

Portada Externa de Tesis

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">2013</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Criterios bioclimáticos aplicados en edificios públicos para el sistema de iluminación interior basado en fuentes de energía alternativas</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Omar Barrón Cantoral</p>	<p style="text-align: center;">Universidad Autónoma de Querétaro Facultad de Ingeniería</p> <p style="text-align: center;">Nombre de la tesis:</p> <p style="text-align: center;">Criterios bioclimáticos aplicados en edificios públicos para el sistema de iluminación interior basados en fuentes de energía alternativas</p> <p style="text-align: center;">Que como parte de los requisitos para obtener el grado de</p> <p style="text-align: center;">Ingeniero en Automatización con línea terminal en Instrumentación y control de procesos</p> <p style="text-align: center;">Presenta:</p> <p style="text-align: center;">Omar Barrón Cantoral</p> <p style="text-align: center;">Santiago de Querétaro a 01 de Agosto del 2013</p>
--	--

- Escudo y letras doradas
- Pastas duras color negro, tamaño carta



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Criterios bioclimáticos aplicados en edificios públicos para el sistema de iluminación interior basados en fuentes de energía alternativas

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Ingeniero en Automatización con línea terminal en Instrumentación y Control de procesos.

Presenta:

Omar Barrón Cantoral

Dirigido por:

Dr. José Gabriel Ríos Moreno

SINODALES

Dr. José Gabriel Ríos Moreno
Presidente

Firma

Dr. Mario Trejo Perea
Secretario

Firma

Dr. Gonzalo Macías Bobadilla
Vocal

Firma

Dr. José Luis Avendaño Juárez
Suplente

Firma

Dr. Aurelio Domínguez González
Nombre y Firma
Director de la Facultad

Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz
Nombre y Firma
Coordinador de Ingeniería en Automatización

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Agosto-2013
México

Resumen

La iluminación en las edificaciones juega un papel muy importante, actualmente en los lugares de trabajo la gente pasa la mayor parte del día, por esta razón es necesario que en dichos lugares se consideren y apliquen normas y estándares para los sistemas de iluminación que garanticen la seguridad, la salud, el confort y el bienestar del usuario; debido a que alrededor del 85% de la información requerida para realizar un trabajo es captada a través de los ojos. Por otra parte se reporta que los sistemas de iluminación son responsables de aproximadamente el 40% del consumo de energía a nivel mundial en edificios, el impacto negativo provocado al medio ambiente debido a la generación de energía y a la demanda del consumo de esta; lo anterior representa una problemática latente, debido a que actualmente cerca del 90% del total de la energía eléctrica generada en el mundo, y el 70% de la generada en México, requiere de procesos de extracción y combustión de combustibles fósiles. Los resultados demuestran que una buena iluminación interior mantiene la salud de los usuarios y al mismo tiempo mejora su rendimiento en el desarrollo de actividades en lugares cerrados, la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos en la ciudad de Santiago de Querétaro, y la manera en que estos contribuyen en los ahorros de la factura de energía y al cuidado del medio ambiente.

(Palabras clave: confort, iluminación, energía eléctrica, sistemas fotovoltaicos)

Summary

The lighting in buildings plays a very important role, nowadays people spend more time of the day in workplaces, therefore it is necessary that these places are considered and implement rules and standards for lighting systems that ensure safety, health, comfort and welfare of the user. Because about 85% of the information required performing work is captured through eyes. In other hand it is reported that the lighting systems are responsible for approximately 40% of the energy consumption in buildings worldwide, the negative impact caused to the environment because of energy generation and consumption demand. This represents a latent problematic because currently about 90% of the electricity generated in the world and 70% of that energy generated in Mexico, requires extraction processes and combustion of fossil fuels. The results show that good lighting interior maintains the health of users and also improves performance in the development of activities indoors, the efficiency of photovoltaic systems in the city of Santiago de Querétaro, and how these contribute savings in energy bills and environmental care.

(Key words: comfort, lighting, electricity, photovoltaic Systems)

Dedicatoria

A Dios, a mi familia, a mis maestros, asesores, compañeros y amigos que formaron parte en el desarrollo de mi formación y con quien he compartido infinidad de experiencias que nunca voy a olvidar, gracias a todos ellos por el apoyo.

Agradecimientos

A mi asesor: **Dr. José Gabriel Ríos Moreno**, por el apoyo y dirección para terminar este trabajo de tesis.

A mis padres: **Mónica y Felipe**, por el apoyo, amor, cariño y comprensión a lo largo de mi vida.

A mis hermanos: **Valeria y Gerardo**, por el apoyo y el fuerte lazo que nos ha unido a lo largo de nuestras vidas.

A mi tío: **Edgar**, por su constante participación directa e indirectamente a lo largo de la carrera.

A toda mi familia: **Materna y Paterna**, por su amor constante.

A mi amiga: **Alma Mónica**, por su comprensión y apoyo incondicional en mi vida que han dejado en mí una huella para siempre.

A mis amigas: **María Esther y Paulina**, Por todo el apoyo brindado cuando llegue a esta ciudad.

A mis amigos: **Moisés y Daniel**, por el lazo de amistad y hermandad que nos ha unido a lo largo de la carrera.

A todos mis amigos: **Mauricio, Alejandro, Efrén, Roberto, Abel, Alan, Mario, Javier, Sergio, Juan Felipe, Elsa, Hilda, Carolina,.....**

A todos los compañeros y cuates: **Parra, Juanito, Eder, Hugo, Carlos, Prianti, Gama, Marco, Pancho, David, Toño,.....**

A mis maestros por sus enseñanzas: **Zavaleta, Cervantes, de León, María Luisa, Mario Trejo, Juan José Escalante, Rita, Paulina.....**

A todos y cada uno ;Gracias!

Resumen.....	i
Summary.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Índice.....	v
Índice de figuras.....	vii
Índice de tablas.....	x
CAPÍTULO I	
1. Introducción.....	1
1.1 Importancia de la iluminación.....	1
1.1.1 Iluminación interior.....	2
1.2 Consumo de energía eléctrica.....	3
1.2.1 Impacto ecológico.....	5
1.2.2 Impacto económico.....	9
1.3 Criterios bioclimáticos en las edificaciones.....	13
1.3.1 Principios de sustentabilidad energética en las edificaciones.....	14
1.3.2 Diseños arquitectónicos energéticamente eficientes.....	16
1.4 Energías renovables.....	19
1.4.1 Energía eólica.....	22
1.4.2 Energía solar.....	23
1.5 Sistemas fotovoltaicos y eólicos.....	25
1.5.1 Sistemas fotovoltaicos.....	27
1.5.2 Sistemas eólicos.....	30
1.5.3 Elección del sistema de generación de energía eléctrica.....	32
1.7 Hipótesis.....	38
1.8 Objetivo.....	38
1.9 Justificación.....	39
CAPÍTULO II	
2. Fundamentación teórica.....	39
2.1 Valoración del confort visual.....	39
2.2 Nivel de iluminación o iluminancia.....	40
2.3 Uniformidad de iluminancia.....	42
2.4 Celdas solares y generación de energía.....	43
2.5 Evaluación del consumo de energía eléctrica.....	45
CAPÍTULO III	
3. Metodología.....	46
3.1 Lugar de desarrollo de pruebas y mediciones.....	46
3.1.1 Descripción del edificio.....	48
3.1.2 Descripción de las aulas.....	50
3.2 Análisis de iluminación al interior del edificio.....	57
3.2.1 Selección de zonas y estrategias para monitoreo.....	62
3.2.2 Primer monitoreo lumínico al interior de las aulas de clase.....	63

