 6:00	6:00 – 20:00 22:00 – 24:00	20:00 - 22:00
sábado	0:00 – 7:00	7:00 – 24:00	
Domingo y festivo	0:00 – 19:00	19:00 – 24:00	

Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril			
Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	0:00 – 6:00	6:00 – 18:00 22:00 – 24:00	18:00 – 22:00
sábado	0:00 – 8:00	8:00 – 19:00 21:00 – 24:00	19:00 - 21:00
Domingo y festivo	0:00 – 18:00	18:00 – 24:00	

Los usos finales de la electricidad en el Campus de la UNAM son los que se mencionaron con anterioridad: iluminación, aire acondicionado, cómputos y misceláneo, refrigeración, motores y otros. La utilización de estos usos varía en función del tipo de edificio, pero sigue siendo la iluminación el de principal consumo.

Como se mencionó anteriormente la tarifa de la UNAM es horaria por lo que el consumo se diferencia según la hora. La siguiente figura muestra el comportamiento del consumo mensual en el horario base durante el período 2014 al 2018 (ver Fig. 11)

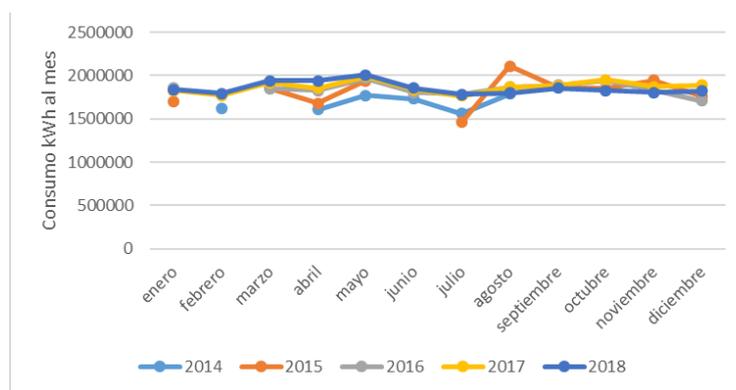


Fig. 11 Consumo de electricidad de CU en horario base. Elaboración propia⁴

En la Fig. 11 se observa que en el horario base el consumo se mantuvo entre 1,500,000 kWh y 2,000,000 kWh mensuales; es el período en el que más estable se mantiene el consumo y no se aprecia un cambio sustancial entre los horarios de verano e invierno. Esto se debe a que en este horario lo que se

⁴ Datos obtenidos de las tarifas eléctricas del periodo 2014-2018 de las subestaciones

encuentra consumiendo energía son los equipos para el funcionamiento básico de la UNAM, es decir, iluminación exterior, servidores entre otros.

En comportamiento del consumo en el horario intermedio se muestra en la Fig.12.

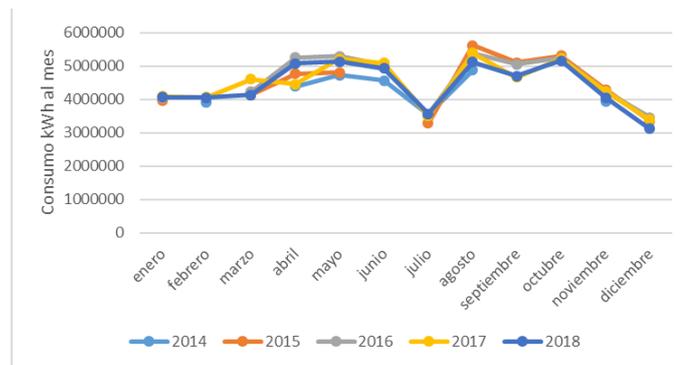


Fig. 12 Consumo de electricidad de CU en horario intermedio. Elaboración propia⁵

Durante el horario intermedio se comportó entre los 3,000,000 kWh y 6,000,000 kWh mensuales, en éste se observan mínimos de consumo en julio y diciembre que coinciden con las vacaciones administrativas del campus. Se aprecia un mayor consumo en los meses de horario de verano respecto a los meses de invierno, esto puede ser porque en el horario de verano se considera 16 horas de consumo intermedio mientras que en horario de invierno se tienen 14 horas de consumo (ver Tabla 1).

El consumo en las horas pico se muestra en la siguiente Fig. 13.

⁵ Datos obtenidos de las tarifas eléctricas del periodo 2014-2018 de las subestaciones

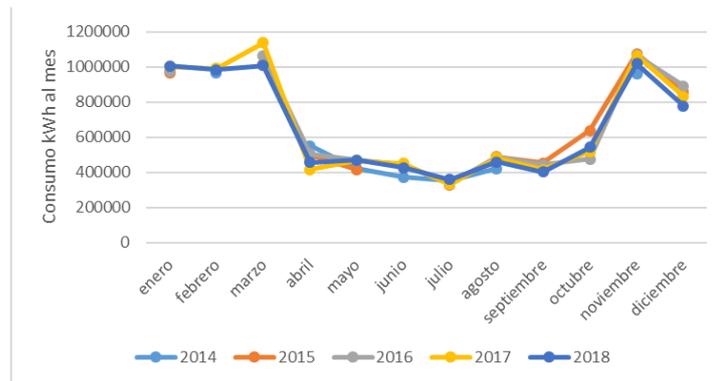


Fig. 13 Consumo de electricidad de CU en horario punta. Elaboración propia⁶

En el horario pico el consumo fue de aproximadamente 400,000 kWh a 1,200,000 kWh mensuales. Tiene un comportamiento diferente al consumo en horario intermedio, ya que los meses que más se consume son en los meses de invierno, en parte se debe a que en los meses de invierno el horario pico es de 4 horas mientras que en los meses de verano sólo se consideran 2 horas. Por otro lado, durante los meses de invierno oscurece temprano, por lo que las actividades docentes aún continúan cuando se suma la carga de iluminación exterior, horario que coincide con el pico ya que es de 18:00 a 22:00 hrs, situación que no ocurre en los meses de verano ya que el horario pico comienza a las 20:00 hrs y termina a las 22:00 hrs, en este horario son pocas las actividades docentes y administrativas. En los meses de invierno se observa un consumo mínimo en diciembre, el cual es debido a que es un mes de vacaciones.

En el periodo del 2014 al 2018 la UNAM mantuvo un consumo promedio mensual de 652,649.57 kWh, para un consumo promedio anual de 7,475,733.3 kWh en los últimos 3 años, lo cual equivale a un pago de \$140,615,232 pesos al año.

Esto lleva a la conclusión de que el horario de mayor consumo es durante el período intermedio, lo cual tiene sentido ya que durante este horario es donde se efectúa la mayor cantidad de actividades del centro. Se observa como disminuye el consumo en el mes de julio que corresponde al periodo vacacional, que no se observa tan marcado en otros horarios.

⁶ Datos obtenidos de las tarifas eléctricas del periodo 2014-2018 de las subestaciones

Resumen del capítulo

De acuerdo con lo expresado en este capítulo la matriz energética mundial ha atravesado diversos cambios, todos ellos con una gran influencia de los avances tecnológicos. El consumo de electricidad a nivel global está centrado en el sector industrial seguido por los sectores residencial y comercial y público. En México, el mayor consumidor de electricidad es el sector industrial seguido por el sector residencial, comercial y público.

Los edificios son de los principales consumidores de energía en las ciudades, entre los que se encuentran los educacionales como los de la Ciudad Universitaria. Los principales usos finales de la energía en estos edificios son iluminación, cómputo, aire acondicionado, refrigeración, motores y misceláneos. El consumo en el campus universitario de la UNAM se ha comportado de manera similar durante los últimos años.

3. Eficiencia energética en México

En 1972 se celebró la cumbre de la Tierra en Estocolmo con la participación de 113 países. En la misma se sugirió a los países que se debían incluir las recomendaciones y principios (resultados de la cumbre) en sus proyectos de ley [40].

A partir del año 1972 en USA se inició un proceso de reformas de políticas energéticas [40] al igual que en Europa. Mientras que en Asia ocurría un fenómeno de expansión económica debido a su mercado abierto, por lo que el consumo de energéticos en el área aumentó de manera constante [41].

Sin embargo, no fue hasta la primera crisis energética de 1973 que el mundo notó la imperiosa necesidad de implementar nuevas políticas energéticas [34] [42] [41].

México no fue ajeno a estos problemas por lo que ha desarrollado varios programas de eficiencia energética que han servido como base y ejemplo incluso para otros países. Algunos de estos programas se centran en edificios comerciales debido a la importancia de estos como grandes consumidores.

3.1 Programas de Eficiencia Energética en México

En el 1980 surge el Programa Nacional para el Uso Racional de Energía Eléctrica (PRONUREE) como uno de los primeros intentos del país para el ahorro de energía eléctrica. El mismo tenía como objetivo la divulgación de información y la concientización del ahorro de energía [43].

En 1989 surge la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) que fungía como el órgano técnico de consulta de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal (APF), el cual pasa a ser el pilar de todos los programas posteriores referentes a eficiencia energética.

Uno de los primeros programas exitosos implementados en el país dirigidos al ahorro energético fue el programa de Fideicomiso Para Aislamiento Térmico en 1990 (FIPATERM) el cual fue consecuencia de las altas facturas

eléctricas que pagaban la población de Mexicali y Baja California. Este programa consistió en proporcionar financiamiento para el aislamiento térmico de techos en edificios de alto consumo. FIPATERM tuvo repercusiones positivas por su éxito, además de servir como línea base a programas futuros.

En ese mismo año se instituye el fideicomiso (FIDE), a raíz de la problemática internacional de la crisis petrolera, como parte de las políticas públicas del gobierno. FIDE a lo largo de su vida ha realizado exitosos programas nacionales e internacionales en el ámbito de la eficiencia energética tanto en el sector residencial como el industrial [44].

El Programa Universitario de Energía (PUE) comenzó en el 1982 con la misión de desarrollar áreas multidisciplinarias de investigación, así como formar personal capacitado para contribuir a la solución de problemas relacionados con la generación, distribución y utilización de energía. En las memorias de la UNAM del 1994 quedaron registrados los aspectos más relevantes del PUE por medio de subprogramas dirigidos por éste. Entre las acciones realizadas se encuentra la realización de diagnósticos energéticos en 525 edificios de 95 dependencias universitarias; con reportes, recomendaciones y asesoría a las dependencias ubicadas en los edificios diagnosticados; además de realizar un seguimiento del impacto de las recomendaciones. Éstas y otras acciones realizadas permitieron la capacitación de personal vinculados al proyecto.

Otro de los programas implementados con éxito fue ILUMEX que comenzó en 1995 y se apoyó en el éxito de FIPATERM y otros proyectos pilotos de cambio de luminarias. Este último proyecto tuvo impactos medidos en la reducción del consumo eléctrico y sirvió de impulsor para réplicas en otros países [45] [46].

En ese mismo año se entrega el primer informe de gobierno con la política energética del 1995. En el mismo se recogen todos los avances que ha tenido el sector de la energía en México y su situación actual hasta ese año. Se reconoce el papel de la CONAE en el Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE) apoyado por FIDE donde se elaboran y promueven estudios de investigación y proyectos sobre ahorro de energía, estructuras de costos, precios y tarifas [47]. Este programa se mantiene en la actualidad y

para el 2017 llevaron a cabo 64 proyectos de ahorro y eficiencia energética, principalmente de equipos de aire acondicionado [48].

Más adelante, en el año 1996, se crea por parte de la CONAE el programa de "Cien edificios públicos" dirigido principalmente a hospitales, oficinas administrativas y escuelas. El objetivo del programa era implementar las experiencias adquiridas en la elaboración de diagnósticos energéticos y mejorar las opciones de ahorro en dichas instalaciones de acuerdo con los resultados [51].

En el año 1998 la Secretaria de Hacienda y Créditos Públicos impulsa un programa de ahorro de energía en inmuebles, el cual entraría en vigor en 1999, se nutriría de la experiencia del programa "Cien edificios públicos". El objetivo consistía en reducir el consumo de electricidad en los inmuebles pertenecientes a la APF bajo una premisa de austeridad presupuestal [51].

En 2008 se creó un proyecto conjunto entre la Agencia Internacional de Energía y la Secretaría de Energía, denominado "Fortaleciendo los Indicadores Energéticos en México". Producto de este proyecto se emplearon y evaluaron toda una serie de indicadores a nivel nacional. Se implementaron indicadores para el sector del transporte, la industria y el sector primario, sector residencial, generación de electricidad y el sector de servicio y comercio. Según el sector analizado fue el indicador seleccionado. Para el sector de servicio y comercio los indicadores empleados fueron consumo de energía por usos finales, intensidad energética por unidad de Volt-Ampere (VA) y consumo energético por área construida en m². El proyecto valió como escenario base para la estimación del consumo energético además de establecer líneas de acción para mejorar dichas estimaciones [49] [50].

3.2 Programa de Administración Pública Federal

Dentro de los programas exitosos realizado por la CONUEE para edificios y que se mantienen en la actualidad se encuentra el de la APF el cual funciona desde el 1998.

Los objetivos del APF son: “Establecer niveles mínimos de eficiencia energética en términos de índices de consumo de energía eléctrica, con que deben cumplir las oficinas públicas de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal” y Establecer los requisitos de registro de las oficinas públicas pertenecientes a la Administración Pública Federal, así como de sus consumos de energía eléctrica, con el fin de verificar su cumplimiento.

En un inicio el programa estaba dirigido a los edificios de la administración pública federal, y por sus resultados e impactos se decidió incorporar las flotas vehiculares e instalaciones industriales.

Algunos de los logros obtenidos en el periodo de 2013 al 2016 son:

- Automatización del proceso de captura de la información al incluir la transferencia electrónica de consumo de energía por parte de la CFE.
- Inclusión de la obligación de capacitación en temas de ahorro de energía y sistemas de gestión de energía para los operadores y responsables de inmuebles, flotas vehiculares e instalaciones industriales.
- Metas de ahorro de energía para edificios de oficina con base en índice de consumo de energía que contemplan la zona climática donde se encuentre el inmueble y la utilización o no de acondicionadores de aire.
- Metas de ahorro de energía para inmuebles de otros usos (diferente a oficinas)
- Obligación de implementar los SGEN de acuerdo con las especificaciones de cada rubro participante.

Según el último informe publicado [52] por la CONUEE las obligaciones para los inmuebles de uso de oficina fueron de reducir en un 3% el ICEE, si el valor obtenido en 2016 fue mayor igual al ICEE establecido previamente por zonas climáticas. Si es de menor valor, la meta es de mantener al menos el mismo consumo. Mientras que para los inmuebles de otros usos distinto a oficina la meta fue de reducir en al menos 3% su consumo de energía respecto al 2016 si incrementaron su consumo de energía, y si el consumo se mantuvo igual la meta es mantenerse.

3.2.1 Resultados del programa obtenidos durante 2017 en los inmuebles de la APF

En 2017 de los 4,230 inmuebles registrado se le dio seguimiento a 1,626 equivalente a 5,388 edificios entre oficinas y otros usos, ya que no se consideró los inmuebles dados de bajas, los que tenían falta de información ni los que tenían incremento de consumo o ahorros elevados.

