



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

## “DIAGNÓSTICO Y ADECUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE ESCUELAS PRIMARIAS EN DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS DE MÉXICO”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
INGENIERO MECANICO

Presenta

**Luis Gonzalo Gallego Maraña**

Asesor

**David Morillón Gálvez**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

***Plus Ultra***

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia: mis papás y tíos, a mi hermano y mis primos. Siempre hacen que un mal momento no dure mucho y que los buenos se alarguen. Gracias por el apoyo incondicional de todos.

A la Universidad, que me formó no sólo como ingeniero sino en todos los aspectos hasta convertirme en un ser humano íntegro y me llenó de experiencias.

A Susana, Paolo, Donovan y tantos otros que de una manera u otra hicieron que las horas pesadas de esfuerzo pasaran más rápido.

A Hugo, Agustín, David y toda la gente del UDIATEM. Me brindaron un gran aprendizaje junto con momentos muy amenos.

Al Doctor Morillón cuyo tiempo y consejos me fueron guiando a través de todo el proceso de hacer este documento.

A mis maestros que me compartieron su conocimiento.

A mis sinodales que ayudaron a darle forma final a este documento.

A todas aquellas personas que no nombro por ser tantas y que me brindaron desde una sonrisa hasta un buen consejo que me ayudó a ser lo que soy ahora.

## ÍNDICE

	Introducción	2
	Definición del Problema	4
	Justificación	6
	Objetivo	7
	Hipótesis	8
	Contenido	9
I.	ANTECEDENTES	11
II.	BIOCLIMAS DE MÉXICO	17
	Bioclimas de México	18
III.	USO DE ENERGÍA EN ESCUELAS PRIMARIAS	23
	Consumos Energéticos en México	24
	Consumo Energético en Escuelas de México	28
IV.	DIAGNÓSTICO TÉRMICO Y SU METODOLOGÍA	30
	Diagnóstico Térmico	31
	Recomendaciones para el Ahorro de Energía en Edificios	31
	Metodología	33
	Norma NOM 008-ENER-2001	36
V.	DIAGNÓSTICO TÉRMICO DE LAS ESCUELAS	40
	Caso Distrito Federal	41
	Caso San Luis Potosí	48
	Caso Comalcalco, Tabasco	52
	Caso Ciudad Juárez	55
	Caso Campeche	61
	Validación	67

VI.	ADECUACIONES	71
	Caso San Luis Potosí	73
	Caso Ciudad Juárez Edificio 1	74
	Caso Campeche Edificio A	75
	Caso Campeche Edificio B	76
VII.	BENEFICIOS TÉRMICOS, ENERGÉTICOS Y AMBIENTALES DE LA REDUCCIÓN DE LAS GANANCIAS DE CALOR	78
	Impacto Energético y Ambiental	79
	Beneficio de las Adecuaciones	87
VIII.	CONCLUSIONES	90
	Bibliografía	93



## INTRODUCCIÓN

Aproximadamente durante los últimos veinte años, ha habido cada vez más conciencia del grave deterioro ambiental que existe en nuestro planeta debido a las actividades humanas. Por lo que se han llevado a cabo acciones que deberían detener o bajar el ritmo del proceso de degradación. En la mayoría de los gobiernos mundiales existe al menos una dependencia encargada de regular las acciones energéticas de cada país, en México son la SENER y la CONUEE. Estas están encargadas de: “Conducir la política energética del país, garantizar el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable de energéticos que requiere el desarrollo de la vida nacional”.

En un proceso energético es tan importante la generación de potencial eléctrico como el uso final que se le da. Para que el uso sea más eficiente se puede reducir la carga o las horas de funcionamiento del equipo, también es posible modificar el proceso de producción de potencial de la energía utilizada, que implique mayor aprovechamiento y un menor costo.

Para llevar a cabo acciones específicas de aprovechamiento y ahorro es necesario realizar un diagnóstico. El establecimiento de las políticas energéticas adecuadas dependen de la información recabada en el diagnóstico, y entre mejor sea conducido y la información sea más precisa mejores resultados se obtendrán.

Los diagnósticos energéticos son estudios que permiten determinar dónde y cómo se utiliza la energía, estos no son una solución directa al control de costos en el uso de la energía pero si la herramienta más útil para lograr esa función.

Durante el diagnóstico se identificarán puntos donde la energía se está desperdiciando y aquellos donde es posible generar un ahorro, además, de brindar el apoyo necesario para futuros procesos y que estos sean conducidos en condiciones óptimas.

Una fuente de consumo energético en todas las construcciones es el acondicionamiento térmico, ya sea utilizando calefacción o aire acondicionado. Es por ello que un diagnóstico térmico de una edificación es un punto importante dentro de un diagnóstico energético. Si la evaluación es conducida de manera adecuada y en base a los resultados se proponen adecuaciones que mejoren el uso y aprovechamiento de la energía es posible ahorrar una gran cantidad de electricidad utilizada para el confort térmico.

Con la información y conocimientos que existen sobre transferencia de calor, materiales, bioclimas, orientaciones y todo lo referente a una construcción sustentable es posible realizar una adecuación térmica completa para las necesidades de cada edificio. Con las adecuaciones el edificio se debe comportar mejor térmicamente por lo que no será

necesario que exista un gasto tan grande en acondicionar de manera artificial, lo que supone un ahorro energético.

Hoy en día el organismo encargado de regular la infraestructura educativa de México es el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED). Entre sus labores está emitir normas, especificaciones técnicas, elaboración de guías operativas y manejo de recursos destinados a la infraestructura en escuelas. Sin embargo este organismo tiene su predecesor en otro que cumplía las mismas funciones, el Comité Administrador del Programa Federal de Construcción de Escuelas (CAPFCE). Este organismo tenía unos planos similares para todas las escuelas que se construían en el país.

Dada la importancia que tiene la educación para el desarrollo de nuestro país y sabiendo de antemano que el aprendizaje de los estudiantes se basa en gran medida en el entorno que los rodea, es decir la iluminación, el confort térmico, la calidad del aire, la ventilación, la edad y tamaño de los edificios, se debe hacer un esfuerzo por mejorar las condiciones de confort de las escuelas primarias.

A continuación se presentan una serie de datos de un estudio realizado por Mark Schneider llamado "Do School Facilities Affect Academic Outcomes?" en este se muestran las condiciones que debe de cumplir un salón completamente adecuado para el buen aprendizaje. Además de las ventajas que este muestra sobre salones que se utilizan hoy en día.

Un ejemplo palpable es la pobre calidad de aire que se respira especialmente en grandes ciudades como México, Guadalajara o Monterrey. Este problema provoca irritación en ojos, nariz y garganta, náusea, fatiga, sueño y dolores de cabeza. Se recomienda que la cantidad de aire puro que necesita una persona por minuto para tener unas condiciones óptimas de confort sea de entre quince y veinte pies cúbicos por minuto. Si se contara con esta cantidad de aire se podrían remover contaminantes químicos y biológicos. Con esa cantidad de aire fresco se eliminaría uno de los factores del bajo aprovechamiento escolar que es obvio. Un estudiante o maestro que esté enfermo no puede desenvolverse de la misma forma que uno que este saludable. Además de que generalmente la baja calidad del aire se relaciona con el ausentismo. Esto se ha comprobado con algunos experimentos en centros educativos en Suecia, en los cuales se instalaron purificadores de aire y las faltas disminuyeron de un 8.31% hasta un 3.75%.

Un salón de clases es un espacio cerrado en el que conviven una gran cantidad de personas, es por ello que debe de contar con una ventilación adecuada. Esto ayudará a eliminar toxinas generadas por la respiración, la piel, perfumes y otros productos que en un espacio cerrado no se eliminarían. Por ejemplo el CO<sub>2</sub> provoca somnolencia, dolor de cabeza y la incapacidad de concentrarse.

La ventilación adecuada debe consistir en una porción de aire fresco y otra de aire acondicionado y filtrado que además debe contener un porcentaje de humedad elevado y

estar a una temperatura confortable. Sin embargo el costo que implica suministrar aire acondicionado a cada aula es un factor que las escuelas no están dispuestas a absorber por lo que la ventilación se limita a ventanas que muchas veces son insuficientes.

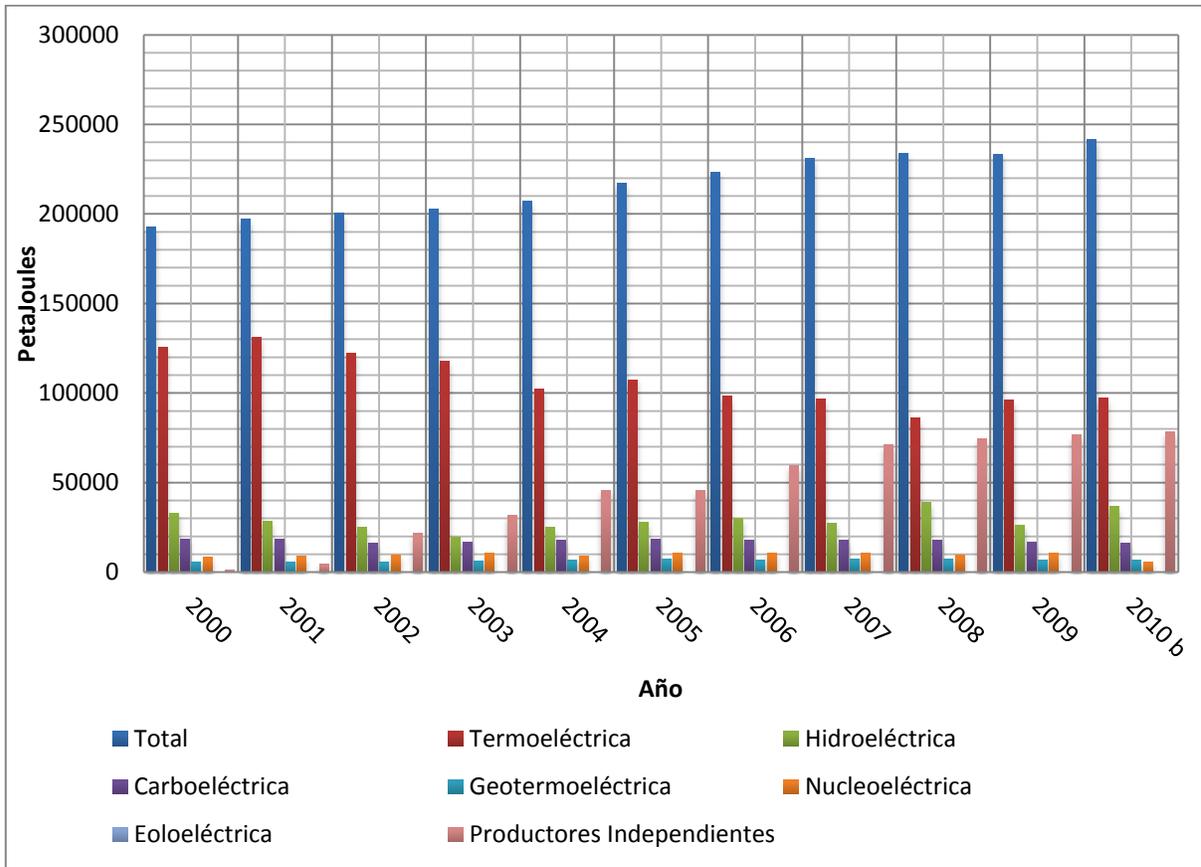
Un aspecto importante y que se ha estudiado por varias décadas es el rango de temperatura óptimo para estudiar. Se ha llegado a la conclusión de que el rango está entre veinte y veintitrés grados Celsius. Aunque posteriores estudios dicen que cada estudiante tiene un rango individual en el que su desempeño es mejor. Los profesores también se ven afectados por esta condición además de que, según algunos estudios, la mayoría de los maestros considera vital controlar factores como la ventilación, la iluminación o la temperatura dentro del salón de clases.

Otra parte a evaluar dada su importancia para el desempeño académico es la iluminación dentro del salón de clases. Antes de los años cincuenta se usaba la luz natural para iluminar las aulas pero a partir de que el costo de la luz eléctrica se redujo también se redujo la luz natural en las escuelas, dejando paso a la artificial. Un estudio realizado en más de dos mil salones es la mayor evidencia sobre los efectos de los beneficios de la luz natural. El estudio dice que los estudiantes que tienen en su salón de clases luz natural alcanzan un desempeño de hasta veinte por ciento mayor sobre los estudiantes cuyo salón de clases es iluminado principalmente con luz artificial.

Dado que ya se conoce qué afecta y en qué porcentajes al rendimiento académico las autoridades competentes deben tomar cartas en el asunto y empezar a evaluar nuestras escuelas en todos estos ámbitos para poder dotar al sistema educativo de un ambiente propenso al mejor desarrollo de los alumnos. Si se genera un modelo estándar del tipo de construcción que se requiere en base a ciertos lineamientos se pueden construir escuelas óptimas que favorezcan de manera adecuada el aprendizaje de los alumnos.

## **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Todo aquel proceso que implique una transformación requiere del uso de la energía. En México la mayor parte de esta se obtiene de quemar combustibles fósiles. Actualmente existen dos líneas de acción principales para contrarrestar el deterioro ambiental, la primera es reducir la cantidad de combustibles fósiles utilizados y usar energías renovables como la energía eólica, solar, hidroeléctrica, biomasa o geotérmica. La segunda estrategia es la de modificar la cultura del consumo para que exista un uso más eficiente de la energía, es decir, implementar estrategias de uso inteligente con la finalidad de utilizar menos energía. El reto consiste en no afectar la comodidad y la productividad de los usuarios.



**Figura 1. Métodos de producción de potencial energético. Fuente: INEGI**

Hoy en día la producción del potencial energético en México se lleva a cabo principalmente en plantas hidroeléctricas y termoeléctricas, estas últimas operan quemando combustibles fósiles. En la figura 1 se observa que la producción del potencial energético en plantas termoeléctricas ha ido disminuyendo. Sin embargo la población y las necesidades energéticas que crecen año con año no ha permitido que el consumo total descienda. Es por ello que se requieren implementar las prácticas de ahorro y eficiencia energética que propiciarán la disminución del consumo total o ralentizar su aumento.

El problema es que generar potencial eléctrico en instalaciones termoeléctricas o de ciclo combinado supone una gran cantidad de toneladas de gases de efecto invernadero (GEI) lanzadas a la atmósfera. En México durante el 2010, de acuerdo al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), de las 748 millones de toneladas de GEI que se expulsaron a la atmósfera, el 67% proviene del apartado de energía. Dentro de este rubro aparecen las subcategorías de: manufactura, transporte, emisiones fugitivas, comercial residencial, agropecuario e industria de la energía, siendo este último el causante del 33%

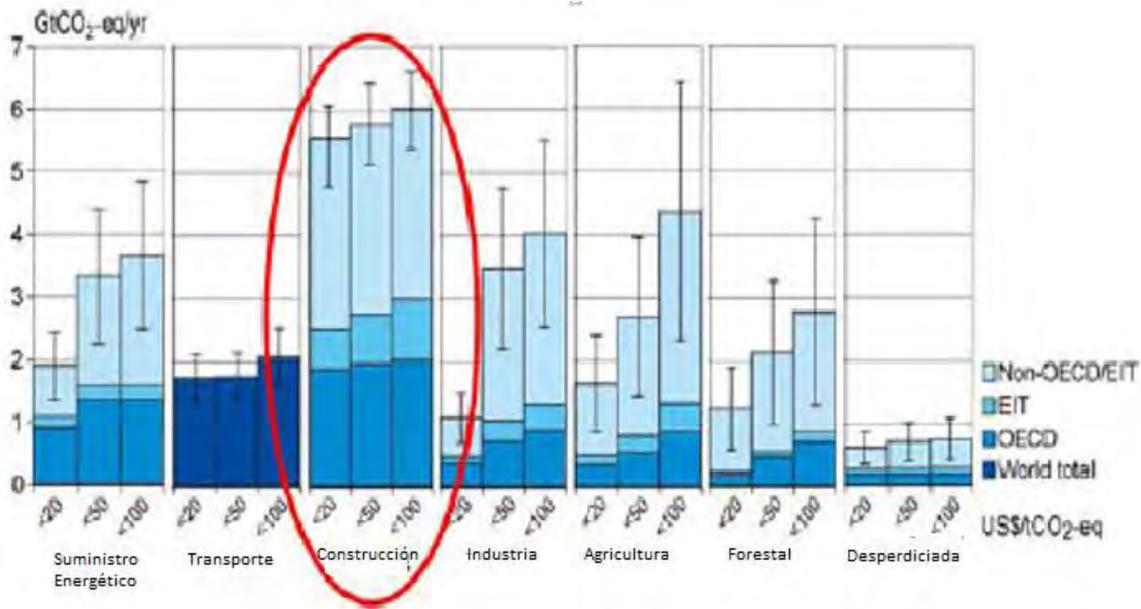
de emisión dentro del 67% anual del país. Además en los últimos veinte años Las emisiones de gases de efecto invernadero en unidades de CO<sub>2</sub> eq., crecieron 33.4%.

De ahí se ve la necesidad de buscar alternativas para ahorrar en el consumo eléctrico y por lo tanto reducir la dependencia al uso de combustibles fósiles para generar electricidad. Sólo así se podrán reducir las cantidades de GEI que arrojamamos todos los años a la atmósfera, con su consecuente daño al medio ambiente.

## **JUSTIFICACIÓN**

La crisis energética y el cambio climático global, hacen que hoy en día todas las medidas asociadas a la eficiencia energética y a la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) cobren especial relevancia. La construcción y posterior operación de los edificios representa alrededor del 40% del consumo anual mundial de energía y cerca de un tercio de las emisiones de gases efecto invernadero (Programa Ambiental de las Naciones Unidas, 2007). Sabiendo esto, el ámbito de la arquitectura y la construcción es uno de los sectores más importantes en los cuales es posible intervenir y producir cambios y mejoras.

Además, el sector de la edificación tendría no sólo el mayor potencial de reducción del consumo energético y de emisiones de CO<sub>2</sub>, sino también, dicho potencial sería independiente del costo de inversión. Tal como muestra la figura 2, el potencial de reducción estimado para el sector sería de 5,5, a 6 GtCO<sub>2</sub>-eq/año, es muy superior al de todos los otros sectores. Con un costo menor a US\$20, es posible lograr una reducción muy similar a aquella obtenida con una inversión mayor (US\$100). Este potencial de reducción sería más alto en los países en vías de desarrollo por ser países en los que se están construyendo una cantidad considerable de nuevas edificaciones.



**Figura 2. Potencial de reducción estimada por sector y grupo de países. Fuente: UNEP (2009).**

Según datos de la Iniciativa de Construcción Durable de las Naciones Unidas (UNEP-SBCI, 2009), con las tecnologías disponibles hoy en día, el consumo de energía tanto en los edificios nuevos como existentes podría ser reducido hasta un 50% sin generar un gran aumento en los costos de construcción. Lo anterior es confirmado por un estudio realizado por Harvey (2009), el cual concluye que estas economías podrían alcanzar de 50% a 75%, con medidas tales como la mejora de las envolventes y los sistemas de construcción, sin implicar costos de construcción más elevados que aquellos asociados a la concepción convencional.

A pesar de que el consumo energético en las escuelas primarias no sea tan alto a nivel nacional, el hecho de que por ser México un país en el que hay una gran cantidad de escuelas de este tipo, por los rangos de edad de la pirámide poblacional, junto con el porcentaje de reducción de GEI, permite que el estudio sea justificable. Además adecuar las escuelas a condiciones de confort aportará otros beneficios que ya conocemos.

## OBJETIVO

Como se ha mencionado, antes de los años noventa no se tenía en cuenta el impacto ambiental que se generaba en el medio ambiente con nuestras acciones y mucho menos se tenían presentes conceptos como sustentabilidad o condiciones adecuadas de confort

para los usuarios. Por esto el CAPFCE construía todas las escuelas del país con los mismos planos, materiales y orientación, sin importar la zona geográfica en la que la escuela iba a ser construida.

Es por ello que se llevará a cabo una auditoría térmica en cinco escuelas que se encuentren en diferentes zonas climáticas del país. Lo anterior con el fin de establecer la línea base con las cuales se evaluará el desempeño energético de nuevas construcciones, en las cuales se espera disminuir u optimizar los consumos energéticos, entregando las condiciones de confort interior adecuadas para el proceso educativo. Mediante el diagnóstico térmico se van a conocer las condiciones de confort que enfrentan los alumnos en diferentes partes del país y obtener las ganancias de calor que recibe cada uno de los edificios que se auditarán.

Como objetivos específicos del estudio están: realizar las mediciones térmicas en invierno en dos aulas de cada una de las cinco escuelas de la muestra; la descripción física de la construcción, especialmente aquella vinculada con la envolvente del edificio, fotografías de HD, llevar a cabo una encuesta para conocer la opinión de los usuarios respecto a las condiciones de confort. Llevar a cabo adecuaciones térmicas en aquellos edificios que no cumplan con la norma y cuyas ganancias en el edificio proyectado superen las ganancias del edificio de referencia. Realizar el estudio de impacto ambiental para conocer el alcance del daño que existe por una mala planeación en la construcción y operación de las escuelas.

Los casos de estudio son escuelas de reciente construcción o remodelación. Los lugares dónde se encuentran son: Ciudad Juárez, San Luis Potosí, Distrito Federal, Comalcalco en el estado de Tabasco y Campeche. Estos lugares se escogieron por ser lugares característicos de algunas zonas climáticas de México: cálido seco extremo, templado seco, templado semifrío, cálido semihúmedo y cálido húmedo respectivamente. Se obtendrán las ganancias de calor por convección y radiación para las escuelas mencionadas y se compararán las ganancias reales con las ganancias del edificio de referencia. Para obtener las ganancias se utiliza como base para realizar el análisis del comportamiento térmico la Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001.

## **HIPÓTESIS**

Es muy probable que en muchos casos las escuelas tengan ganancias de calor muy altas, principalmente en zonas de clima cálido o templado con poca humedad. En este tipo de climas es dónde se llevarán a cabo las propuestas de mejora.

Una vez realizadas las mejoras se verá una clara diferencia en el impacto ambiental que generan las escuelas. El impacto ambiental se convertirá en beneficio debido al ahorro

energético que exista. El beneficio podrá ser visto como dinero ahorrado en la operación de la escuela y en toneladas de CO<sub>2</sub> no emitidas a la atmósfera.

## **CONTENIDO**

La tesis inicia exponiendo la definición del problema, la justificación del estudio, los objetivos que se esperan cumplir y por último la hipótesis.

En el primer capítulo se muestran algunos estudios que se han realizado hasta la fecha en México y el mundo respecto a este tema. Ya sean diagnósticos térmicos en edificios residenciales o comerciales. Se muestran también estudios realizados a los edificios en base al bioclima donde se encuentran y en muchos casos se muestran las mejoras que se llevaron a cabo o se propusieron, así como su grado de mejora para las condiciones de los usuarios.

A continuación se presentará el marco teórico, primero se muestran los bioclimas de México basándose en una línea de trabajo que se ha seguido a lo largo de varios años en el Instituto de Ingeniería. Posteriormente se presentan algunos conceptos básicos relacionados con la energía. Inicia con un breve análisis del Balance Nacional de Energía del 2011 que muestra la situación energética de México. Luego se muestra el consumo energético de las escuelas en el país en base al clima donde están ubicadas.

En el capítulo cuatro se aborda el tema del diagnóstico térmico y su metodología. Se explica de manera general lo que es un diagnóstico térmico y algunas recomendaciones básicas para el ahorro energético en edificios. La metodología se explica de tal manera que puede ser aplicada en cualquier edificio o construcción ya que es una metodología genérica. Durante la metodología se deja claro que en México para obtener las ganancias de calor se utiliza la norma NOM-008-ENER-2001 y por lo tanto se explica en este mismo capítulo. Se revisan conceptos básicos que usa la norma y se muestra como se comparan las ganancias de calor del edificio proyectado con el edificio de referencia.