3.3 Generación y consumo de energía.....	70
3.3.1 Monitoreo de generación de energía.....	73
3.3.2 Monitoreo del consumo de energía.....	75
CAPÍTULO IV	
4. Resultados	78
4.1 Registro de los índices de iluminación al interior de las aulas, primer monitoreo.....	78
4.2 Segundo monitoreo lumínico al interior de las aulas de clase.....	85
4.2.1 Registro de los índices de iluminación al interior de las aulas, segundo monitoreo.....	92
4.3 Registro de energía generada por el sistema fotovoltaico.....	98
4.4 Registro del consumo de energía del edificio.....	101
CAPÍTULO V	
5. Conclusiones	103
6. Referencias	105

Índice de figuras

Figura		Página
1.1	Regiones y países con mayor iluminación artificial.....	1
1.2 ^a	Tasa de crecimiento anual en el consumo de energía a nivel mundial por regiones 1998-2008.....	4
1.2 ^b	Consumo mundial de energía eléctrica por región 1998-2008.....	5
1.3	Emisiones mundiales de CO ₂ por sectores en 2009.....	6
1.4	Emisiones de CO ₂ en México por sectores en 2009.....	7
1.5	Relación entre el aumento de las temperaturas, la subida del nivel del mar y las concentraciones de CO ₂	8
1.6	Incremento de los subsidios de energía 2003-2009.....	10
1.7	Precios promedio de electricidad para usuarios residenciales en dólares/kWh para el 2005.....	12
1.8	Tubo solar para iluminación interior.....	18
1.9	Deflectores y sistema de iluminación solar desarrollado para uso eficiente en edificios.....	18
1.10	Evolución de las fuentes de energía en la generación de electricidad en México, 1933-2017.....	20
1.11	Evolución de la capacidad instalada y generación de electricidad de los sistemas fotovoltaicos en México.....	29
1.12 ^a	Radiación solar promedio en el año 2009.....	35
1.12 ^b	Radiación solar promedio en el año 2010.....	36
1.13 ^a	Velocidad del viento promedio en el año 2009.....	37
1.13 ^b	Velocidad del viento promedio en el año 2010.....	37
3.1 ^a	Vista real del edificio H de posgrado, Facultad de ingeniería U.A.Q.	47
3.1 ^b	Vista esquemática plana del edificio H de posgrado, Facultad de ingeniería U.A.Q.	47
3.2 ^a	Azotea del edificio H.....	49
3.2 ^a	Cuarto de control del edificio H.....	49
3.2 ^c	Estación meteorológica para monitoreo de variables.....	50
3.3 ^a	Vista interior de las aulas de clase 19, 20, 21, y 22 del edificio H.....	51
3.3 ^b	Vista interior de el aula 23 y la sala de juntas del edificio H.....	51
3.4 ^a	Vista real y esquemática del escritorio tipo 1.....	52
3.4 ^b	Vista real y esquemática del escritorio tipo 2.....	52
3.4 ^c	Vista real y esquemática del escritorio tipo 3.....	53
3.4 ^d	Vista real y esquemática del escritorio tipo 4.....	53
3.4 ^e	Vista real y esquemática del escritorio tipo 5.....	54
3.4 ^f	Vista real y esquemática del escritorio tipo 6.....	54
3.5 ^a	Luminarias del aula 19.....	55
3.5 ^b	Luminarias del aula 20.....	56
3.5 ^c	Luminarias del aula 21.....	56
3.5 ^d	Luminarias del aula 22.....	56
3.5 ^e	Luminarias del aula 23.....	57

3.5 ^f	Luminarias de la sala de juntas.....	57
3.6 ^a	Luxómetro digital registrador.....	58
3.6 ^b	Medidor HD450.....	59
3.6 ^c	Pantalla del medidor HD450.....	60
3.7	Software para manejo de datos.....	62
3.8	Simbología de los diagramas esquemáticos.....	63
3.9 ^a	Diagrama esquemático del aula 19, 1 ^a medición.....	64
3.9 ^b	Diagrama esquemático del aula 20, 1 ^a medición.....	65
3.9 ^c	Diagrama esquemático del aula 21, 1 ^a medición.....	66
3.9 ^d	Diagrama esquemático del aula 22, 1 ^a medición.....	67
3.9 ^e	Diagrama esquemático de la sala de juntas, 1 ^a medición.....	68
3.9 ^f	Diagrama esquemático del 23, 1 ^a medición.....	69
3.10	Esquema de instalación del sistema fotovoltaico.....	70
3.11	Módulos fotovoltaicos para generación de energía.....	71
3.12	Inversor fotovoltaico Sunny Boy 2000HFUS.....	71
3.13	Inversor fotovoltaico instalado en el cuarto de control del edificio H.....	72
3.14	Interfaz de usuario del software Sunny explorer.....	74
3.15	Analizador trifásico de la calidad de la energía eléctrica.....	75
3.16	Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico.....	76
3.17	Conexión del analizador al tablero de distribución de energía eléctrica del edificio H.....	77
4.1	Valores de iluminancia del 1 ^{er} monitoreo lumínico en las horas de muestreo con luces encendidas en las aulas de clase y la sala de juntas del edificio H.....	82
4.2	Esquemático de luminarias construlita modelo OF1013B.....	83
4.3	Luminarias instaladas en el aula 21.....	83
4.4	Luminarias instaladas en las aulas 19, 20, 22, y 23.....	84
4.5	Ventanas de las aulas del edificio H revestidas con películas de vinil.....	84
4.6 ^a	Reacomodo de escritorios en el aula 23.....	85
4.6 ^b	Reacomodo de escritorios en las aulas 19, 20, 21, y 22.....	86
4.7 ^a	Diagrama esquemático del aula 19, 2 ^a medición.....	87
4.7 ^b	Diagrama esquemático del aula 20, 2 ^a medición.....	88
4.7 ^c	Diagrama esquemático del aula 21, 2 ^a medición.....	89
4.7 ^d	Diagrama esquemático del aula 22, 2 ^a medición.....	90
4.7 ^e	Diagrama esquemático del aula 23, 2 ^a medición.....	91
4.8	Valores de iluminancia en las horas de muestreo con luces encendidas de las aulas de clase del edificio H, 2 ^{do} monitoreo.....	95
4.9	Comparativa de los valores de iluminancia promedio del 1 ^{er} y 2 ^{do} monitoreo lumínico en las horas de muestreo con luces encendidas de las aulas de clase del edificio H.....	96
4.10	Comparativa de los valores de iluminancia promedio del 1 ^{er} y 2 ^{do} monitoreo lumínico en las horas de muestreo con luces encendidas del aula 21.....	97
4.11	Energía promedio diaria generada en el 2 ^{do} semestre del año 2011.....	98
4.12	Energía promedio diaria generada en el 1 ^{er} semestre del año 2012.....	99

4.13	Energía mensual generada del primer año de servicio del sistema fotovoltaico.....	100
4.14	Consumo total de energía por mes en el periodo Julio 2011- Julio 2012.....	101
4.15	Precio del Kilowatt-hora en la factura de electricidad del posgrado de la facultad de ingeniería de la U.A.Q. del año 2010 al año 2012.....	102

Índice de tablas

Tabla		Página
1.1	Requerimientos generales de la construcción sustentable.....	14
1.2	Cotización y descripción del sistema fotovoltaico.....	34
1.3	Cotización y descripción del sistema eólico.....	34
2.1	Edificios Educativos.....	41
2.2	Uniformidades y relación entre luminarias de áreas circundantes inmediatas al área de tarea.....	42
3.1	Descripción del medidor.....	59
3.2	Descripción de la pantalla.....	60
3.3	Resolución y precisión del medidor con respecto con respecto a escalas en LUX.....	61
3.4	Datos técnicos del inversor fotovoltaico.....	73
3.5	Componentes de la interfaz de usuario del Sunny explorer.....	74
3.6	Rangos en Wh, VAh, VARh del analizador.....	76
4.1	Índices de iluminación del aula 19 1ª medición.....	79
4.2	Índices de iluminación del aula 20 1ª medición.....	79
4.3	Índices de iluminación del aula 21 1ª medición.....	80
4.4	Índices de iluminación del aula 22 1ª medición.....	80
4.5	Índices de iluminación de la sala de juntas 1ª medición.....	81
4.6	Índices de iluminación del aula 23 1ª medición.....	81
4.7	Índices de iluminación del aula 19 2ª medición.....	92
4.8	Índices de iluminación del aula 20 2ª medición.....	93
4.9	Índices de iluminación del aula 21 2ª medición.....	93
4.10	Índices de iluminación del aula 22 2ª medición.....	94
4.11	Índices de iluminación del aula 23 2ª medición.....	94

CAPÍTULO I.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Importancia de la iluminación.