En 2017 el ICEE promedio registrado en los inmuebles fue de 68.33 kWh/m² al año con un ahorro de 28.88 GWh de energía eléctrica respecto al 2016. La Tabla 2 muestra el cumplimiento de los objetivos del 2017 para los inmuebles.

Tabla 2 Cumplimiento de metas de ahorro de inmuebles.

Concepto	Cumplimiento de metas de ahorro de energía eléctrica			Total
	Si cumplieron	No cumplieron	No se evaluaron	
Inmuebles	949	524	153	1,626
Edificios	3,181	1,630	577	5,388
Área construida (millones de m ²)	7.00	3.54	0.93	11.47
Consumos de energía eléctrica 2016 (GWh/año)	454.75	294.97	63.13	812.8
Consumo de energía eléctrica 2017 (GWh/año)	418.95	302.21	62.81	783.9
Consumo de energía eléctrica 2017 por inmueble (GWh/año)	0.44	0.58	0.41	0.48
Consumo de energía eléctrica 2017 por edificio (GWh/año)	0.13	0.19	0.11	0.15
ICEE 2017 (kWh/m ² .año)	59.84	85.37	67.37	68.33
Ahorros de energía eléctrica 2016-2017(GWh/año)	35.80	-7.23	0.31	28.88
Equivalente económico del ahorro de energía (millones de pesos/año)	66.97	-13.50	0.59	54.06

De la Tabla 2 se puede concluir que el 32% (1,630 edificios) de los inmuebles evaluados no cumplieron con las metas de ahorro del 2017. No obstante el ahorro fue de 35.80 GWh/año en los edificios que si cumplieron con las metas, equivalente a 66.97 millones de pesos en el año.

Otro de los resultados del informe fue que ningún inmueble con aire acondicionado rebasó el ICEE establecido por zonas climaticas, sólo los inmuebles de la region climática 3C (Ver [Anexo 1](#)) que no usan aire acondicionados superaron el ICEE máximo en un 1%.

La mayor cantidad de inmuebles que participaron en la evaluación se encuentran en la zona térmica 3A la cual incluye a la Ciudad de México. El ICEE promedio de esta región fue de 66.18 kWh/m² al año.

3.3 Programa Base de Indicadores de Eficiencia Energética

Otro de los programas exitosos que se están realizando en el país es “Base de Indicadores de Eficiencia Energética” (BIEE), el cual fue lanzado por la CEPAL en 2011. Es un proyecto dirigido a los países de Centroamérica y el Caribe con el objetivo de desarrollar indicadores que evalúen las políticas y programas de eficiencia energética. México se incorpora en 2013 durante el primer taller de trabajo para los países de Mesoamérica, y la CONUEE funge como representante ante la CEPAL. En el informe del 2018 [53] se evaluaron las tendencias del consumo de energía por sectores y mediante indicadores de eficiencia energética se lograron analizar los impactos de las acciones y políticas de eficiencia energética que se han realizado en el país en las últimas dos décadas.

Una conclusión significativa de este informe [53] es que los sectores de consumo final que presentan una reducción de su intensidad energética son aquellos en los que las políticas públicas de eficiencia energética han influido.

Resumen del capítulo

En México se han realizado diversos programas exitosos en la temática de eficiencia energética en edificios comerciales. Se cuenta con experiencia de más de dos décadas de trabajo e información para seguir mejorando en esta materia.

Es importante destacar que el país no tiene normalizado ningún indicador de consumo energético, aunque, el indicador de consumo empleado en los informes y reportes de los programas nacionales de ahorro y eficiencia energética es ICEE.

4. Indicadores energéticos

Se ha hablado de eficiencia energética e indicadores, estos dos elementos se encuentran íntimamente entrelazados. En capítulos anteriores han sido mencionados los indicadores debido a esta misma relación. Pasemos entonces a conocer más profundamente en qué consisten.

En el año 1995 [2] [54], la Comisión para el Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas en conjunto con el Departamento de Economía de Asuntos Sociales de las Naciones Unidas comenzaron a trabajar en un conjunto de indicadores globales para el desarrollo sostenible (IDS). Se obtuvieron como resultado un conjunto de 58 indicadores de desarrollo sostenible, de los cuales solamente 3 se encontraban relacionados con la energía. Estos indicadores se encontraban dentro de los indicadores económicos, que son Consumo Anual de Energía per Cápita, Intensidad de Consumo de Energía y Participación del Consumo de Energías Renovables [55]. Para reforzar estos esfuerzos la Agencia Internacional de Energía Atómica inició un programa de larga duración dirigido a los indicadores energéticos de desarrollo sostenible en el año 1999, en cooperación con varios organismos internacionales. El proyecto se desarrolló en dos partes. La primera parte (1999-2001) arrojó 41 Indicadores Energéticos de Desarrollo Sostenible (IEDS) y fueron identificados los marcos teóricos para clasificarlos e implementarlos. Luego en la segunda parte de dicho programa se implementaron los IEDS en 7 países como parte de un proyecto de investigación de 3 años de duración [54].

También se crearía la norma ISO50001 la cual ha sido adoptada por países como Alemania, Chile, Reino Unido, Italia entre otros. La ISO especifica los requisitos que debe tener un Sistema de Gestión Energética (SGE), además establece el procedimiento sistemático que se debe seguir, basado en datos y hechos, para mejorar continuamente el rendimiento energético de un equipo, sistema u organización. La implementación de esta ISO permite a las organizaciones ser eficientes energéticamente y por ende más competitivas además de ayudar a cumplir con las metas globales de mitigación del cambio climático [56].

Para lograr implementar esta norma es necesario conocer sobre el resto de las normas de la familia ISO 50001, como son la norma ISO 50002 que enuncia los principios, los procedimientos comunes y las guías para la conformación de las auditorías energéticas. Como complemento a esta última norma está la ISO 50003 donde se describen los requerimientos de los organismos encargados de las auditorías y certificaciones de sistemas de gestión energética. La ISO 50004 establece una guía para la implementación, mantenimiento y mejora de un sistema de gestión de energía (SGE) y la ISO 50006 proporciona a las organizaciones una guía sobre como cumplir los requisitos de un SGE por medio de indicadores energéticos. Esta última norma establece la línea base (LB) y los indicadores energéticos que se deben tener en cuenta para medir la eficiencia. La LB es la referencia sobre la cual se puede comparar los cambios realizados en un período determinado, mientras que los IE se emplean para cuantificar los resultados del uso, el consumo y la eficiencia energética [57] y resulta importante para el desarrollo del presente trabajo por el empleo de los indicadores. La familia de normas relacionadas con la eficiencia energética no se limita sólo a las mencionadas con anterioridad, sino que continúan en constante expansión a medida que aumentan los requerimientos de la sociedad humana. Entre las otras normas de esta familia se encuentran la ISO 50007 que establece las guías para la evaluación y mejora del servicio energético a los usuarios. En la ISO 50015 se establecen los principios generales y guías para la medición del desempeño energético de las organizaciones y la ISO 50047 es la encargada de definir cómo se determinan los ahorros en las organizaciones e intrínsecamente relacionada con ésta se encuentra la ISO 17741 que enuncia las reglas generales para calcular el ahorro de los proyectos. Luego la ISO 17742 establece la forma de cálculo del ahorro para los países, regiones y ciudades. También se encuentran las normas ISO 17743, ISO/IEC13273-1 e ISO/IEC13273-2 donde la primera establece el marco teórico para cuando es posible aplicar los cálculos y reportes de ahorro energético, y las otras dos establecen las terminologías comunes internacionales tanto para la eficiencia energética como para las fuentes de energía renovable. Esta gran familia de normas permite implementar un SGE en organizaciones y emplean de manera activa los indicadores energéticos.

Los IE se dividen en 3 niveles según el grado de desagregación de la información. Los de nivel 1 que son más agregados, son sencillos de calcular ya que no necesitan información detallada, dan una idea general de la situación, sin embargo, pueden llevar a conclusiones erróneas. Ejemplo de un indicador de este nivel es el consumo final per cápita; que disminuya este indicador en el tiempo no necesariamente significa más eficiencia, habría que analizar los factores económicos, políticos y sociales desarrollados en ese período para tener una idea real de la evolución del indicador.

Los indicadores de nivel 2 son poco más desagregados que los de nivel 1, se necesita información desagregada a nivel de sectores. Da una idea más real de lo que está ocurriendo en el tiempo, sin embargo, no son suficientemente exactos, por lo que si un indicador no tiene valor deseado o indicado aun es insuficiente para detectar en que parte focalizar los esfuerzos. La ventaja es que no necesita muchos datos para generarlos. Ejemplo de estos indicadores es el consumo de energía del sector residencial por vivienda habitada.

Para poder establecer medidas focalizadas o lograr detectar donde se encuentra el potencial de ahorro dentro de una instalación o edificio es necesario desagregar lo más posible la información, estos son los indicadores del nivel 3. Para establecer estos indicadores se necesita toda la información de la instalación. Ejemplo de estos indicadores de consumo por tecnología de uso final, consumo de energía entre superficie para aire acondicionado, iluminación, misceláneos, cómputos, equipos especializados entre otros.

Para implementar medidas, programas o políticas de ahorro es necesario medir y establecer indicadores como puntos de referencias con los cuales comparar para determinar dónde aplicarlas y observar el potencial de ahorro [58]. Cuando se tiene el valor de referencia del indicador (ya sea por norma o por recomendación) se compara con el valor calculado, si el calculado es igual o menor que el de referencia la instalación funciona eficientemente, y si es mayor existe un potencial de ahorro por lo que se pueden establecer políticas y medidas que disminuyan el consumo de energía y por ende aumente la eficiencia energética [59] [60].

4.1 Factores que influyen en los IE de consumo en un edificio

Uno de los métodos empleados en la bibliografía para determinar los indicadores de consumo energético son modelos de regresión lineal. Los factores que se consideran que afectan el consumo de edificios educacionales son:

- Edad del edificio: en la estadística de varias investigaciones se tiene que mientras más antiguo es la edificación mayor es el ICEE.
- Clima: este factor influye principalmente en la tecnología de uso final. En los climas cálidos el consumo principal de electricidad es para aire acondicionado los cuales son equipos de alto consumo, mientras que, en las regiones templadas, como la ciudad de México, la iluminación tiende a ser la de mayor consumo en los edificios comerciales.
- Cantidad de habitantes: mientras más ocupantes tenga un edificio mayor es el consumo. Sin embargo, este factor es relativo, puesto que, si analizamos por uso final, para el caso de la iluminación, se consume lo mismo en una habitación con cinco personas que con dos.
- Horas de operación: si se considera dos edificios con las mismas condiciones y uno trabaja menos horas al año entonces consume menos energía.
- Comportamiento de los ocupantes: este es un factor subjetivo ya que depende de las prácticas de los trabajadores, la forma de evaluarlo sería por medio de encuesta y la información dependería de la honestidad del trabajador.
- Uso final de edificio: Dentro de los edificios educacionales existen diferentes usos finales, el consumo de un edificio que es destinado a oficinas y administración no es igual a los de aula ni a los destinados a laboratorio o biblioteca, debido a que las tecnologías de uso final que utilizan no son las mismas.

4.2 Evaluación comparativa

La evaluación comparativa (Benchmarking) es la práctica de comparar el rendimiento medido de un dispositivo, proceso, instalación u organización

consigo mismo, con sus similares o con el establecido por las normas, con el objetivo de informar y motivar la mejora del rendimiento. En el caso de un edificio, la evaluación comparativa sirve como mecanismo para ubicar el rendimiento energético del edificio en relación con otros edificios similares o con un edificio de referencia construido según un estándar específico. Es una herramienta útil para los propietarios y operadores de las edificaciones ya que evalúa oportunidades de mejora, además cuantifica y verifica el ahorro de energía [61].

Según Li, et al. [62], la evaluación comparativa se puede clasificar por su línea base en: rendimiento de edificios comparables antes del estudio, rendimiento actual de edificios comparables, rendimiento anterior del mismo edificio y funcionamiento previsto del mismo edificio. Las dos primeras líneas bases se emplean para estimular a los propietarios a implementar medidas de ahorro y las dos últimas se utilizan internamente para evaluar la evolución y darle seguimiento y monitoreo al consumo de energía.

4.3 Cálculo del Indicador

El indicador que se establece debe ser medible, comparable y representativo. Los indicadores de eficiencia energética usualmente empleados en edificios comerciales, además de recomendados por Horta [63], son los consumos específicos, los cuales se calculan normalizando el uso de energía por área, conocido como Uso de Intensidad Energética o Índice de Consumo de Energía Eléctrica (ICEE) medido en kWh/m² al año [59] el cual se ha citado con anterioridad.

Para el presente estudio se cuenta con una base de datos registrada por un periodo de más de un año del consumo general de los edificios en cuestión y del consumo por uso final.

Resumen del capítulo

Los indicadores energéticos son ampliamente empleados en la actualidad y constituyen una herramienta esencial para la evaluación de la

Indicadores Energéticos

eficiencia de los sistemas y procesos. Por otro lado, el empleo de la evaluación comparativa en los edificios es el método clásico para evaluar su desempeño energético.

El empleo de los indicadores energéticos posibilita conocer el estado actual del sistema y por medio de la evaluación comparativa se logra identificar deficiencias y potencial de ahorro, haciendo efectiva la toma de decisiones para el ahorro de energía.

5. Caso de estudio

A través del macroproyecto “Ciudad Universitaria y la Energía” se adquirieron equipos de medición de energía eléctrica, los cuales por medio de sensores de corriente registran cada 15 minutos la demanda de energía eléctrica máxima total del edificio y la de siete cargas finales simultáneamente. La información se guarda en una base de datos, con la cual se realizan informes mensuales. (ver la ficha técnica del equipo en [Anexo 2](#))

Para el presente estudio se consideró la información de cinco edificios, de los cuales se tienen información desde el 2010 al 2018. Los edificios seleccionados fueron: Facultad de Ingeniería, Instituto de Geología, Instituto de Geofísica, Facultad de Ciencias Políticas y Universum. La selección se debe a que estos edificios participaron en el macroproyecto y por ende cuentan con los respectivos equipos de medición e información de la demanda y área construida.

En el trabajo se recopiló la información registrada en formato Excel y se realizó una verificación de las cargas de cada uso final de los edificios, para validar los valores del equipo de medición. Como se cuenta con un largo período en algunos edificios se presentaron modificaciones en las conexiones eléctricas como son: cambio de tableros eléctricos, ampliación de los edificios y sustitución de equipos. Por lo que es necesario verificar que los que se está midiendo coincida con lo reportado a inicios del macroproyecto. En el caso de valores medidos que no coincidan con el consumo del uso final que se está censando o responde a varios usos finales, no es tomada en cuenta para el presente trabajo.