Para el capítulo cinco se presentan los resultados del diagnóstico térmico para cada uno de las cinco escuelas que se evaluaron. Primero se presenta la caracterización de cada una de las escuelas. Se muestran vistas de los planos, fotografías, los materiales de construcción y toda la información que se requiera para llevar a cabo la auditoría. Para validar el método se pone el ejemplo de Campeche, el cual resultó tener ganancias de calor muy altas. Con la ayuda de un mapa de confort, la encuesta y las mediciones térmicas de toda la semana el método queda validado.

En el siguiente capítulo se proponen una serie de adecuaciones a los edificios que no aprobaron la norma o que a pesar de aprobarla tuvieron un ahorro energético muy bajo.

Así mediante gráficas es posible identificar como con las mejoras se reducen las ganancias de calor de manera drástica.

Por último en el capítulo siete se muestran los beneficios térmicos, energéticos y ambientales de la reducción de las ganancias de calor. Se hace un estudio de impacto ambiental y energético. Los excesos o los déficits de las ganancias de calor se transforman en kWh o en kg de CO<sub>2</sub>. Primero se obtienen los resultados de los edificios sin adecuaciones y posteriormente se muestran los beneficios de haber realizado adecuaciones.

# Capítulo I

## ANTECEDENTES

Desde la década de los ochenta comenzó la preocupación por el constante deterioro del medio ambiente sin embargo no es hasta finales de los noventa que se comienzan a tomar verdaderas acciones para frenar el deterioro global. La mayoría de las acciones están encaminadas o bien a reducir o a reciclar. En todo el mundo se están llevando a cabo investigaciones para reducir el gasto de energía en la construcción y operación de edificios. En este estudio el enfoque es hacia la infraestructura educacional.

En países de Europa que se han comprometido desde hace mucho con la conservación del medio ambiente se dieron cuenta del potencial ahorro energético que se podría hacer si se implementan medidas de eficiencia en edificios y no sólo en general sino ya en educacionales. Prueba de esto es el artículo publicado en enero del 2007 por Hans Erhorn, Tomasz Mroz, Ove Mørck, Fritz Schmidt, Lorenz Schoff y Kirsten Engelund Thomsen "*The Energy Concept Adviser—A tool to improve energy efficiency in educational buildings*" en el cual después de seis años de investigación crearon una herramienta virtual que ayudará desde la etapa de diseño de estos edificios para poder ahorrar energía. Esta herramienta se puede aplicar a cualquier tipo de edificio educacional ya que desde las escuelas primarias hasta universidades comparten más o menos las mismas características de ahorro y de gasto.

En el año 2008 se realizó un estudio en Grecia por T.G. Theodosiou, K.T. Ordoumpozanis llamado "*Energy, comfort and indoor air quality in nursery and elementary school buildings in the cold climatic zone of Greece*" en el que se buscó conocer mediante mediciones objetivas y una encuesta subjetiva, aplicada a las personas que utilizan estas instalaciones, cual es el grado de confort basados en la temperatura, la calidad del aire y el excesivo gasto energético debido al bajo mantenimiento y al control inapropiado en la iluminación o calefacción.

En su artículo "*Basic actions to improve energy efficiency in commercial buildings in operation*" publicado en 2011 Guillermo Escrivá-Escrivá después de investigar algunas medidas de bajo coste y fácil implementación, las llamadas medidas de costo cero, que fueron adoptadas por la Universidad Politécnica de Valencia se analiza la eficacia de las mismas.

E. Mata, F. López y A. Cuchí presentaron en 2009 un estudio llamado "*Optimization of the management of building stocks: An example of the application of managing heating systems in university buildings in Spain*"—en el cual mediante el uso de espacios, reacomodo de horarios y un control más estricto en la calefacción se logró reducir en un cuarenta por ciento el consumo de gas para una calefacción en la Universidad Técnica de Cataluña. Este es un plan a largo plazo sin embargo los resultados a corto plazo fueron alentadores. En el marco de este plan se involucran también la realización de un diagnóstico energético en cada edificio de la universidad.

Además gracias a este diagnóstico se pudo comprobar que las expectativas de ahorro planeadas con anterioridad si se cumplieron.

En países donde las condiciones climáticas son mucho más extremas los intentos por ahorrar energía sobre todo en la parte de la calefacción han comenzado desde los años noventa, cambiando a sistemas más eficientes o aprovechando el calor que se escapa en calentadores para hacer un precalentamiento de agua o aire. En 2010 Teet-Andrus Koiv de la Universidad Tecnológica de Tallinn, Estonia realizó un estudio llamado *“Indoor climate and energy efficiency of apartment and educational buildings in Estonia”* en el cual muestra como mejora el consumo energético en departamentos y edificios educacionales si se colocan bombas de calor o recuperadores de calor en las construcciones, haciendo que el ciclo de calor sea mucho más eficiente.

En su artículo *“Combined effect of energy efficiency measures and thermal adaptation on air conditioned building in warm climatic conditions of India”* publicado en 2012 por Shivraj Dhaka, Jyotirmay Mathur y Vishal Garg de la India hicieron un estudio que evalúa el mejoramiento de la eficiencia energética de un edificio al que se le aplican las medidas propuestas por el Código Indio de Conservación Energética en Edificios (ECBC). El estudio arroja los resultados de estas medidas aplicadas una por una o combinadas. Estas medidas pueden lograr ahorrar hasta el cuarenta por ciento si se aplican combinadas en edificios pequeños. Sin embargo para edificios grandes las reducciones de energía se ven minimizadas por la generación de energía interna del edificio.

También en 2012 en Perugia, Italia, Umberto Desideri, Daniela Leonardi, Livia Arcioni, Paolo Sdringola publicaron el artículo *“European project Educa-RUE: An example of energy efficiency paths in educational buildings”* el cual reúne los resultados obtenidos por Educa-RUE, un comité de ocho organizaciones gubernamentales que desde 2008 hasta 2010 reunieron datos sobre el gasto energético en escuelas bajo la jurisdicción de cada organismo. Una vez analizados los datos obtenidos se propusieron una serie de lineamientos que disminuirían el consumo energético en cada lugar dependiendo de las condiciones climáticas y de los edificios de cada uno de los socios. A estos lineamientos se les llamó el método Educa-RUE. El cual comenzó a ser aplicado en diferentes regiones de Italia (uno de los integrantes del comité) obteniendo resultados positivos. Tanto, que se puede modificar el método para hacerlo aplicable a otro tipo de edificios.

Los estudios energéticos y propuestas de ahorro que se han hecho en México han sido en su mayoría para edificios residenciales. Por ejemplo el estudio de Danielle Griego, Moncef Krarti y Abel Hernández-Guerrero realizado en 2011 en la Universidad de Guanajuato llamado *“Optimization of energy efficiency and thermal comfort measures for residential buildings in Salamanca, Mexico”* consiste en una serie de medidas que se integran para mejorar la eficiencia energética en edificios residenciales. Sin embargo, este

estudio sólo fue hecho mediante simulación y no se hace un estudio real ni se obtienen medidas exactas. El artículo arroja un ahorro anual de hasta cincuenta y dos por ciento. Sería necesario evaluar si el cálculo es correcto una vez que entre el factor humano en juego.

En su tesis de maestría *“Línea Base del uso Final de la Energía Eléctrica en Edificios Comerciales y de Servicios de la República Mexicana: Indicadores Energéticos”* Iván García Kerdan realiza un estudio exhaustivo sobre los diferentes índices energéticos y los usos de la energía que se le da en restaurantes, escuelas, hospitales, hoteles y oficinas entre otros. Esta recopilación está basada en diagnósticos energéticos realizados en diferentes climas de México a lo largo de quince años y toma en cuenta además la localización climática de cada tipo de edificio.

En el 2005 los ingenieros Mario Alberto Barrera Chavarria y José Gabriel Guerrero Machuca presentaron una tesis con el título *“Diagnóstico Energético en el Edificio del Centro de Cómputo y Anexos de la Facultad de Estudios Superiores”* que consistió en realizar un diagnóstico energético del edificio mencionado en el título de la tesis. La auditoría se realizó basándose en la norma NOM-001-SEDE-1999. Se pudo constatar de los problemas que existen para hacer efectiva la norma, y que son necesarias adecuaciones de control y mejora de la calidad energética para que exista un aprovechamiento más eficiente.

En el artículo presentado por Gabriela A. Casablanca y Susana E. Eguía llamado *“Evaluación Post-Ocupación de Confort Térmico y Visual en Edificios Escolares: Aporte de los Usuarios y Validación mediante Ensayos y Simulaciones”*. Se muestran los resultados de una evaluación que se realizó después de ocupar las aulas. La evaluación se llevó a cabo en diversos frentes: con una encuesta a usuarios, medición de temperaturas y humedad relativa, se realizaron simulaciones en computadoras y se hicieron pruebas en laboratorio con maquetas. Con esto se llegó a la detección del problema de discomfort y se propusieron soluciones.

Existe un precedente llevado a cabo por Silvia Arias Orozco que se llama *“Ahorro de Energía en Instalaciones Educativas y Administrativas”* en el que se realizó un estudio de clima natural e iluminación para un edificio de la Universidad de Guadalajara. En este proyecto se hicieron ajustes para disminuir los consumos de energía para que el edificio se vuelva funcional.

En el artículo llamado *“Evaluación Térmica, Mediante Simulación, de un Edificio Educativo en Mexicali, Baja California, México”* escrito por Ricardo Gallegos, Gonzalo Bojórquez, María Corral, Aníbal Luna y Ramona Romero presenta una evaluación térmica realizada al edificio del Sistema de Información Académica de la Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Autónoma de Baja California. Mediante la simulación se establecieron recomendaciones para el ahorro de la energía. Debido al uso del edificio las

recomendaciones se hicieron mediante sistemas constructivos, patrón de uso y administración de la demanda.

Durante el 2005 se presentó el estudio *“Propuesta para la Integración de Elementos de Diseño Arquitectónico que Mejoren las Condiciones Climáticas en la Escuela Primaria Mariano Matamoros”* escrito por Ana Rosa Velasco Ávalos y Pedro Lina Manjarrez. El artículo consiste en un análisis de las condiciones actuales de la obra arquitectónica, valorando el diseño bioclimático. Se elaboraron propuesta para mejorar las condiciones de confort para los usuarios.

Un estudio llamado *“Confort Térmico en un edificio Dedicado a Educación: Estudio de Caso”* presentado en 2004 por Leandro Sandoval, Ricardo Pineda y Olimpia E. Bandala aborda un tema que es vital para muchos gobiernos internacionales, el confort en escuelas. En este caso se estudia la facultad de ciencias de la Universidad de Colima. Se obtuvieron las temperaturas de bulbo seco y de la humedad relativa por un período. A continuación se utilizó un software para simular los resultados y se compararon. Se llegó a la conclusión de que el edificio no ofrece condiciones de confort.

Un estudio que compara desde el punto de vista térmico y económico dos opciones para cubrir el techo de un aula presentado durante el 2003 por los autores Oscar Reséndiz Pacheco, Oscar González Espinoza, Federico T. Poujol Galván y Alfredo Flores Irigollen llega a la conclusión de que una buena adecuación en términos de materiales constructivos puede reducir hasta en 9°C la temperatura interior de un aula. El artículo se llama *“Comparación Técnico-Económica del uso de dos Recubrimientos en el Techo de un Aula en Clima Cálido-Seco”*.

En el año 2006 los ingenieros Jorge A. Rosas Flores y David Morillón Gálvez presentaron el artículo *“Consumo y Potencial de ahorro de Energía Eléctrica de los Sistemas de Climatización en el sector Residencial: Caso Región Noroeste de México”* En donde se determina la demanda de energía eléctrica del sector residencial debido a sistemas de aire acondicionado. Se determinó el potencial de ahorro si se llevan a cabo adecuaciones bioclimáticas.

En un congreso llevado a cabo en Argentina durante el 2007 se presentó un artículo llamado *“Mejoramiento térmico de vivienda rural en Balderrama y Colalao del Valle-Tucuman a partir de la Evaluación de Estrategias Aplicadas de Diseño Bioclimático-Energético y de su Simulación Térmica”*. Cuyas autoras, Beatriz Garzón y Gabriela Giuliano Raimondi hicieron un estudio en el que se realizaba un diagnóstico térmico y una simulación para poder realizar unas propuestas de mejora térmica en las viviendas escogidas.

En 2007 Vicente Leonardo Volantino presentó el artículo *“Evaluación de la Envolvente como Herramienta para la Eficiencia Energética de la Vivienda”*. Donde explica la

importancia que tiene la envolvente como un obstáculo entre la transmisión de energía térmica. Por lo que es importante conocer las propiedades físicas de los materiales que componen las construcciones.

En un trabajo llamado *“Análisis Bioclimático y Propuestas de Adecuación Ambiental en Verano para Mexicali Baja California, México”* presentado por Akemi Hotta, Aníbal Luna y Gonzalo Bojorquez se proponen ciertas adecuaciones para disminuir el consumo energético debido al uso de aire acondicionado. Para conocer las condiciones climáticas se llevó a cabo un estudio a lo largo de dos veranos.

En su artículo *“Evaluación térmica mediante simulación de dos casas con materiales diferentes en la ciudad de La Paz, BCS”* Oscar Reséndiz Pacheco, David Morillón Gálvez, Elizabeth Chavez, Federico Poujol y Alfredo Flores presentan la evaluación de confort térmico para dos casas en Baja California. La evaluación se llevó a cabo mediante el software TRNSYS. Entre una casa de interés social construida con los materiales típicos que las caracterizan y una tradicional construida de adobe, esta es la que presenta mejores condiciones de confort.

En su documento *“Análisis de Diseño Bioclimático para Aulas Primarias en Climas Cálidos”*, Aníbal Figueroa Castrejón y José Manuel Fernández Chavira, realizaron una investigación del análisis bioclimático de las aulas construidas por CAPFCE y proponen alternativas económicamente viables para disminuir el problema del sobrecalentamiento. Se llegó a la conclusión de que mediante un aislante de 5 cm. en la losa o una corrección en las orientaciones de las ventanas se pueden conseguir condiciones de confort.

## **Capítulo II**

# **BIOCLIMAS DE MÉXICO**

## BIOCLIMAS DE MÉXICO

Para conocer la interacción del clima, la fisiología humana y las formas de propagación del calor se realiza un estudio del bioclima, el cual consiste en determinar las condiciones o sensaciones térmicas para el ser humano —como el frío, calor, humedad, etcétera—, en cada zona ecológica del país, tomando como base el impacto del clima en las temperaturas y humedades relativas para el confort. Para el estudio del bioclima hay herramientas como los diagramas psicrométricos o bioclimáticos de B. Givoni y V. Olgyay, o bien métodos numéricos como el de Fanger (1973) y Auliciems (1981).

A escala continental, las tormentas tropicales durante el verano y el otoño y los frentes polares fríos en invierno y en primavera son los principales factores que influyen sobre el clima de México. Sin embargo, el relieve tiene un papel mayor en la generación de la diversidad climática del país: hay dos cadenas montañosas principales, Sierra Madre Oriental y Sierra Madre Occidental que corren norte-sur a lo largo de ambas costas y se encuentran en el Nudo Mixteco en el sur del país, cerca del istmo de Tehuantepec. Hay una meseta entre ambas cadenas montañosas, divididas en una meseta norte y una central, estando la primera a menor altitud que la última; a lo largo del medio del país, de oeste a este, hay una cadena montañosa distinta llamada la Franja Volcánica.

Existen diversos factores que propician el hecho de que en México haya una gran diversidad de climas. Debido a su localización geográfica México tiene un clima tropical con temperaturas generalmente altas que varían con la altitud. La geografía del país delimitado por sus cadenas montañosas son otros factores determinantes.

De acuerdo con lo anterior, y según el Atlas del Bioclima de México, escrito por David Morillón, en México hay cuatro climas principales (figura 2.1): templado, árido, tropical seco y tropical húmedo. La figura 2.1 presenta las áreas cubiertas por los cuatro tipos principales.



**Figura 2.1: Principales tipos climáticos de México. Fuente: Morillón, G. D. (2004). Atlas del bioclima de México, II. México: UNAM.**

A partir de esta clasificación es posible identificar los diez bioclimas que conforman el país al completo, tal como se presentan en la tabla 2.1.

REGIÓN ECOLÓGICA	REGIÓN CLIMÁTICA	CIUDADES POR REGIÓN
1. Templada	1 Semifrío-seco	Tulancingo y Zacatecas
	2 Semifrío	Ciudad de México, Toluca, Puebla, Morelia, Tlaxcala y Pachuca
	3 Semifrío-húmedo	Xalapa
	4 Templado-seco	Aguascalientes, Durango, León, Oaxaca, Querétaro, Saltillo, San Luis Potosí y Tijuana
	5 Templado	Guadalajara, Guanajuato y Chilpancingo
	6 Templado-húmedo	Tepic y Cuernavaca
2. Árida	7 Cálido-seco	Monterrey, Culiacán, Gómez Palacio, La Paz y Torreón
	8 Cálido seco-extremoso	Mexicali, Hermosillo, Ciudad Obregón, Chihuahua y Ciudad Juárez
3. Trópico o Seco	9 Cálido-semihúmedo	Mérida, Colima, Ciudad Victoria, Mazatlán y Tuxtla Gutiérrez
4. Trópico Húmedo	10 Cálido-húmedo	Acapulco, Madero-Tampico, Campeche, Cancún, Cozumel, Chetumal, Manzanillo, Tapachula, Veracruz y Villahermosa

Tabla 2.1: Regiones climáticas, bioclimas y ciudades del país. Fuente: Morillón, G. D. (2004). Atlas del bioclima de México, II. México: UNAM.

Los climas cálidos muestran temperaturas medias anuales altas (18 °C a 21 °C para el mes más frío) y lluvias por encima de 750 mm/año, ocurriendo en tierras planas debajo de 1 000 msnm y al sur del trópico de Cáncer.

- **Cálido Húmedo** La temperatura media y máxima están por encima de los rangos de confort en verano. La humedad relativa permanece fuera de confort casi todo el año, con una precipitación pluvial de alrededor de 1500 mm anuales. Vientos huracanados, ciclones y nortes. Ubicado en la parte inferior del golfo de México en el sur del estado de Veracruz y en los estados de Tabasco y Campeche.
- **Cálido-semihúmedo** La temperatura máxima sobrepasa los rangos de confort, excepto en invierno; la media permanece en los rangos de confort todo el año y la mínima por debajo. La oscilación diaria está entre los 8 y 12°C durante todo el año. La precipitación anual entre 650 y 1000 mm. La humedad relativa máxima

está por encima de los rangos durante todo el año; la media y la mínima se ubican entre los rangos de confort.

Está ubicado en la pendiente sureste de la Sierra Madre Oriental hasta 1 000 msnm, en el istmo de Tehuantepec, y también en la costa del Pacífico del estado de Oaxaca, y en la parte sur de los estados de Campeche y Quintana Roo.

Los tipos áridos reciben menos de 750 mm de lluvia por año. Presentan dos sub-tipos:

- **Cálido-seco.** Su temperatura media y mínima se encuentran por debajo de los rangos de confort, excepto en verano, cuando los sobrepasa; la máxima sobrepasa los rangos, excepto en invierno. La oscilación diaria es entre 10° y 20 °C. La humedad relativa es baja en primavera y permanece dentro de los rangos de confort en periodo de lluvias, con una precipitación pluvial menor a 600 mm anuales. Los vientos dominantes son calientes en verano y fríos en invierno. Se extiende a través de las planicies del norte, excepto en la región central; también está presente en las colinas interiores del estado de Sonora y al norte del estado de Sinaloa al pie de la Sierra Madre Occidental y en la punta sur de la península de Baja California.
- **Cálido seco-extremoso.** Se encuentra en las altitudes más bajas de las planicies del norte. También se encuentra a lo largo del golfo de California, en las altiplanicies costeras del estado de Sonora y en la parte central de la península de Baja California. Se parece al sub-tipo de estepa, pero su oscilación térmica es mayor y es más seco con precipitaciones menores a 400 mm anuales, las que ocurren principalmente en verano. La precipitación llega a menos de 300 mm/año en Sonora y Baja California, pero su distribución es ligeramente mejor y el pico de lluvia ocurre en invierno.

Los climas templados son básicamente de tierras altas. La temperatura media anual está por encima de 10 °C. Las diferencias en cantidad y distribución de lluvia genera varios sub-tipos

- **Templado semifrío-seco:** Sus temperaturas media y mínima se encuentran por debajo de los rangos de confort durante todo el año; la máxima apenas sobrepasa los rangos en primavera. La oscilación diaria es de alrededor de 13°C. Los rangos de humedad relativa media y máxima están dentro del confort; la mínima es baja durante todo el año. La precipitación pluvial anual es de alrededor de 500 mm, con una máxima en 24 horas de 50 mm aproximadamente. Los vientos son fríos en invierno y por las noches. Se ubica en regiones como Zacatecas, Tulancingo y zonas de Puebla.
- **Templado semifrío:** Las temperaturas media y mínima se encuentran por debajo de los rangos de confort durante todo el año; la máxima sobrepasa ligeramente los rangos. La oscilación diaria es entre 10 y 15 °C. Los rangos de humedad relativa media y máxima están dentro del confort; la mínima es baja durante todo el año. La precipitación pluvial es de aproximadamente 900 mm. Los vientos son fríos en

invierno y por la noche. Este bioclima está ubicado en zonas de Tlaxcala, Puebla, Morelia, Toluca y el Distrito Federal.

- **Templado semifrío-húmedo:** Las temperaturas media y mínima se encuentran por debajo de los rangos de confort durante todo el año; la máxima dentro de los rangos. La oscilación diaria es de 10 a 12 °C. Los rangos de humedad relativa mínima están dentro del confort; la media y máxima se ubican por encima del rango durante todo el año. La precipitación pluvial es de aproximadamente 1200 mm por año. Los vientos son fríos en invierno y las noches. Se localiza en la región central de Veracruz y en las laderas de las Sierras Madre.
- **Templado-seco.** De marzo a octubre, por las tardes, la temperatura máxima sobrepasa los rangos de confort; la mínima está por debajo durante las noches y madrugadas de todo el año. La oscilación diaria esta entre 13 y 17°C. La precipitación pluvial es de aproximadamente 600 mm anuales y la humedad relativa máxima está por encima de los rangos de confort de julio a octubre, la media y mínima se ubican dentro de ellos. Esta zona abarca prácticamente el altiplano central, estados como San Luis Potosí, Durango, Querétaro, etc.
- **Templado:** La temperatura máxima está por encima de los rangos de confort en primavera; la mínima permanece por debajo durante todo el año. Las oscilaciones de temperatura son entre 10° y 18 °C, la precipitación pluvial es de 900 mm anuales. La humedad relativa máxima sobrepasa los rangos de confort, la media y mínima se ubican dentro de la zona de confort. Los vientos dominantes son del norponiente.
- **Templado-húmedo:** La temperatura máxima está por encima de los rangos de confort en la época de primavera y verano; la mínima por debajo. La oscilación térmica diaria entre 11°C y 13°C. La humedad relativa, media y máxima, por encima de los rangos de confort, con una precipitación pluvial por encima de los 1000 mm anuales. Esta zona está presente en una parte muy pequeña del territorio nacional. Sin embargo en ella se encuentran localizadas ciudades como: Cuernavaca y Tepic.