En estos días es imposible concebir el mundo actual sin el uso de la iluminación artificial (Fig. 1.1) , el concepto surge de la necesidad de cambiar el ritmo impuesto por la naturaleza, para llegar a prolongar el tiempo en que se pueden llevar a cabo las actividades que la oscuridad impide realizar (McDonald, 2010).



Figura 1.1 Regiones y países con mayor iluminación artificial en el mundo (NASA, 2009).

Desde tiempos remotos el hombre comenzó a iluminar los espacios en que habitaba, perfeccionando los sistemas de alumbrado según los progresos tecnológicos y gustos de las distintas épocas, partiendo desde el fuego y llegando hasta el uso de lámparas fluorescentes, diodos emisores de luz (LEDs), entre otras luminarias existentes hoy en día. El uso indispensable de iluminación para el avance de la ciencia y la tecnología ha propiciado su rápido crecimiento a lo largo de la humanidad.

Es un hecho indudable la importancia creciente que tiene una adecuada iluminación dentro del mundo en su conjunto (laboral, de investigación, de descanso, de recuperación de la salud, entre otros). Como justificación de este hecho puede darse, por una parte, el que la automatización industrial supone la sustitución de muchos esfuerzos musculares por trabajos especializados, en que la visualización es fundamental. A esta razón hay que añadir el hecho de que los procesos a realizar suponen tareas visuales cada vez más difíciles y exigentes (Gil, 2009), es así que actualmente todas las actividades que las personas llevan a cabo requieren iluminación; en el hogar, la oficina, los comercios, el transporte, en los lugares de diversión entre otros. Desde los primeros años del siglo XX se han realizado estudios e investigaciones para conocer la iluminación que debe proporcionarse en cada caso para satisfacer las exigencias de la tarea visual que en ella se realiza (Tiravanti, 2012); el objetivo de diseñar ambientes adecuados para la visión no es proporcionar simplemente luz, si no permitir que las personas reconozcan sin error lo que ven, en un tiempo adecuado y sin fatigarse.

1.1.1 Iluminación interior.

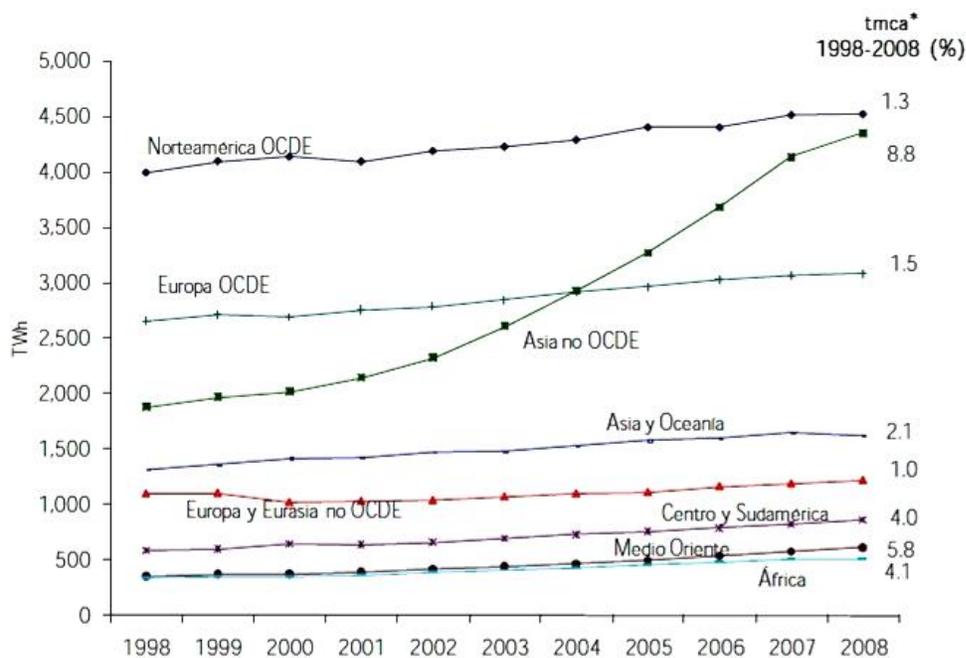
La iluminación en nuestra vida diaria puede llegar a ser esencial debido a que puede afectar a las personas en su confort, su grado de visibilidad e incluso su seguridad (Norma UNE-EN, 2003). El empleo de la vista de manera intensa y continua requiere de una iluminación eficaz para conseguir un ambiente óptimo y reducir el esfuerzo visual; para crear ese ambiente se deben considerar los elementos lumínicos y funcionales (uso de la luz natural y artificial formada eficazmente) de manera que el bienestar del usuario sea el factor principal a considerar en el diseño de la iluminación interior (Méndez, 2009). De acuerdo a la Norma Europea de iluminación UNE-EN 12464-1 2003 de los lugares de trabajo en interiores, alrededor del 85% de la información requerida para realizar una actividad es captada a través de los ojos, lo cual hace necesaria una iluminación apropiada para el desarrollo de las actividades; por esta razón es indispensable que en dichos lugares se consideren y apliquen normas y estándares para el diseño de los sistemas de iluminación; que garanticen, la seguridad, la salud, el confort y el bienestar de los usuarios (Akashi, 2006).

Por otra parte los lugares con escasa iluminación provocan un efecto negativo en el ser humano, estudios recientes han demostrado que la permanencia prolongada en lugares con iluminación inapropiada ocasiona problemas a los usuarios tales como lesiones por objetos que no se ven, irritación en los ojos, vista nublada, dolor de cabeza entre otros; e incluso puede provocar accidentes tanto leves como graves debido a que no se puede percibir con claridad y tampoco se puede reaccionar a tiempo ante situaciones que representen un peligro (Méndez, 2009). Al tomar en cuenta los factores que afectan el desempeño de los usuarios es evidente que para lograr que los edificios se encuentren en un ambiente visual que se pueda considerar benéfico, se haga uso de un sistema integral de iluminación el cual sea capaz de aprovechar la luz natural proporcionada por el entorno; de esa manera se hace menor uso de la iluminación artificial y por lo tanto un menor consumo de energía eléctrica (Leslie, 2003).

1.2 Consumo de energía eléctrica.

En todos los países, el uso de la energía es uno de los principales motores del crecimiento económico, México no es la excepción. Como resultado de ello, las políticas que afectan al sector de la energía tienen un impacto sobre el resto de la economía y sobre el ambiente. En el año 2010 la Secretaría de energía reportó que durante el periodo 1998-2008, el consumo mundial de energía eléctrica tuvo un crecimiento promedio anual del 3.2%, ubicándose al final del periodo en 16,816 Tera Watts hora (TWh). Este ritmo de crecimiento ha sido impulsado principalmente por los países asiáticos en transición, en los que el crecimiento económico de los últimos años ha propiciado un efecto de urbanización y un cambio estructural en el consumo. Durante los años recientes, las regiones que han alcanzado los mayores niveles de estabilidad y madurez en sus mercados, se han caracterizado por registrar incrementos moderados y bajos en el consumo de energía eléctrica. Es el caso de los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) de Norteamérica, Europa Occidental, Asia y Oceanía, que de acuerdo a la SENER durante los últimos 10 años registraron tasas de 1.3%, 1.5% y 2.1%, respectivamente.