Facultad de Ingeniería

El Conjunto Norte de la Facultad de Ingeniería cuenta con 5 edificaciones con un total de 11,283.03 m² de superficie construida, en éste se estudian las carreras de ingeniería. Los edificios están constituidos por salones

destinados para las clases, biblioteca, oficinas y sala de profesores, sala de juntas, sala de cómputo, laboratorios entre otros.

Los sensores registran la demanda total del conjunto de los edificios, y la demanda máxima de los usos finales de iluminación interior y aire acondicionado.

De estos datos, se usarán para el estudio las mediciones de la demanda del total del conjunto de edificio y la correspondiente al aire acondicionado. Los otros valores registrados tienen varios usos finales combinados, además, en algunos casos el sensor no registra la información.

El sistema de aire acondicionado está constituido por un total de 5 mini Split: un equipo de aire acondicionado York de 5 toneladas de refrigeración que trabaja las 24 horas los 7 días de la semana; un equipo de aire acondicionado de marca Liberty fuera de servicio, un equipo de aire acondicionado Carrier de 2 ton, otros dos equipos de aire acondicionado Carrier de 1 ton de los cuales sólo funciona uno y de manera inconstante. Los 5 equipos se encuentran ubicados en el edificio de UNICA, donde se encuentran ubicados los equipos de cómputo y los servidores, con un área de 1,050 m².

Instituto de Geología

El Instituto de Geología está conformado por el edificio principal y en 2015 inauguraron un edificio nuevo de laboratorios denominado "El Ángel", actualmente están en construcción otras edificaciones destinadas a laboratorios y talleres. El Instituto consta de aulas, laboratorios especializados, oficinas y estacionamiento al aire libre, para un área de 5,091 m² del edificio principal, el Ángel con un área de 1,827 m² y 806 m² del área recientemente construida de talleres y laboratorios.

Los sensores están ubicados en los tableros eléctricos principales localizados en la planta baja del edificio principal. Estos sensores registran la demanda máxima total del edificio, y los usos finales de iluminación interior, iluminación exterior, cómputo y fuerza.

Caso de estudio

La carga instalada de iluminación interior fue de 8 luminarias fluorescentes de 0.60x0.60 m, con 4 lámparas T12 de 20W con 2 balastos electromagnéticos de 2x20W. Se cuenta con un registro del inventario de las luminarias del edificio principal con el cual se estimó el consumo total de iluminación interior. Las luminarias de los pasillos y áreas comunes permanecen encendidas prácticamente todo el año, las de oficina y departamentos la mayoría se quedan encendidas.

Mientras que la iluminación exterior fue del estacionamiento, el cual posee 2 lámparas de vapor de sodio de 1,000 W y 6 de vapor de mercurio de 400 W. Estas luces se encienden solamente de noche.

Los equipos de cómputo que se están midiendo se encuentran ubicados en lo que anteriormente era el laboratorio de microscopio, y en la actualidad funge como sala de estudio para alumnos. Consta con 5 computadoras de escritorios (PC) y 3 laptops personales de los estudiantes. Las PC trabajan como promedio unas 4 horas al día con una potencia de 45 W y las laptops tiene una potencia de 15 W, éstas son las que más se emplean, pero normalmente se utilizan desconectadas y sólo se conectan una hora a la corriente aproximadamente para cargarse. En este caso se realizó un levantamiento de todos los equipos de cómputo presentes en el instituto para estimar el consumo total de cómputo.

Los equipos de fuerza registrados son los extractores de aire, que se han ido desconectando poco a poco y trasladando al edificio El Ángel, quedan 2 extractores de campanas cuyos motores se encuentran en la azotea, estos valores no se toman en cuenta en el presente análisis pues las mediciones no corresponden con la demanda de los equipos.

Instituto de Geofísica

El edificio de Geofísica es un Instituto docente y de investigación constituido por tres edificios. Tiene laboratorios, aulas, salas de estudiantes, oficinas administrativas, una sala de museo, estacionamiento, auditorio, y

jardín. Para un área construida de 5,261 m² del edificio principal, de 2,100 m² del edificio de Anexo y 180 m² de la núcleo-teca.

Los sensores se encuentran ubicados en el tablero de distribución principal de la subestación. Estos registran la demanda total del Instituto y la demanda de los usos finales de iluminación exterior, calentamiento de agua, fuerza, refrigeración y computo.

La iluminación exterior que se registra pertenece al estacionamiento, subestación y jardín. El estacionamiento consta de 7 luminarias fluorescente tubular T12 de 2x32 W con balastro electromagnético, las mismas operan en la noche los 7 días de la semana. La subestación se encuentra iluminada por tres luminarias de dos lámparas fluorescente lineales T8 de 32 W con balastro electromagnético y otra luminaria de dos lámparas fluorescentes de 20 W con balastro electromagnético. Estas luminarias sólo se encienden en caso de alguna actividad que se realice en la subestación, normalmente se encuentran apagadas. El jardín tiene 5 luminarias para exterior en postes de 4m con lámpara de vapor de sodio de 250W, las cuales tienen fotoceldas, pero se encuentran descompuestas, por lo tanto, están encendidas las 24 horas del día.

El calentamiento de agua se realiza por medio de un calentador eléctrico que se encuentra ubicado en el nivel 1 del edificio de Anexo, recientemente se reemplazó, por lo que se encuentra en buen estado técnico. Tiene una potencia de 2,200 W y el uso es esporádico.

La demanda por uso final de fuerza que se registra es de un montacarga y un compresor. El montacarga se encuentra ubicado en el edificio de Anexo, se emplea para transportar equipos de laboratorios pequeños y muestras, el motor no cuenta con ficha técnica, pero por las dimensiones y modelo, además de consultar con el encargado la potencia se asume de 2,982 W. Su tiempo de operación es esporádico, puede pasar tiempo sin emplearse y cuando se utiliza es por pocos minutos. Mientras, el compresor se encuentra dentro de la subestación, tiene una potencia de 3,728 W (5 HP) y su uso es más común, se encuentra encendido las 24 horas del día. El motor sólo arranca cuando la

presión baja de su nivel de operación y se detiene cuando alcanza la presión superior de trabajo.

Se mide la demanda de una cámara fría que se encuentra al costado de la núcleo-teca, con una potencia de 2,985 W. La misma opera las 24 horas del día y se emplea para almacenar muestras que ocupan refrigeración.

Debido a que la información del UPS se encontraba incompleta no se pudo realizar su análisis.

Facultad de Ciencias Políticas

La Facultad de Ciencias Políticas es un complejo de 7 edificios de los cuales 5 se alimentan de la subestación donde se ubica el equipo de medición. En esta institución se estudian las carreras de administración pública, antropología, ciencias de la comunicación, ciencias políticas, relaciones internacionales y sociología. Los edificios cuentan con oficinas, aulas de estudiante, un auditorio, centros de cómputo, estacionamiento, espacio abierto para el debate y cafeterías. Los edificios considerados en el estudio son el A, B, C, F y E, área de cafetería y una sección del estacionamiento, con un área total de superficie construida de 18,620 m². En este edificio las mediciones comenzaron a registrarse a partir del 2013.

Los sensores registran la demanda máxima total de los edificios y los usos finales de iluminación interior, iluminación exterior y computo.

La iluminación interior que se registra corresponde a la demanda dos luminarias fluorescentes tubular de 2x32W con balastro electrónico ubicado en el cuarto eléctrico, y parte de la iluminación del pasillo a la entrada del edificio A, con dos luminarias fluorescente tubular de 2x30W y 4 luminarias fluorescente tubular de 2x60W todas con balastro electrónico. Estas mediciones no se utilizaron en el presente análisis debido a la falta de información.

En cuanto a la iluminación exterior se registra la demanda máxima de la iluminación de fachada, azotea y estacionamiento. En el caso de la iluminación de fachada se realizó un seguimiento para identificar las luminarias. Se

determinó la ubicación del sensor, siguiendo el recorrido del conductor alimentador de la carga, se identificaron las fotoceldas, pero no se logró observar cuáles eran las luminarias que controlan esas fotoceldas. Estas luminarias se encienden por la noche.

Los registros de la demanda de la iluminación del estacionamiento corresponden a 7 lámparas dobles de vapor de mercurio con una potencia de 400 W, y 5 lámparas de jardín de LED de una potencia de 60 W, estas últimas están ubicadas alrededor del estacionamiento, por la entrada de los peatones. La iluminación de la azotea se realiza mediante 8 luminarias de vapor de sodio con una potencia de 250W y una luminaria de vapor de mercurio de 400W. La operación de estas luminarias es en horario nocturno.

La demanda de equipos de cómputo no se pudo identificar, debido a que en el tablero aparece identificado como edificio de Gob.- Sistemas, el cual tiene su propia subestación, según el eléctrico ese interruptor está mal identificado, pero no existen planos ni diagramas unifilares que identifiquen el lugar que alimenta por lo que estos datos no se utilizan para el estudio.

El otro registro de uso de computo que se tiene es del aula 105 que anteriormente fue un aula de cómputo, pero actualmente es un aula de clases, y el sensor registra la demanda del salón, de equipos de cómputo, de un servidor *routers* ubicado en el mismo salón, ventiladores y sala de impresión. Debido a la diversidad de carga no se consideran estos datos para el análisis.

Museo Universum

Universum es un museo que se dedica a la divulgación de la ciencia principalmente. Tiene una parte administrativa (oficinas) y otra abierta al público como museo, donde existen salas interactivas, salas de exposición, salas de video conferencias. Cuenta con una unidad de bomberos para casos de incendio y en el exterior se encuentra el estacionamiento. Además, la iluminación de la vialidad que rodea el edificio proviene de las conexiones eléctricas de esta institución. En total se cuenta con 4 edificios con un total de 18,412 m² construidos.

Es importante destacar que en este conjunto de edificios se implementó un proceso de sustitución de luminarias a LED.

El equipo de medición se encuentra en la subestación, y los sensores registran la demanda máxima total y la demanda máxima de los usos finales de iluminación exterior, vialidad, aire acondicionado y fuerza.

La iluminación exterior que se está midiendo pertenece al estacionamiento, azotea y fachada. Parte de la carga eléctrica de estos sensores no se logró identificar, debido a que aún se encuentran realizando modificaciones en la iluminación exterior y una sección de ésta se encuentra apagada. Se logró identificar las mediciones correspondientes al estacionamiento de la entrada principal, que son 2 luminarias del estacionamiento privado, 3 luminarias que se encuentran por el camino a la entrada principal, 8 luminarias al costado de la entrada del estacionamiento principal, las cuales son de LED con una potencia de 70 W y 2 luminarias del estacionamiento de 2 lámparas de vapor de mercurio de 400 W. Las luminarias mencionadas cuentan con fotoceldas y se encienden durante la noche.

Nos es objetivo de este trabajo el análisis de la demanda, consumo e indicadores de la vialidad. Estas mediciones registradas se emplearon para determinar el consumo del edificio.

El sensor que registra el uso final de aire acondicionado actualmente registra la demanda del tablero ubicado en el nivel 4 del edificio. El tablero alimenta la sala de audiovisuales. Esta información no se va a utilizar en el estudio debido a que no pertenece a un uso final específico.

El uso final de fuerza que se registra pertenece a las bombas de riego y las de los equipos contraincendios, un total de 5 bombas de 2 kW de potencia. Las bombas para riego se emplean las mañanas para el riego de las áreas verdes, mientras que las de contraincendios están en modo espera.

6. Análisis del histórico de consumo y de los indicadores energéticos

Los edificios se analizaron de forma independiente, observando la evolución en el tiempo de la demanda y el consumo, tanto total como por uso final. Luego se muestra el cálculo del ICEE tanto total como por uso final, para tres años por cada edificio o conjunto de edificios. Luego se presenta la comparación entre ellos de acuerdo con los valores internacionales.

Análisis del histórico de consumo para los diferentes casos de estudio

A continuación, se expondrán los diferentes aspectos de la demanda total, consumo total y también el consumo por usos finales de acuerdo con la disponibilidad de datos.

Para el análisis se dividió en temporadas de vacaciones, invierno y verano. Considerando la temporada de invierno de noviembre a abril, exceptuando diciembre; temporada de verano de mayo a octubre, con excepción de julio; y las vacaciones julio y diciembre.

Facultad de Ingeniería

En 2018 la Facultad de Ingeniería tuvo una demanda máxima mensual promedio de 234 kW en verano, de 238 kW en invierno y de 208 kW en periodo vacacional. La diferencia entre la demanda en periodo laboral y período vacacional es de un 12%. Esta demanda se refleja en el consumo diario promedio del edificio. Durante los meses de vacaciones fue de 1,407 kWh, en los meses de verano fue de 2,459 kWh y en invierno fue de 2,332 kWh. Se observa que existió un consumo 43% menos en los meses vacacionales que durante los meses laborales.

Analizando el histórico en los 3 años, la demanda máxima promedio mensual ha disminuido en el período registrado, en 2011 fue de 249 kW, en 2014 fue de 248 kW y en 2018 se registró 231 kW (ver [Anexo 2](#)). Esta disminución puede estar relacionada con la inclusión involuntaria de equipos de mayor eficiencia, como son el uso de computadoras más modernas de menor

consumo, el cambio de equipamiento obsoleto por equipos modernos con mejor eficiencia y cuando se averían las luminarias antiguas se cambian por nuevas de mejor eficiencia incluso a veces por lámparas LED. Sin embargo, esto no responde a una política o programa definida e implementada, sino a la evolución natural y a esfuerzos aislados.

El consumo total anual del 2011 fue de 908,548 kWh, en 2014 fue de 859,688 kWh y para el 2018 fue de 812,689 kWh, por lo que hubo una disminución de un 10% del consumo del 2018 respecto al 2011. Este consumo está en concordancia con lo expresado al inicio del epígrafe pues al disminuir la demanda disminuye el consumo suponiendo que los tiempos de uso de los equipos se mantienen constantes.

El comportamiento del consumo mensual se observa en la Fig. 12

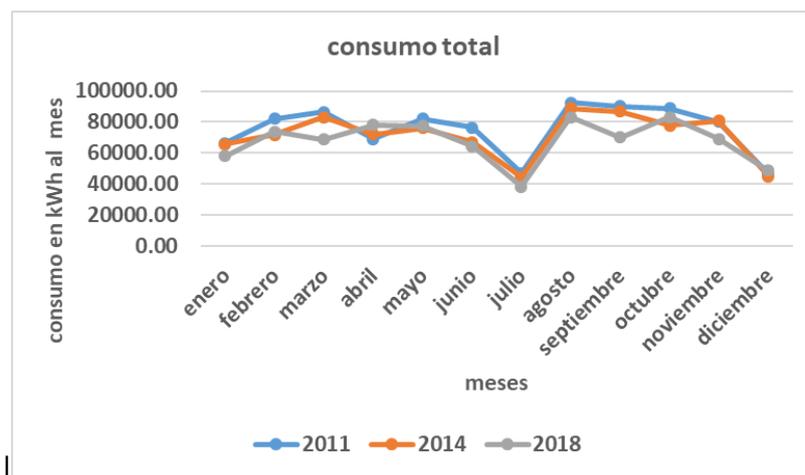


Fig. 14 Consumo mensual total

En la Fig. 14 se puede apreciar la disminución del consumo del 2018 respecto al 2011, además de que el comportamiento es similar en los 3 años, con los picos negativos en los meses de julio y agosto (periodo vacacional).