De este análisis geográfico y climático se pueden conocer los bioclimas de México. Sin embargo de estos hay unos cuantos que cobran mayor importancia por ser los que abarcan una mayor área dentro del país. Los que tienen una mayor relevancia son el templado con todos sus sub-climas y la parte árida seca. Es por ello que un análisis de los edificios educacionales construidos en zonas que posean este clima brindará la información necesaria para generar un patrón de construcción que se adecue a prácticamente todas las regiones del país. Deberán ser al mismo tiempo edificios que cumplan con la norma energética y ofrezcan condiciones de confort a los usuarios.

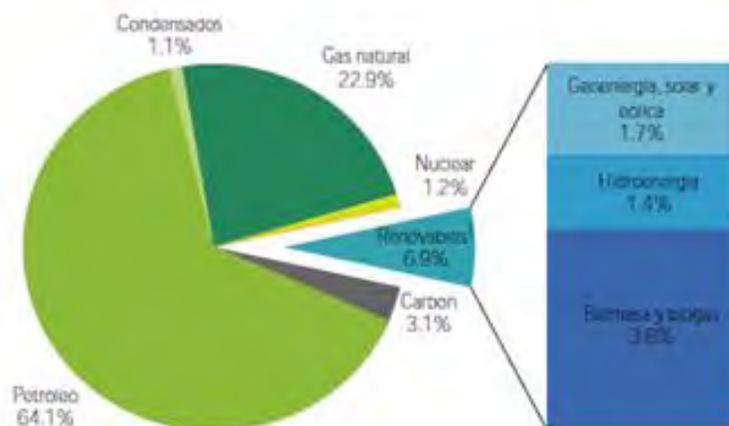
## **Capítulo III**

# **USO DE ENERGÍA EN ESCUELAS PRIMARIAS**

## CONSUMOS ENERGÉTICOS EN MÉXICO

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta México es intentar cambiar la clara dependencia que tiene a los hidrocarburos para generar electricidad. Un gran porcentaje de la electricidad generada en el país viene de termoeléctricas o de plantas de ciclo combinado. Es necesario un análisis más detallado de la manera en que se genera y utiliza la electricidad.

El cambio más drástico sufrido en la producción de la energía primaria en México a lo largo de 2011 fue el aumento del uso de biogás y de la energía solar. Como se ve en la figura 2.2 el petróleo representa más del 60% de la producción. Es precisamente en el ámbito de las energías renovables en el que se tiene que avanzar más. Es decir reducir el uso del petróleo y aumentar el uso de energías limpias que a pesar de que aumentaron en un porcentaje alto siguen siendo una mínima parte de la producción total.



**Figura 3.1: Estructura de la producción de energía primaria 9190.76 PJ. Fuente: Balance Nacional de Energía 2011**

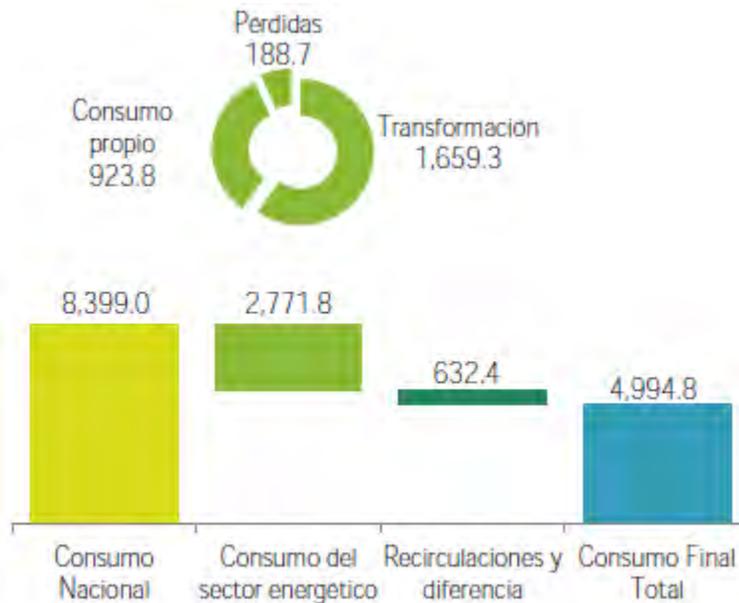
Sin embargo las energías renovables tienen un potencial de crecimiento de hasta 7.4%, es decir medio por ciento más de aprovechamiento del que se le está dando. Si se planteara utilizar ese excedente no sería necesario la construcción de nuevas plantas productoras.

En el 2011 el consumo nacional de energía aumento un 4.1% con respecto a 2010. La energía se utiliza básicamente para tres procesos, consumo del sector energético, recirculaciones y el consumo final. El 59.47% se destinó al consumo final, el 7.53% a recirculaciones y el resto se utilizó por el mismo sector energético. El 33% se utiliza en la

transformación y distribución de energía para el usuario final. La recirculación consiste en el uso de gas natural durante la explotación de hidrocarburos. Y el consumo final total es la que se utiliza en el mercado interno de actividades productivas.

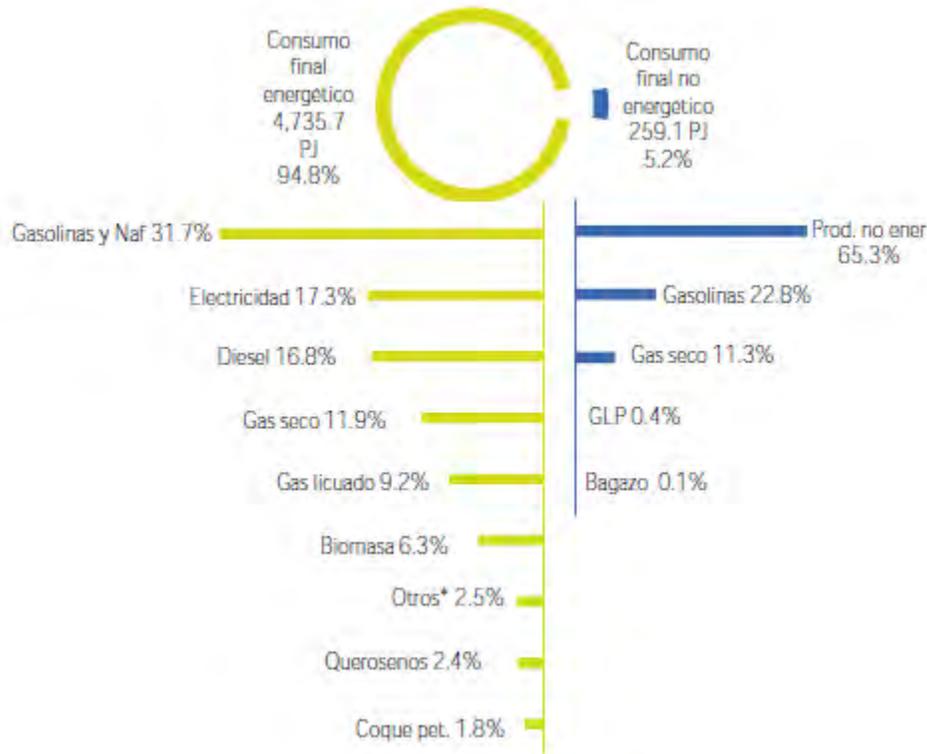
	2010	2011	Variación porcentual (%) 2011/2010	Estructura porcentual (%) 2011
<b>Consumo nacional</b>	8,071.82	8,399.02	4.05	100
Consumo sector energético	2,587.96	2,771.77	7.10	33.00
Consumo transformación	1,525.99	1,659.26	8.73	19.76
Consumo propio	871.35	923.77	6.02	11.00
Pérdidas por distribución	190.62	188.73	-0.99	2.25
Recirculaciones	576.97	569.62	-1.27	6.78
Diferencia estadística	32.76	62.81	91.75	0.75
<b>Consumo final total</b>	4,874.13	4,994.82	2.48	59.47
Consumo no energético	264.24	259.11	-1.94	3.09
Consumo energético	4,609.89	4,735.71	2.73	56.38

**Tabla 3.1: Consumo nacional de energía (Petajoules). Fuente: Balance Nacional de Energía 2011**



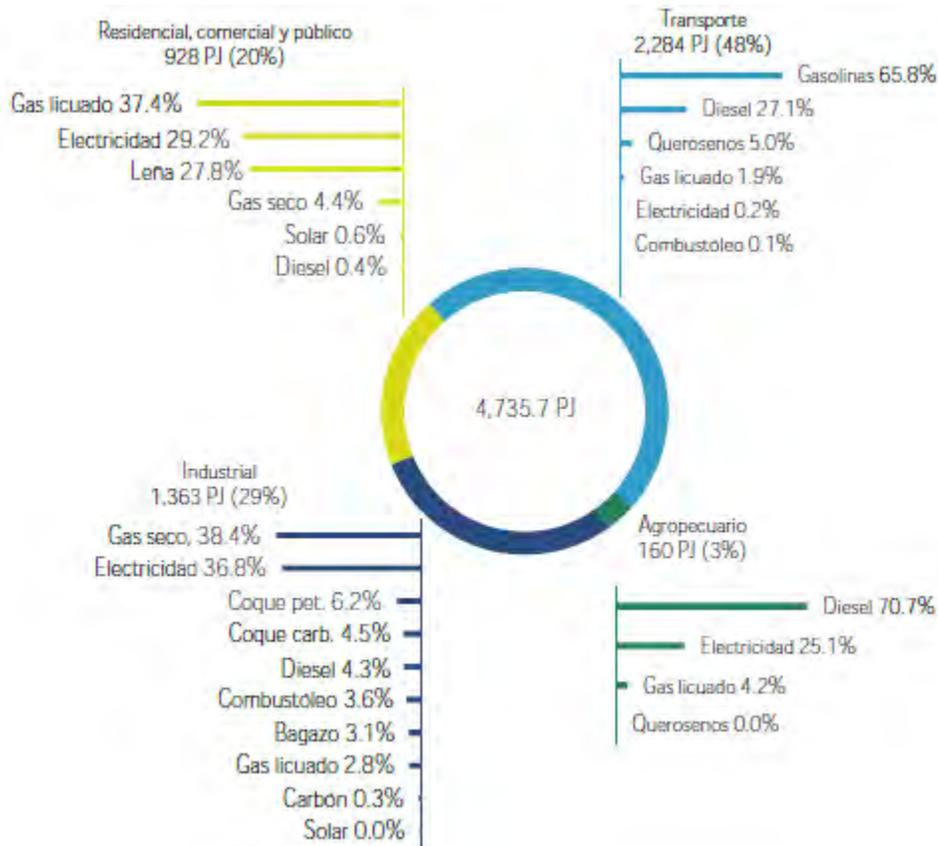
**Figura 3.2: Consumo nacional de energía. Fuente: Balance Nacional de Energía 2011**

El consumo final se divide en dos partes principales, el consumo no energético que tiene que ver con los derivados del petróleo que se usan como insumos de producción de otros bienes y el consumo energético que es la parte dirigida a satisfacer las necesidades energéticas de la sociedad, industria y transporte. El consumo no energético representó un 5.2% del consumo final, el resto fue de consumo energético total.



**Figura 3.3: Estructura del consumo final total por tipo de energético. Fuente: Balance Nacional de Energía 2011**

El consumo final energético creció un 2.7% en 2011. El consumo para la rama industrial fue el que mostró mayor crecimiento, un 5%.



**Figura 3.4: Consumo final energético por sector y energético. Fuente: Balance Nacional de Energía 2011**

Dentro del consumo final el porcentaje del sector residencial, comercial y público representa un 20% del total nacional. Es decir de 928 PetaJoules. Este rubro tiene al sector residencial, comercial y público.

	2010	2011	Variación porcentual (%) 2010/2011	Estructura porcentual (%) 2011
<b>Residencial</b>	<b>765.25</b>	<b>768.69</b>	<b>0.45</b>	<b>82.88</b>
Solar	2.81	3.35	19.33	0.44
Leña	259.31	258.09	-0.47	33.57
Total de petrolíferos	293.71	287.05	-2.27	37.34
Gas licuado	292.53	285.76	-2.31	37.18
Querosenos	1.18	1.29	9.28	0.17
Gas seco	31.56	31.19	-1.18	4.06
Electricidad	177.87	189.02	6.27	24.59
<b>Comercial</b>	<b>128.19</b>	<b>130.44</b>	<b>1.75</b>	<b>16.97</b>
Solar	1.88	2.24	19.46	0.29
Total de petrolíferos	66.64	65.68	-1.43	8.54
Gas licuado	62.95	61.75	-1.90	8.03
Diésel	3.69	3.93	6.65	0.51
Gas seco	9.80	9.64	-1.71	1.25
Electricidad	49.87	52.87	6.02	6.88
<b>Público</b>	<b>27.80</b>	<b>29.12</b>	<b>4.74</b>	<b>3.79</b>
Electricidad	27.80	29.12	4.74	3.79

**Tabla 3.2: Consumo de energía en los sectores Residencial, Comercial y Público (Petajoules). Fuente: Balance Nacional de Energía 2011**

El sector que acapara la mayor parte del porcentaje es el residencial con un 82%. El sector público utiliza sólo el 3.79% aunque vemos que es sólo electricidad. En este sector están todas las dependencias del gobierno, así como el alumbrado público y bombeo de agua potable y aguas negras. La electricidad que se utiliza en las escuelas también está incluida aquí. En una escala nacional el consumo de electricidad de las escuelas ni siquiera es significativo.

Es necesario combinar estrategias de ahorro, uso eficiente de energía y mejora de la producción energética. Sólo combinando estos aspectos se podrá mejorar la situación energética del país.

## CONSUMO ENERGÉTICO EN ESCUELAS DE MÉXICO

En una investigación realizada en 2011 por el M. en I. Iván García Kerdán estudió el consumo energético y la demanda de las escuelas en cuatro climas distintos del país.

De acuerdo a esos datos en un clima cálido seco la demanda de las escuelas es de 4370 kW y el consumo de 1730586 kWh. El aire acondicionado es el uso final de la energía que mayor porcentaje tiene del total de uso de la energía.

En el clima cálido húmedo la demanda es de 987 kW y el consumo de 220533 kWh. En este clima también el mayor porcentaje del uso final es el de aire acondicionado seguido muy de cerca por la iluminación.

Para el clima cálido semihúmedo la demanda es de 2327 kW y el consumo de energía es de 526815 kWh. Las escuelas ubicadas en este clima destinan el 49.9% de la energía al funcionamiento del aire acondicionado, que es el mayor uso.

Por último englobando todos los climas templados la demanda es de 2449kW y el consumo energético es de 811054 kWh. En el caso de estas escuelas, el gran porcentaje de uso de la energía es para la iluminación, ya no como era el caso en los bioclimas cálidos que se utilizaba para acondicionar las aulas. En este caso el aire acondicionado sólo es un 5% del uso de la electricidad.

Esto confirma una vez más que las escuelas que se encuentran en climas cálidos tienen un problema con el acondicionamiento de sus salones. Las ganancias de calor son muy altas y el pobre diseño de las construcciones no favorece un ahorro energético. Si se mejora la infraestructura, las ganancias de calor serán menores y por lo tanto el consumo de energía destinado al funcionamiento del aire acondicionado será menor.

## **Capítulo IV**

# **DIAGNÓSTICO TÉRMICO Y SU METODOLOGÍA**

## DIAGNÓSTICO TÉRMICO

El diagnóstico para edificios debe de incluir la observación de la orientación, el tipo de construcción, tipo de muro y techos, ventanas, puertas y los pisos que separan el exterior del ambiente interior, tipos de aislamiento y la condición de los componentes. Analizar las oportunidades de reducir la carga térmica solar o aberturas en la envolvente del edificio, revisar los sistemas de acondicionamiento de clima. Así como los sistemas de iluminación.

Algunos beneficios que se esperan obtener son: la recopilación y desarrollo de bases de datos de consumo, costo de energía y definición de los índices energéticos globales del edificio o planta. Identificación de los sistemas de mayor consumo de energía a través del balance energético global de la planta. Cuantificación preliminar de medidas de ahorro de energía, especialmente las de baja y nula inversión, mantenimiento y políticas de operación. Identificación de todas las posibles medidas de ahorro de energía y el establecimiento de un programa de ahorro. Ahorros económicos inmediatos por el establecimiento de medidas de ahorro de baja o nula inversión. Crear una cultura ecológica mediante el uso eficiente y reduciendo los costos de producción y operación.

## RECOMENDACIONES PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN EDIFICIOS

Las principales ineficiencias que existen en edificios de deben principalmente a:

- Ganancias de calor por radiación solar, equipo eléctrico, alumbrado y ocupantes.
- Deficiencia en acciones para la mitigación de la ganancia de calor.
- Ineficiencias en sistemas de aire acondicionado y sus aislantes.
- Diseño sobredimensionado de equipo, lo que causa un mayor consumo eléctrico.
- Sistemas de iluminación ineficientes.

Es por ello que se han implementado diversas medidas, como las normas, para controlar el gasto energético y permitir así que haya menores ganancias de calor en los edificios.

Esta ganancia se debe a la conducción de partes opacas de la envolvente (techo, paredes), la radiación de las partes transparentes, la ganancia por infiltración, la que produce el equipo eléctrico (incluido alumbrado) y la de los ocupantes.

La suma de estas ganancias de calor determinan la capacidad del equipo de refrigeración que es el causante del mayor consumo eléctrico de un edificio, por lo que para una operación eficiente se tendrán que analizar todas las ganancias anteriores y tratar de reducirlas para así disminuir la demanda eléctrica que requiere el aire acondicionado. El

análisis que se debe llevar a cabo para reducir el consumo del aire acondicionado es más completo que el que exige la norma, ya que la norma se enfoca básicamente a la parte de la envolvente sin ocuparse de las ganancias de calor que se generen en el interior del edificio.

Para reducir o mitigar la ganancia térmica en los edificios se pueden llevar a cabo ciertas acciones. Así el edificio será más eficiente desde su construcción.

Se deben de aislar muros y el techo para reducir la convección. Los valores recomendados dependiendo de la ubicación son:

<b>Techos</b>	1.5 m <sup>2</sup> °C / W
<b>Muros al Este</b>	1.2 m <sup>2</sup> °C / W
<b>Muros al Oeste</b>	1.2 m <sup>2</sup> °C / W
<b>Muros al Sur</b>	0.9 m <sup>2</sup> °C / W
<b>Muros al Norte</b>	0.7 m <sup>2</sup> °C / W

Las ventanas son los receptores de iluminación natural y el suministro de ventilación natural. También crean el llamado efecto invernadero ya que dejan pasar la luz solar y su energía radiante pero no la dejan escapar, almacenándola al interior del edificio. Si se cuenta con vidrios que reduzcan el calor captado se reducirá la carga necesaria en la ventilación. Esto se puede llevar a cabo con sombreado o tintado de vidrios o aplicando películas sobre este. Las persianas exteriores no ayudan mucho ya que al estar en contacto con la ventana el calor se transmite al interior del edificio. Es más útil colocar toldos o aleros, que se deben de calcular de acuerdo a la latitud del lugar para que en verano no entre el sol.

Las películas reducen la ganancia de calor ya que dependiendo del tipo de película pueden rechazar hasta el 79% de energía solar, eliminan la radiación ultravioleta. Si se coloca además ventanas con doble vidrio y aire en medio la reducción es mucho mayor.

La ganancia por infiltración se debe a aperturas o mal sellado en las puertas y ventanas, y al efecto chimenea. Este tipo de ganancia puede ser hasta de un 15% del total de toda la ganancia de calor. Este efecto hace que el aire ya enfriado del interior de las construcciones salga y el caliente del exterior entre por las aperturas. Es por ello que se recomienda sellar adecuadamente las puertas y ventanas y mantenerlas cerradas.

La ganancia que aporta la ineficiencia en motores y sistemas de iluminación puede ser de un 10 a 25%. Por lo que se deben de cambiar estas condiciones donde sea posible para reducir el gasto.

Otras recomendaciones que se deben aplicar es la de orientar las construcciones, de ser posible, hacia el sur, ya que esto favorecerá que la ganancia disminuya en verano y

aumente en invierno. Además de colocar árboles en las construcciones bajas, principalmente en las orientaciones este y oeste.

Como ya se mencionó la ventilación natural junto con factores como el aislamiento y la protección solar puede ser suficiente como para minimizar o incluso eliminar la necesidad de aire acondicionado.

En la mayoría de las regiones climáticas del país las condiciones medias máximas de temperatura y humedad no requerirían aire acondicionado, sería suficiente para el confort de los ocupantes con un adecuado sistema de extracción y ventilación, con el obvio ahorro energético. Sin embargo no es el caso en nuestro país, la mayoría de los edificios utilizan sistemas de aire acondicionado.

## **METODOLOGÍA**

Las condiciones térmicas de un edificio dependen de la magnitud de las pérdidas y ganancias de calor que este presenta. Ya sea que el edificio tienda a calentarse o a enfriarse dependiendo si las ganancias son mayores que las pérdidas o viceversa, respectivamente se puede llegar fácilmente a condiciones de poco confort.

Existen seis diferentes variables que hay que tomar en cuenta para poder realizar un balance térmico completo:

- **Ganancias internas-** Las ganancias internas representan fuentes de calor al interior del edificio e incluyen personas, estufas, focos y prácticamente todos los aparatos que consumen energía.
- **Ganancias solares-** La radiación solar que afecta a un edificio puede generar importantes ganancias de calor. Cuando éstas se dan a través de superficies opacas, muros y cubiertas, se denominan indirectas, y cuando ocurren a través de superficies transparentes, como el vidrio, se llaman directas.
- **Ganancias por conducción-** Cuando existen flujos de calor a través de la envolvente del edificio hay ganancias por conducción. La cantidad de calor ganado o perdido dependerá de las características térmicas de los materiales empleados, de la diferencia de temperatura interior-exterior y de la superficie total expuesta.
- **Ganancias por ventilación-** Las ganancias por ventilación ocurren cuando el aire exterior ingresa y circula a través del edificio, lo cual implica también que el aire interior sea expulsado hacia afuera.
- **Pérdidas por evaporación-** Las pérdidas de calor por evaporación ocurren cuando el agua se evapora y se incorpora al aire del espacio interior.
- **Ganancias por sistemas mecánicos de climatización-** Este tipo de ganancias son las que se generan por sistemas de acondicionamiento de aire, por lo que

generalmente son el factor a igualar para que exista el confort en el interior del edificio.

En el caso del diagnóstico térmico que se va a llevar a cabo sólo se utilizarán las ganancias por conducción, ya que este tipo de ganancias son con las que trabaja la norma.

La metodología de un diagnóstico térmico de este tipo de manera genérica es el siguiente:

1. Caracterización física de los edificios.
2. Monitoreo de las condiciones de confort ambiental.
3. Análisis de los datos y diagnóstico.
4. Conclusiones y recomendaciones.

A continuación se describe cada uno de estos ámbitos de trabajo.

## 1. Caracterización Física de los Edificios

La caracterización de los edificios sirve para mostrar información del edificio y sus instalaciones, así se puede conocer la estructura y el funcionamiento del edificio desde el punto de vista energético y ambiental. La caracterización se tiene que dividir en la parte del edificio y la del aula.