Como resultado de las mejoras en eficiencia energética, así como de la implementación de nuevos estándares de eficiencia en el sector residencial en usos como la iluminación, calefacción, aire acondicionado, entre otras aplicaciones, se estima que el comportamiento del incremento en el consumo de energía en estos países se mantendrá durante el mediano y largo plazo. De acuerdo con las estadísticas de la Agencia Internacional de Energía (IEA) publicadas en 2010, en los últimos 10 años el mayor crecimiento en el consumo de energía eléctrica se ha presentado en países de Asia y Medio Oriente no pertenecientes a la OCDE, con tasas de 8.8% y 5.8%, respectivamente, este comportamiento, así como la participación de cada región en el consumo mundial, se puede observar en las Figs. 1.2^a y 1.2^b. El incremento mundial en el consumo de energía se verá afectado principalmente por los países no pertenecientes a la OCDE, esto debido a que presentan los consumos más elevados en la última década y se estima vaya en aumento; la perspectiva que se tiene es que para el periodo 2011-2020 la tasa de crecimiento anual sea del 6%, lo cual representa un 88% más del crecimiento promedio anual de la década pasada (SENER, 2010).



*tmca: Tasa de crecimiento anual.

Figura 1.2^a Tasa de crecimiento anual en el consumo de energía eléctrica a nivel mundial por regiones 1998-2008 (IEA, 2010).

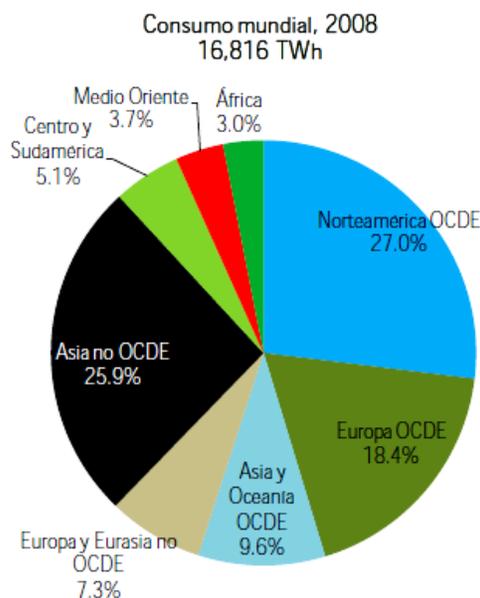


Figura 1.2^b Consumo mundial de energía eléctrica por región 1998-2008 (IEA, 2010).

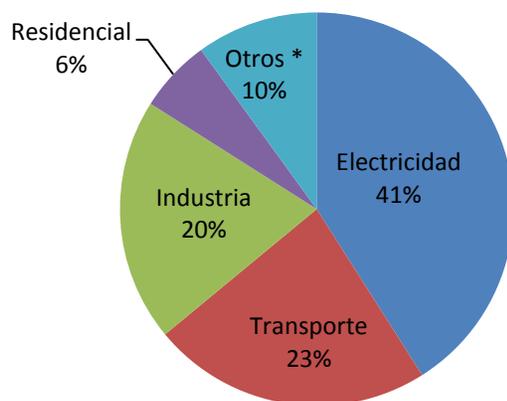
El consumo de energía en nuestro país, después de un acelerado crecimiento durante el periodo de 1965 a 1980, se ha mantenido relativamente estable, con una ligera recuperación a partir de 1995. Así, entre el período de 2000 a 2006 muestra una tasa de crecimiento media anual del orden de 1.1%, y se estima que para el periodo 2010-2025 el consumo de energía pasará de 206.3 TWh en 2009 a 404.7 TWh en 2025, provocando un incremento anual del 4.3% en este periodo (SENER, 2010).

1.2.1 Impacto ecológico.

En el cuarto informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) celebrado en el año 2007, destaca que los distintos Gases de Efecto Invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), y los clorofluorocarburos (CFC) han alterado la composición de los gases en la atmósfera, atrapando parcialmente más radiación, y con ello se ha modificado el balance radioactivo promedio. En esta perspectiva, las emisiones de los distintos GEI están vinculadas directamente al consumo de combustibles fósiles, los cuales son la base de la generación de energía que requieren las actividades diarias de la sociedad moderna.

En el 2010 la SENER reportó que cerca del 70% del total de la energía eléctrica generada en el mundo y más del 75% de la generada en México requiere procesos de extracción y quema de combustibles fósiles, siendo el carbón debido a su amplia disponibilidad, estabilidad en sus precios, así como su alto poder calorífico, el combustible de mayor utilización para la generación de electricidad en el mundo, durante las últimas tres décadas ha tenido un incremento del 3.5 % promedio anual, seguido por el gas natural, cuya penetración en la generación de electricidad es relativamente alta en países como Japón, Reino Unido y México; y ha mostrado un crecimiento importante desde principios de la década de 1990.

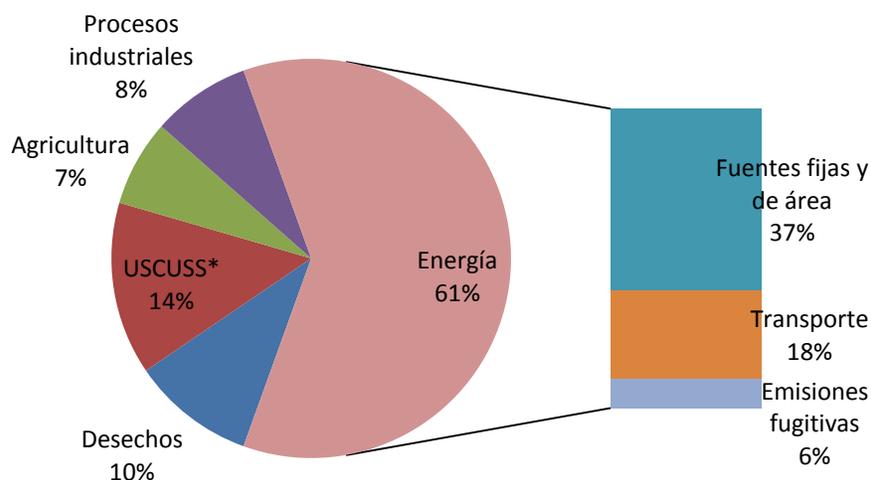
Por otro lado la IEA, publicó en el World Energy Outlook (WEO, 2010) “Prospectivas de la energía en el mundo”, que las emisiones de CO₂ del sector energético producidas por el uso combustibles fósiles son responsables de aproximadamente el 41% del total de emisiones a nivel mundial (Fig. 1.3) y 63% en México, siendo este sector el principal emisor de gases de efecto invernadero en nuestro país y en el mundo.



* Otros incluye servicios públicos y comerciales, ganadería, silvicultura, pesca, entre otras.

Figura 1.3 Emisiones mundiales de CO₂ por sectores en 2009 (IEA, 2011).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en conjunto con el Instituto Nacional de Ecología (INE) publicaron en 2006 en el Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero, que en México las emisiones totales de GEI pasaron de un nivel de 425 268 Gigagramos (Gg) en toneladas equivalentes de dióxido de carbono (tCO₂e) en 1990 a 553 329 Gg en el 2002, donde la mayor contribución de las emisiones totales provienen de la producción y uso de la energía, que en promedio contribuye con 61% de las emisiones totales (Fig. 1.4)



*Uso de suelo, cambio de uso de suelo, y silvicultura.

Figura 1.4 Emisiones de CO₂ en México por sectores en 2009 (SENER, 2010).