Para los equipos de aire acondicionados o sólo se pudo comparar el 2011 y el 2014. La demanda máxima de los mismos de 7 kW, en 2011 se registró un consumo de 1,014 kWh y en 2014 un total de 1,786 kWh. El consumo mensual se muestra en la Fig. 15:

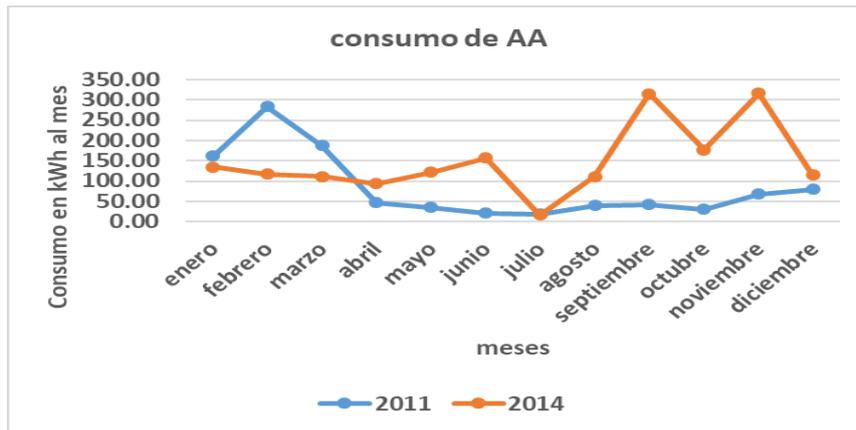


Fig. 15 Consumo mensual de aire acondicionado UNICA

La Fig. 15 no muestra un comportamiento homogéneo en el uso de estos equipos, los únicos meses que se asemejan son los periodos de vacaciones, y se aprecia el aumento del consumo del 2014 respecto al 2011 (ver [Anexo 3](#)).

Instituto de Geología

Analizando la demanda máxima promedio mensual por temporada del Instituto de Geología en 2018 se obtuvo que fue de 164 kW en verano, de 162 kW en invierno y de 145 kW en período vacacional. En este caso el mayor consumo es en temporada de verano, la diferencia entre la demanda en periodo laboral y vacaciones es de un 10%. El consumo total promedio diario fue de 2,199 kWh en los meses de invierno, de 2,171 kWh en los meses de verano y durante las vacaciones 1,462 kWh. Se observa una disminución de un 33% del consumo en los meses de vacaciones respecto a los meses laborables.

La ampliación que se realizó en el Instituto se refleja en la demanda, en 2011 la demanda promedio máxima registrada fue de 142 kW, en 2015 fue de 146 kW, y para 2018 la demanda máxima promedio fue de 160 kW, un 11.5% superior al 2011 (Ver [Anexo 5](#)).

El consumo total anual del edificio en 2011 fue de 572,098 kWh, en 2015 fue de 663,373kWh y para el 2018 el consumo anual fue de 765,916 kWh, por lo que aumentó en un 25% su consumo anual. La Fig. 16 muestra el consumo mensual del edificio en los 3 años

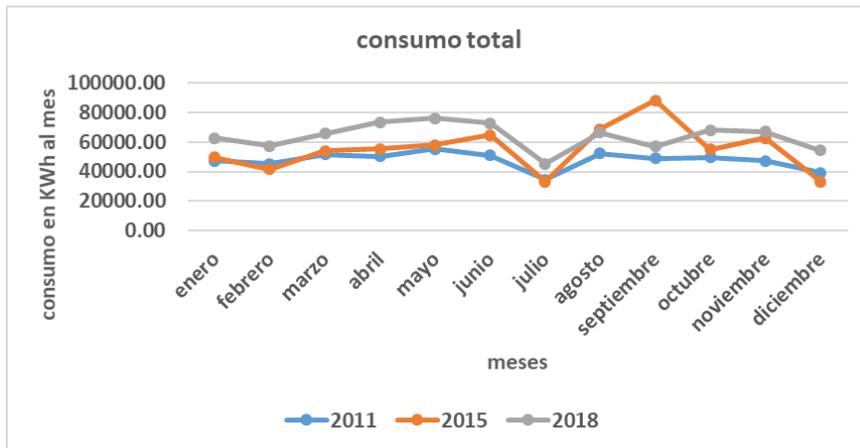


Fig. 16 Consumo mensual total del edificio

A pesar de que el consumo aumentó, el comportamiento de las curvas es similar, con mínimos en los meses de vacaciones.

La demanda máxima promedio por uso final en 2018 fue de 162 kW en iluminación interior, 8 kW en iluminación exterior y 23 kW para los equipos de cómputo.

El consumo anual de iluminación interior en el año 2018 fue de 346,332 kWh, en iluminación exterior fue de 25,325 kWh y en equipos de cómputo fue de 82,068 kWh. El consumo por uso final mensual se muestra en la Fig. 17.

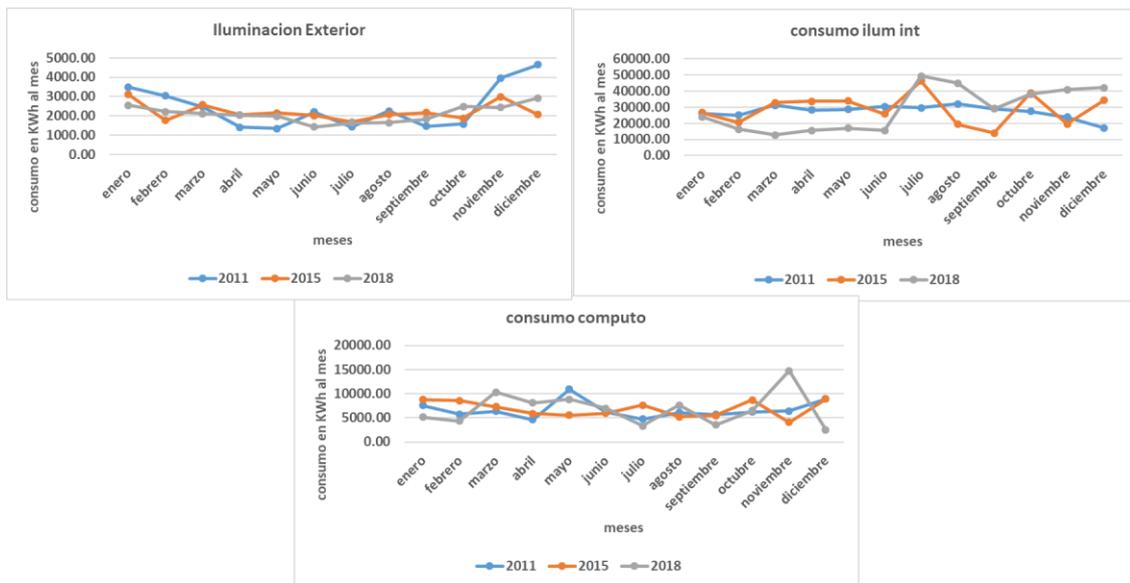


Fig. 17 Consumo por uso final

Como se observa el comportamiento de la iluminación exterior es similar en los 3 años, alcanzando sus valores máximos en los meses de invierno, aunque se aprecia que la curva del 2018 está por debajo de la del 2011, esta disminución del consumo se debe a la sustitución de las luminarias del estacionamiento.

En el comportamiento del consumo de la iluminación interior se observa un aumento en los meses de verano, es importante destacar que el Instituto mantiene las luminarias encendidas prácticamente todo el día.

Los equipos de cómputo tienen un consumo prácticamente estable durante todo el año, aunque en la curva del 2018 se observan los mínimos en los meses de vacaciones (ver [Anexo 6](#)).

Instituto de Geofísica

La demanda máxima promedio mensual del Instituto de Geofísica en 2018 fue de 139 kW en verano, de 144 kW en invierno y de 125 kW en los meses de vacaciones, al igual que la Facultad de Ingeniería, el mayor consumo es en verano. La diferencia entre el consumo en temporada vacacional y laboral es de un 10%. La demanda máxima promedio ha disminuido con el transcurso del tiempo, en 2011 fue de 165 kW, en 2015 fue de 159 kW y para 2018 fue de 139 kW, un 15% menos (ver [Anexo 8](#)). Al igual que ocurre con la Facultad de Ingeniería el efecto de modernización y cambio natural del equipamiento ha provocado un descenso del consumo. Sin embargo, esta disminución no sigue las pautas de una política de ahorro o cambio de equipamiento por otro más moderno y de mayor eficiencia, sino a los cambios naturales y esfuerzos individuales.

El consumo es consecuente con la demanda, se observó un consumo promedio diario del Instituto en los meses de invierno de 2,153 kWh, en los meses de verano fue de 2,159 kWh y en las vacaciones de 1,507 kWh, consumiéndose un 30% menos de energía durante los meses de verano.

El consumo total anual fue de 965,840 kWh en 2012, en 2015 se registró un consumo de 916,048 kWh y para 2018 fue de 753,255 kWh, disminuyendo

así un 22% respecto 2012. La Fig. 18 muestra el comportamiento del consumo mensual en los años del 2012, 2015, y 2018.

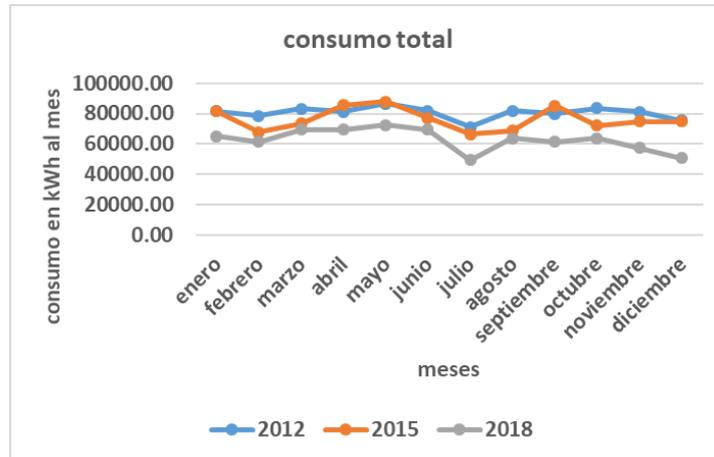


Fig. 18 Consumo total mensual del edificio.

En las curvas se observa la disminución del consumo mensual del 2018 respecto al 2012 que se refleja en el consumo anual. También se observa los mínimos en los meses de vacaciones.

La demanda máxima por uso final registrada en 2018 fue de 0.4 kW en el montacarga, 0.9 en el calentador eléctrico, 1.2 en el compresor, 0.1 en el sistema de refrigeración y de 1.3 en iluminación exterior.

En los usos finales se registró un consumo anual de 208 kWh en el montacarga, de 70 kWh en el calentador eléctrico, de 255 kWh del compresor, de 32 kWh para el sistema de refrigeración, y de 9,160 kWh para la iluminación exterior. La Fig. 19 muestra el comportamiento mensual de los consumos por uso final.

Análisis de Resultado



Fig. 19 Consumo mensual por uso final

En los últimos años el montacargas tuvo un consumo entre 15 y 20 kWh mensuales. En el caso del calentador no sigue un comportamiento homogéneo, sin embargo, se observan mínimos en julio y diciembre de la curva del 2018. De igual manera el compresor tiene mínimos de consumo en julio, pero el resto del año es aleatorio su consumo. La cámara de refrigeración tiene un consumo cercano a cero, en la actualidad tiene muy poco uso, se observa un ligero aumento del consumo en los meses junio y de agosto a octubre. El consumo en iluminación exterior es similar en los 3 años, en el 2018 se observa mayor consumo en los meses de verano (ver [Anexo 9](#)).

Ciencias Políticas

En 2018 se registró una demanda máxima promedio mensual de 331 kW en verano, de 323 kW en invierno y de 298 kW en los meses de vacaciones, con un 10% de diferencia entre el periodo vacacional y el laboral. La demanda promedio mensual fue de 276 kW en el 2013, en el 2015 fue de 321 kW y en el 2018 fue de 324 kW, aumentando en un 15% del 2018 respecto al 2013 (ver [Anexo 11](#)).

En el 2018 el consumo diario promedio de 4,690 kWh en los meses de invierno, de 4,622 en los meses de verano y de 2,194 kWh durante las vacaciones, representando un 46% del consumo en temporada laboral. En este edificio, aunque la mayor demanda promedio registrada fue en los meses de verano, el mayor consumo fue en los meses de invierno, lo que significa que, aunque en verano se obtengan picos más altos de demanda, en los meses de invierno se consume más debido a que la iluminación está más tiempo encendida.

El consumo total anual registrado fue de 1,270,680 kWh en 2013, de 1,384,958 kWh en 2015 y de 1,635,190 kWh en 2018. Se observa que aumentó 22% en 2018 respecto a 2013, esto es debido al incremento de nuevas cargas conectadas a la subestación.

El comportamiento del consumo mensual durante esos años se representa en la Fig. 20.

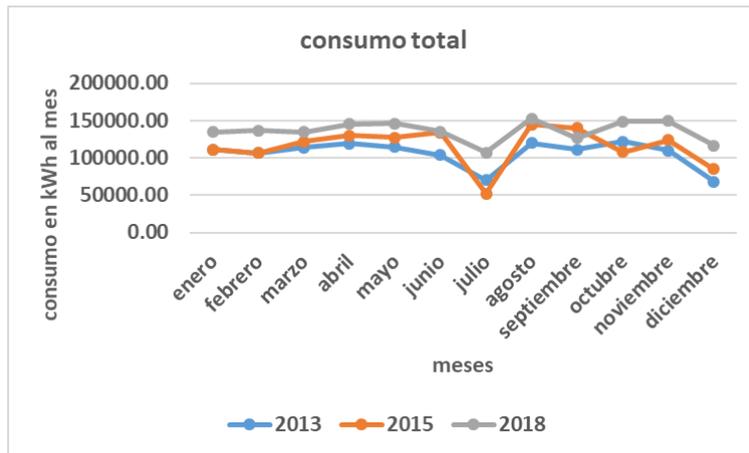


Fig. 20 Consumo mensual del edificio

El comportamiento es similar a los observados anteriormente, con mínimos en los meses de vacaciones y los meses de mayor consumo son los de veranos.