### Caracterización de los Edificios

- **Parámetros Climáticos:**
  - Temperatura media mensual/anual/estacional
  - Humedad relativa media/mensual/anual/estacional (%)
  - Grados día calefacción (base: 18 °C)
  - Grados días de enfriamiento (27 °C)
  - Precipitaciones anuales
- **Identificación Física del Edificio:**
  - Ubicación
  - Dirección
  - Código del establecimiento
  - Nivel educativo
  - Jornadas o turnos de funcionamiento
- **Otros que se consideren relevantes para el análisis de las mediciones.**

### Caracterización del Aula

- **Tamaño de las aulas:** largo, ancho, alto en metros
- **Número de estudiantes por aula.**
- **Estado de conservación general:** pisos, techo, paredes, tabiques interiores; estado del mobiliario: pupitres/mesas.
- **Materiales del aula:** adicional a su estado, identificar el tipo de materiales, su origen, material de cubiertas, tipo de mampostería, etc.
- **Tipo, orientación y medidas de las ventanas**
- **Vidrios:** simples, dobles (DVH), de seguridad, color.
- **Coefficiente de transparencia del vidrio.**
- **Protección de ventanas:** Sistemas de protección solar, sistemas de protección contra insectos, y sistemas de seguridad.
- **Transmitancia térmica:** Valor  $U$  o  $K$  ( $W/m^2 K$ ) de los distintos elementos de la envolvente (piso, muros, tabiques, techos). Resistencia térmica ( $m^2 K/W$ ).
- **Identificar todos los elementos que formen parte de la envolvente que no se hayan considerado en los aspectos anteriores:** Puertas.
- **Otros que se consideren relevantes para el análisis de las mediciones.**

## 2. Monitoreo de las Condiciones de Confort Ambiental

Con esto se podrá revelar la información del comportamiento higrotérmico en función de variables ambientales de las dos aulas características previamente seleccionadas. Así se conocerán las condiciones de confort que existen en las mismas.

Para determinar si existe confort higrotérmico se recomienda que la medición continua de la temperatura del aire se realice a 1.10 metros de altura (puntual) y humedad ambiental del interior de las aulas a evaluar y de la situación exterior.

Se pueden utilizar micro adquisidores de datos electrónicos o dataloggers. Es recomendable que las mediciones se realicen por un periodo de 7 días y adquiriendo datos cada diez minutos. Además es recomendable realizar el monitoreo primero durante el invierno y luego durante el verano.

Es necesaria la comparación de resultados de medición con las Normas de construcción que rijan en cada país donde las mediciones se lleven a cabo, para verificar si las mediciones entran dentro del rango de confort.

Llevar a cabo una auditoría subjetiva por medio de una encuesta a los usuarios para conocer su percepción respecto al confort térmico que experimentan en las aulas seleccionadas, debe ser llevada a cabo durante la semana en que se realizan las mediciones.

### **3. Análisis de datos y diagnóstico**

Consiste en evaluar los resultados, determinar el comportamiento: térmico, ambiental y confort. Obtener las ganancias de calor del edificio proyectado. Verificar resultados según la normativa nacional o internacional. Para el caso de México es la norma NOM 008-ENER-2001. Comparar y validar el diagnóstico objetivo (medición con instrumental) contra el diagnóstico subjetivo (encuesta de opinión de los usuarios).

### **4. Conclusiones y Recomendaciones**

Se propondrá un diseño que incluya mejoras tecnológicas y de diseño apropiadas o recomendaciones para aplicar a nuevas ideas a partir de los estándares nacionales de comodidad térmica con lo cual mejorar el comportamiento energético y ambiental, en el marco del diseño bioclimático y/o sustentable, y en función de la legislación y normativa del país donde se lleva a cabo el diagnóstico.

#### **NORMA NOM 008-ENER-2001**

Como ya se mencionó en la metodología la herramienta que se utiliza en México para obtener las ganancias de calor es la norma NOM 008-ENER-2001.

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

Se emplea para mejorar el diseño térmico de los edificios y lograr la comodidad de sus ocupantes con el consumo mínimo posible de energía. Esto se logra con un buen diseño del edificio tomando en cuenta todos los puntos que se exponen en esta norma.

Para medir la ganancia de calor con respecto a un dato de referencia se debe de tomar precisamente un edificio de referencia el cual debe de conservar la misma orientación, condiciones de colindancia y mismas dimensiones en planta y elevación que el edificio que se planea construir pero con las siguientes características:

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

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

**Tabla 4.1: Características del edificio de referencia en su envolvente. Fuente: NOM 008-ENER-2011.**

Siempre la ganancia de calor del edificio proyectado debe ser menor o igual a la ganancia de calor del edificio de referencia.

La ganancia de calor del edificio proyectado es la suma de la ganancia de calor por conducción, más la ganancia por radiación.

La ganancia de calor por conducción es la suma de las ganancias a través del techo, del norte, sur, este, oeste y de la parte inferior si es que el edificio proyectado tiene niveles inferiores de estacionamiento. La ganancia de cada uno de los componentes se calcula con la siguiente ecuación:

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

Donde:

- $K_j$  es el coeficiente global de transferencia de calor de cada porción.
- $A_{ij}$  es el área de la porción  $j$  con orientación  $i$
- $t_{ei}$  es el valor de la temperatura equivalente promedio para la orientación  $i$
- $t$  es el valor de la temperatura interior del edificio que se considera 25°C

La ganancia de calor por radiación es la suma de las ganancias a través de las partes transparentes del techo, del norte, sur, este, oeste. La ganancia de cada uno de los componentes se calcula con la siguiente ecuación:

$$\phi_{psi} = \sum_{j=1}^m [ A_{ij} \times CS_j \times FG_i \times SE_{ij} ]$$

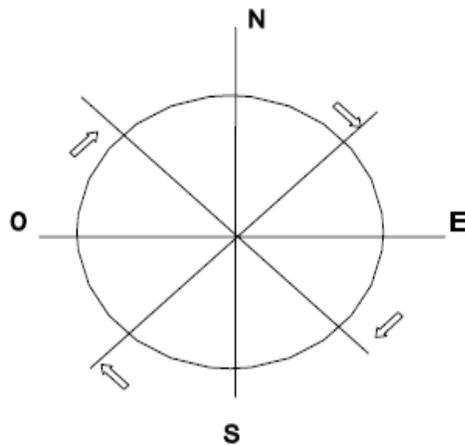
Donde:

- $A_{ij}$  es el área de la porción transparente  $j$  con orientación  $i$
- $CS_j$  es el coeficiente de sombreado del vidrio de cada porción transparente, según la especificación del fabricante, es un valor adimensional entre cero y uno
- $FG_i$  es la ganancia de calor solar por orientación
- $SE_{ij}$  es el factor de corrección por sombreado exterior para cada porción transparente, con valor adimensional entre cero y uno

En el cálculo de la ganancia de calor del edificio de referencia se utilizan las mismas ecuaciones y las mismas variables que como se calcularon las ganancias del edificio proyectado. Sin embargo el edificio de referencia tiene que cumplir con los porcentajes de partes oscuras y transparentes, además de los coeficientes de sombreado antes mencionadas.

Existen dos puntos importantes más para conocer cómo aplicar de manera correcta la norma. Uno de ellos es la orientación, ya que la ganancia de calor se ve afectada por la orientación de la construcción. Para esto se definió la siguiente normatividad:

- Se considera **norte** al plano que está orientado desde 45° al oeste y menos de 45° al este del norte verdadero.
- Se considera **este** al plano que está orientado desde 45° al norte y menos de 45° al sur del norte verdadero.
- Se considera **sur** al plano que está orientado desde 45° al este y menos de 45° al oeste del norte verdadero.
- Se considera **oeste** al plano que está orientado desde 45° al sur y menos de 45° al norte del norte verdadero.



**Figura 4.1: Diagrama de las orientaciones de la envolvente. Fuente: NOM 008-ENER-2011.**

El otro parámetro importante para realizar mediciones de manera adecuada es conocer y clasificar las partes que conforman la envolvente de un edificio, de acuerdo a esta tabla:

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

**Tabla 4.2: Componentes de un edificio. Fuente: NOM 008-ENER-2011.**

La norma indica cómo se debe llenar el formato para mostrar los resultados de manera adecuada y presentarlos a quien corresponda, o simplemente colocarlo en el edificio como indica la norma.

## **Capítulo V**

# **DIAGNÓSTICO TÉRMICO DE LAS ESCUELAS**

El diagnóstico térmico llevado a cabo en las escuelas seleccionadas permitió conocer las ganancias de calor que tiene cada edificio. Es posible compararlo además con las ganancias del edificio de referencia y observar el ahorro energético que tiene. Seguramente en los lugares templados las escuelas funcionen térmicamente, sin embargo en los lugares que tienen un clima cálido las ganancias de calor probablemente sean muy altas. Lo que provocará el subsecuente gasto de energía.

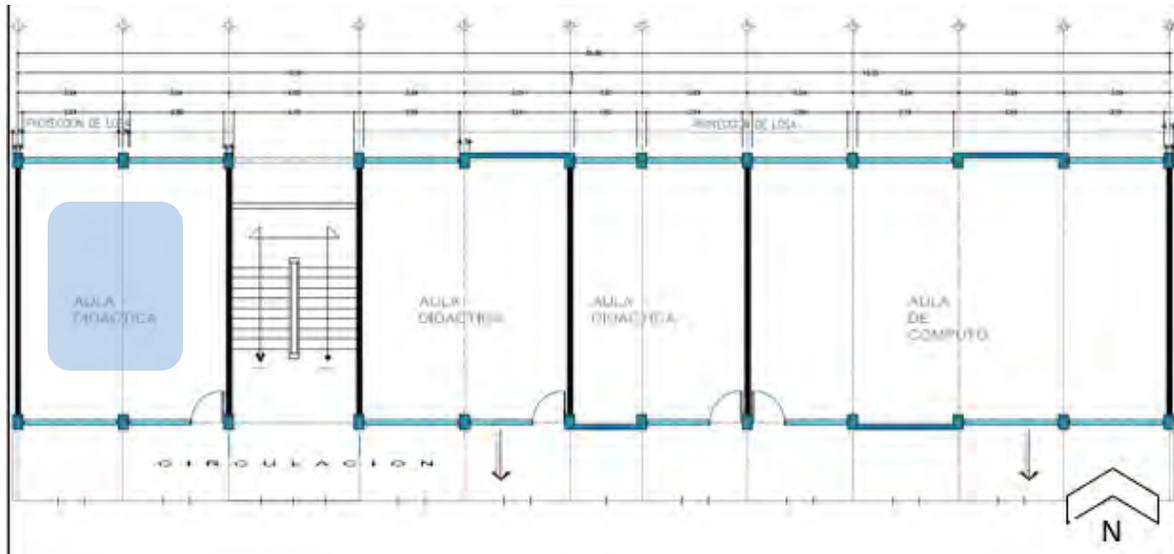
### **CASO DISTRITO FEDERAL**

Todo el Valle de México se encuentra en la zona templada semifrías. El diagnóstico térmico se llevó a cabo en los dos edificios principales de la escuela, uno de tres plantas y otro de dos. El edificio 1 es el que tiene tres plantas. El edificio 2 consta de dos. La orientación de los edificios es la misma.



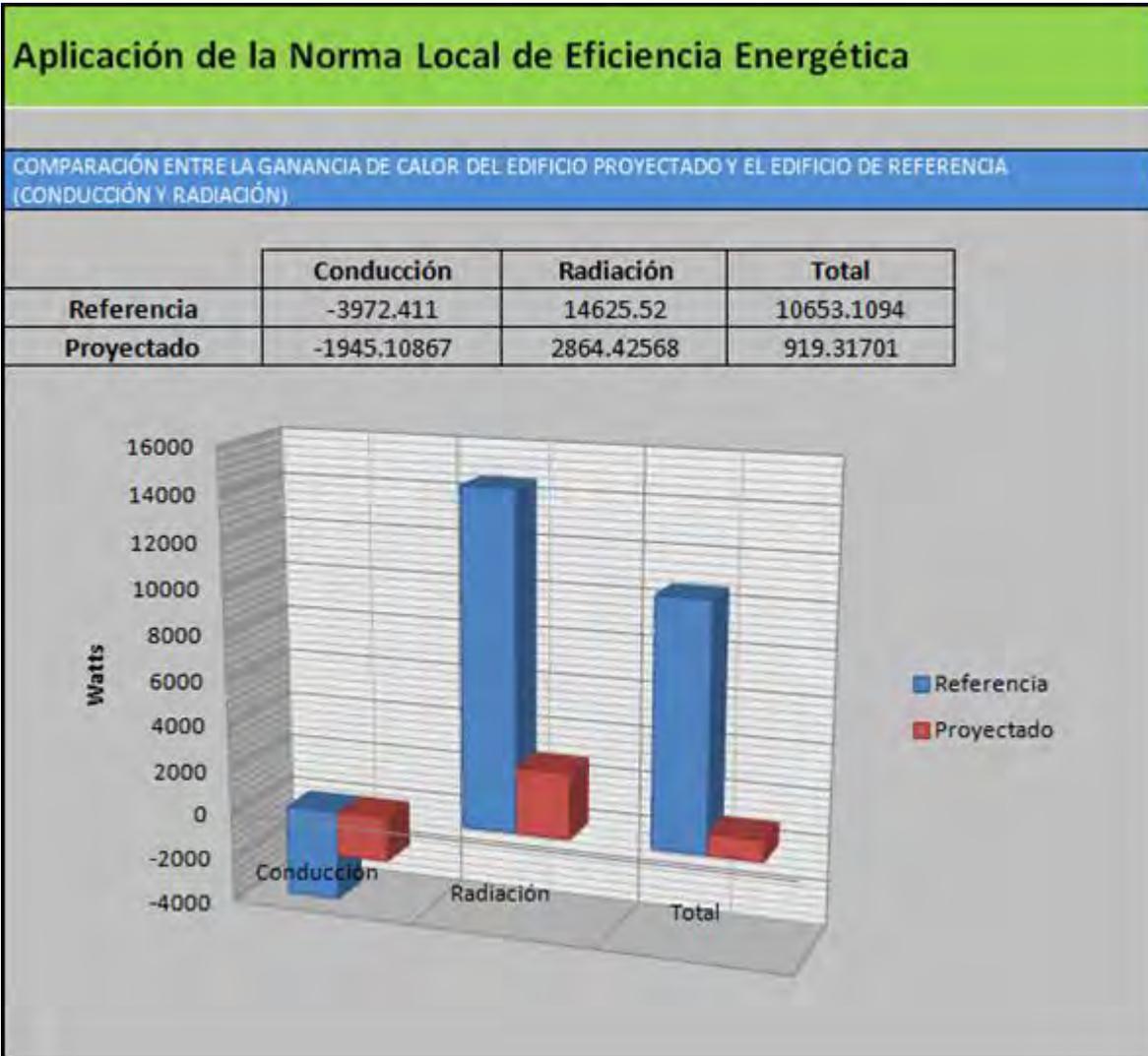
**Figura 5.1: Detalle de los aleros en la fachada Sur.**

El edificio 1 tiene una orientación que para fines de la norma se considera Norte-Sur. Tiene aleros en las ventanas del piso tres que dan hacia el Norte. Y en la fachada sur se considera que todas las ventanas tienen aleros porque son los pasillos. Los materiales de la construcción son en general buenos. Los muros son de tabique rojo o refractario en otros casos, el techo es concreto y los cristales son de seis milímetros con ningún tipo de película.



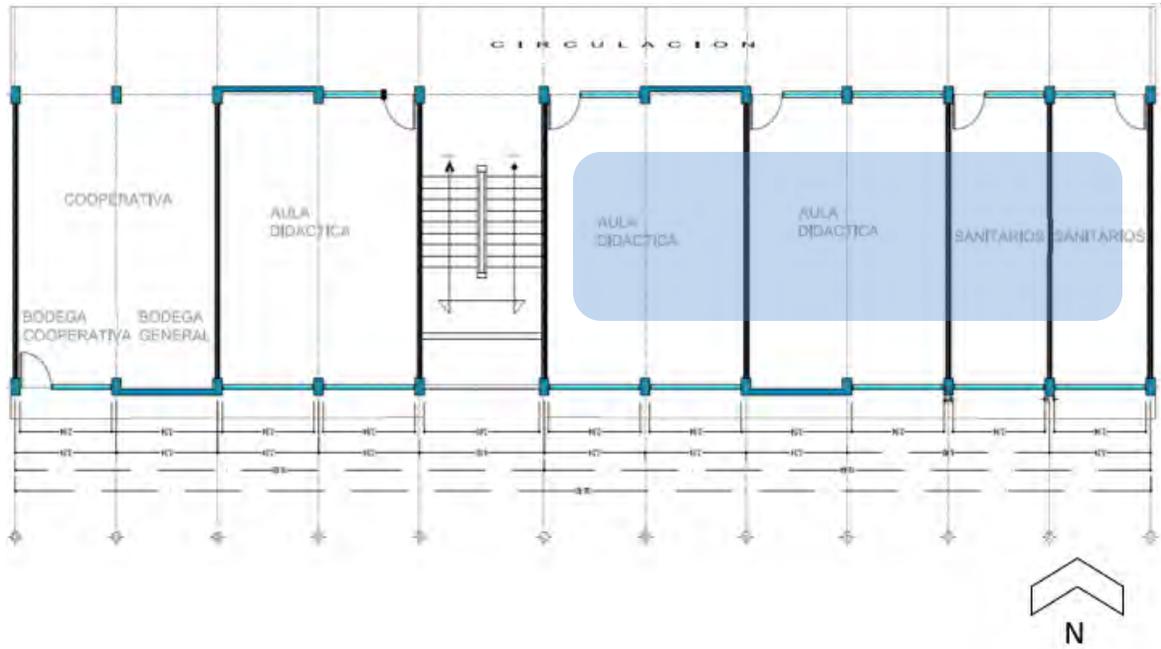
**Figura 5.2: Vista de planta de la Planta Baja del Edificio 1.**

La envolvente considerada para este análisis, señalado con una sombra azul, es la generada por el salón que se ubica a la izquierda de las escaleras, ya que estas parten la continuidad del flujo de calor. Se analizaron los tres pisos de altura que tiene el edificio.



**Gráfica 5.1: Ganancias de Calor del Edificio 1.**

En este caso las ganancias de calor son muy bajas y la norma es aprobada por mucho. El edificio 1 tiene un ahorro energético de un 91.37%. La conducción en ambos casos es negativa y lo que provoca esa diferencia tan grande entre el edificio de referencia y el proyectado es la radiación que en el edificio proyectado se ve disminuida por los aleros y porque el edificio de referencia considera ventanas en todas las fachadas.

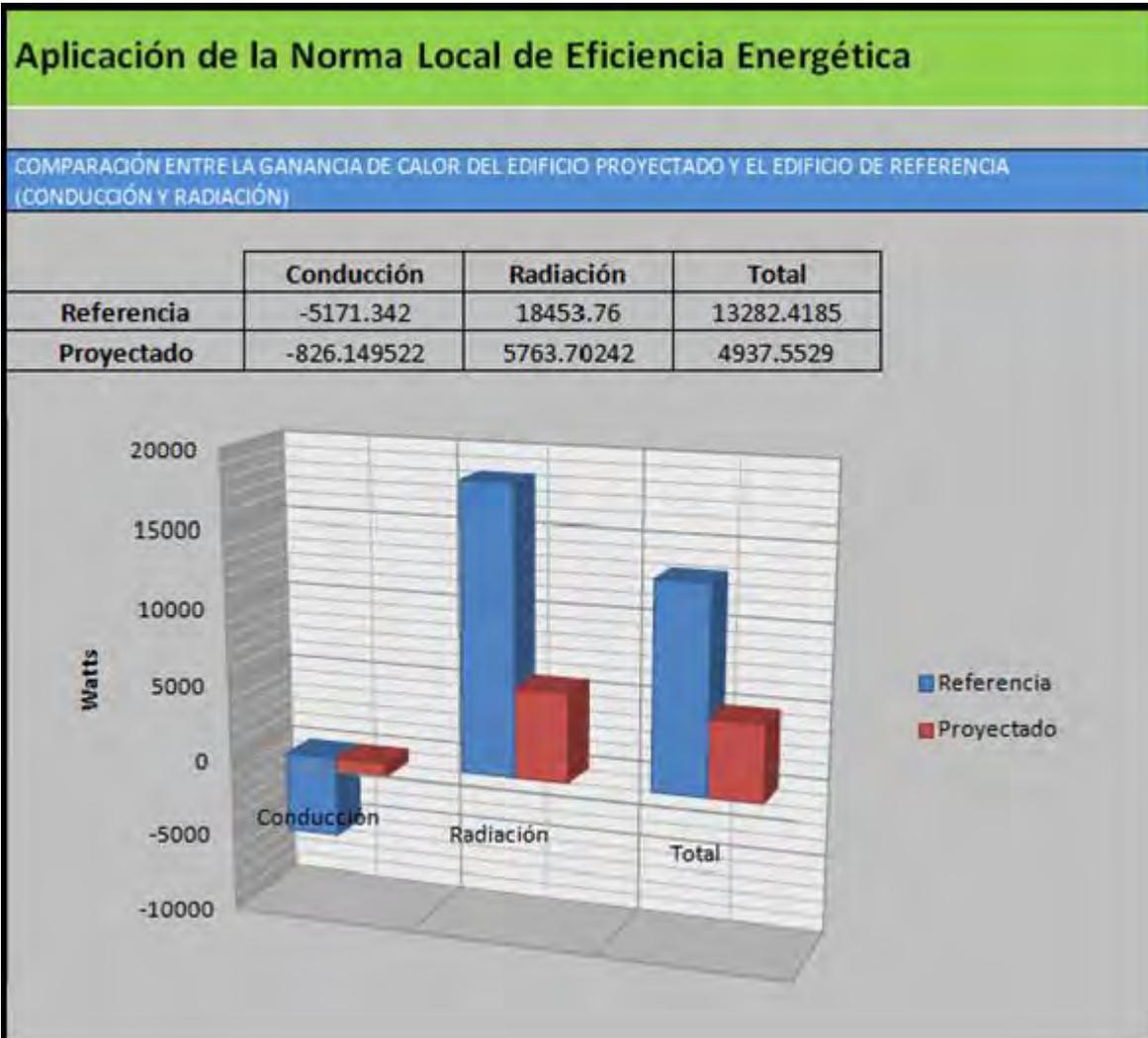


**Figura 5.3: Vista de planta de la Planta Baja del Edificio 2.**



**Figura 5.4: Fachada Sur del Edificio 2.**

El edificio 2 consta de únicamente dos plantas. Para considerar la envolvente se tomaron los cuatro salones, en azul, que están a la derecha de las escaleras, en la figura 4.3, con sus respectivos dos pisos de altura. La orientación es la misma sólo que en este edificio los pasillos se encuentran en la fachada norte y en el segundo piso es dónde están los aleros en las dos fachadas como se observa en la figura 4.4. Los materiales son los mismos que en el edificio 1.



**Gráfica 5.2: Ganancias de Calor del Edificio 2.**

En este caso las ganancias son más altas que en el caso anterior. El edificio proyectado tiene un ahorro del 62.82%. La norma también es aprobada por mucho. Lo que provoca que los edificios aprueben de manera tan holgada la norma es el clima templado semifrío de la ciudad.

## CASO DE SAN LUIS POTOSÍ

San Luis Potosí es una ciudad que se encuentra en la zona templada seca. El diagnóstico térmico se llevó a cabo en un solo conjunto de aulas acomodadas una tras otra, es por ello que se le conoce como tren. Esta escuela únicamente tiene planta baja.