En el caso de las emisiones de CO₂, se deben en gran medida al consumo de combustibles de origen fósil (gas, carbón, petróleo y sus derivados) principalmente en el sector transporte y la generación de energía eléctrica destinada a sistemas de calefacción e iluminación, tan solo el 40% del total de la energía a nivel mundial utilizada en edificios comerciales es destinada a los sistemas de iluminación (Omer, 2008). De acuerdo al IPCC, esto provoca el aumento en las concentraciones de GEI en la atmósfera, trayendo como principal consecuencia el fenómeno conocido como cambio climático, reflejado en un aumento en la temperatura media del planeta, cambios en los patrones de precipitación, reducción de la criósfera, alza del nivel del mar y modificaciones en los patrones de eventos climáticos extremos, tal y como se muestra en la Fig. 1.5.

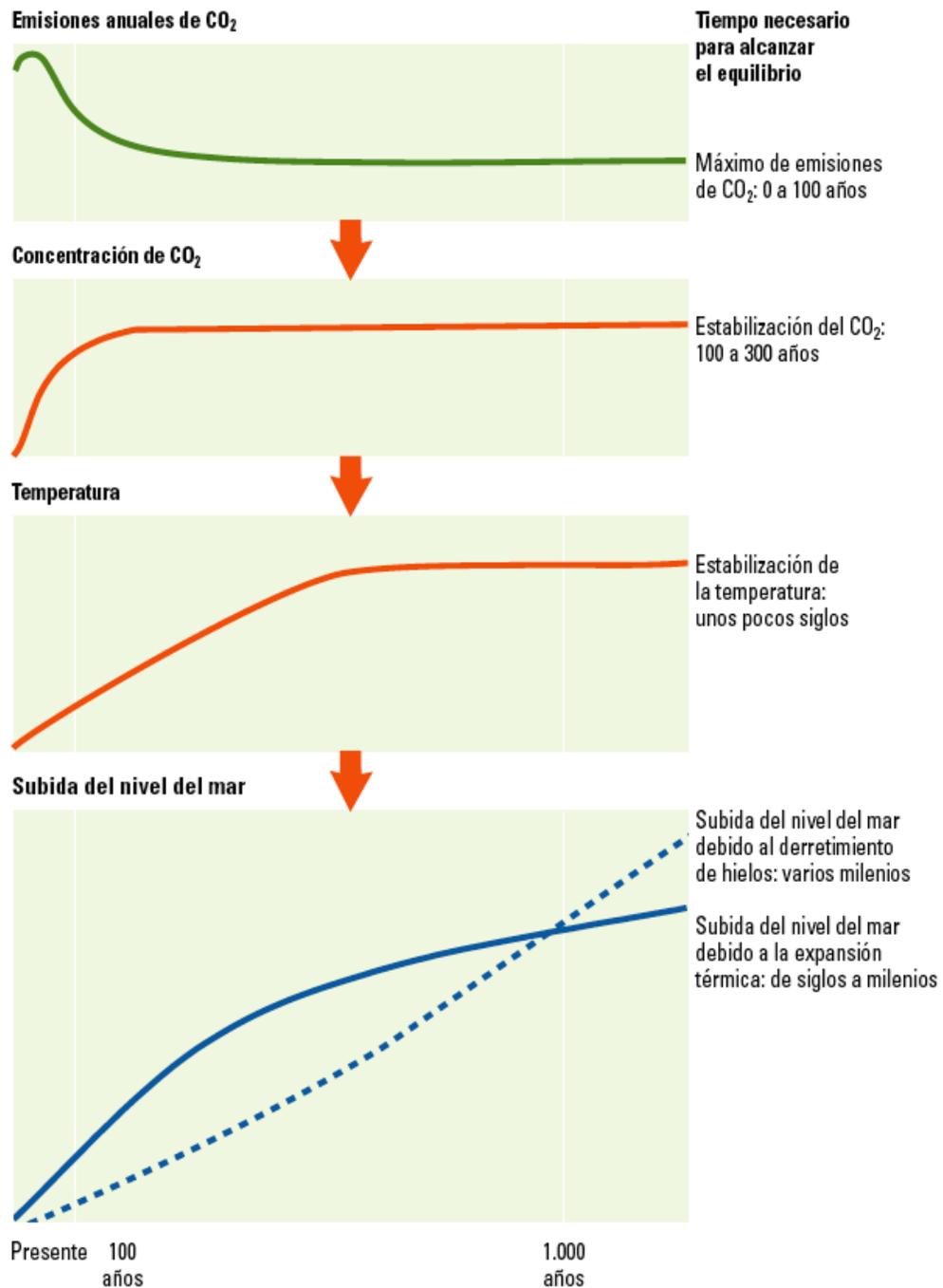


Figura 1.5 Relación entre el aumento de las temperaturas, la subida del nivel del mar y las concentraciones de CO₂ (IPCC, 2001).

Los actuales edificios representan impactos ambientales. En los últimos dos sexenios, la vivienda en México ha tenido un crecimiento de más del 85%; incluido el programa de construcción oficial para el periodo 2007-2012, ello representa impactos de 20% del total en el consumo de energía, problemas en varios lugares por la falta de agua y la generación de 77% de desechos sólidos; las emisiones directas de CO₂ representan aproximadamente el 8% de las totales de México (Morillon, 2011). Se estima que en el 2035 la demanda de energía incremente tres cuartas partes más de la demanda actual, siendo para este año 35,400 millones tCO₂e emitidas a la atmósfera en el mundo (IEA, 2011).

1.2.2 Impacto económico.

Con el aumento de los precios del petróleo en los últimos años, los gobiernos de los países productores de petróleo se enfrentan a un dilema importante: ¿deberían permitir que los subsidios nacionales aumentaran para mantener el combustible a precios accesibles para la población o reducir e incluso eliminar los subsidios y dejar que actúen las fuerzas del mercado? Algunos países productores de petróleo, como la República Islámica de Irán, ya han tomado medidas concretas para eliminar los subsidios nacionales (Guillaume, 2010a). Entre 1940 y 1960 y entre los años ochenta y los noventa, cuando los precios internacionales de la energía se mantenían bajos, además el atractivo de la abundante energía barata generó inversión y empleos. Y mientras los precios internos cubrieran los costos de producción de la energía, los subsidios no planteaban ningún problema (Guillaume, 2010).

Las cosas han cambiado radicalmente en la última década. Del lado de la oferta, los bajos precios y el exceso de capacidad de los años ochenta y noventa mantuvieron la inversión en la exploración y extracción de petróleo y gas en un nivel bajo. Del lado de la demanda, los bajos niveles de los precios estimularon la demanda mundial. El rápido crecimiento económico de muchos mercados emergentes muy poblados, como China e India, impulsó la demanda a un nivel aún más elevado.

Al sobrepasar el crecimiento de la demanda a la oferta adicional, los precios del petróleo crudo aumentaron de alrededor de 17 dólares el barril en 1998 a 97 dólares, en promedio, en 2008 (Guillaume 2010). Ante los altos precios del crudo, los gobiernos de los países exportadores de petróleo se dieron cuenta de que estaban perdiendo miles de millones de dólares en posibles ingresos fijando precios demasiado bajos por los productos petroleros en sus mercados nacionales; a escala mundial, al aumentar el precio del petróleo de un promedio anual de 29 dólares el barril en 2003 a alrededor de 145 dólares el barril en julio de 2008, los subsidios totales al petróleo se incrementaron de 54,000 millones de dólares en 2003 a un máximo anualizado de 518,000 millones de dólares a mediados de 2008, de los cuales dos terceras partes correspondieron a los países exportadores de petróleo(Guillaume 2010).

En la Fig. 1.6 se muestra la gráfica del incremento de los subsidios a la energía a nivel mundial y en países exportadores de petróleo del año 2003 al 2009, se puede observar que al aumentar el precio de la gasolina en los últimos años, los subsidios a la energía se dispararon, especialmente en los países exportadores de crudo.