La demanda máxima por uso final en iluminación exterior fue de 10 kW, para un consumo total de 36,451 kWh al año en 2018. El comportamiento del consumo mensual se representa en la Fig. 21:

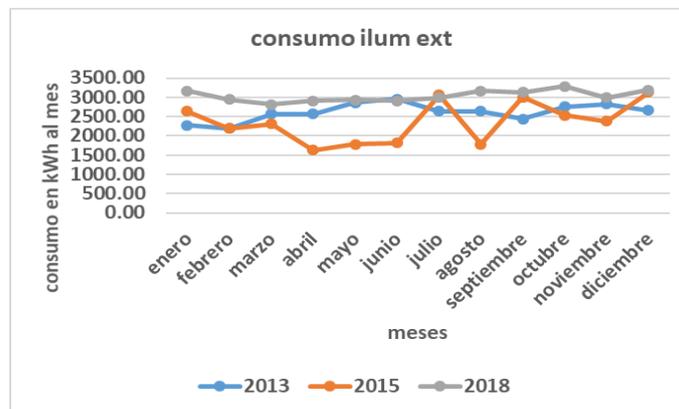


Fig. 21 Consumo en iluminación exterior

Como se observa, el consumo en iluminación exterior es ligeramente mayor en los meses de invierno (ver [Anexo 12](#)).

Luego, suponemos que este aumento de la demanda y por consiguiente el consumo total, está asociado a un incremento de la cantidad de equipos dentro de la Facultad. Los cambios de equipamiento que se pudieran haber

realizado por obsolescencia o defectos, no se han efectuado, y además puede existir una mentalidad no ahorradora. Además, los esfuerzos individuales han resultado ser de poco impacto para esta Facultad. No se desestima que el aumento en la demanda y el consumo en la iluminación exterior tiene su aporte al incremento total de demanda y consumo, sin embargo, ésta no sobrepasa el 5% del total, meramente demostrando que el grueso del incremento se encuentra en los demás usos finales que no pudieron medir.

Universum

En el caso de Universum la demanda en los meses de vacaciones no tiene los mínimos observados en los demás edificios, en 2018 se registró 180 kW en verano, 151 kW en invierno y 169 kW en vacaciones, menos de un 2% es la diferencia entre el consumo en período vacacional y el período laboral (ver [Anexo 14](#)). Este comportamiento es similar en el consumo diario promedio, registrándose en los meses de verano 1,700 kWh, en los meses de invierno 1,685 kWh y en las vacaciones de 1,642 kWh. Se observa que el consumo diario durante el periodo vacacional es prácticamente el mismo que el del período escolar, menos de un 3%, esto es debido a las propias actividades del edificio, puesto que es un museo de ciencias y durante las vacaciones continúa abierto al público.

La demanda máxima promedio mensual que se registró en 2011 fue de 331 kW, en 2015 fue de 310 kW, y en 2018 fue de 169 kW, disminuyendo en casi un 50% para el año 2018 con respecto a 2011.

Estos valores se reflejan en el consumo ya que en el 2012 el consumo fue de 1,594,828 kWh, en el 2015 fue de 1,193,014 kWh y para el 2018 disminuyó a 615,940 kWh, menos de la mitad de lo que consumió en el 2012. El consumo mensual se observa en la Fig. 22.

Análisis de Resultado

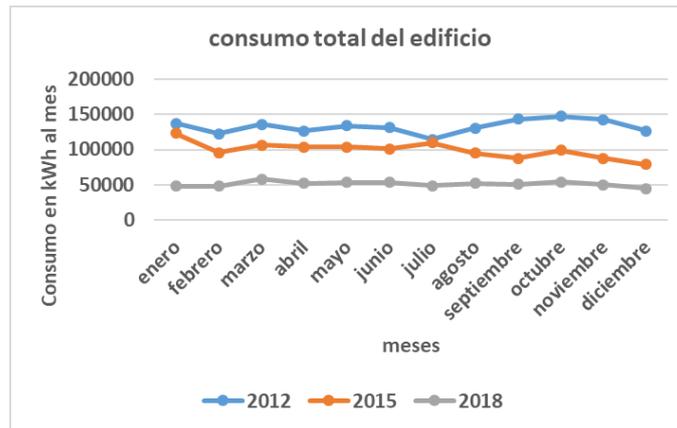


Fig. 22 Consumo total del edificio

La gráfica muestra que además de disminuir el consumo prácticamente a la mitad, éste se mantiene prácticamente constante durante todo el año.

La demanda máxima registrada en los usos finales fue de 4 kW para iluminación en estacionamiento y de 20 kW en el bombeo. El consumo anual del 2018 en iluminación exterior fue de 9,613 kWh y de bombeo fue de 29,528 kWh.

La Fig. 23 muestra el comportamiento mensual de los usos finales analizados:

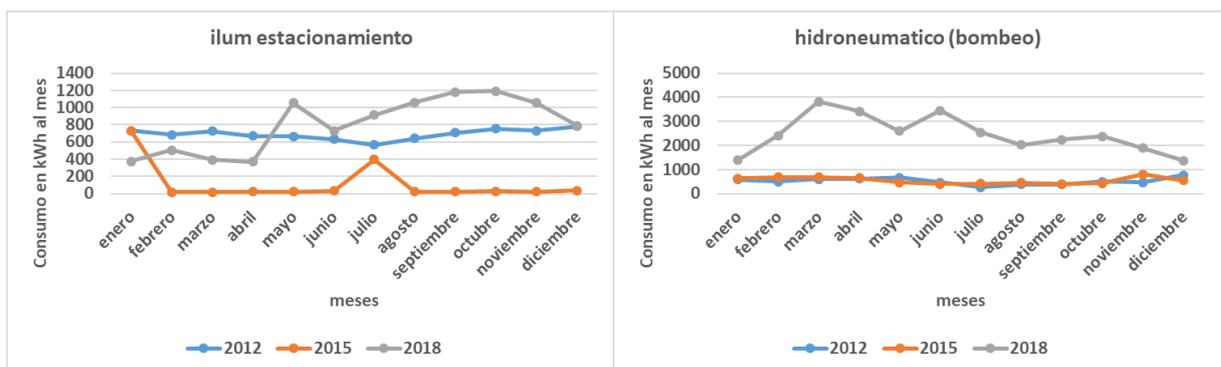


Fig. 23 Consumo mensual de los usos finales

En la iluminación exterior se observa en el 2015 fue de prácticamente 0 el consumo, en este período se estaba realizando el cambio de luminarias del estacionamiento. En cuanto al uso de las bombas, se observa un aumento en el consumo en el 2018 respecto a los años anteriores, lo cual se debe a los

mismos cambios realizados en tableros, en la actualidad se mide la demanda del cuarto de bombeo y del almacén, es decir, las bombas, la iluminación y otros equipos conectados (ver [Anexo 15](#)).

Estudio del indicador ICEE para los diferentes edificios

Los valores de ICEE total calculados para la Facultad de Ingeniería se observan en la Fig. 24.

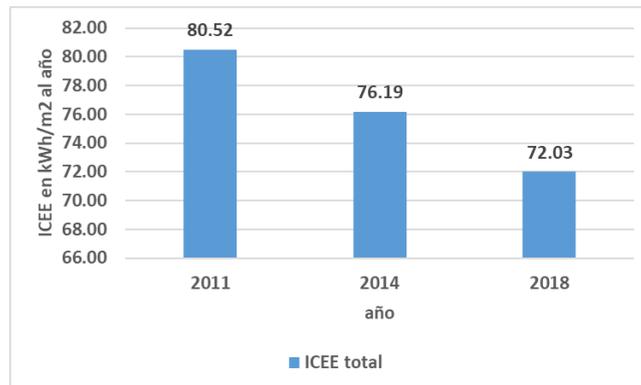


Fig. 24 ICEE total del Instituto de Ingeniería en los 3 años

Se puede apreciar la disminución del ICEE de un 10% del 2018 respecto al 2011 para la Facultad de Ingeniería, asociado a un descenso del consumo total del edificio (ver [Anexo 4](#)). Este descenso en el ICEE ocurre de forma natural, por la implementación de tecnologías de mayor eficiencia que sustituyen a las ya obsoletas o las que se averían y requieren reemplazo.

Mientras que el ICEE calculado para los equipos de aire acondicionado tiende a subir como se observa en la Fig. 25.

Análisis de Resultado

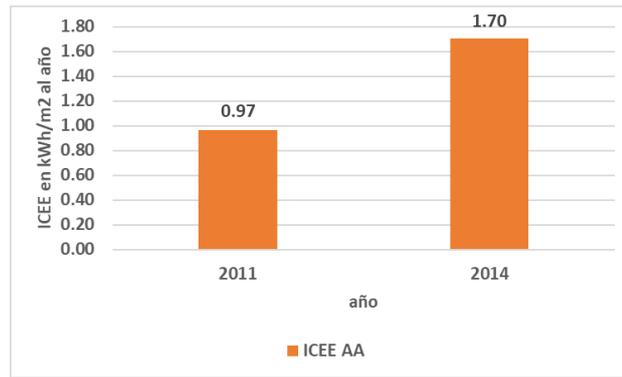


Fig. 25 ICEE total del edificio y de aire acondicionado para el Instituto de Ingeniería

Este aumento puede estar relacionado con un incremento en los equipos que en un principio no se utilizaban y luego comenzaron su funcionamiento, o a la sustitución de equipos por otros con mayor potencia y por consiguiente mayor consumo, además del aumento de horas de trabajo de éstos.

En el Instituto de Geología los valores calculados del ICEE total se muestran en la Fig. 26.

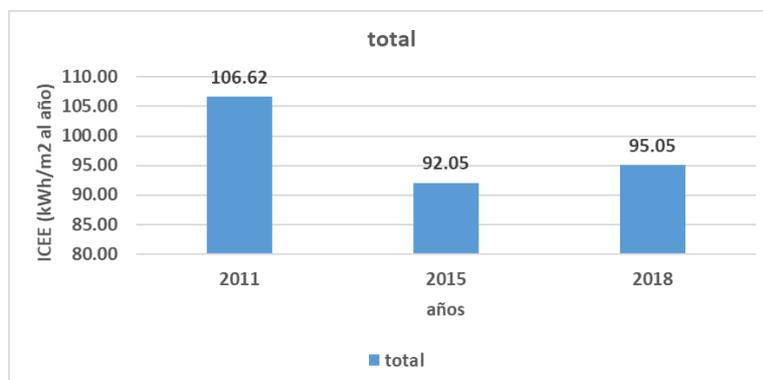


Fig. 26 ICEE total del Instituto de Geología

Como se observa en la Fig. 26 a pesar del aumento en el consumo en los últimos años, el valor del ICEE total disminuyó en un 11% en 2018 respecto al 2011. Esto es consecuente debido a la construcción de un nuevo edificio y de nuevas áreas de talleres del instituto.

En la Fig. 27 se exponen los valores de ICEE por uso final calculados en el Instituto de Geología.

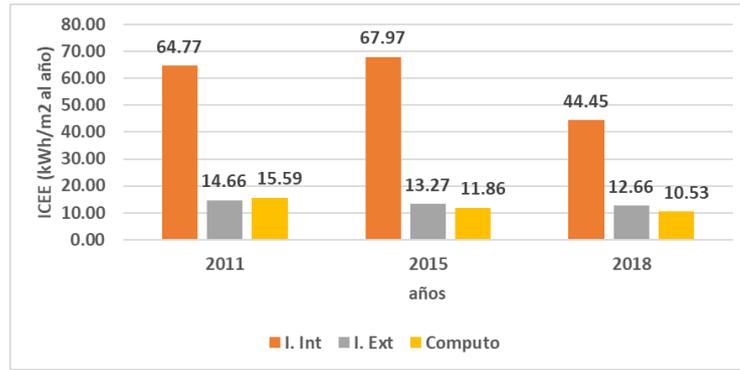


Fig. 27 ICEE por uso final del Instituto de Geología

Entre los usos finales que se registraron se observa como el mayor valor de ICEE corresponde a la iluminación interior. Lo cual se ha comentado anteriormente, que en este tipo de edificio ubicados en esta región climática la iluminación interior es el principal consumidor de energía eléctrica. También se observa una disminución del ICEE en un 30% en el período analizado, lo cual se debe al aumento de área construida en este Instituto, además de la sustitución de luminarias durante los mantenimientos.

La iluminación exterior también ha bajado los valores del ICEE, debido a la sustitución de luminarias del estacionamiento. Este mismo comportamiento lo sigue los equipos de cómputo, no se ha llevado ninguna política de sustitución de computadoras, pero se ha incrementado el uso de laptops personales y las computadoras que se van cambiando, ya sea por proyecto o por obsolescencia, son más eficientes. (ver [Anexo 7](#)).

Los valores calculados de ICEE total para el Instituto de Geofísica se observan en la Fig. 28.

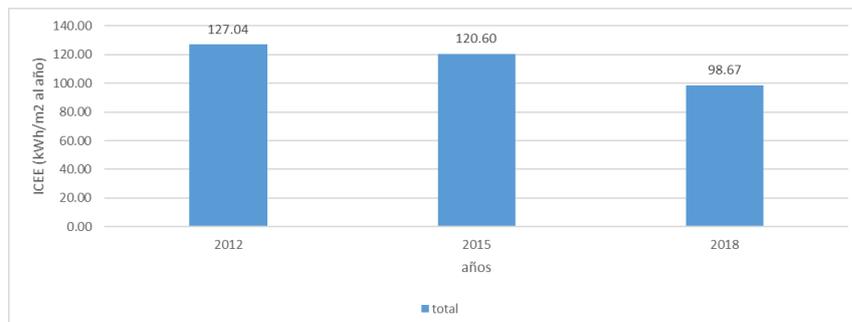


Fig. 28 ICEE total del Instituto de Geofísica

Se puede apreciar la disminución del consumo como se refleja en el valor de ICEE total del edificio en el tiempo disminuyendo en un 22% desde el 2011 al 2018. Este decremento puede estar asociado a una mejora en el equipamiento de iluminación interior, aunque no se pudo medir. Sin embargo, al estudiar el comportamiento del indicador de los usos finales vemos que no se corresponden con el ICEE total del Instituto.

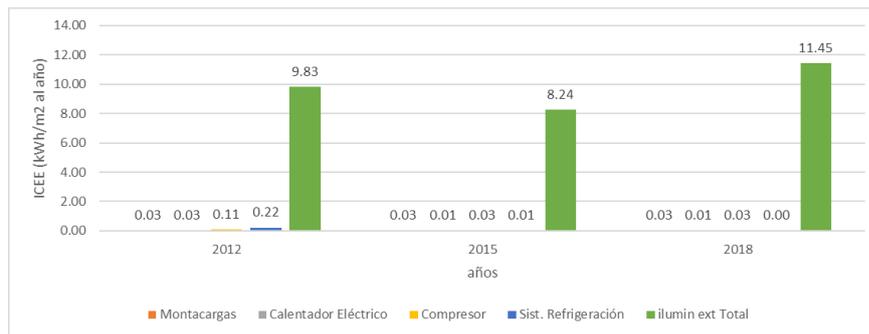


Fig. 29 ICEE por uso final del Instituto de Geofísica

En la Fig. 29 se observa un ligero incremento en los valores del ICEE para la iluminación exterior para el año 2018 con respecto a 2012, que puede estar asociado a un incremento de las horas de operación de las luminarias debido a la avería de las fotoceldas de las lámparas del jardín y encontrarse éstas encendidas todo el tiempo. Estos valores del indicador tan pequeños para el montacargas, el calentador eléctrico, el compresor y el sistema de refrigeración están relacionados con que constituyen equipos únicos y representan un bajo impacto en el consumo total y por ende en el ICEE total (ver [Anexo 10](#)). Dichos valores no varían apreciablemente en el tiempo, sólo el indicador para el sistema de refrigeración disminuyó prácticamente a cero.