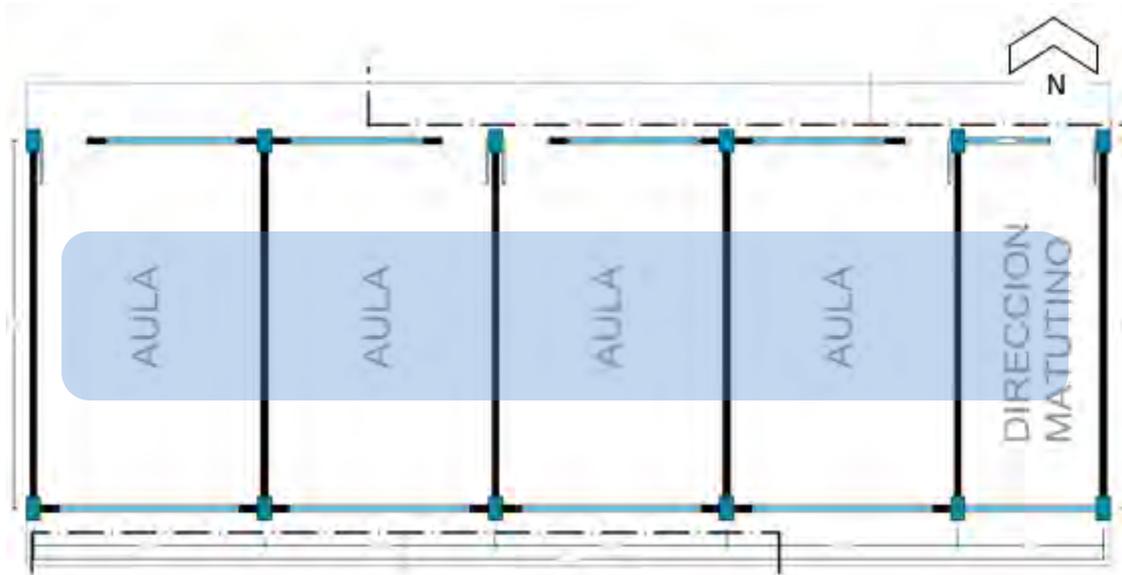


**Figura 5.5: Fachada Norte del edificio.**



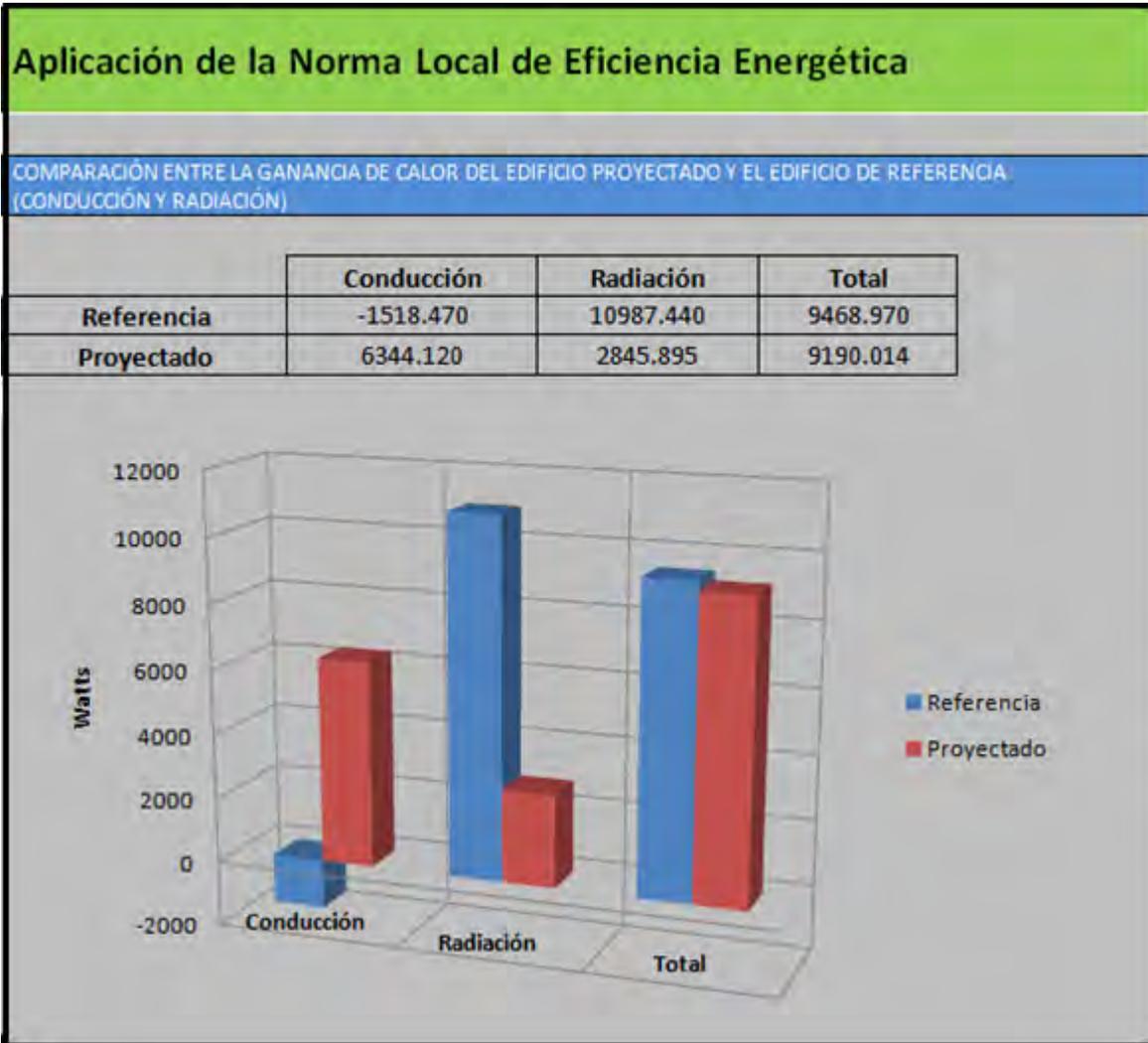
**Figura 5.6: Fachada Sur del edificio.**

El edificio tiene una orientación que para fines de la norma se considera Norte-Sur. Tiene aleros en las ventanas norte y sur, cuya proyección sobre las mismas es de 1.03 metros. Los materiales de construcción son buenos. Los muros son de tabique rojo, el techo es concreto y los cristales son de seis milímetros con ningún tipo de película.



**Figura 5.7: Vista de planta del edificio analizado**

La envolvente considerada para este análisis es la generada por el tren de salones. En total son cuatro salones de seis por ocho metros y una oficina más corta.



**Gráfica 5.3: Ganancias de Calor del tren de salones.**

Las ganancias en el edificio proyectado son casi tan altas como las ganancias del edificio de referencia. El ahorro energético es apenas de un 2.9%. Los valores alcanzados aquí se deben principalmente a que San Luis Potosí es un clima templado seco que tiende a ser más caluroso que el DF, por ejemplo. Además el coeficiente global de transferencia de calor para el techo, es un valor muy alto que permite el paso de una gran cantidad de calor a través del mismo.

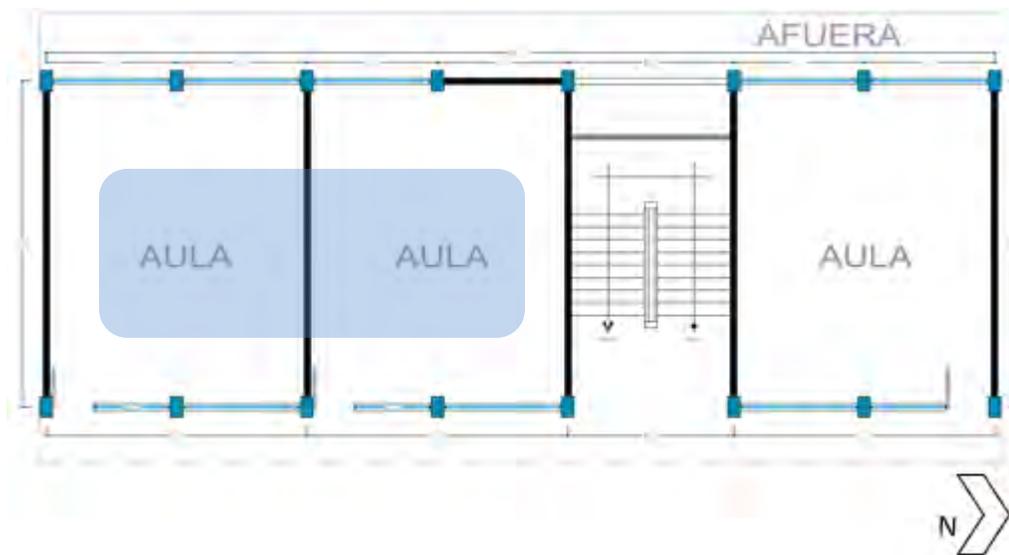
## CASO COMALCACO, TABASCO

Comalcalco se encuentra en un el bioclima que corresponde a cálido semihúmedo. El diagnóstico térmico se llevó a cabo en un solo edificio de toda la escuela. Uno que posee tres plantas. Dentro del complejo de toda la escuela este edificio tiene el nombre de edificio B.



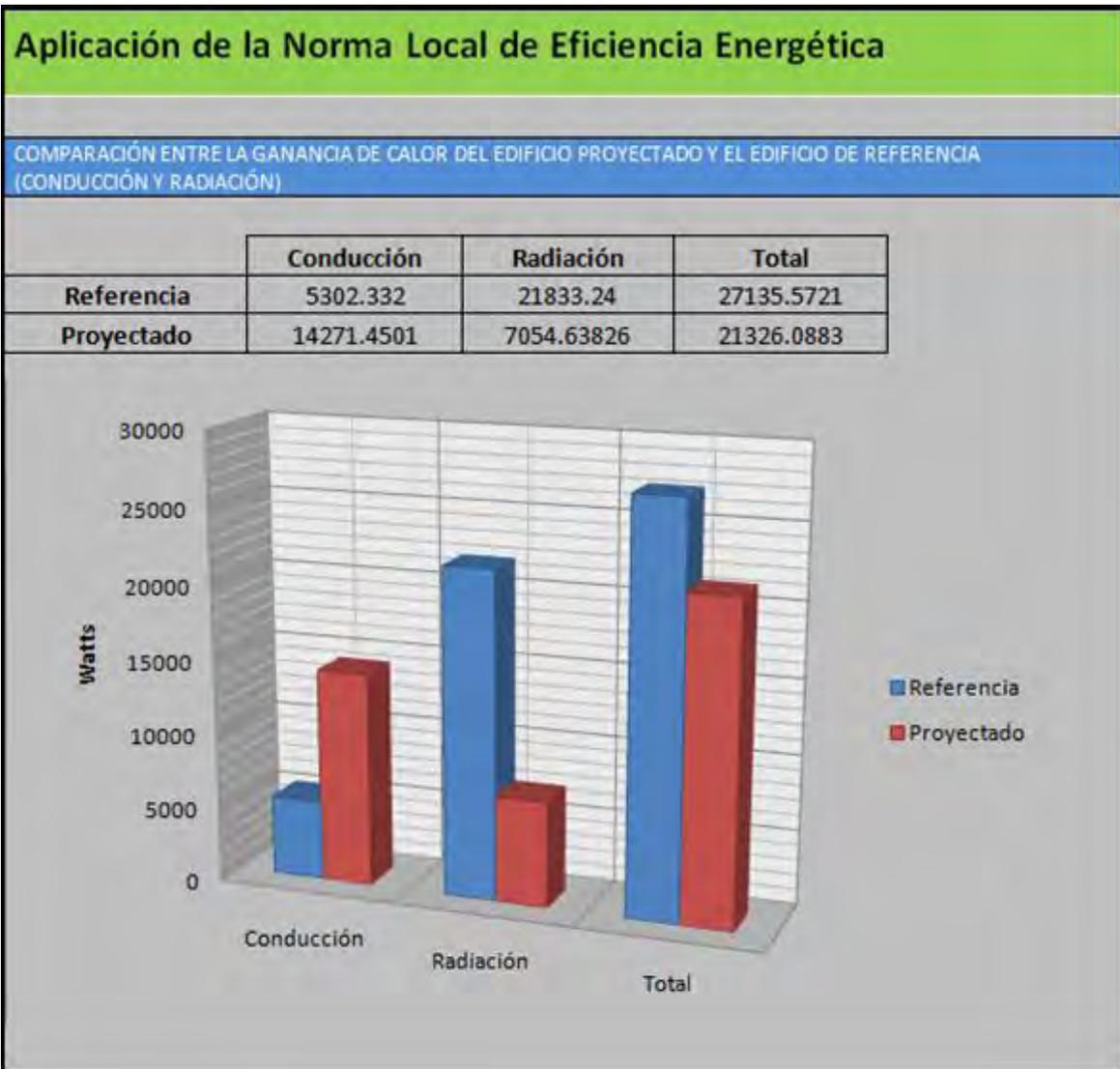
**Figura 5.8: Detalle de los aleros en las fachadas Este y Oeste.**

El edificio B tiene una orientación que para fines de la norma se considera Este-Oeste. Para los primeros dos pisos existen aleros de diez metros de largo en la fachada Este. Para el tercer piso, tiene los típicos aleros en las dos fachadas, Este y Oeste. En el segundo piso del lado Oeste no tiene alero. Por último, en la Planta Baja del lado Oeste existe un alero de cuatro metros. Los materiales de la construcción son en general buenos. Los muros son de tabique rojo o refractario en otros casos, el techo es concreto y los cristales son de seis milímetros con ningún tipo de película.



**Figura 5.9: Vista de planta de la Planta Baja del edificio B.**

La envolvente considerada para este análisis es la generada por los salones que se ubican a la izquierda de las escaleras, ya que con estas, se parte la continuidad del flujo de calor. Los salones a los que se les realizó el diagnóstico están marcados en azul. Se analizaron los tres pisos de altura que tiene el edificio.



**Gráfica 5.4: Ganancias de Calor del Edificio B.**

En este caso las ganancias de calor son muy altas, las de referencia y las de proyectado. Esto se debe a que Comalcalco pertenece a la zona cálida semihúmeda, por lo tanto a pesar de tener aleros tan grandes en todas las ventanas, recibe una gran cantidad de ganancia por convección y radiación. Si bien es verdad que aprueba la norma y tiene un considerable ahorro energético de 21.4%. Sin embargo son ganancias muy altas que seguramente afectaran la comodidad de los ocupantes.

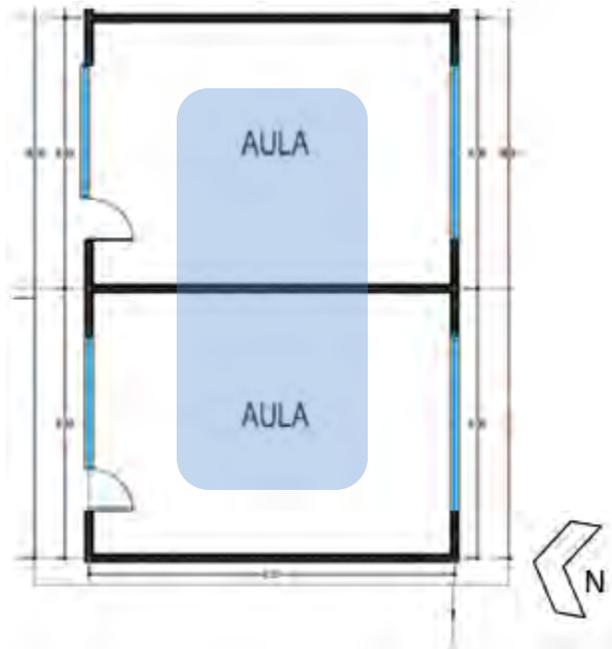
## CASO DE CIUDAD JUÁREZ

La zona bioclimática a la que pertenece Ciudad Juárez es la cálida seca extremosa. El diagnóstico térmico se llevó a cabo en dos edificios de salones, que tenían diferente orientación y estaban contruidos con diferentes materiales. Toda la escuela es de un solo piso. Se puede observar que la escuela está construida en etapas ya que incluso los materiales de los dos edificios analizados son diferentes uno de otro.



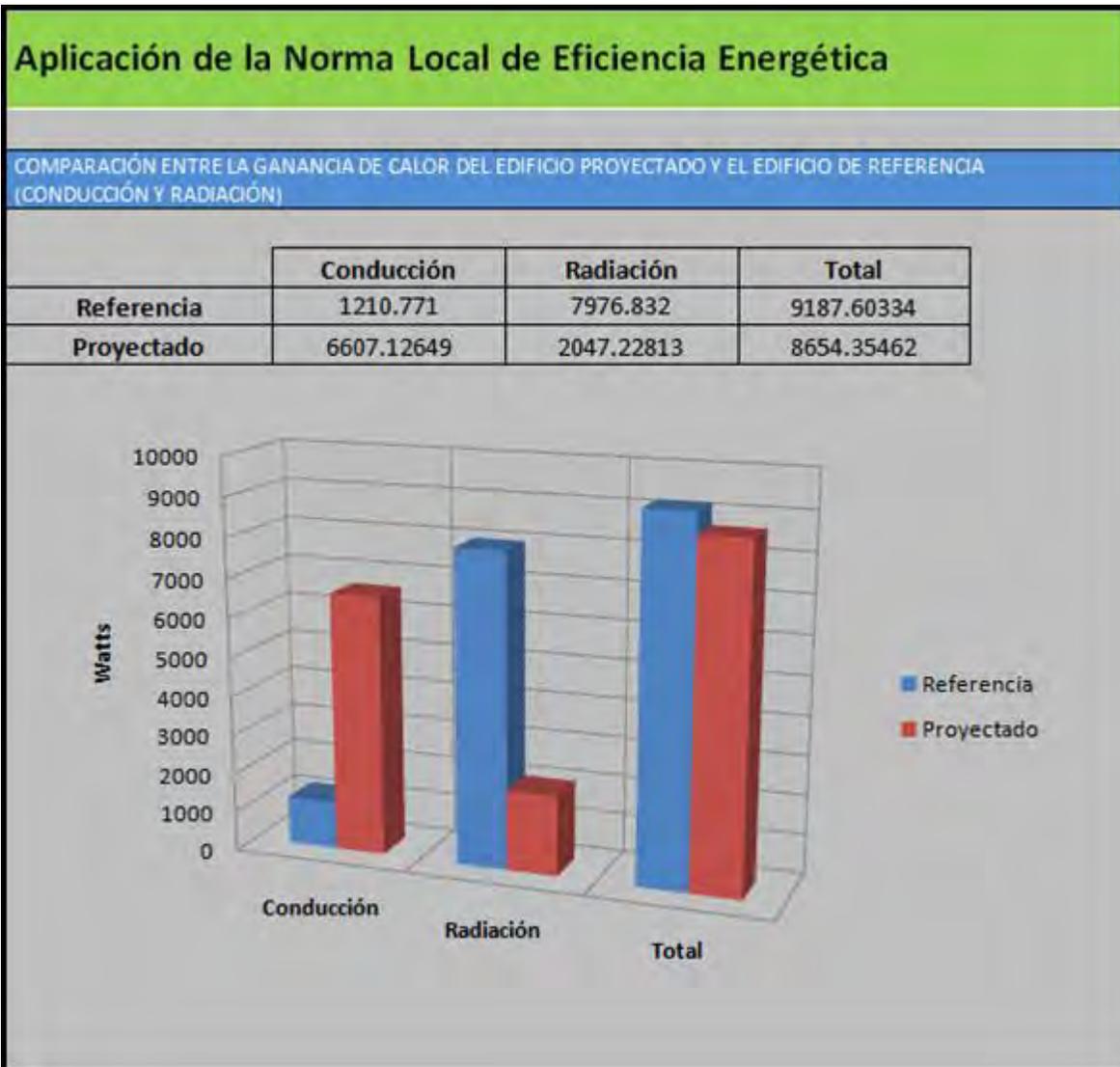
**Figura 5.10: Edificio 1, vista de la fachada Norte.**

El edificio 1 tiene una orientación que para fines de la norma se considera Este-Oeste, a pesar de que tiene una desviación de  $30^\circ$ , la norma indica que es a partir de los  $45^\circ$  que se tiene que cambiar los datos de la orientación. Tiene aleros en las ventanas de ambas fachadas. Los materiales de la construcción son peores que en otros casos, ya que tienen menos espesor y son de menor calidad. Los muros son de tabique rojo, el techo es concreto y los cristales son de seis milímetros con ningún tipo de película.



**Figura 5.11: Vista de planta del Edificio 1.**

La envolvente considerada para este análisis es la generada por los dos salones que se ven en la figura 4.11.

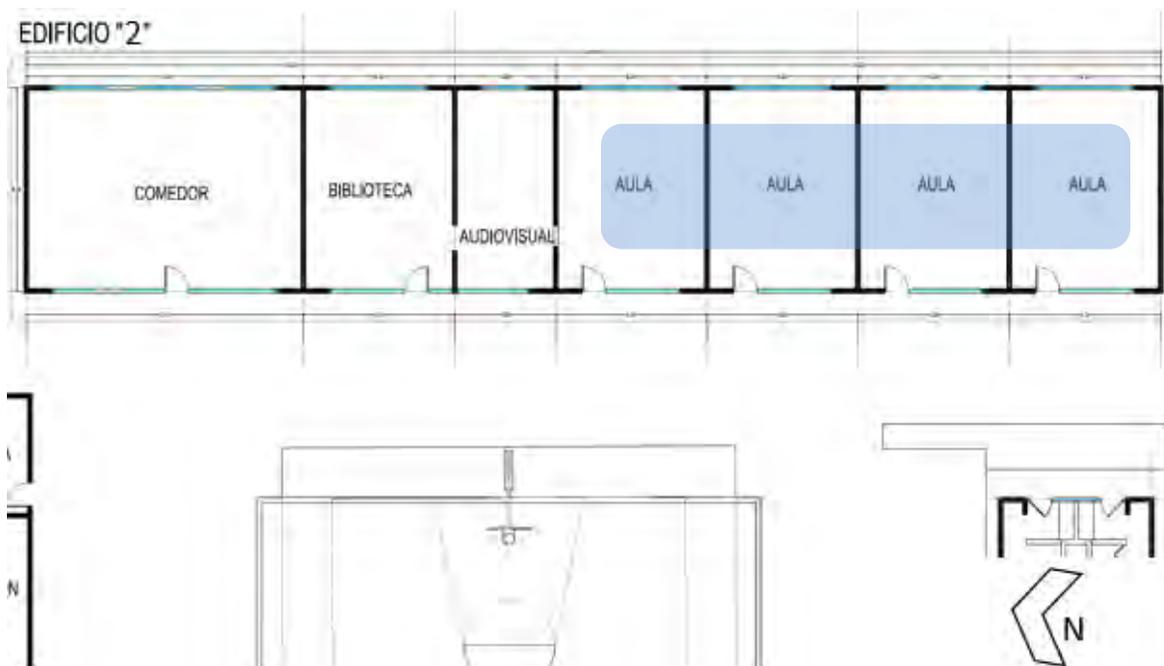


**Gráfica 5.5: Ganancias de Calor del Edificio 1.**

Debido a que Ciudad Juárez pertenece a una zona cálida seca extremosa, las ganancias de calor son muy altas y falta muy poco para que la norma sea reprobada. El edificio 1 tiene un ahorro energético de apenas 5.8%. Hay un gran aporte de calor por el techo, de acuerdo a la norma puede alcanzar temperaturas de hasta 41°C, gracias a esto y a la baja capacidad de aislamiento que tiene el concreto es que se dan las ganancias tan altas en la parte de la conducción.