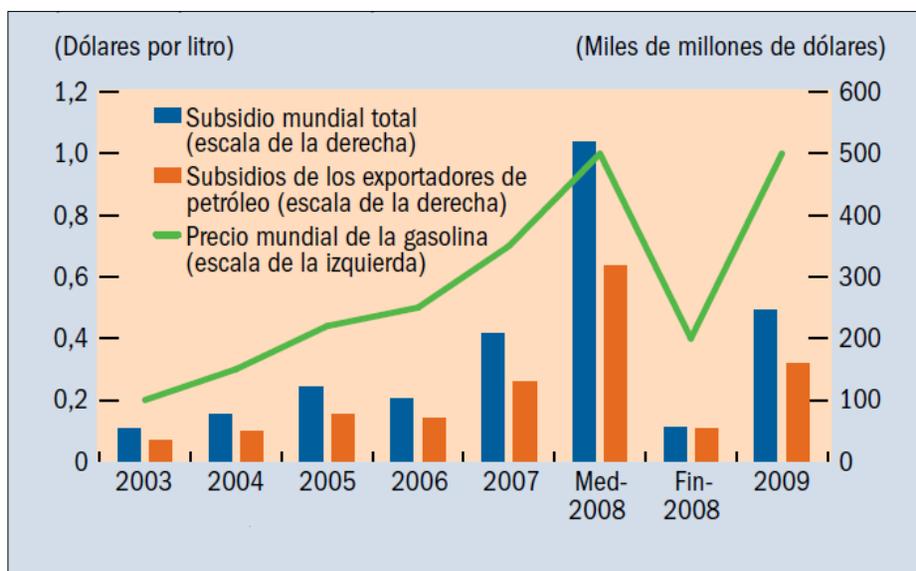


Figura 1.6 Incremento de los Subsidios de energía 2003-2009 (Guillaume, 2010).

En México el costo del servicio eléctrico es alto o muy alto cuando se le compara con el que se paga en países con industrias eléctricas eficientes. Las llamadas públicas de atención sobre el elevado nivel de las tarifas eléctricas han sido frecuentes en el debate público mexicano durante el lustro pasado, sobre todo por parte de los empresarios e industriales, pero también por movimientos populares regionales y sectoriales. Para el sector empresarial mexicano el elevado nivel de las tarifas es visto como una fuente importante de desventaja competitiva; para los consumidores, especialmente los que viven en zonas de temperaturas extremosas, las elevadas tarifas eléctricas representan una merma considerable en su economía familiar.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos OCDE fue una de las primeras instituciones económicas especializadas que realizó un estudio comparativo sobre los precios de la electricidad mexicana medidos en Kilo watts hora (kWh) de 1999/2000, donde llamó la atención sobre el elevado nivel de las tarifas y los subsidios eléctricos. Los precios subsidiados del servicio eléctrico residencial mexicano se han colocado debajo del promedio de los países de la OCDE para varios de los años de la última década; en el año 2000 el precio medio de la electricidad residencial subsidiada en México (0.105 dólares por kWh) era casi igual al del promedio de los países miembros de la OCDE (0.104 dólares), es decir, el precio medio mexicano era competitivo en términos internacionales. Pero ese mismo año el subsidio residencial mexicano equivalía a entre 59% y 76% del costo del servicio (Hernández, 2008). Una vez considerado el subsidio, el costo del servicio eléctrico residencial mexicano se encontraba significativamente por arriba del promedio de la OCDE. De hecho, el impacto de la reducción de subsidios eléctricos decretada por el gobierno mexicano a partir de 2002 ubicó el precio de la electricidad residencial mexicana por encima del promedio de países de la OCDE.

Si se comparan los últimos datos anuales disponibles para tarifas eléctricas residenciales de países miembros de la OCDE en la serie de la IEA, se reitera el alto nivel de los precios de la electricidad residencial mexicana respecto a algunos de los más importantes y eficientes miembros de dicha organización.

En la Fig. 1.7 se muestra las tarifas eléctricas residenciales de países miembros de la OCDE, se puede apreciar que el precio de la subsidiada electricidad mexicana (0.143 dólares por kWh) triplica el de Noruega (0.048 dólares por kWh), uno de los más eficientes miembros de la OCDE. Pero también se encuentra por encima de los precios residenciales de Francia, Corea del Sur, Grecia, el Reino Unido, Nueva Zelanda, Finlandia, Suiza, Australia, Estados Unidos y del promedio de los países miembros de la OCDE.

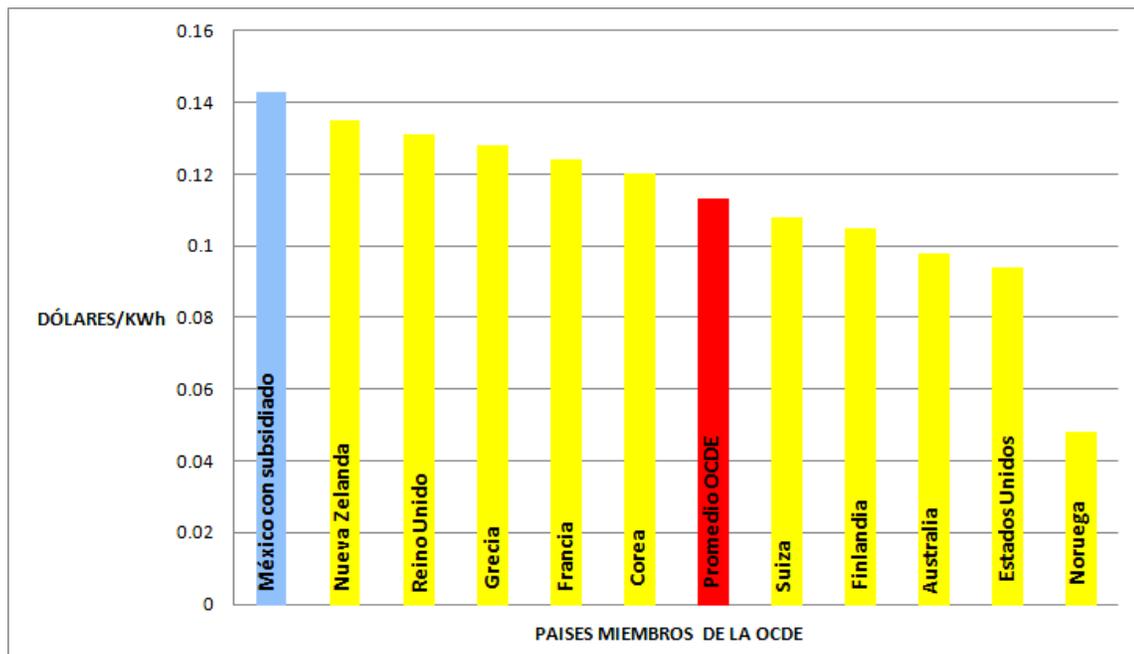


Figura 1.7 Precios promedio de electricidad para usuarios residenciales en Dólares/kWh para el año 2005 (Hernández, 2008).

Una investigación reciente del Centro de Investigación para el Desarrollo A.C. (CIDAC) buscó complementar esa imagen global, con otra comparación de tarifas residenciales para 2006 construida a partir de los libros tarifarios de las empresas eléctricas de diversas partes del mundo incluyendo, además de los países desarrollados revisados por la OCDE, varios países latinoamericanos. La comparación tarifaria hecha para un consumo eléctrico de 210 kWh en un mes confirma los altos costos del servicio eléctrico mexicano y muestra que si bien el significativo subsidio mitiga el peso de la tarifa real, no se lleva ni remotamente a la situación de países con sectores eléctricos eficientes.