La Fig. 30 muestra los valores del ICEE para 3 años en la Facultad de Ciencias Políticas.

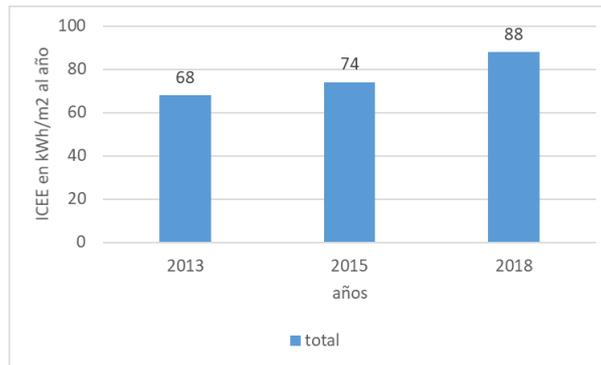


Fig. 30 ICEE Total de la Facultad de Ciencias Políticas

Es posible apreciar un aumento de aproximadamente un 23% para el año 2018 con respecto al 2013 cuestión que era de esperarse pues hubo un aumento del consumo total y no aumentó el área construida (ver [Anexo 13](#)). En la Fig. 31 se muestra el indicador por uso final para iluminación exterior.

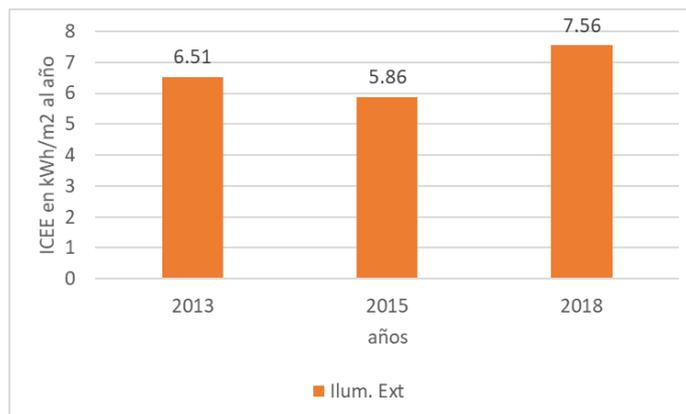


Fig. 31 ICEE por uso final de la Facultad de Ciencias Políticas

Es posible observar que existe un incremento en el indicador dado por un aumento del consumo, puesto que aumentaron los equipos conectados.

Los valores calculados del ICEE para Universum se muestran en la Fig. 32.

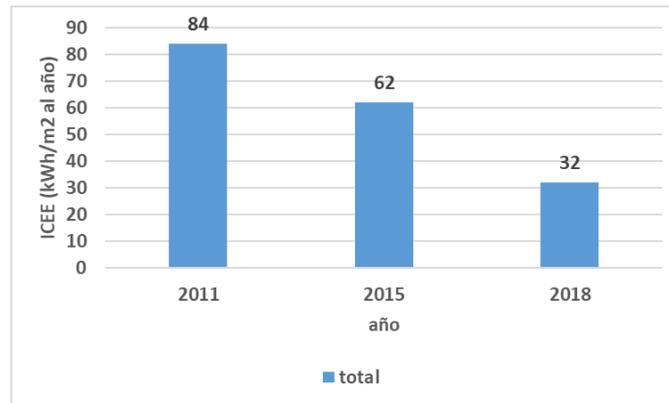


Fig. 32 ICEE total de Universum

Se observa una disminución de 62% en los valores del ICEE total del edificio. Esta disminución tan grande se debe principalmente a la política de cambio de luminarias a LED.

En la Fig. 33 se muestra los valores de ICEE por uso final calculados.

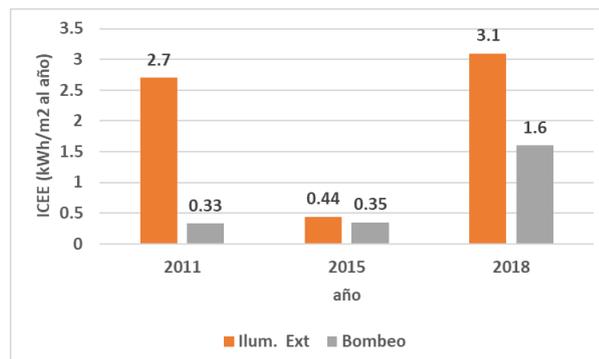


Fig. 33 ICEE total de Universum.

En el caso de la iluminación exterior aumentó el ICEE, a pesar de que se cambiaron las luminarias a LED, aumentaron la cantidad de equipos conectados y las horas de consumo (ver [Anexo 16](#)). Este cambio superlativo está dado por la increíble disminución en el consumo debido a la implementación de cambio de luminarias.

Evaluación Comparativa

La comparación de los valores de ICEE total de los edificios analizados se muestran en la Fig. 34.

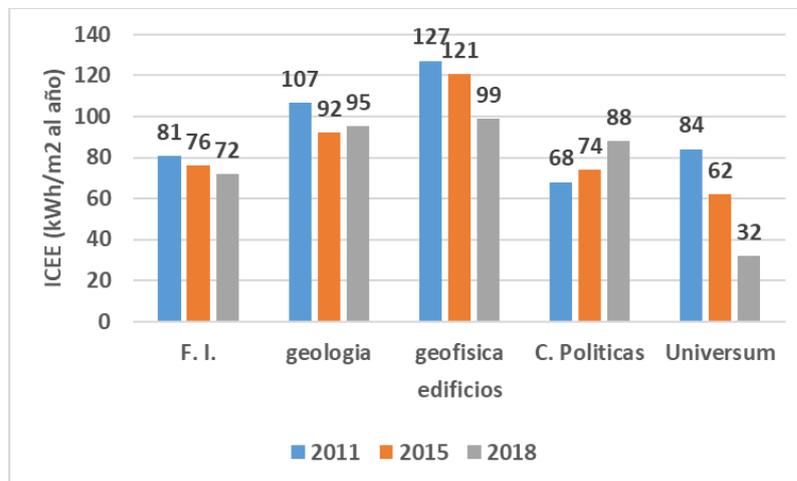


Fig. 34 ICEE total de los edificios en el tiempo

Se observa que el de C. Políticas ha aumentado el valor del ICEE en el tiempo, esto se debe al incremento del consumo sin aumentar las áreas construidas. El resto de los edificios han disminuido su valor de ICEE, sin embargo, es considerable la diferencia entre la disminución del ICEE de Universum respecto a los otros edificios. Esto se debe a que la F.I., Geología y Geofísica han disminuido su ICEE sin aplicar ninguna medida de ahorro, a diferencia de Universum que disminuyó más de un 60% en su valor de ICEE con el programa de sustitución de luminarias.

En la Fig. 35 se muestran los valores del ICEE total de los edificios calculados en 2018 y los valores recopilados del CEUS y del CBECS.

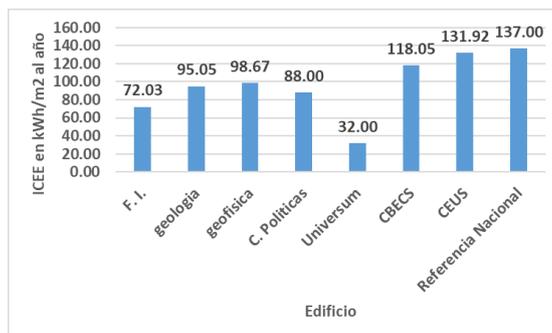


Fig. 35 ICEE total de los edificios de la UNAM y de las fuentes bibliográficas

De los edificios estudiados los de mayor valor de ICEE son los institutos de Geofísica y Geología, por lo que son los que más consumen. Es importante destacar que al ser institutos sus actividades investigativas requieren de equipos especializados de laboratorio que son altos consumidores de energía. Además de que aun en tiempo de vacaciones administrativas existen experimentos que siguen realizándose para los cuales necesitan de los equipos especializados y por ende de energía eléctrica.

Se observa la gran diferencia entre el Universum respecto a los otros, debido a la sustitución de todas las luminarias a led. Como se ha comprobado en estudios anteriores que la iluminación es la principal carga eléctrica en este tipo de edificios.

Se puede apreciar que los valores de ICEE de los edificios analizados de la UNAM están por debajo de los registrados en el CEUS y el CBECS. Lo cual no significa que sea más eficientes, existen otros aspectos que influyen, como es el hecho de que las mediciones de los estudios del CEUS y del CBECS son de años anteriores y ellos registran usos finales que en los edificios censados no se cuenta.

Para la iluminación exterior los valores de ICEE se muestran en la Fig. 36.

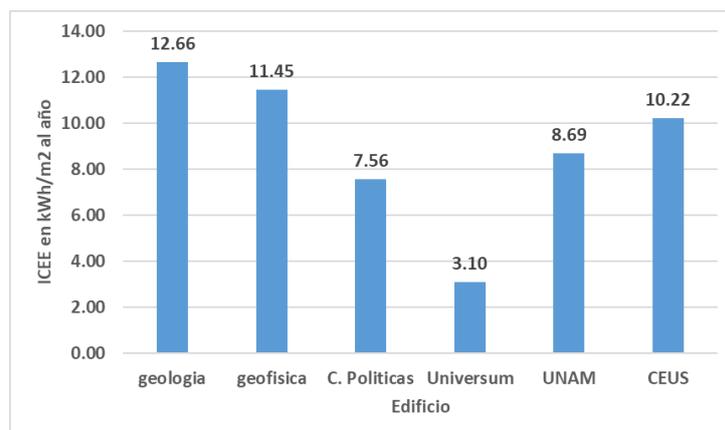


Fig. 36 ICEE de Iluminación exterior

Análisis de Resultado

La Fig. 36 muestra que el consumo de energía eléctrica en iluminación exterior por metro cuadrado de los institutos es superior a los datos registrados en el CEUS en un 10 a un 15%, sin embargo, los datos de política y Universum están por debajo a los valores del CEUS. Analizando el valor de ICEE en iluminación exterior promedio de la UNAM, éste se encuentra por debajo de los valores de referencia del CEUS.

Los otros ICEE de usos finales calculados no se repiten entre si dentro del campus por lo que se realiza la evaluación con los valores obtenidos en el CUES y el CBECS como se muestra en la Fig. 37.

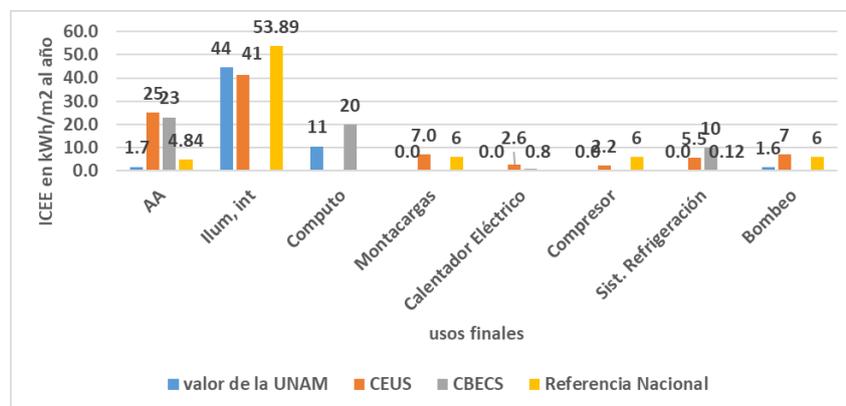


Fig. 37 ICEE por uso final

Como se observa todos los valores de ICEE de los edificios analizados del campus se encuentran por debajo de los registrados en los censos CBECS y CEUS excepto el de iluminación interior.

Conclusiones

Se realizó una investigación del estado del arte de los indicadores de consumo de energía eléctrica por uso final, donde se define que el ICEE es el más utilizado en las evaluaciones comparativas, en diagnósticos energéticos y en informes y reportes de proyectos, expresado en unidad de energía por área construida. En el presente estudio se estableció este valor en kWh/m² al año.

En México existen varios estudios empleando el ICEE como indicador, sin embargo, no existe norma vigente que lo regule. Los estudios se basan en el consumo total del edificio, y los clasifican por tipo de edificio y por región climática, pero no llegan a establecer el indicador por uso final de electricidad en los edificios.

Se seleccionó los edificios de: Facultad de Ingeniería, Instituto de Geología, Instituto de Geofísica, Ciencias Políticas, y Universum. Para los cuales se analizó la base de datos recopilada desde el 2010 al 2018. Se les calculó el ICEE total del edificio y por uso final.

Los resultados mostraron que el consumo total presenta un **comportamiento similar** en los edificios, **con mínimos en temporada vacacional**, excepto Universum, puesto que funge como museo y en temporada de vacaciones sigue abierto al público.

En los resultados de consumo de iluminación exterior se observó que los **máximos de consumo** estuvieron dados en la **temporada de invierno**.

Se evidenció que el valor de ICEE de **equipos de aire acondicionados** en esta región es **relativamente pequeño** ya que pese a ser equipos altamente consumidores su presencia no es representativa en esta zona climática.

En el Instituto de Geología se observó que a pesar de que **aumentó el consumo** de energía eléctrica, **disminuyó el valor de ICEE total**, debido a la construcción de otro edificio y de los talleres el consumo aumenta, pero al aumentar los metros cuadrados construidos y la inclusión de equipos más eficientes de los que tenían anteriormente el valor de ICEE disminuye.

Conclusiones y Recomendaciones

Se evidenció que el **principal consumidor** de electricidad en edificios de este tipo y de la zona climática de la CDMX es **en iluminación interior**.

Se observó un **mayor consumo de energía eléctrica por m²** construido en los edificios de los Institutos de Geología y de Geofísica respecto a los edificios de las Facultades de Ingeniería y Ciencias Políticas. Así como la disminución del consumo en los meses de vacaciones respecto a los laborables, sólo disminuye aproximadamente un 30% en los edificios de Institutos y casi un 50% en las Facultades, debido a las actividades investigativas y docentes de estos.

La **tendencia** del ICEE total fue de **disminuir** en el tiempo, sin embargo, la relación de disminución es mucho **más acentuada en Universum**, donde se aplicó **un programa de sustitución de luminarias a LED**.

Los edificios de Ciencias Políticas fueron los que aumentaron su consumo y el valor del ICEE, debido a que le han aumentado la carga conectada en las nuevas áreas de cafetería.