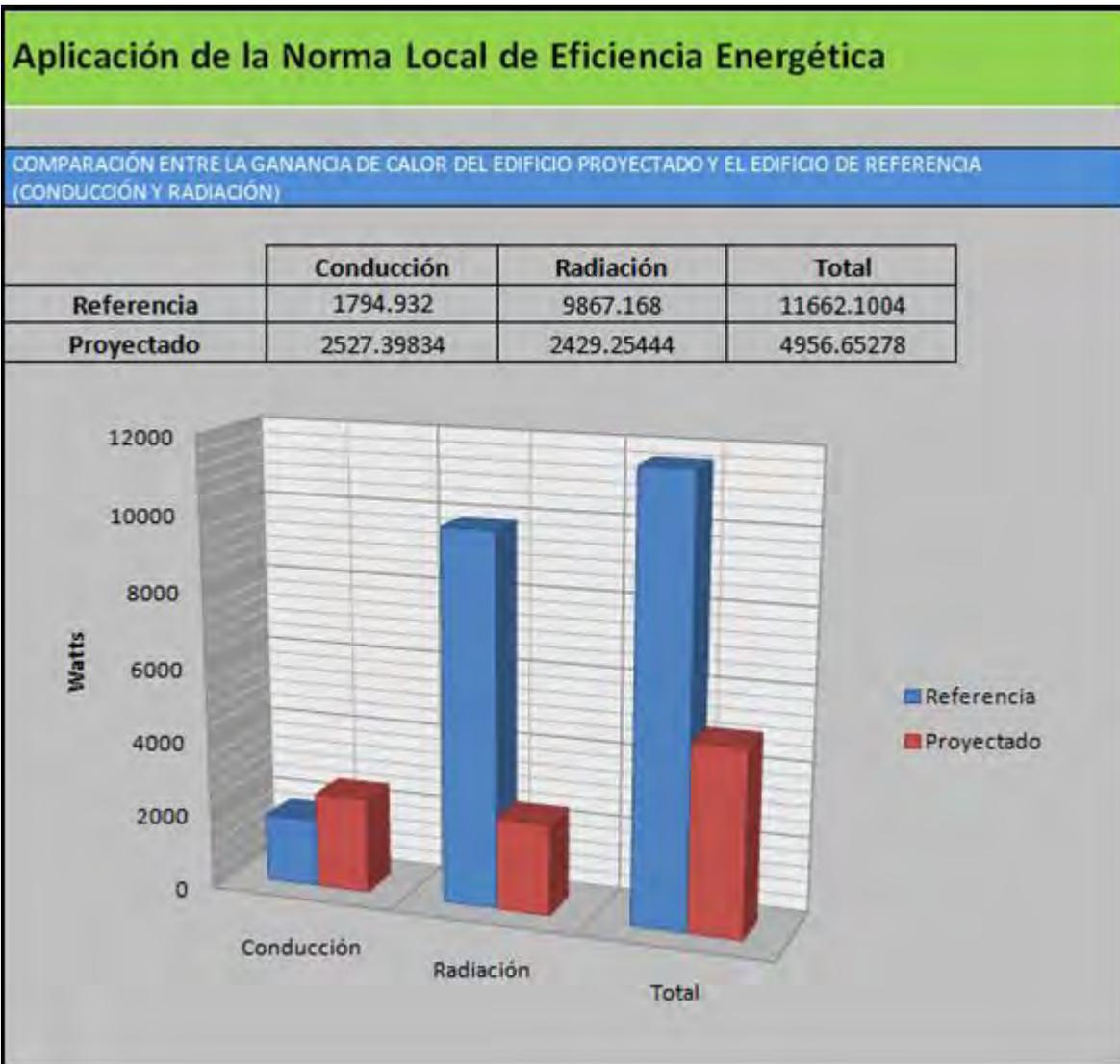


**Figura 5.12: Al fondo a la derecha se observa el Edificio 2.**



**Figura 5.13: Vista de planta del Edificio 2.**

Para la envolvente del edificio 2 se consideraron sólo cuatro salones marcados, desde el lado derecho hacia el lado izquierdo de la parte de arriba de la figura 4.13. A pesar de que el flujo de calor continúa a lo largo de los otros tres salones restantes, no se consideraron ganancias en el lado oeste, porque existe un cambio de materiales. Se puede apreciar que es otra etapa de construcción. La orientación es Norte-Sur, a pesar de la gran desviación que existe. El plano de las aulas es el mismo que el del edificio 1, sin embargo los materiales son todos diferentes. El techo es de una lámina multipanel y las paredes son de concreto sin ningún tipo de repellado.



**Gráfica 5.6: Ganancias de Calor del Edificio 2.**

Este es un buen ejemplo de que es lo que se debe hacer para reducir las ganancias de calor en el edificio. En este caso el techo no es de concreto, es de un sistema conformado por dos láminas de metal y en medio una capa de poliuretano que no permite el paso del calor tan fácil como lo permite el concreto. Es por ello que a pesar de que es el mismo bioclima que el caso anterior, este tiene unas ganancias mucho menores en el edificio proyectado. Con un ahorro energético de 57.49%. Es necesario recordar que las ganancias del lado Oeste son cero, por lo que tal vez los valores totales de ganancia serían un poco más altos.

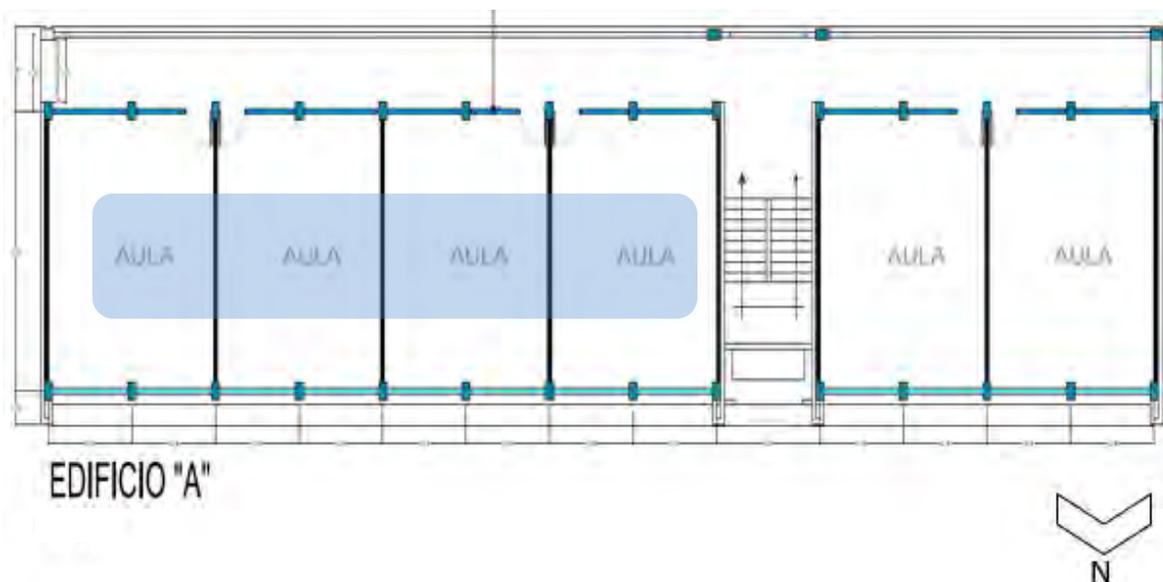
## CASO CAMPECHE

Campeche pertenece al bioclima cálido húmedo. El diagnóstico térmico se llevó a cabo en los dos edificios de la escuela. Los edificios son iguales, en construcción y en orientación. Sólo están encontrados, es decir todas las puertas dan hacia el patio central.



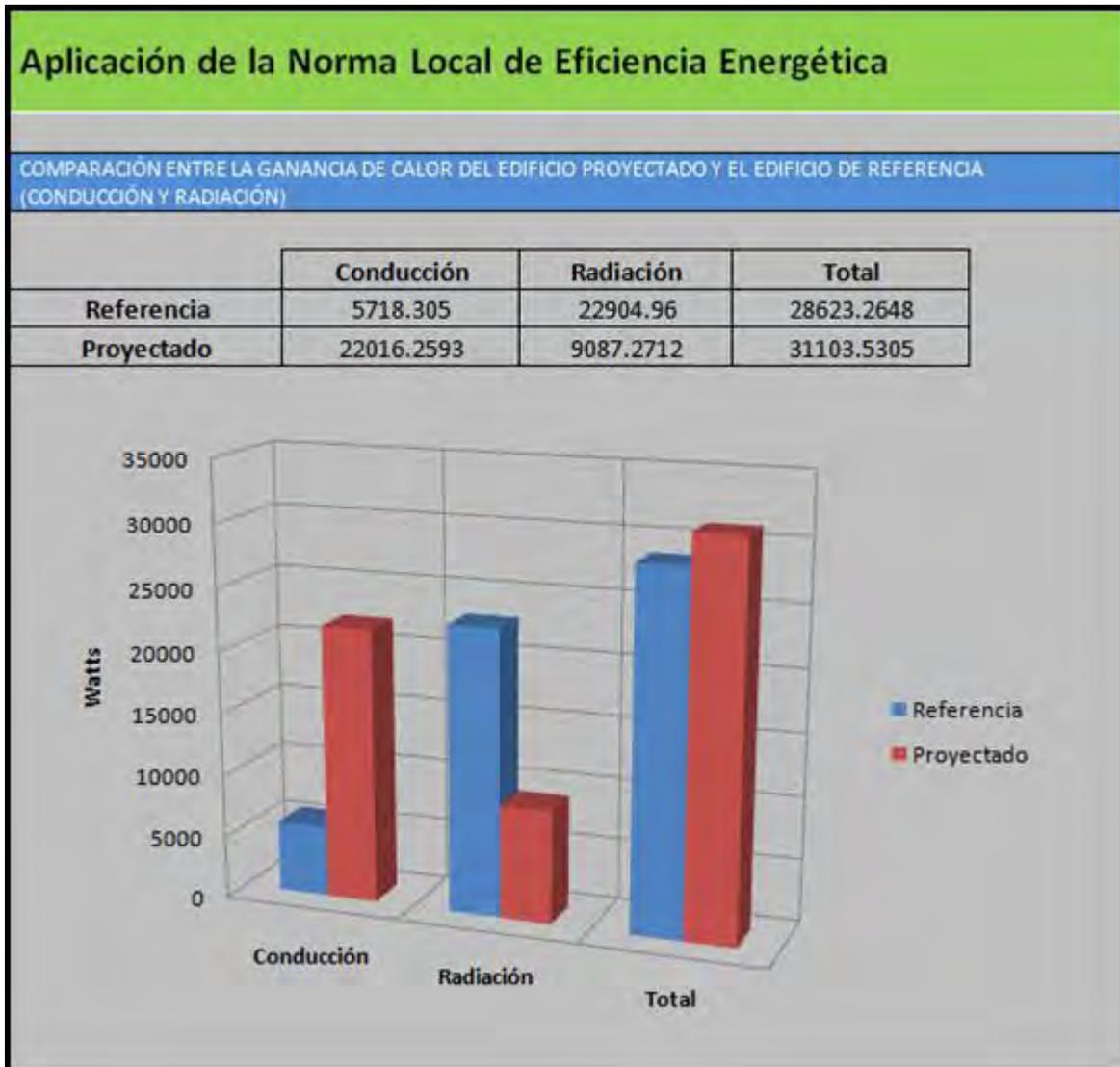
**Figura 5.14: Fachada Norte edificio A.**

El edificio A tiene una orientación que se considera Norte-Sur. En la fachada Norte tiene aleros en la planta alta y el pasillo de ese nivel funciona como alero para la planta baja, como se ve en la figura 4.14. La fachada Sur tiene ventanas remetidas. Los muros son de tabique rojo, el techo es concreto y los cristales son de seis milímetros con ningún tipo de película.



**Figura 5.15. Vista de planta del Edificio A.**

La envolvente considerada para este análisis es la generada por los salones que se ubican a la izquierda de las escaleras, marcados en azul, ya que estas parten la continuidad del flujo de calor. Se analizaron los dos pisos de altura que tiene el edificio.



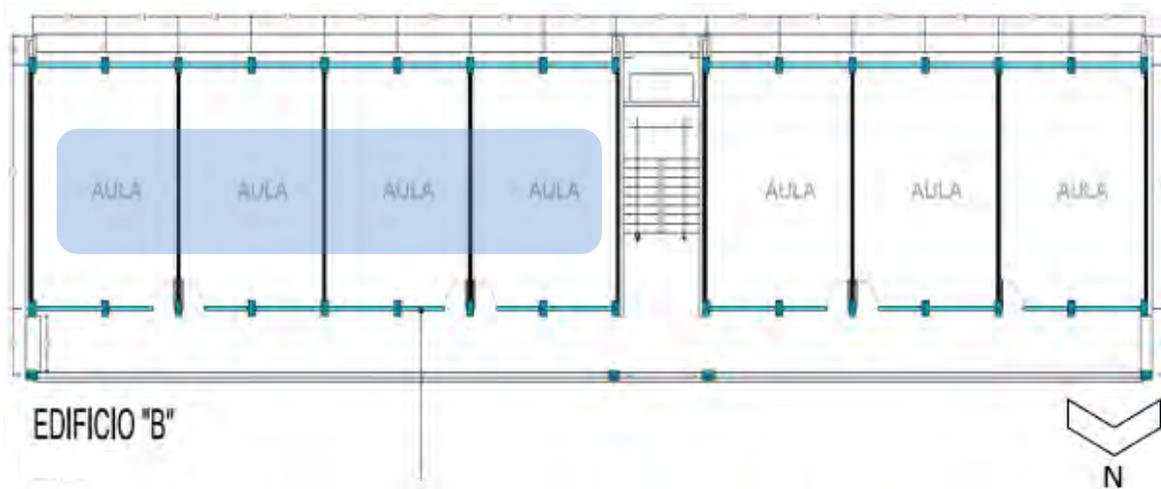
**Gráfica 5.7: Ganancias de Calor del Edificio A.**

En este caso las ganancias de calor son muy altas y la norma no es aprobada. Por las ganancias tan altas se puede observar como el clima influye directamente en la cantidad de calor que reciben los edificios. En este caso la norma no es aprobada porque en la parte de la ganancia por radiación en la fachada norte los aleros no protegen las ventanas, tiene una ganancia del 100%, y eso provoca que se rebase al edificio de referencia. En este edificio es urgente alguna adaptación para disminuir las ganancias de calor por debajo de las del edificio de referencia.



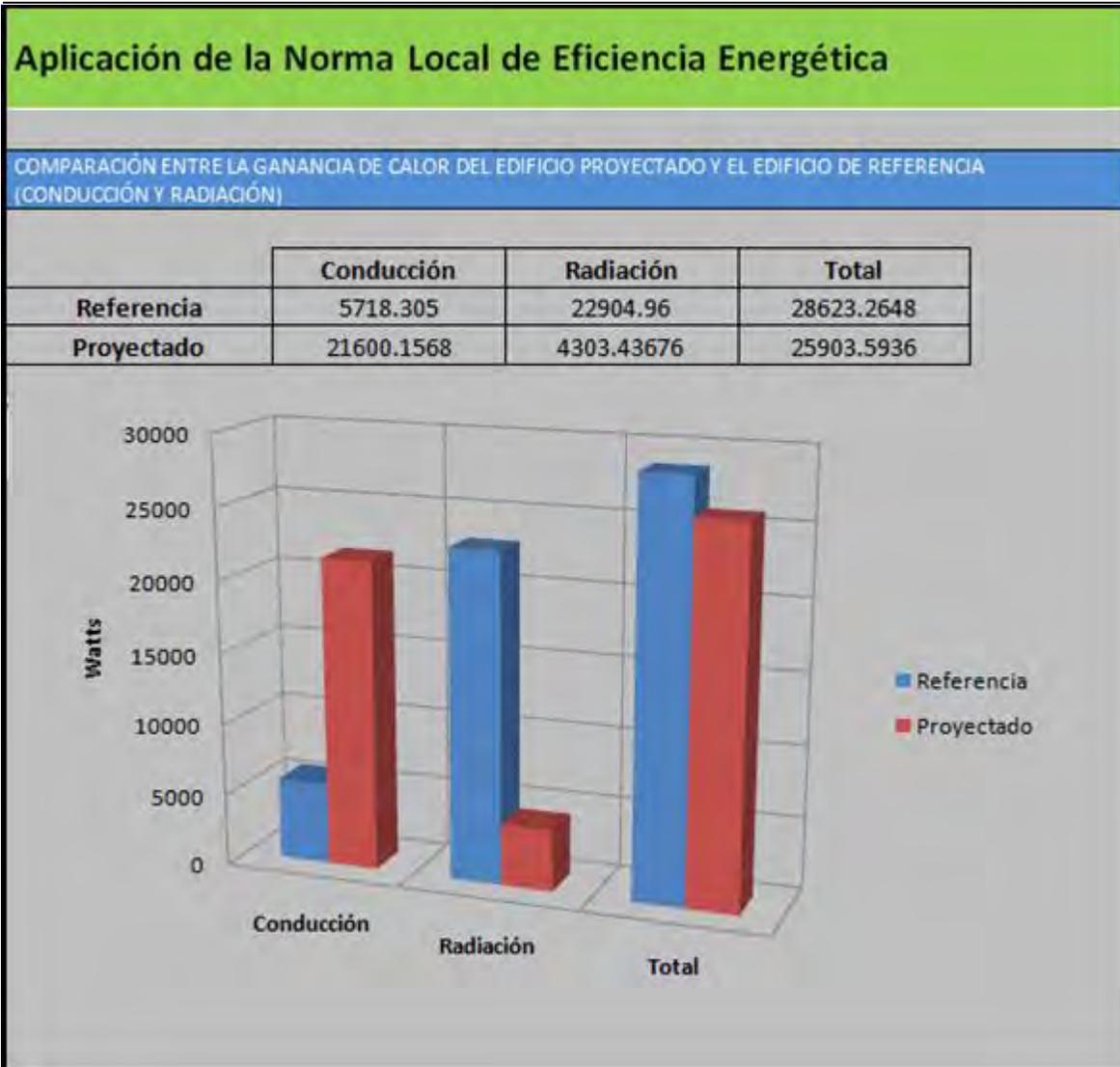
**Figura 5.16: Fachada Sur del Edificio B.**

El edificio B tiene una orientación que se considera Norte-Sur. En la fachada Sur tiene aleros en la planta alta y el pasillo de ese nivel funciona como alero para la planta baja, como se ve en la figura 4.16. La fachada Sur tiene ventanas remetidas. Los materiales son los mismos que en el edificio A.



**Figura 5.17: Vista de planta del Edificio B.**

El edificio B consta de dos plantas. Para considerar la envolvente se tomaron los cuatro salones que están a la izquierda de las escaleras, en la figura 4.17. La continuidad no se rompe en los dos pisos de altura así que fueron tomados en cuenta.



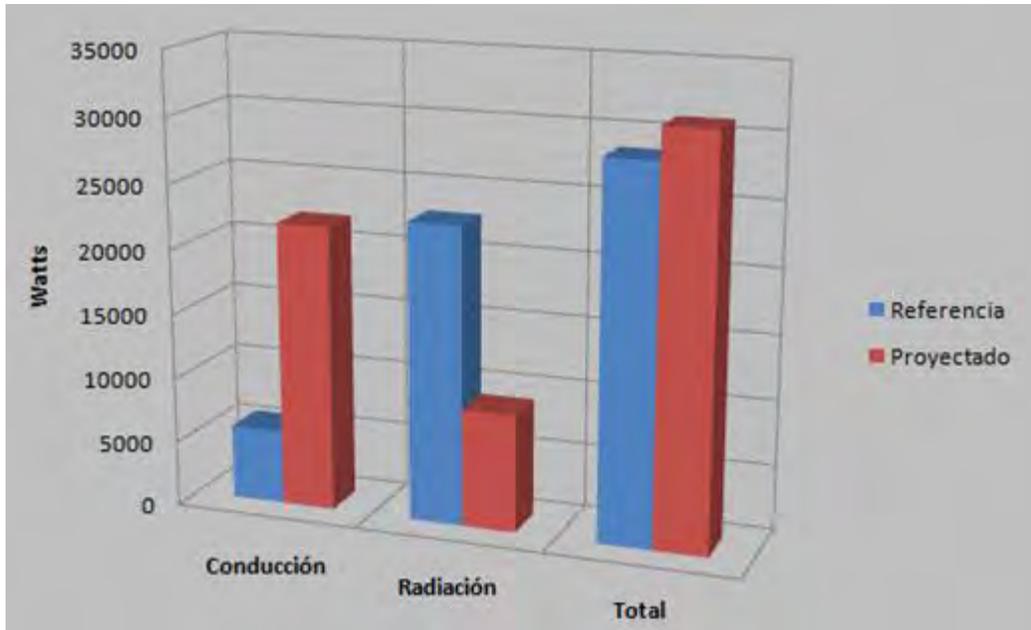
**Gráfica 5.8: Ganancias de Calor del Edificio B.**

En este caso las ganancias son más bajas que en el caso anterior y la norma sí se cumple. El edificio proyectado tiene un ahorro de 9.5%. Esto se debe a que en esta orientación el coeficiente de sombreado de la fachada norte es menor que en el edificio A. Las ganancias tan altas se deben al clima que tiene Campeche y a su ubicación en la zona bioclimática cálido húmedo.

## VALIDACIÓN

Mediante las otras tareas llevadas a cabo durante el la auditoría es posible corroborar que la herramienta utilizada para obtener las ganancias de calor, la NOM-008-ENER-2001, es una herramienta válida.

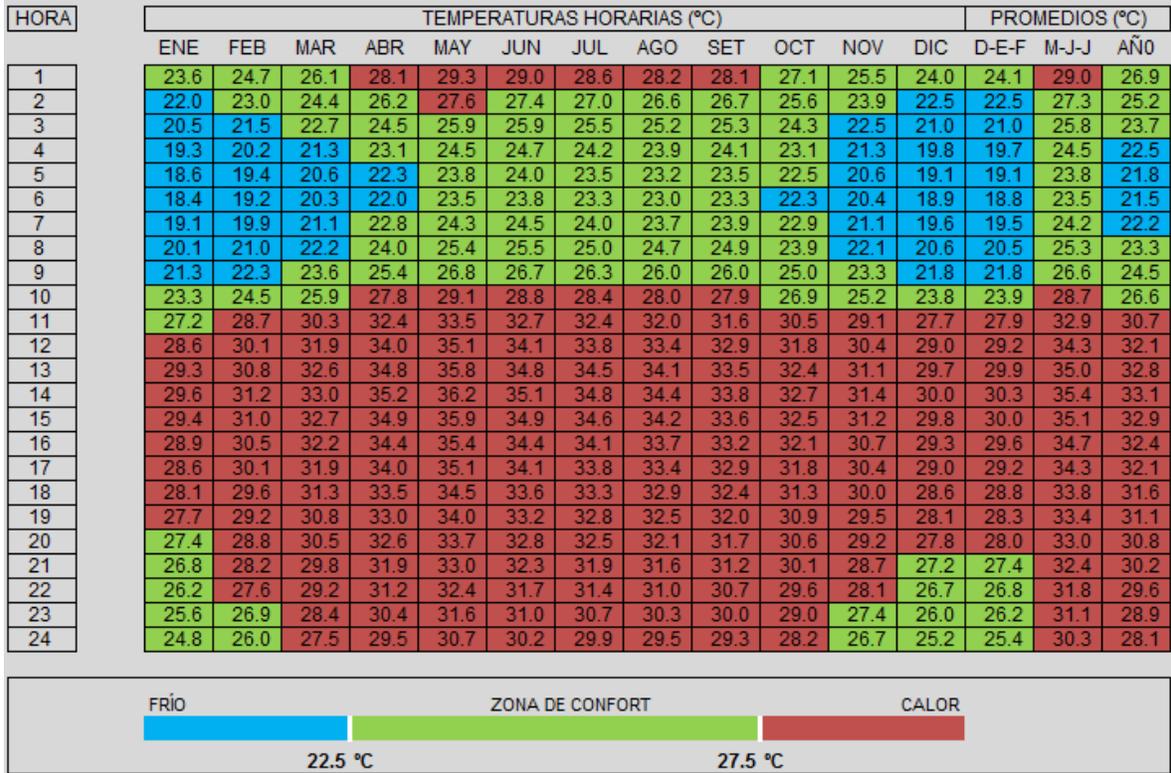
Se utilizará el ejemplo del edificio A de la ciudad de Campeche, en el que la ganancia de calor del edificio proyectado es mayor que la del edificio de referencia.