De acuerdo con este estudio, un usuario residencial de clase media de la Ciudad de México que consume 420 kWh en un bimestre (una casa de dos recámaras, sala y comedor, refrigerador, televisión, lavadora plancha y ocho focos de 75 vatios) paga hoy en día 66 dólares, mientras que su equivalente de Canadá paga 27 dólares por el mismo consumo; en Estados Unidos y Reino Unido alrededor de 35 dólares (Hernández, 2008). Por otra parte, las tarifas eléctricas mexicanas tampoco son baratas cuando la comparación se hace con lo pagado por los habitantes de otros países latinoamericanos. Usuarios latinoamericanos de Ecuador, Uruguay, Paraguay y El Salvador pagan menos que los mexicanos incluso cuando se consideran los subsidios recibidos en México. Si sumamos los subsidios, los usuarios de Chile y Brasil se suman a la lista de quienes gozan de precios de electricidad más reducidos que los de México.

Si dejan que los precios nacionales de la energía se incrementen al nivel de los precios internacionales, las autoridades económicas de los países productores de petróleo podrían desalentar el derroche en el consumo de energía y obtener ingresos adicionales de las exportaciones de petróleo y gas rentables. En el caso de México se puede afirmar que casi todo el monto que se dedica a subsidiar el servicio eléctrico apenas sirve para compensar la diferencia de los costos de nuestra industria eléctrica y los prevalecientes en países con industrias más eficientes.

1.3 Criterios bioclimáticos en las edificaciones.

Desde una perspectiva general, no basta con solo reducir el consumo de energía, si no que ahora se debe resolver el problema desde un punto de vista ecológico económico y social; el uso de criterios bioclimáticos en el diseño de la construcción resurge en nuestros días como una solución viable en el ahorro de energía en los sistemas iluminación, debido a que se emplean factores como el viento, el sol, la temperatura, entre otros enfocados a generar un ambiente de confort interior; si a ello agregamos el uso de energías renovables para generar electricidad y sistemas de control eficientes, se puede alcanzar una sustentabilidad energética en las edificaciones y con ello mejorar la calidad de vida de los usuarios (De los mozos, 2009; Wilhelm et al., 2011).

1.3.1 Principios de sustentabilidad energética en las edificaciones.

Tradicionalmente el diseño de edificios había considerado factores como durabilidad, funcionalidad, estética y economía; ahora, con el advenimiento de la sustentabilidad, se requieren adicionalmente al menos los aspectos ecológico y de salud, que incluyen consumo racional de recursos naturales, minimización de residuos, cuidado de la biodiversidad y ambiente interno sano de las construcciones (López, 2010); es por ello que las nuevas tecnologías y en combinación con técnicas tradicionales comparten un único objetivo: lograr que las viviendas tengan el menor impacto posible en el medioambiente, al tiempo que piensan en la salud de sus ocupantes. La arquitectura basada en criterios bioclimáticos marca el futuro de las casas. En la Tabla 1.1 se muestran los requerimientos básicos que una construcción sustentable debe tomar en cuenta.

Tabla 1.1 Requerimientos generales de la construcción sustentable (SENER, 2010).

Humanos	Económicos	Culturales y tradicionales	Ecológicos o ambientales
Funcionalidad	Inversión económica	Edificios tradicionales	Recursos naturales
Seguridad	Construcción	Estilos de vida	Fuentes de materias primas
Salud	Tiempo de vida	Cultura	Energía
Confort	Operación	Estética	Impactos ambientales
	Mantenimiento	Arquitectura	Residuos
	Renovación	Imagen	Biodiversidad
	Demolición		
	Reciclaje y re uso		
	Disposición final		

Arquitectura bioclimática, green building, eco-viviendas, entre otras son conceptos y disciplinas con pequeñas diferencias y mucho en común: proponer soluciones concretas de diseño, adaptadas a factores como la ubicación del terreno o el clima de la zona, para lograr que la construcción ahorre toda la energía posible aportando mayores niveles de confort a los usuarios. Un diseño exhaustivo siguiendo criterios bioclimáticos puede lograr ahorros de hasta el 70% en el consumo de energía (López, 2010).

El realizar una casa nueva siguiendo criterios bioclimáticos puede suponer un costo superior de inicio, pero a largo-medio plazo supone importantes ventajas económicas al hacerse en gran medida innecesario el uso de sistemas de climatización con sus altas demandas energéticas y económicas; lo ideal es combinar esta arquitectura con fuentes de energía renovable, lo que puede llegar a conseguir un casi total autoabastecimiento de recursos energéticos. En España investigadores del Centro de investigaciones energéticas medioambientales y tecnológicas (CIEMAT) dio a conocer en 2011, el desarrollo de un proyecto llamado ARFRISOL el cual consta de cinco edificios prototipo experimentales equipados con tuberías para refrigerar el agua caliente de las bombas de absorción, controlando la temperatura gracias a los sensores colocados en la tuberías, también cuenta con captadores solares y módulos fotovoltaicos para iluminación y calefacción, además de que sustituye la energía convencional con la obtenida por biomasa; con dicho proyecto planean demostrar que se puede ahorrar entre un 80 y 90% en cuanto a energía se refiere, y que los edificios de energía convencional casi cero son posibles.

Aproximadamente el 23% del total del consumo de energía del país corresponde al sector relacionado con los edificios, por lo cual urge impulsar la aplicación de la arquitectura bioclimática para la sustentabilidad en México, la cual coadyuvará en la solución de los graves problemas de deterioro ambiental de la ciudad de México y de la Republica Mexicana; así lo expresó el doctor Elías Huamán Herrera, coordinador del posgrado en diseño de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) (Universia, 2009). Actualmente en nuestro país existen varias edificaciones sustentables, tales como el Centro de Investigaciones de energía de la Universidad Autónoma de México (UNAM), Instituto Nacional de Salud, Museo de sitio Xochicalco, Biblioteca de la UAM sala A, entre otros.

Así mismo también hay en marcha varios proyectos de construcciones bioclimáticas como el Centro Internacional de Negocios Azcapotzalco, en la delegación de Azcapotzalco, México D.F. y el Edificio Politécnico de la Universidad de León en la ciudad de León Guanajuato. Ambas edificaciones serán construidas aplicando criterios bioclimáticos y de sustentabilidad energética, además de estar equipados con paneles solares, azoteas verdes y canaletas para captación de agua pluvial; con ello se pretende mantener un confort de temperatura e iluminación al interior así como también reducir los gastos de energía eléctrica con el uso de sistemas de generación de energía basados en energías renovables.

Si se optimizan los sistemas de iluminación, de calefacción, refrigeración, etc. en las edificaciones ya existentes y en las nuevas construcciones con base en los criterios bioclimáticos, se obtienen beneficios ecológicos, económicos y sociales, reduciendo el impacto de la contaminación provocada por el uso de energías no renovables, la obtención de energía a precios accesibles, la generación de más puestos de trabajo y la cultura de respeto al medio ambiente.

1.3.2 Diseños arquitectónicos energéticamente eficientes.

Debido a la crisis energética, el calentamiento global y otros problemas ambientales, los edificios ecológicos y sustentables, también conocidos como edificios de alto rendimiento han adquirido gran importancia en los últimos años, tal es el caso que el Consejo de Edificación Sustentable de Estados Unidos (USGBC) ha citado y discutido en la mayoría de las nuevas publicaciones sistemas de clasificación y guías de diseño para la edificación sustentable (Han, et al., 2010), ha ello se han sumado un creciente número de libros, reportes, técnicas, diseños e instituciones educativas con la finalidad de mejorar la eficiencia energética en las edificaciones y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Juodis, 2007).

Las características que contribuyen a la mejora de la eficiencia energética de los edificios incluyen un alto nivel de aislamiento, ventanas de alto rendimiento, construcciones herméticas, ductos libres de fugas, sistemas de calefacción, refrigeración e iluminación más eficientes. La energía usada en la iluminación abarca una gran porción del total de la energía requerida en edificios, 40% a nivel mundial y aproximadamente el 50% en México (Omer, 2008; SENER, 2007); por lo cual una reducción en el consumo de energía referente a iluminación representa grandes ahorros.