Los valores de ICEE calculados están por **debajo** de los recopilados en la bibliografía de los censos de EUA, sin embargo, aún **existe capacidad** de seguir **disminuyendo** el consumo. Esto puede deberse a las condiciones climáticas, dado que en los Estados Unidos la necesidad de aire acondicionado es mayor a la requerida en la CDMX

Bibliografía

- [1] OCDE, «Perspectivas Ambientales de la OCDE hacia 2050,» 2012.
- [2] IEA, «Energy Efficiency Indicators: Essentials for Policy Making,» OECD/IEA, 2014.
- [3] T. R. Sharp, «Benchmarking Energy Use in School.,» Oak Ridge National Laboratory,, pp. 3305-3316.
- [4] Itron, inc, «California Commercial End-Use Survey,» CEC-400-2006-005, California, 2006.
- [5] T. Sharp, «Energy Benchmarking In Commercial Office Buildings,» Oak Ridge National Laboratory, pp. 4321-4329.
- [6] EIA, «Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS),» 2012. [En línea]. Available: <https://www.eia.gov/consumption/commercial/data/2012/#b22-b33>.
- [7] Vance, L., Boss, S., «The Campus Demotechnic Index: a comparison of technological energy consumption at US colleges and universities,» Env. Dev. and Sust., vol. 14, nº 1, pp. 111-134, 2012.
- [8] Deng, H., Fannon, D., Eckelman, J., «Predictive modeling for US commercial building energy use: A comparison of existing statistical and machine learning algorithms using CBECS microdata,» Energy and Buildings, vol. 163, pp. 34-43, 2018.
- [9] Minister of Natural Resources, «Improve your Building's Energy Performance: Energy Benchmarking Primer.,» © Her Majesty the Queen in Right of Canada, Ottawa, 2014.
- [10] Ouf, M., Issa, M., Merkel, P. , «Analysis of real-time electricity consumption in Canadian school buildings,» Energy and Buildings, vol. 128, pp. 530-539, 2016.
- [11] M. A. K. S. e. al., ««BCA Building Energy Benchmarking 2017,»,» © Building and Construction Authority, Singapur, 2017.
- [12] Z. Z. Q. Z. W. L. Z. Y. N. Z. Yan Ding, «Benchmark analysis of electricity consumption for complex campus buildings in China,» Elsevier, vol. 131, p. 428–436, 2018.
- [13] Su, Y., Takaguchi, H., Wang, W., «Evaluation on Energy consumption characteristics and effect of energy conservation measures in university campus buildings in northern China,» J. Environ. Eng. , vol. 77, nº 677, pp. 605-614, 2012.
- [14] Su, Y., Takaguchi, H., Yan, J., «Analysis of energy consumption structure of a Science and Engineering University Campus in Southern China,» J.

- Environ. Eng. , vol. 77, nº 677, pp. 399-407, 2012.
- [15] Z. G. K. D. Maryam Khoshbakht, «Energy use characteristics and benchmarking for higher education buildings,» Elsevier, vol. 164, pp. 61-76, 2018.
- [16] Zhan, J., Xu L., «Energy consumption survey in an university campus with co-generation system,» J. Environ. Eng. , vol. 77, nº 673, pp. 185-192, 2012.
- [17] Won-Hwa, H., Ju-Young, K., Choun-Mi, L., Gyu-Yeob, J. , «Energy Consumption and the Power Saving Potential of a University in Korea:» J. of Asian Architecture and Building Engineering, vol. 10, nº 2, pp. 445-452, 2011.
- [18] S. Li, «A study of energy performance and efficiency improvement procedures of Government Offices in Hong Kong Special Administrative Region,» Energy and Building, vol. 40, nº 10, pp. 1872-1877, 2008.
- [19] Wang, J., Yu, C., Pan, W., «Life cycle energy of high-rise office buildings in Hong Kong,» Energy and Building, vol. 167, pp. 152-154, 2018.
- [20] Jia, J., Lee, W. L., «The rising energy efficiency of office buildings in Hong Kong,» Energy and Building, vol. 166, pp. 296-304, 2018.
- [21] Eskin, N., Türkmen, H. , «Analysis of annual heating and cooling energy requirements for office buildings in different climates in Turkey,» Energy and Buildings, vol. 40, pp. 763-773, 2008.
- [22] Sagbansua, L., Balo, F., «Ecological impact & financial feasibility of Energy Recovery (EIFFER) Model for natural insulation material optimization,» Energy and Buildings, vol. 148, pp. 1-14, 2017.
- [23] Yigit, S., Ozorhon, B., «A simulation-based optimization method for designing energy efficient buildings,» Energy and Buildings, vol. 178, pp. 216-227, 2018.
- [24] Escrivá-Escrivá, G., Segura-Heras, I., Alcázar-Ortega, M., «Application of an energy management and control system to assess the potential of different control strategies in HVAC systems,» Energy and Buildings, vol. 42, pp. 2258-2267, 2010.
- [25] Pérez-Bella, J.M., Domínguez-Hernández, J., Cano-Suñén, E., del Coz-Díaz, J., Álvarez, F. , «A correction factor to approximate the design thermal conductivity of building materials. Application to Spanish façades,» Energy and Buildings, vol. 88, pp. 153-164, 2015.
- [26] Mata, É., Medina, G., Sasic, A., Johnson, F. , «Modelling opportunities and costs associated with energy conservation in the Spanish building stock,» Energy and Buildings, vol. 88, pp. 347-360, 2015.
- [27] González-Gil, A., López-González, J.L., Fernández, M., Eguía, P., Erkoreka, A., Granada, E., «Thermal energy demand and potential energy

savings in a Spanish surgical suite through calibrated simulations,» *Energy and Buildings*, vol. 174, pp. 513-526, 2018.

- [28] I. G. Kerdán, «LINEA BASE DEL USO FINAL DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EDIFICIOS COMERCIALES Y DE SERVICIO DE LA REPÚBLICA MEXICANA: INDICADORES ENERGÉTICOS,» Ciudad de México, 2011.
- [29] D. MORILLÓN GÁLVEZ, A. ESCOBEDO y I. GARCÍA Kerdán, «Retos y oportunidades para la sustentabilidad energética en edificios de México: Consumo y uso final de energía en edificios residenciales, comerciales y de servicio,» ISBN: 978-607-02-6285-2, Ciudad de México, 2015.
- [30] C. T. Villanueva, «El uso de la energía en las escuelas primarias públicas del Distrito Federal: hacia una cultura del ahorro energético,» Ciudad de México, 2012.
- [31] S. B. H. J. D. C. M. I. C. S. Azucena Escobedo, «Energy consumption and GHG emission scenarios of a university campus in Mexico,» *ELSEVIER*, vol. 18, pp. 49-57, 2014.
- [32] H. Ritchie y M. Roser, «Energy Production & Changing Energy Sources,» *Our World in data*.
- [33] Invertir Petróleo, «www.invertir-petroleo.es,» [En línea]. Available: <http://www.invertir-petroleo.es/articulo/historia-cronologia.html>.
- [34] Alliance Commission on National Energy Efficiency Policy, «The History of Energy Efficiency,» 2013.
- [35] International Energy Agency, «[iea.org](http://www.iea.org),» [En línea]. Available: <https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Key%20indicators&indicator=undefined&mode=chart&categoryBrowse=false&dataTable=INDICATORS&showDataTable=true>.
- [36] IEA, «www.iea.org,» [En línea]. Available: <https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Key%20indicators&indicator=ElecConsPerCapita&mode=chart&categoryBrowse=false&dataTable=ELECTRICITYANDHEAT&showDataTable=true>.
- [37] CIA, «www.cia.gov,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2233rank.html>. [Último acceso: 2018].
- [38] SENER, «Balance Nacional de Energía 2016,» © Secretaría de Energía, Ciudad de México, 2017.
- [39] INEGI, «inegi.org.mx,» [En línea]. Available: http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P.
- [40] ONU, «Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment,» 1972.

- [41] IEA, «SOUTHEAST ASIA ENERGY OUTLOOK,» © OECD/IEA, 2013, 2013.
- [42] D. Meadows, The limits to growth, 1972.
- [43] D. A. Escobedo, «Diagnostico Energético en edificios no residenciales,» 2018.
- [44] FIDE, «FIDE, 23 años de resultados, Línea de tiempo,» REVISTA DEL FIDEICOMISO PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, nº 2, 2013.
- [45] M. J. Navarro, «Programa de Ahorro de Energía,» 2017.
- [46] M. J. Navarro, «Uso de la energía en el sector residencial,» 2018.
- [47] D. E. Z. P. d. León, «Primer Informe de Gobierno: Energía,» Ciudad de México, 1995.
- [48] CFE, «Eficiencia energética. Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE),» Ciudad de México.
- [49] D. J. L. X. Cao, «Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade.,» ELSEVIER, vol. 128, pp. 198-213, 2016.
- [50] SENER, «Indicadores de Eficiencia Energética en México, 5 sectores 5 retos,» 2011.
- [51] CONAE, «Eficiencia Energética en Inmuebles de la Administración Pública Federal: de Diagnósticos energéticos a programas de gran alcance.».
- [52] Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, «Informe de resultados de ahorro de energía en la administración pública federal,» Ciudad de México, 2017.
- [53] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), «Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México,» LC/MEX/TS.2018/8, 2018.
- [54] L. L. H.-H. R. I. Vera, «INDICATORS FOR SUSTAINABLE ENERGY DEVELOPMENT,» IEA.
- [55] Division for Sustainable Development, «INDICATORS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT: GUIDELINES,» 2001.
- [56] ISO, «ISO 50001:2018. Energy management systems — Requirements with guidance for use».
- [57] ISO, «ISO 50006:2014. Energy management systems — Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI) — General principles and guidance».

- [58] G.Escrivá-Escrivá, «Basic actions to improve energy efficiency in commercial buildings in operation,» ELSEVIER, vol. 43, pp. 3106-3111, 2011.
- [59] IEA, «Indicadores de Eficiencia Energética: Fundamentos estadísticos,» © OECD, 2016.
- [60] OIEA, «Indicadores Energéticos del Desarrollo Sostenible: Directrices y Metodologías.,» © OIEA, Austria, 2008.
- [61] OFFICE of ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY, «Building Energy Use Benchmarking. U.S,» [En línea]. Available: <https://www.energy.gov/eere/slsc/building-energy-use-benchmarking..>
- [62] Y. H. P. X. Z. Li, «Methods for benchmarking building energy consumption against its past or intended performance: An overview.,» ELSEVIER, vol. 124, pp. 325-334, 2014.
- [63] L. A. Horta, «Indicadores de Políticas Públicas en materia de eficiencia energética en America Latina y el Caribe.,» CEPAL, Santiago de Chile, 2010.
- [64] The Shift Project, «The Shift Project Data portal,» [En línea]. Available: <http://www.tsp-data-portal.org/Energy-Consumption-Statistics#tspQvChart>.
- [65] H. Herring, «Energy efficiency—a critical view,» ELSEVIER, vol. 31, nº 1, pp. 10-20, 2006.
- [66] CONUEE, SENER, «NOM-007-ENER-2004. Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificio no residenciales,» DOF, Ciudad de México, 2004.
- [67] F. Y. W. Lee, «Regulatory and voluntary approaches for enhancing building energy efficiency.,» ELSEVIER, vol. 30, pp. 477-499, 2004.
- [68] Y. M. L. W. C. a. Y. V. Hui, «Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings.,» ELSEVIER, vol. 83, pp. 1-14, 2006.
- [69] Energy Star, «U.S. Energy Use Intensity by Property Type,» 2016.
- [70] I. A. S. C. M.I. Azucena Escobedo Izquierdo, «CURVAS CARACTERÍSTICAS EN USOS FINALES EN EDIFICIOS DEL SECTOR TERCIARIO (CON USO NO RESIDENCIAL),» Cusco , 2007.
- [71] M. d. J. V. Gómez, «Estimación y análisis de los principales índices energéticos de los edificios de alta tecnología contra los convencionales,» Ciudad de México, 2002.
- [72] Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, «gob.mx,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/conuee/documentos/informe-de-resultados-de-ahorro-de-energia-en-la-administracion-publica-federal-2014>.

ANEXO

Anexo 1 Zonas Térmicas en inmuebles de oficina

Zona térmica 1: Baja California (Mexicali), Baja California Sur (La Paz), Campeche (Carmen, Campeche), Chiapas (La Concordia, Frontera Comalapa, Acapetahua, Tuxtla Gutiérrez, Tapachula, Suchiate), Colima (Colima, Manzanillo, Tecmán), Hidalgo (Huejutla de Reyes), Jalisco (Puerto Vallarta), Michoacán (Lázaro Cárdenas, Apatzingán, Gabriel Zamora, Tepalcatepec), Nayarit (Santiago Ixcuintla, Rosamorada), Oaxaca (Salina Cruz, Santo Domingo Tehuantepec, San Pedro Mixtepec), Quintana Roo (Isla Mujeres, Othón P. Blanco, Benito Juárez, José María Morelos), San Luis Potosí, (Ciudad Valles), Sinaloa (Mazatlán, Guasave, Ahome, Culiacán, San Ignacio), Sonora (Guaymas, Cajeme), Tabasco (Paraíso, Centro, Cárdenas, Cunduacán, Emiliano Zapata), Tamaulipas (Altamira, Matamoros, Reynosa, Tampico, Ciudad Madero, Río Bravo), Veracruz (Coatzacoalcos, Tuxpan, Veracruz, Pánuco, Poza Rica de Hidalgo, Medellín, Cerro Azul, Boca del Río, Jáltipan, Las Choapas, Cosamaloapan, Martínez de la Torre), Yucatán (Progreso, Mérida).

Zona térmica 2: Baja California Sur (Los Cabos, Mulegé), Chiapas (Comitán de Domínguez), Coahuila (Monclova, Parras, Piedras Negras, Sabinas, Torreón), Durango (Gómez Palacio, Lerdo), Guanajuato (León, Salamanca), Guerrero (Chilpancingo de los Bravos), Jalisco (Ciudad Guzmán, Guadalajara, Tepatitlán de Morelos, Tlaquepaque, Zapopan), Michoacán (Jiquilpan, La Piedad, Tacámbaro), Morelos (Cuernavaca), Nayarit (Tepic, Xalisco), Nuevo León (Apodaca, Cadereyta Jiménez, General Escobedo, Guadalupe, Linares, Monterrey, San Pedro Garza García), Oaxaca (Oaxaca de Juárez, San Bartolo Coyotepec, Villa de Etla), Puebla (Izúcar de Matamoros, Tehuacán), San Luis Potosí (Rioverde, Soledad de Graciano Sánchez), Sonora (Caborca, Cananea, General Plutarco Elías Calles, Hermosillo, Nogales, San Luis Río Colorado), Tamaulipas (Nuevo Laredo, Victoria), Zacatecas (Jalpa).

Zona térmica 3A: Ciudad de México (Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuajimalpa de Morelos, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Tlalpan, Venustiano Carranza), Durango (Guadalupe Victoria), Guanajuato (Celaya, Cortazar, Irapuato, Pénjamo, San Luis de la Paz, Silao), Estado de México (Naucalpan de Juárez, Nezahualcóyotl, La Paz, Texcoco, Tlalnepantla de Baz), Nuevo León (Iturbide), Puebla (Puebla, San Andrés Cholula, Tecamachalco), Querétaro (Pedro Escobedo, Querétaro), Veracruz (Orizaba, Xalapa).