**Gráfica 5.9: Ganancias de Calor del Edificio A de Campeche.**

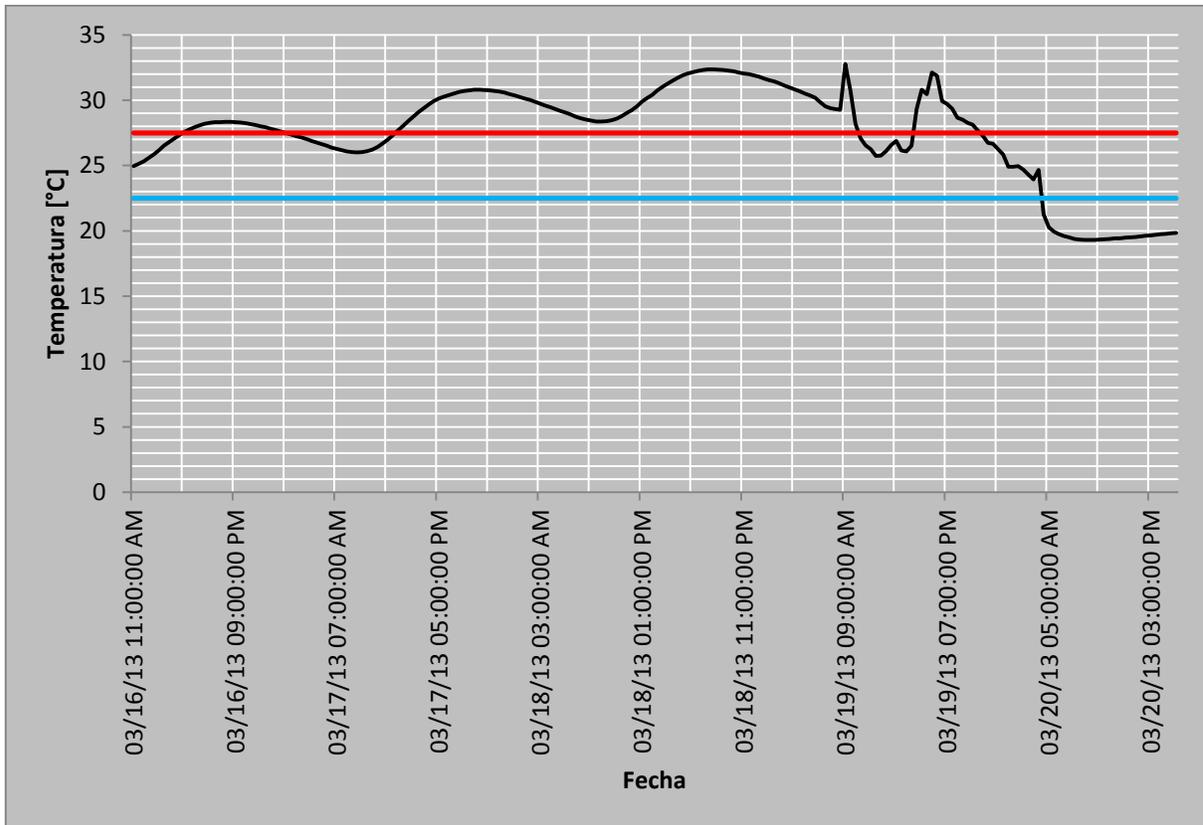
Un mapa de confort muestra las temperaturas medias de cada mes para cada hora del día. El rango de confort térmico para una persona es de entre 22.5 y 27.5°C. Con este mapa se puede observar para cada ciudad donde se tengan las mediciones necesarias que tan frecuentemente se sale de la zona de confort para caer en temperaturas de calor o frío. A continuación se presenta un mapa para la ciudad de Campeche.

MAPA DE CONFORT



Gráfica 5.10: Mapa de Confort de la ciudad de Campeche.

Es posible ver que en Campeche persiste el calor la mayor parte del año. En los meses de mayo, junio y julio hay hasta 16 horas de calor. Inclusive en los meses más fríos, diciembre, enero y febrero, puede haber hasta 10 horas en las que la temperatura sobrepasa los 27.5 grados.



**Gráfica 5.11: Temperaturas medidas a lo largo de 6 días en un salón del Edificio A de Campeche.**

El periodo de medición se llevó a cabo desde el 16 de marzo hasta el 20 del mismo. Durante estos seis días se pudo constatar que a pesar de ser invierno, las temperaturas estuvieron prácticamente todo el tiempo por encima de la zona de confort. Sólo el último día descendieron. En la gráfica 4.11 todo lo que está por encima de la línea roja es calor y lo que está por debajo de la línea azul es frío.

El día que se instalaron los sensores se realizó una encuesta a los usuarios para poder conocer su opinión de las condiciones térmicas del salón de clases. A continuación se presentan los resultados de los usuarios en forma de gráfica.



**Gráfica 5.12: Resultados de las encuestas de los usuarios.**

El inicio de la aplicación de la encuesta fue el 16 de marzo a las 11 horas. Había una temperatura de 24.9°C por lo que estaba dentro del rango de confort. Según el mapa de confort mostrado en la gráfica 4.10 en marzo a esa hora suele haber calor, sin embargo a esa hora pasa de la zona de confort al calor, por lo que puede haber fluctuaciones.

Para la fecha y hora de la encuesta se ve que el 98% de los encuestados se sienten cómodos con la temperatura ambiente. Sin embargo en la gráfica b, se observa que el 75% dice que no es así todo el tiempo. Esto lleva a la siguiente pregunta en la que el 90% respondió que alguna vez o siempre se prende el aire acondicionado.

Estos resultados acompañados de la información del mapa de confort y las mediciones realizadas durante seis días nos dan una aproximación a la realidad de las escuelas. Es posible verificar también que la herramienta utilizada para obtener las ganancias de calor es adecuada ya que muestra una parte de la realidad. Si existe un clima cálido junto con unas pobres condiciones de adecuación térmica en los edificios, las condiciones no serán propicias para el aprovechamiento escolar. Además de que el sistema de climatización tendrá que estar funcionando continuamente con el consecuente gasto energético.

## **Capítulo VI**

# **ADECUACIONES**

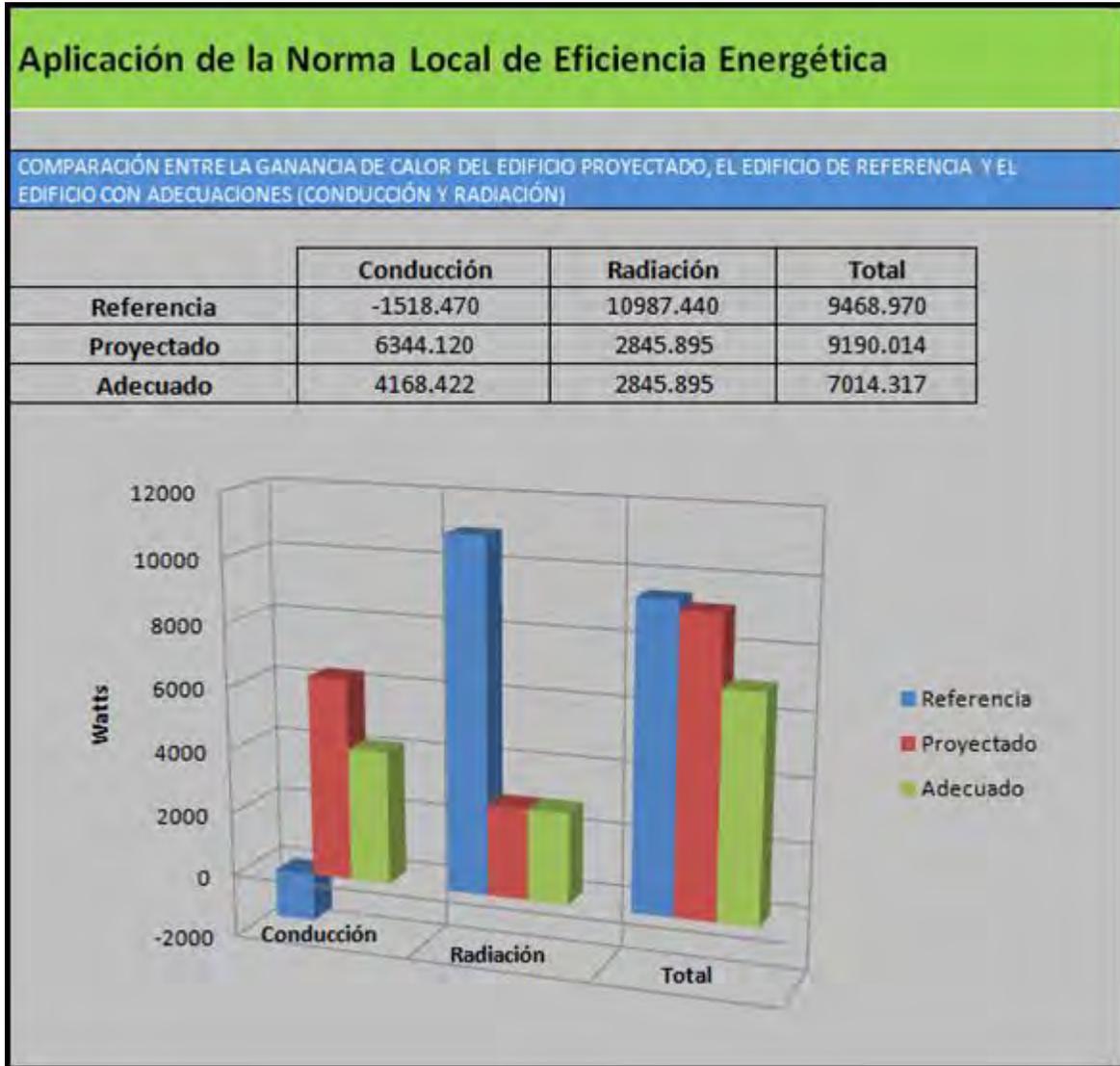
Dado que en todos los casos lo que más aumenta las ganancias de calor es la transferencia de calor por convección, esa es la parte que se tiene que disminuir. Además la diferencia de temperaturas entre la temperatura equivalente del techo y la temperatura interna es el valor más alto entre todas las diferencias de temperaturas y esto hace que la ganancia por convección sea muy grande. La adecuación que se propone para disminuir los Watts generados es aumentar el espesor del techo y utilizar un aislante térmico, en vez de concreto armado, como en el caso de uno de los edificios de Ciudad Juárez.

Para la estrategia de adecuación se consideró mejorar el aislamiento proponiendo el uso de una lámina de unicel entre dos capas de mortero en vez del concreto que se usa en casi todos los edificios. Las mejoras sólo se llevarán a cabo en los edificios que no cumplan con la norma o que tengan un ahorro muy bajo. Un techo de este tipo permite un excelente aislamiento. Por lo que es una muy buena opción para las escuelas.

Esta decisión queda sustentada por un artículo de 2004 presentado por Oscar González Espinosa, Federico T. Poujol Galván, Oscar Reséndiz Pacheco y Alfredo Flores Irigollen llamado "*Comparaciones Técnico-Económicas de Recubrimientos de Techos*". Donde se realiza un estudio para comparar el efecto de ciertos materiales aislantes utilizados en la construcción de techos. En el artículo se llega a la conclusión de que el poliestireno expandido es la mejor opción.

## CASO SAN LUIS POTOSÍ

En el caso de San Luis Potosí el ahorro energético es de 2.9%, por lo que se propone el acondicionamiento.

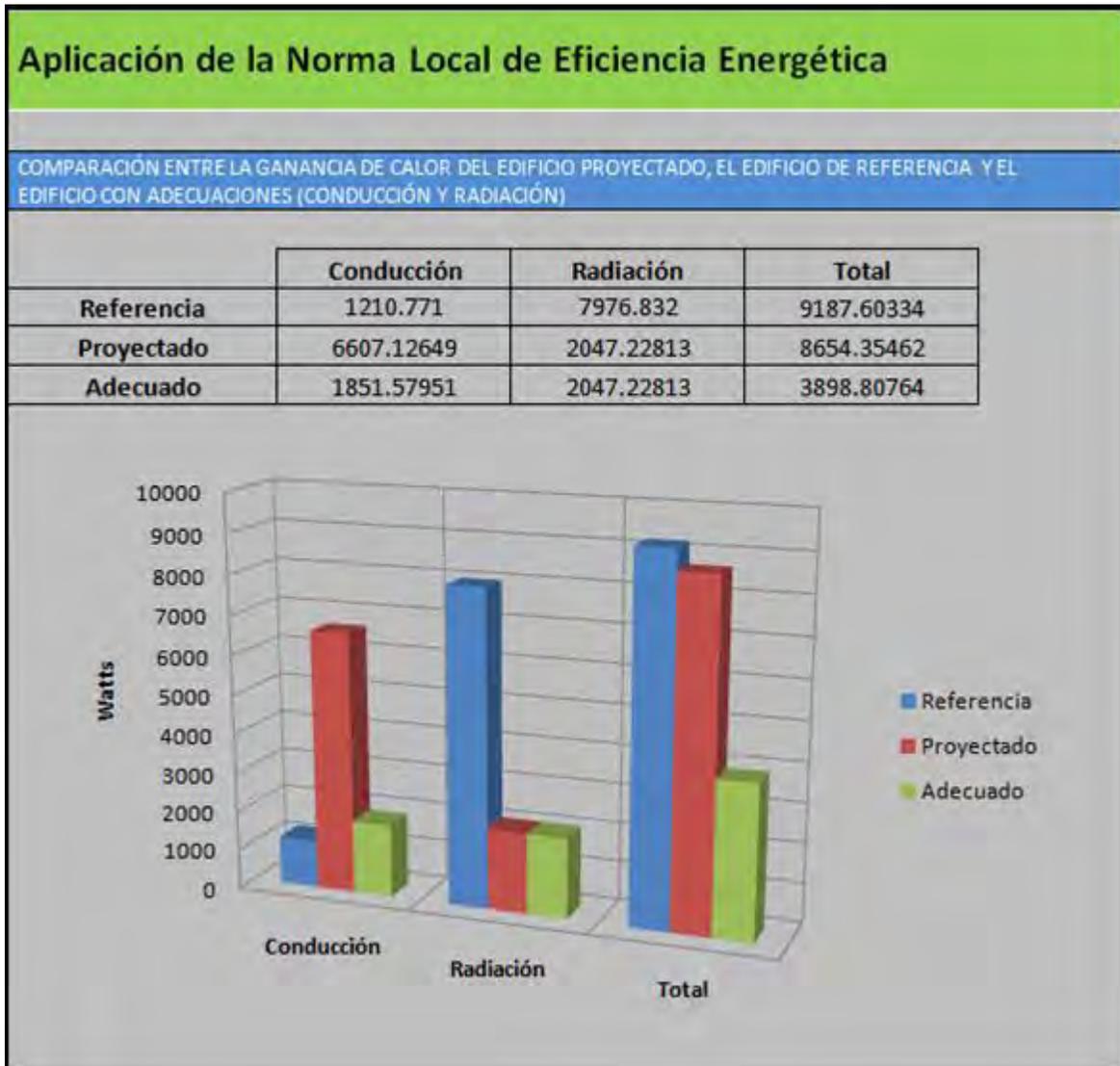


**Gráfica 6.1: Ganancias de calor de la escuela de San Luis Potosí si se realizarán adecuaciones.**

Si se cambia el techo por un techo de unicel como se propone el ahorro aumenta hasta un 25.92%.

## CASO CIUDAD JUÁREZ EDIFICIO 1

El edificio 1 de Ciudad Juárez tiene un ahorro de 5.8% antes de las adecuaciones.

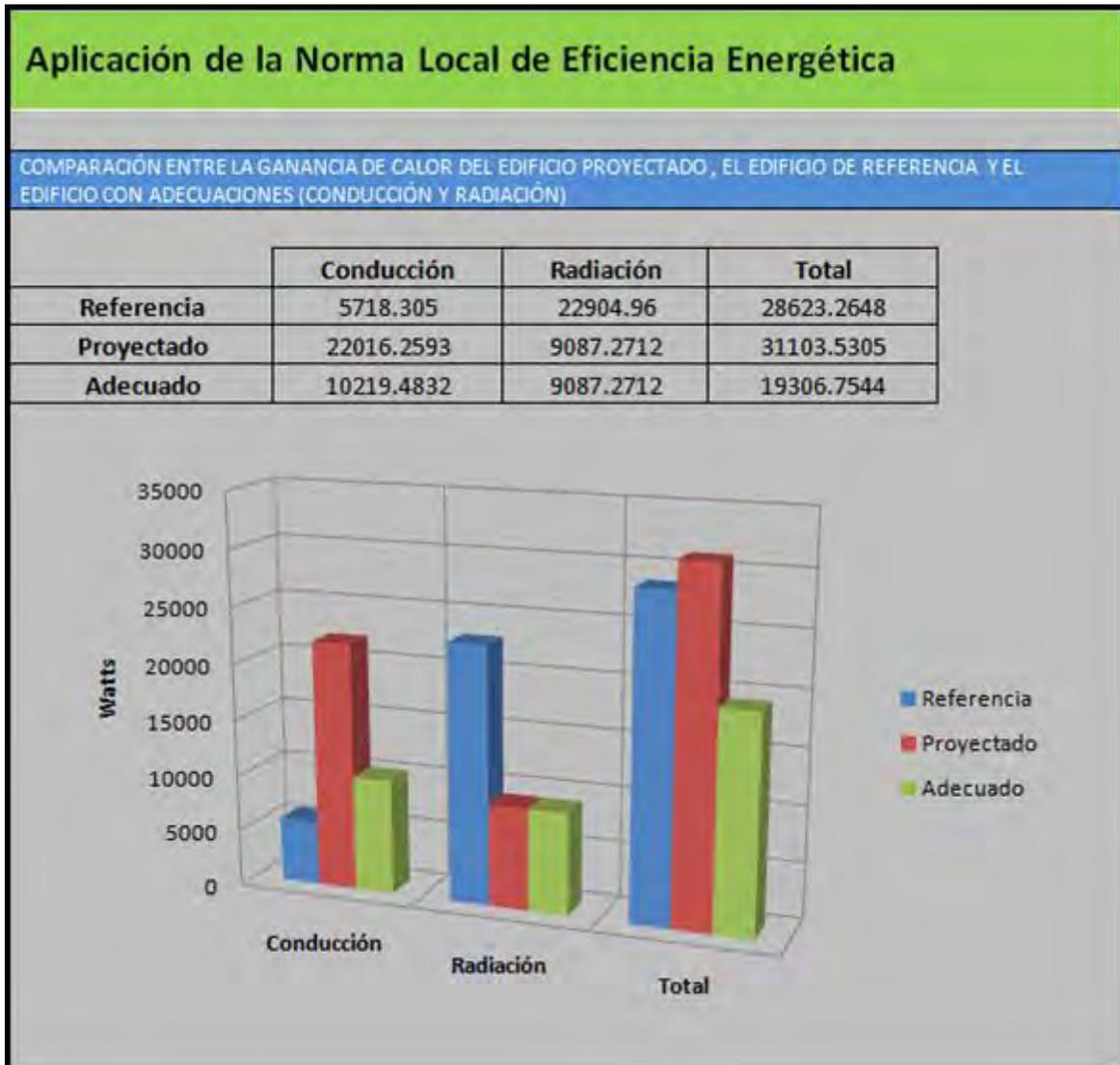


**Gráfica 6.2: Ganancias de calor de la escuela de Ciudad Juárez si se realizaran las adecuaciones.**

Si se cambia el techo por uno de unicel como se propone el ahorro aumenta hasta un 57.56%.

## CASO CAMPECHE EDIFICIO A

El edificio A de Campeche no cumple con la norma antes de las adecuaciones.

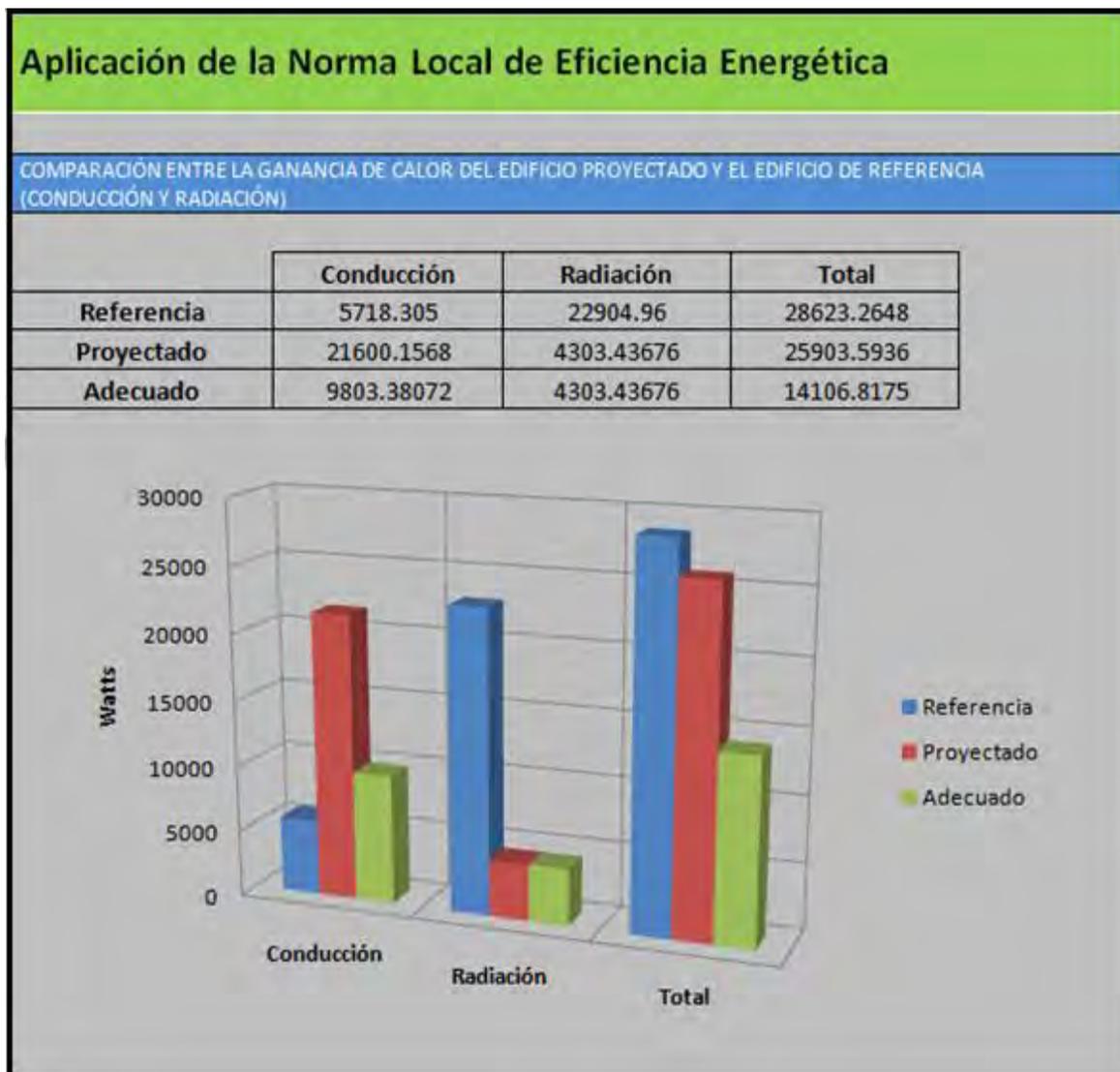


Gráfica 6.3: Ganancias de calor en el Edificio A de Campeche si se realizaran las adecuaciones.

Si se cambia el techo por uno de unicel como se propone el ahorro aumenta hasta un 32.54%.

## CAMPECHE EDIFICIO B

El edificio B de Campeche un ahorro de 9.5% antes de las adecuaciones.



Gráfica 6.4: Ganancias de calor en el Edificio B de Campeche si se realizaran las adecuaciones.

Si se cambia el techo por uno de unicel como se propone el ahorro aumenta hasta un 50.71%.

El resto de edificios y lugares cumple de manera adecuada con la norma por lo que no es necesaria ninguna adecuación.

## **Capítulo VII**

# **BENEFICIOS TÉRMICOS, ENERGÉTICOS Y AMBIENTALES DE LA REDUCCIÓN DE LAS GANANCIAS DE CALOR**

Una vez calculadas las ganancias de calor de cada edificio es necesario cuantificar el consumo de energía eléctrica que es utilizada por sistemas de aire acondicionado para que se reduzcan las ganancias de calor en el interior de las escuelas. También se analizará la cantidad de CO<sub>2</sub> producto de la electricidad utilizada por dichos sistemas.

### **IMPACTO ENERGÉTICO Y AMBIENTAL**

El procedimiento consiste en relacionar la diferencia de ganancias de calor con las toneladas de refrigeración que se ahorran. Después es necesario convertir esas toneladas a Btu/h, teniendo en cuenta que 3.5 kW térmicos son equivalentes a 1 tonelada de refrigeración, y esta a su vez es igual a 12000 Btu/h.

	Proyectado –Referencia	Ton. De Refrigeración	BTU / hra.
<b>DF EDIFICIO 1</b>			
Ganancias Totales	-9733.792	-2.781	-33373.002
10653.1094			
919.31701			
<b>DF EDIFICIO 2</b>			
Ganancias Totales	-8344.866	-2.384	-28610.968
13282.4185			
4937.5529			
<b>SLP</b>			
Ganancias Totales	-278.956	-0.080	-956.420
9468.970			
9190.014			
<b>CD JUÁREZ EDIFICIO 1</b>			
Ganancias Totales	-533.249	-0.152	-1828.281
9187.60334			
8654.35462			
<b>CD JUÁREZ EDIFICIO 2</b>			
Ganancias Totales	-6705.448	-1.916	-22990.106
11662.1004			
4956.65278			
<b>TABASCO</b>			
Ganancias Totales	-5809.484	-1.660	-19918.230
27135.5721			
21326.0883			
<b>CAMPECHE EDIFICIO A</b>			
Ganancias Totales	2480.266	0.709	8503.768
28623.2648			
31103.5305			
<b>CAMPECHE EDIFICIO B</b>			
Ganancias Totales	-2719.671	-0.777	-9324.587
28623.2648			
25903.5936			

Tabla 7.1: Obtención de la energía en Btu/h en todos los casos.

Una vez obtenidos los Btu/h equivalentes de los Watts térmicos de ahorro, tenemos que convertirlos a potencia eléctrica consumida. Existe una relación de eficiencia que se emplea para medir el comportamiento energético de los sistemas de refrigeración, el Energy Efficiency Ratio (EER). Es la relación entre las unidades de energía de

enfriamiento, expresadas en Btu/h y la potencia instalada en el sistema en W para un punto instantáneo de operación. Pero como no existe una relación definida entre la potencia eléctrica consumida y la capacidad de refrigeración, es necesario recurrir a las especificaciones técnicas de los fabricantes para conocer el consumo de energía eléctrica correspondiente, con el fin de determinar el consumo eléctrico de los equipos de aire acondicionado para enfriamiento de interiores. El equipo propuesto, de acuerdo al Ernest Tricomi en su libro *“ABC del Aire Acondicionado”*, tiene una relación de 1000 Btu/h por cada 0.09333 kWh eléctricos.

	Proyectado – Referencia	Ton. De Refrigeración	BTU / hra.	kWh eléctrico
<b>DF EDIFICIO 1</b>				
<b>Ganancias Totales</b>				
10653.1094	-9733.792	-2.781	-33373.002	-3.1147
919.31701				
<b>DF EDIFICIO 2</b>				
<b>Ganancias Totales</b>				
13282.4185	-8344.866	-2.384	-28610.968	-2.6703
4937.5529				
<b>SLP</b>				
<b>Ganancias Totales</b>				
9468.970	-278.956	-0.080	-956.420	-0.0893
9190.014				
<b>CD JUÁREZ EDIFICIO 1</b>				
<b>Ganancias Totales</b>				
9187.60334	-533.249	-0.152	-1828.281	-0.1706
8654.35462				
<b>CD JUÁREZ EDIFICIO 2</b>				
<b>Ganancias Totales</b>				
11662.1004	-6705.448	-1.916	-22990.106	-2.1457
4956.65278				
<b>TABASCO</b>				
<b>Ganancias Totales</b>				
27135.5721	-5809.484	-1.660	-19918.230	-1.8590
21326.0883				
<b>CAMPECHE EDIFICIO A</b>				
<b>Ganancias Totales</b>				
28623.2648	2480.266	0.709	8503.768	0.7937
31103.5305				
<b>CAMPECHE EDIFICIO B</b>				
<b>Ganancias Totales</b>				
28623.2648	-2719.671	-0.777	-9324.587	-0.8703
25903.59357				

Tabla 7.2: Equivalencia para obtener la energía eléctrica consumida.

El uso de los sistemas de aire acondicionado estará limitado a funcionar por unas horas diarias, sólo si existe una ganancia de calor mayor al edificio de referencia. Existen gráficas, presentadas en la guía para el “Uso eficiente de la energía en la vivienda” por el Dr. David Morillón, para cada bioclima en las que se presentan el promedio de horas por

mes que hay excedente de calor. De estas se estima el promedio de horas al año que se requerirá del uso de los sistemas antes mencionados. Las escuelas analizadas tienen doble turno y los horarios de uso coinciden prácticamente con las horas que promedio mensuales en los que hay excedente de calor, por lo que estos valores son correctos.

	Proyectado - Referencia	Ton. De Refrigeración	BTU / hra.	kWh eléctrico	Horas en las que se requiere AA	Total de kWh anuales
<b>DF EDIFICIO 1</b>						
<b>Ganancias Totales</b>						
10653.1094	-9733.792	-2.781	-33373.002	-3.1147	0	0
919.31701						
<b>DF EDIFICIO 2</b>						
<b>Ganancias Totales</b>						
13282.4185	-8344.866	-2.384	-28610.968	-2.6703	0	0
4937.5529						
<b>SLP</b>						
<b>Ganancias Totales</b>						
9468.970	-278.956	-0.080	-956.420	-0.0893	1980	-176.740
9190.014						
<b>CD JUÁREZ EDIFICIO 1</b>						
<b>Ganancias Totales</b>						
9187.60334	-533.249	-0.152	-1828.281	-0.1706	1980	-337.854
8654.35462						
<b>CD JUÁREZ EDIFICIO 2</b>						
<b>Ganancias Totales</b>						
11662.1004	-6705.448	-1.916	-22990.106	-2.1457	1980	-4248.42
4956.65278						
<b>TABASCO</b>						
<b>Ganancias Totales</b>						
27135.5721	-5809.484	-1.660	-19918.230	-1.8590	3270	-6078.82
21326.0883						
<b>CAMPECHE EDIFICIO A</b>						
<b>Ganancias Totales</b>						
28623.2648	2480.266	0.709	8503.768	0.7937	3630	2880.974
31103.5305						
<b>CAMPECHE EDIFICIO B</b>						
<b>Ganancias Totales</b>						
28623.2648	-2719.671	-0.777	-9324.587	-0.8703	3630	-3159.05
25903.59357						

Tabla 7.3: Cálculo para obtener la energía eléctrica consumida en un año por los diferentes casos de estudio.

Esta energía eléctrica, consumida por los equipos de aire acondicionado, contribuye al calentamiento global, pues en México se genera cerca más de un 80% de energía eléctrica mediante la quema de combustibles fósiles. Esto genera la emisión de gases de efecto invernadero.

Existe un índice que propone la Conuee, el cual es de 0.350 kg de CO<sub>2</sub> por cada kWh eléctrico. Utilizando este índice para determinar las emisiones de CO<sub>2</sub> que se ahorran con un diseño eficiente de escuelas se puede conocer el impacto ambiental de las mismas.

	Total de CO <sub>2</sub> no emitido
<b>DF EDIFICIO 1</b>	
<b>Ganancias Totales</b>	
10653.1094	0
919.31701	
<b>DF EDIFICIO 2</b>	
<b>Ganancias Totales</b>	
13282.4185	0
4937.5529	
<b>SLP</b>	
<b>Ganancias Totales</b>	
9468.970	-61.859
9190.014	
<b>CD JUÁREZ EDIFICIO 1</b>	
<b>Ganancias Totales</b>	
9187.60334	-118.249
8654.35462	
<b>CD JUÁREZ EDIFICIO 2</b>	
<b>Ganancias Totales</b>	
11662.1004	-1486.947
4956.65278	
<b>TABASCO</b>	
<b>Ganancias Totales</b>	
27135.5721	-2127.589
21326.0883	
<b>CAMPECHE EDIFICIO A</b>	
<b>Ganancias Totales</b>	
28623.2648	1008.341
31103.5305	
<b>CAMPECHE EDIFICIO B</b>	
<b>Ganancias Totales</b>	
28623.2648	-1105.670
25903.59357	

Tabla 7.5: Cálculo para estimar el impacto ambiental de las escuelas.

El total anual de kWh ahorrados es de: 11119.925.

El total anual de kilos de CO<sub>2</sub> no emitidos es de: 3891.974.

Este breve análisis muestra el ahorro que pueden llegar a generar las escuelas. Sin embargo si se proponen diseños más eficientes en los que las orientaciones o materiales tengan otras características el ahorro puede ser mucho mayor sin afectar las condiciones de confort. Se observa que el ahorro no se da sólo en kWh sino se ve reflejado en la reducción de kilogramos de CO<sub>2</sub> que se liberan a la atmósfera. Una vez más se observa que en los climas templados no existe necesidad de adaptar nada, el problema son los climas cálidos.

## **BENEFICIO DE LAS ADECUACIONES**

Una vez realizadas las adecuaciones propuestas las ganancias de calor en los edificios seleccionados disminuyeron hasta en un 57%. A continuación se presentan los beneficios energéticos y ambientales de las acciones propuestas.

	Proyectado - Referencia	Ton. De Refrigeración	BTU / hra.	kWh eléctrico	Horas en las que se requiere AA	Total de kWh anuales	Total CO <sub>2</sub> emitido
<b>DF EDIFICIO 1</b>							
Ganancias Totales							
10653.1094	-9733.7	-2.781	-33373.0	-3.11	0	0	0
919.31701							
<b>DF EDIFICIO 2</b>							
Ganancias Totales							
13282.4185	-8344.8	-2.3	-28610.9	-2.67	0	0	0
4937.5529							
<b>SLP</b>							
Ganancias Totales							
9468.970	-2454.65	-0.701	-8415.9	-0.785	1980	-1555	-544.3
7014.31							
<b>CD JUÁREZ E1</b>							
Ganancias Totales							
9187.60334	-5288.796	-1.511	-18133	-1.6924	1980	-3350	-1172
3898.807							
<b>CD JUÁREZ E2</b>							
Ganancias Totales							
11662.1004	-6705.4	-1.916	-22990.1	-2.14	1980	-4248	-1486
4956.65278							
<b>TABASCO</b>							
Ganancias Totales							
27135.5721	-5809.48	-1.660	-19918.2	-1.85	3270	-6078	-2127
21326.0883							
<b>CAMPECHE Ed. A</b>							
Ganancias Totales							
28623.2648	-9316.511	-2.662	-31942.3	-2.9812	3630	-10821	-3787
19306.754							
<b>CAMPECHE Ed. B</b>							
Ganancias Totales							
28623.2648	-14516.44	-4.148	-49770.6	-4.6451	3630	-16861	-5901
14106.817							

Tabla 7.6: Cálculo para estimar el beneficio ambiental de las escuelas con adecuaciones.

El total anual de kWh ahorrados es de: 42916.697.

El total anual de kilos de CO<sub>2</sub> no emitidos es de: 15020.844

Es un 75% más de kWh y CO<sub>2</sub> ahorrados que con los edificios sin adecuaciones. Hay que tener en cuenta que las adecuaciones sólo se hicieron a edificios que los necesitaban y que se encontraban en climas cálidos. Los resultados aquí arrojados permiten observar el gran margen de ahorro que existe en los edificios si estos se planean de manera adecuada.

## **Capítulo VIII**

### **CONCLUSIONES**

De acuerdo al estudio realizado es posible notar que se cumplieron varios objetivos y se llevaron a cabo varios aportes. Se puede empezar mencionando el hecho de que a pesar de que existen documentos que abordan, por separado, los diagnósticos energéticos en escuelas, las ganancias de calor en edificios, las mejoras al diseño, o el impacto ambiental, no hay un documento que reúna todos esos puntos en uno sólo. Este trabajo nos da una visión global de cómo se comportan térmicamente las escuelas en diferentes climas de México y que adecuaciones es posible realizar para mejorar el confort térmico en las escuelas primarias. Además, compara mediante un estudio de impacto ambiental y energético que tanto benefician esas mejoras. Así mismo se propone una metodología para llevar a cabo la auditoría y se utiliza para obtener ganancias de calor una norma mexicana.

Los diagnósticos térmicos nos muestran que para climas templados no es muy complicado realizar un diseño eficiente para que existan condiciones de confort en un edificio. Esto es porque las ganancias de calor no son tan altas y tampoco lo son las temperaturas exteriores. Sin embargo para un clima cálido los edificios deben de tener cierta planeación para brindar confort a los usuarios con el gasto mínimo de energía. Lo ideal sería construir las escuelas con un diseño hecho a la medida para las condiciones climáticas de cada lugar. Sabiendo que materiales utilizar, en que orientaciones, si se necesitan parasoles externos y que espesores de materiales. Desafortunadamente esto es imposible ya que muchas veces los recursos económicos son insuficientes para tener este tipo de diseño. Una posible solución sería realizar diseños genéricos para cada uno de los tipos de clima, de esta manera sólo se tendrían diez diseños pero que podrían aprovechar mejor la energía. Además de que se ahorraría energía y costos en su operación, se tendrían mejores condiciones de confort con todo el impacto positivo que ello genera en los usuarios.

Hay muchos factores que afectan las ganancias de calor en las escuelas además de su ubicación en cierta región climática. La orientación del edificio, los materiales y espesores de los muros, el tamaño del edificio. En las escuelas estudiadas, lo que genera un mayor aumento en las ganancias de calor es la diferencia de calor entre el techo y el interior que puede alcanzar hasta 16°C que genera del sesenta al ochenta por ciento de ganancia de calor por conducción. Si se compara con otras partes de la envolvente, que se podría pensar afectan más como las partes transparentes, se observa que no afecta tanto ya que sólo son entre un nueve y un diez por ciento del total. Es por ello que para disminuir las ganancias de calor el techo fue la parte la parte de la envolvente que se atacó.

Debido a la probada eficiencia del unicel como aislante, la propuesta radica en que este se coloque en el techo de los edificios que suspendían o aprobaban por muy poco la norma de esta manera las ganancias de calor experimentan una sustanciosa reducción en sus ganancias de calor. Para cada lugar fue distinto pero para San Luis Potosí por

ejemplo la reducción fue de 25% y para el edificio A de Campeche que ni siquiera aprobaba la norma la reducción fue de hasta 57%.

Una vez que se realiza el estudio para conocer los beneficios ambientales y energéticos se observa que a pesar del pobre diseño de las escuelas, en su mayoría, ahorran energía. El total de la evaluación arrojó que anualmente se ahorran 11119.925 kWh, que suponen 3891.974 kilos de CO<sub>2</sub> anualmente. Hay que tener en cuenta que el estudio se limitó a sólo ocho edificios de cinco escuelas de las miles que hay en el país. Y a cuatro de esos edificios se les realizó adecuaciones. Volviendo a realizar el análisis de beneficios ambientales y energéticos pero con las adecuaciones a cuatro edificios el ahorro llega hasta 42916.69 kWh que son 15020.844 kilos de CO<sub>2</sub> menos en la atmósfera. Esto supone un ahorro de 75%. Si pensamos que la mitad de todos los edificios educacionales de México son candidatos para una adecuación térmica el ahorro es enorme.

Sin embargo hay que ser cuidadoso con respecto a estos datos. Si bien los datos son ciertos el diagnóstico térmico llevado a cabo es un diagnóstico estático y no considera ganancias térmicas como las que generan los usuarios o los equipos electrónicos dentro de las instalaciones. Por otro lado las temperaturas utilizadas para obtener las ganancias de calor son sólo promedios anuales que no reflejan lo que sucede en cada estación o en cada momento del día. Habrá días que serán menos calurosos en los que para alcanzar el confort no será necesario el uso de aire acondicionado o días muy calurosos en los que estará trabajando mucho más tiempo.

Otro punto a resaltar es la flexibilidad de la norma que permite ganancias de calor muy altas. Esto se debe a que el edificio de referencia tiene unos porcentajes muy amplios para crecer y aunque el edificio proyectado no tenga un buen diseño si puede aprobar la norma como en el caso de San Luis Potosí o Campeche.

Si se quiere realmente reducir la emisión de gases de efecto invernadero y que el consumo eléctrico sea menor es necesario hacer un verdadero esfuerzo en cada sector que consume energía. Es indispensable encontrar otras fuentes para producir electricidad que no se basen en la quema de hidrocarburos y por lo tanto dañen el planeta, pero al mismo tiempo sean capaces de competir con la potencia que genera una planta termoeléctrica o de ciclo combinado. El reto es buscar energías limpias que no cambien nuestros hábitos y costumbres.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Tianzhen Hong  
*A close look at the China Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings*  
Energy and Buildings, Volume 41, Issue 4, April 2009, Pages 426–435
- Shivraj Dhaka, Jyotirmay Mathur, Vishal Garg;  
*Combined effect of energy efficiency measures and thermal adaptation on air conditioned building in warm climatic conditions of India*  
Energy and Buildings, Available online 3 October 2012
- Hans Erhorn , Tomasz Mroz, Ove Mørck, Fritz Schmidt, Lorenz Schoff, Kirsten Engelund Thomsen  
*The Energy Concept Adviser—A tool to improve energy efficiency in educational buildings*  
Energy and Buildings, 20 March 2007
- Guillermo Escrivá-Escrivá  
*Basic actions to improve energy efficiency in commercial buildings in operation*  
Energy and Buildings, Volume 43, Issue 11, November 2011, Pages 3106–3111
- T.G. Theodosiou, K.T. Ordoumpozanis  
*Energy, comfort and indoor air quality in nursery and elementary school buildings in the cold climatic zone of Greece*  
Department of Engineering and Management of Energy Resources, University of Western Macedonia, GR-50100 Kozani, Greece; Energy and Buildings, 18 June 2008
- C. Filippín  
*Benchmarking the energy efficiency and greenhouse gases emissions of school buildings in central Argentina*  
National Research Council (CONICET), C.C.302, 6300, Santa Rosa, La Pampa, Argentina; 17 May 1999
- Danielle Griego, Moncef Krarti, Abel Hernández-Guerrero  
*Optimization of energy efficiency and thermal comfort measures for residential buildings in Salamanca, Mexico*  
Energy and Buildings, Volume 54, November 2012, Pages 540–549
- Teet-Andrus Koiv;  
*Indoor climate and Energy efficiency of apartment and educational buildings in Estonia*  
Department of Environmental Engineering, Tallinn University of Technology.

- Umberto Desideri, Daniela Leonardi, Livia Arcioni, Paolo Sdringola  
*European project Educa-RUE: An example of energy efficiency paths in educational buildings*  
Department of Industrial Engineering, University of Perugia, Via G. Duranti 67, 06125 Perugia, Italy; Energy and Buildings, 21 April 2012
- E. Mata, F. López, A. Cuchí  
*Optimization of the management of building stocks: An example of the application of managing heating systems in university buildings in Spain*  
Programme for Reducing CO2 Emissions from the Technical University of Catalonia (UPCO2), Spain; Energy and Buildings, 31 July 2009
- Cem Tahsin Yucer, Arif Hepbasli  
*Thermodynamic analysis of a building using exergy analysis method*  
Energy and Buildings; 18 October 2010
- Schneider, Mark  
*Do school facilities affect academic outcome?*  
National Clearinghouse for Educational Facilities; November 2002
- Pedro Fabián Valenzuela Agramón, Gabriel Núñez Román  
*Diagnóstico energético aplicado al edificio de seguridad pública del H. Ayuntamiento de Cajeme*  
Impulso, Revista De Electrónica, Eléctrica Y Sistemas Computacionales
- Jesús Héctor Hernández López, Rafael León Velázquez, Armando Ambrosio López  
*Diagnóstico energético y elaboración de propuestas de uso eficiente de energía eléctrica para una institución educativa*  
Impulso, Revista De Electrónica, Eléctrica Y Sistemas Computacionales; 2005
- Vacio González, Manuel de Jesús  
*Estimación y Análisis de los principales índices Energéticos de los Edificios de Alta Tecnología contra Convencionales*  
Tesis de Maestro en Ingeniería Eléctrica; Facultad de Ingeniería, UNAM, noviembre 2002
- Díaz Reyes, René Yonatán  
*Diagnóstico Energético a Casa Habitacional*  
Tesis de Ingeniero Mecánico Electricista; FES Aragón, UNAM; 2010
- Barrera Chavarría, Mario Alberto; Guerrero Machuca, José Gabriel

*Diagnóstico Energético en el Edificio del Centro de Cómputo y Anexos de la Facultad de Estudios Superiores Aragón*

Tesis de Ingeniero Mecánico Electricista; FES Aragón, UNAM, junio 2005

- Paulo Cesar Galvan Tabon  
*Optimización del diseño térmico de un edificio a través de su envolvente, para reducir su ganancia de calor*  
Tesis de Ingeniero Mecánico; Facultad de Ingeniería, UNAM, 2003
- Iván García Kerdan  
*Línea Base del uso Final de la Energía Eléctrica en Edificios Comerciales y de Servicios de la República Mexicana: Indicadores Energéticos*  
Tesis de Maestría; Facultad de Ingeniería, UNAM, 2011
- Lemus Rodríguez, Francisco Javier  
*Políticas Públicas en Eficiencia Energética y Energías Renovables*  
Tesis de Ingeniero Eléctrico-Electrónico; Facultad de Ingeniería, UNAM, 2009
- Beatriz Garzón y Gabriela Giuliano Raimondi  
*Mejoramiento térmico de vivienda rural en Balderrama y Colalao del Valle-Tucuman a partir de la Evaluación de Estrategias Aplicadas de Diseño Bioclimático-Energético y de su Simulación Térmica*  
2007
- Vicente Leonardo Volantino  
*Evaluación de la Envolvente como Herramienta para la Eficiencia Energética de la Vivienda*  
2007
- Akemi Hotta, Aníbal Luna y Gonzalo Bojorquez  
*Análisis Bioclimático y Propuestas de Adecuación Ambiental en Verano para Mexicali Baja California, México*  
2005
- Oscar Reséndiz Pacheco, David Morillón Gálvez, Elizabeth Chavez, Federico Poujol y Alfredo  
*Evaluación térmica mediante simulación de dos casas con materiales diferentes en la ciudad de La Paz, BCS*
- Aníbal Figueroa Castrejón y José Manuel Fernández Chavira  
*Análisis de Diseño Bioclimático para Aulas Primarias en Climas Cálidos*

- David Morillón Gálvez  
*Atlas del Bioclima de México*  
II. México: UNAM, 2004
- Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001  
*Eficiencia Energética en Edificaciones, Envolverte de Edificios no Residenciales*
- Steve Doty, Wayne C. Turner  
*Energy Managment Handbook*  
Seventh Edition, 2010
- Balance Nacional de Energía 2011
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía- CONUEE
- Fideicomiso para el Ahorro de la Energía Eléctrica- FIDE
- Instituto Nacional de Geografía y Estadística- INEGI
- American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers- ASHRAE
- IEA ECBCS Annex 36: Retrofitting in Educational Buildings- REDUCE