Zona térmica 3B: Baja California (Tecate, Tijuana), Chihuahua (Chihuahua, Juárez), Durango (Durango, Ocampo), Querétaro (Colón, Tequisquiapan), San Luis Potosí (Matehuala, San Luis Potosí), Zacatecas (Concepción del Oro).

Zona térmica 3C: Aguascalientes (Aguascalientes, Pabellón de Arteaga), Baja California (Ensenada), Chiapas (Tuxtla Gutiérrez), Ciudad de México (Iztapalapa, Xochimilco), Durango (Santiago Papasquiaro), Guanajuato (Acámbaro, Guanajuato, Salvatierra), Hidalgo (Pachuca de Soto), Michoacán (Morelia, Pátzcuaro, Uruapan, Zacapu), Puebla (Hueytamalco, Teziutlán), Zacatecas (Fresnillo, Guadalupe, Zacatecas).

Zona térmica 4A: Coahuila (Saltillo), Hidalgo (Mineral de la Reforma), Estado de México (Atlatomulco, Cuautitlán Izcalli, Ecatepec, Jilotepec, Metepec, Toluca, Zinacantepec), Puebla (Chalchicomula de Sesma, San Martín Texmelucan, Tlahuapan), Tlaxcala (Chiautempan, Panotla, Tlaxcala).

Anexo 2 Ficha técnica del equipo de medición**IDR (INTERVAL DATA RECORDER)**

E-Mon D-Mon
Energy Monitoring Products & Systems

Features

- Reads & records up to 8 or 16 E-Mon D-Mon Electric meters.
- IDR-ST model can accept contact closure type pulse inputs from other types of meters (water, gas, BTU, steam, etc.)
- RS-485 communications capability supports the following connection configurations (or combinations not to exceed 52 devices per channel):
 - Up to 52 IDR-8 interval data recorders
 - Up to 26 IDR-16 interval data recorders (IDR-16 counts as two devices)
 Cabling can be either daisy-chain or star configuration, 4-conductor, 24-26 AWG, up to 4,000 cable feet total per channel.
- Communication Options
 - RS-232/RS-485 (Standard)
 - Telephone Modem
 - Ethernet
 - Modbus RTU or Modbus TCP/IP
 - BACnet IP or BACnet MS/TP
 - LONworks TP (Twisted Pair)
- Internal data storage-36 days of 15-minute intervals. Maintains last 36 days of data.
- Reads kWh (kilowatt-hours) and reads kW (Demand) in 15, 30 or 60-minute kW periods.
- Standard IDRs do not require a separate power source (power supplied by E-Mon D-Mon electric meters.) IDR-ST models require a separate 120V power source (included with IDR-ST models.)
- Maintains data in case of power outage.
- Industrial-grade JIC steel enclosure with padlocking hasp and mounting flanges. (For indoor use only.)
- Three 1 1/16" knockouts (3/4" conduit) on bottom of enclosure.
- IDR data accumulators can be mounted on the inside back wall of the MMU cabinet and shipped from the factory in one complete package.
- MV-90 compatible.



Dim: 9 1/2" H x 6 3/4" W x 3 3/4" D

Model Numbers

IDR-8 (Up to 8 meters)
IDR-16 (Up to 16 meters)

*For optional screw terminals in place of all RJ jacks add suffix ST to the model number.
Example: IDR-8-ST

* For IDR-16 with 8 RJ jacks and 8 screw terminals add suffix RJST to the end of the model number. Example: IDR-16-RJST

Built-In Communication Options

Telephone Modem (Suffix M)
Ethernet Communication (Suffix E)
Modbus RTU Communication (Suffix RTU)
*Modbus TCP/IP Communication (Suffix ERTU)
*BACnet IP Communication (Suffix EB)
BACnet MS/TP Communication (Suffix B)
LONworks TP Communication (Suffix LTP)

* Modbus TCP/IP and BACnet IP communicate over Ethernet. No RS-485 daisy-chain capabilities with Modbus TCP/IP & BACnet IP. Each IDR must connect directly to the BACnet/Modbus backbone and have a unique IP address.

(800) 334-3666 - www.emon.com

Effective Date: 10/8/2009

E-Mon
Energy Monitoring Products

Anexo 3. Demanda Máxima y Mínima (kW) de la FI

	2011	2015	2018
MAX Promedio mensual	249	248	231
MAX Promedio verano	259	246	234
MAX Promedio Invierno	254	256	238
MAX Promedio Vacaciones	217	216	208
MIN Promedio Mensual	38	39	42
MIN Promedio verano	259	40	46
MIN Promedio. Invierno	254	39	42
MIN Promedio Vacaciones	217	32	36

Anexo 3. Consumo mensual (kWh al mes) y anual (kWh al año) de la FI

meses	2011		2014		2018
	Total	A.A UNICA	Total	A.A UNICA	Total
enero	66500.72	162.14	65759.42	135.07	58068.07
febrero	82177.53	284.14	71646.92	116.79	73903.78
marzo	86624.18	187.28	83193.54	111.38	68802.00
abril	69103.00	46.53	71957.70	94.23	78004.56
mayo	82172.41	34.57	76279.08	121.64	77332.03
junio	76390.75	20.43	67173.51	157.05	64314.30
julio	46862.63	18.07	44337.21	15.88	38069.48
agosto	92548.58	40.25	88918.04	111.16	83199.92
septiembre	90245.10	42.45	86825.94	315.04	70127.36
octubre	88999.61	30.36	77768.34	177.03	83170.07
noviembre	80178.29	68.27	80961.40	316.79	69164.33
diciembre	46745.46	79.96	44867.61	114.73	48533.22
consumo anual	908548.26	1014.45	859688.70	1786.79	812689.13

Anexo 4. ICEE (kWh/m² al año) total y por uso final de la FI

año	ICEE total	ICEE AA
2011	80.52	0.97
2014	76.19	1.70
2018	72.03	

Anexo 5. Demanda Máxima y Mínima (kW) del Instituto de Geología

	2011	2015	2018
MAX Promedio mensual	142	146	160
MAX Promedio verano	145	155	164
MAX Promedio Invierno	144	139	162
MAX Promedio Vacaciones	132	133	145
MIN Promedio Mensual	34	39	54
MIN Promedio verano	37	43	58
MIN Promedio. Invierno	35	36	53
MIN Promedio Vacaciones	26	34	44

Anexo 6. Consumo mensual (kWh al mes) y anual (kWh al año) del Instituto de Geología

2011				
meses	total	Ilum. Interior	Ilum. exterior	Cómputo
enero	47108	26207	3493	7541
febrero	45088	25150	3037	5728
marzo	51741	31285	2472	6372
abril	50227	28323	1411	4594
mayo	55206	28677	1345	10895
junio	50972	30516	2211	6135
julio	34364	29674	1429	4750
agosto	52422	32065	2258	6109
septiembre	49045	29171	1459	5709
octubre	49598	27566	1576	6197
noviembre	47214	23936	3970	6429
diciembre	39113	17190	4656	8884
consumo anual	572098	329760	29316	79344

2015				
meses	total	Ilum. Interior	Ilum. exterior	cómputo
enero	49624	26698	3126	8745
febrero	41596	20528	1763	8556
marzo	53853	32958	2568	7320
abril	55339	33802	2060	5895
mayo	57900	33849	2146	5566
junio	64619	25833	2011	5960
julio	33111	46381	1675	7643
agosto	68627	19416	2071	5223
septiembre	88045	13974	2177	5478
octubre	55099	38907	1883	8724
noviembre	62539	19676	2994	4071
diciembre	33021	34310	2073	8886
consumo anual	663374	346332	26547	82068

2018				
meses	total	Ilum. Interior	Ilum. exterior	cómputo
enero	62751	24116	2562	5169
febrero	57371	16450	2227	4365
marzo	65533	12875	2117	10310
abril	73285	15558	2031	8098
mayo	76140	16929	1980	8849
junio	72804	15636	1438	6989
julio	45252	49466	1635	3320
agosto	66461	45039	1648	7655
septiembre	57015	29015	1835	3526
octubre	68125	38193	2485	6493
noviembre	66905	40878	2440	14778
diciembre	54274	42177	2927	2516
consumo anual	765916	346332	25326	82068

Anexo 7. ICEE (kWh/m² al año) total y por uso final del Instituto de Geología

ICEE	total	I. Int	I. Ext	Cómputo
2011	106	64	14	15
2015	92.	67	13	11
2018	95	44	12	10

Anexo 8. Demanda Máxima y Mínima (kW) del Instituto de Geofísica

	2012	2015	2018
MAX Promedio mensual	165	159	139
MAX Promedio verano	164	165	139
MAX Promedio Invierno	172	157	144
MAX Promedio Vacaciones	154	154	125
MIN Promedio Mensual	77	75	71
MIN Promedio verano	80	80	72
MIN Promedio. Invierno	80	73	76
MIN Promedio Vacaciones	63	75	59

Anexo 9. Consumo mensual (kWh al mes) y anual (kWh al año) del Instituto de Geofísica

2012						
meses	total	Montacarga	Calentado r	Comp.	Sist. Refr.	Ilum. ext
enero	81481	4	4	18	128	517
febrero	78676	2	3	24	124	470
marzo	83314	6	1	21	141	519
abril	81166	6	6	15	142	681
mayo	86490	6	1	23	133	672
junio	81752	3	4	26	148	708
julio	70979	7	2	13	146	728
agosto	81846	7	4	15	150	758
septiembre	79976	6	7	20	147	787
octubre	83677	5	4	17	149	732
noviembre	81077	4	4	14	115	870
diciembre	75406	1	14	16	131	423
consumo anual	965841	57	53	221	1654	7866

ANEXOS

2015						
meses	total	Montacarga	Calentador	Comp.	Sist. Refr.	Ilum. ext
enero	81561	20	1	27	5	390
febrero	67891	17	15	13	4	473
marzo	73563	18	13	13	4	527
abril	85520	16	0	15	4	517
mayo	87871	18	1	15	5	552
junio	77222	19	7	17	5	526
julio	66572	20	10	15	5	550
agosto	68863	20	11	18	5	536
septiembre	85159	17	6	17	5	544
octubre	72241	21	12	17	5	526
noviembre	74807	14	1	13	1	707
diciembre	74777	16	1	15	2	748
consumo anual	916049	218	79	196	47	6595

2018						
meses	total	Montacarga	Calentador	Comp.	Sist. Refr.	Ilum. ext
enero	64957	19	12	17	3	541
febrero	61487	17	11	14	3	478
marzo	69430	20	12	17	4	538
abril	69316	18	4	31	2	911
mayo	72453	18	4	30	2	886
junio	69407	19	11	17	4	608
julio	49323	16	0	8	1	987
agosto	63712	18	2	23	4	869
septiembre	61282	17	7	34	5	812
octubre	63793	18	2	25	4	846
noviembre	57366	14	4	19	0	836
diciembre	50729	15	1	20	0	849
consumo anual	753255	208	71	256	33	9160

Anexo 10. ICEE (kWh/m² al año) total y por uso final del Instituto de Geofísica

ICEE	total	Montacargas	Calentador	Compresor	Sist. Refr.	Ilum. ext
2012	127.04	0.03	0.03	0.11	0.22	9.83
2015	120.60	0.03	0.01	0.03	0.01	8.24
2018	98.67	0.03	0.01	0.03	0.00	11.45

Anexo 11. Demanda Máxima y Mínima (kW) de Ciencias Políticas

	2013	2015	2018
MAX Promedio mensual	276	322	324
MAX Promedio verano	282	308	332
MAX Promedio Invierno	284	298	324
MAX Promedio Vacaciones	247	276	299
MIN Promedio Mensual	57	101	107
MIN Promedio verano	60	90	111
MIN Promedio. Invierno	63	88	104
MIN Promedio Vacaciones	38	67	97

Anexo 12. Consumo mensual (kWh al mes) y anual (kWh al año) de Ciencias Políticas

meses	2013		2015		2018	
	total	Ilum. ext	total	Ilum. ext	total	Ilum. ext
enero	111087	2278	110952	2640	134825	3162
febrero	106488	2195	106488	2195	136965	2945
marzo	113613	2571	121966	2306	134956	2817
abril	118985	2570	130185	1632	145580	2903
mayo	114905	2855	127397	1780	145809	2936
junio	103680	2954	134042	1815	135621	2910
julio	70205	2639	52029	3065	107195	2996
agosto	120117	2641	145081	1779	152578	3169
septiembre	111480	2444	140200	2999	126421	3133
octubre	121806	2753	107577	2531	148965	3288
noviembre	109923	2827	123719	2384	149457	2996
diciembre	68387	2659	85322	3135	116817	3196
consumo anual	1270680	31392	1384958	28261	1635191	36451

Anexo 13. ICEE (kWh/m² al año) total y por uso final de Ciencias Políticas

ICEE	total	Ilum. Ext
2013	68	6.51
2015	74	5.86
2018	88	7.56

Anexo 14. Demanda Máxima y Mínima (kW) de Universum

	2011	2015	2018
MAX Promedio mensual	332	311	170
MAX Promedio verano	335	315	181
MAX Promedio Invierno	328	305	152
MAX Promedio Vacaciones	329	318	169
MIN Promedio Mensual	90	77	47
MIN Promedio verano	335	80	50
MIN Promedio. Invierno	328	76	42
MIN Promedio Vacaciones	329	70	48

Anexo 15. Consumo mensual (kWh al mes) y anual (kWh al año) de Universum

2012			
meses	total	Ilum. Ext.	Bombeo
enero	137636	732	3375
febrero	122819	682	3120
marzo	136322	727	3277
abril	126976	670	2973
mayo	134131	663	2922
junio	131538	633	2932
julio	114418	566	3335
agosto	130424	643	3231
septiembre	143676	707	3569
octubre	147616	754	3698
noviembre	142942	729	3576
diciembre	126331	784	3419
consumo anual	1594829	8292	39426

2015			
meses	total	Ilum. Ext.	Bombeo
enero	123575	733	636
febrero	96072	16	675
marzo	106670	19	680
abril	103660	20	645
mayo	103951	24	458
junio	101102	32	390
julio	110103	400	414
agosto	94875	23	454
septiembre	87743	20	391
octubre	98956	25	430
noviembre	87441	21	793
diciembre	78866	36	551
consumo anual	1193015	1368	6517

2018			
meses	total	Ilum. Ext.	Bombeo
enero	48093	372	1384
febrero	47986	505	2407
marzo	58277	394	3818
abril	52086	370	3412
mayo	53863	1056	2591
junio	53830	729	3447
julio	48712	916	2548
agosto	52300	1058	2027
septiembre	50733	1180	2248
octubre	54533	1191	2380
noviembre	50510	1057	1895
diciembre	45017	786	1372
consumo anual	615940	9613	29529

Anexo 16. ICEE (kWh/m² al año) total y por uso final de Universum

ICEE	total	Ilum. Ext	Bombeo
2011	84	2.7	0.33
2015	62	0.44	0.35
2018	32	3.1	1.6