Un método de generar ahorros en cuanto a iluminación se refiere es la instalación de sensores y sistemas de control de iluminación programados automáticamente para reducir la intensidad luminosa o apagar las luces cuando no se ocupa un espacio, además de ajustar las ventanas de acuerdo con el ángulo de los rayos del sol (Han, et al., 2010); otra manera de reducir la energía requerida para iluminación es el cambio de lámparas o luminarias a unas con mayor eficiencia energética; la mayor parte de las edificaciones en México utilizan lámparas incandescentes que son luminarias de alto consumo energético y de baja eficiencia luminosa que varía de 7 a 20 lúmenes por Watt (lm/W) (López, 2010).

Los tubos de luz fluorescente son muy usados en edificios comerciales y residenciales, en la década pasada la mayoría de los tubos fluorescentes llamados T8 fueron reemplazados por los más brillantes y más eficientes tubos fluorescentes T5. El más reciente recurso para iluminación son los diodos emisores de luz (LEDs), comparados con las lámparas fluorescentes presentan una mayor eficiencia energética (un LED de 3Watts puede reemplazar a una lámpara de 40Watts), tiene una vida útil extremadamente larga, y puede emitir una luz de color sin necesidad de filtros. Los LED son más adecuados como una fuente de luz para proyección, Lexus fue la primera compañía automotriz en reemplazar los faros de alta intensidad de los automóviles por LEDs (Han, et al., 2010). En la Fig. 1.8 se muestra un tubo solar comercial que utiliza rayos solares de manera indirecta y fibras ópticas para almacenar y transmitir la luz proveniente del sol.



Figura 1.8 Tubo solar para iluminación interior (Han, et al., 2010).

En la Fig. 1.9 se muestra un deflector y un sistema de iluminación solar, desarrollado y probado por la Universidad de Kyung Hee en Corea del Sur; los deflectores son capaces de almacenar la energía solar y el sistema de iluminación está equipado con espejos de seguimiento solar.



Figura 1.9 Deflectores y sistema de iluminación solar desarrollado para uso eficiente en edificios (Han, et al., 2010).

Los sistemas solares de iluminación han ganado popularidad en los últimos años. Directa e indirecta, concentrada y no concretada la luz solar se ha utilizado como una fuente de luz complementaria en edificios comerciales y residenciales; los diseños arquitectónicos para reducir las cargas por calefacción, enfriamiento y costos de iluminación, como deflectores y colectores de luz han sido instalados comúnmente hoy en día en edificios de alto rendimiento (Han, et al., 2010).

1.4 Energías renovables.

Durante las últimas décadas se ha dado a nivel mundial un proceso de transición hacia una mayor participación de las energías renovables, impulsado por una serie de factores, entre los cuales se encuentran: las preocupaciones de soberanía y de seguridad en el abasto de energía en países importadores de esta, sobre todo a partir de las crisis petroleras, y la cada vez mayor volatilidad de los precios de los combustibles; sumadas también las preocupaciones por los impactos ambientales de los sistemas energéticos, en particular la lluvia ácida y, más recientemente, el cambio climático.

De acuerdo con la SENER este proceso de transición, impulsado por nuevas tecnologías y menores precios que son el resultado del desarrollo tecnológico e industrial, se ha acelerado desde finales de la década de los noventa en varios países del Mundo, entre los países más destacados en el uso de energías renovables están, Alemania, España, Dinamarca, Estados Unidos, Brasil, India y China.

En México el uso de energías renovables ha ido disminuyendo a lo largo de los años, principalmente porque han sido reemplazadas por el uso de combustibles fósiles con fines energéticos. En el siglo XIX la energía hidráulica fue el principal motor de la industrialización en nuestro país, pero en la primera mitad del siglo XX decayó debido a la disponibilidad de petrolíferos y gas natural, entonces baratos (Fig. 1.10) (SENER, 2009).

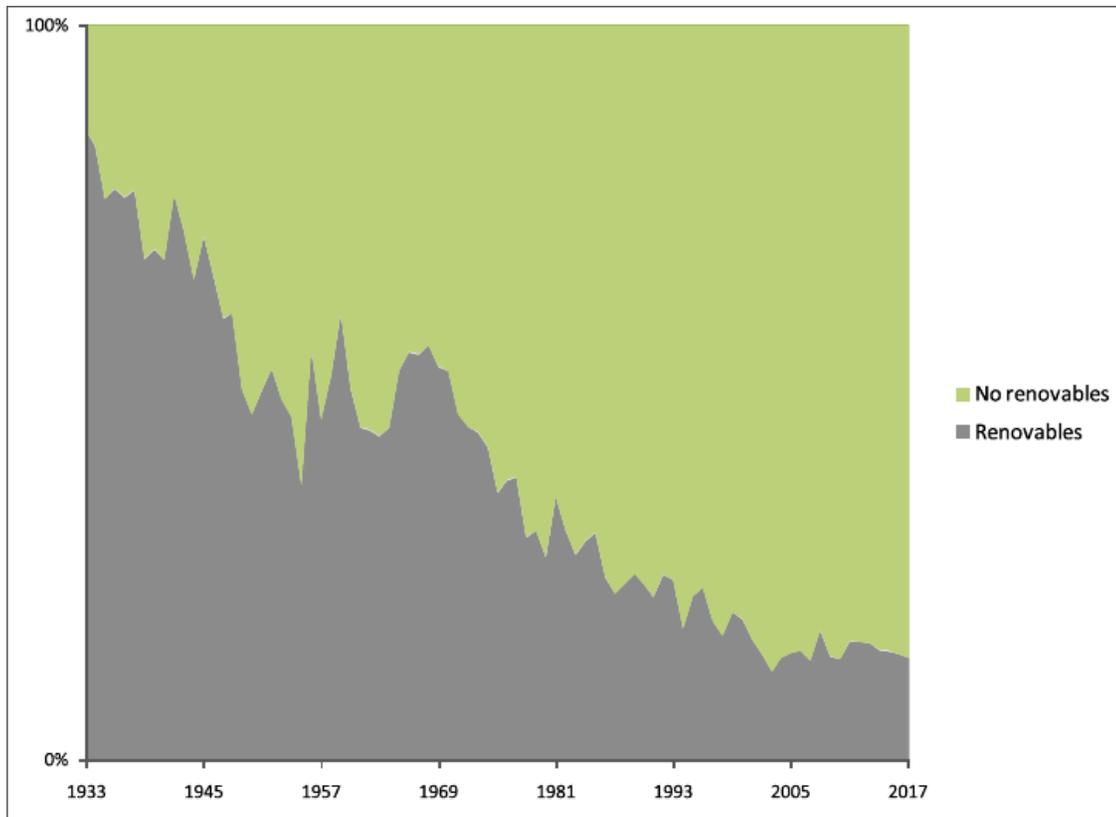


Figura 1.10 Evolución de las fuentes de energía en la generación de electricidad en México, 1933-2017 (SENER, 2009).

Ante esta problemática es necesario promover una política energética, destinada a generar programas de ahorro de energía eléctrica, promover el uso de las energías renovables o limpias en las actuales y nuevas edificaciones, optimizar el consumo de los recursos naturales y a la vez promover la conservación del medio ambiente, evitando la contaminación debido a los métodos tradicionales de generación y usos de la energía en los edificios. El Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 (PND) establece como principio rector la política para la sustentabilidad energética, que busca incrementar la eficiencia energética y el aprovechamiento de las energías renovables en México, con una visión a largo plazo. La ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la transición energética, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de Noviembre del 2008, establece la obligación de la Secretaria de Energía de elaborar un programa especial para el aprovechamiento de energías renovables.

También se hace hincapié en la necesidad de una estrategia nacional para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía. Los indicadores del Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables, establecen que para el 2012 se cuente con una capacidad del 7.6 % y una generación entre el 4.5 y 6.6 % a partir de fuentes renovables de energía (SENER, 2009). Triplicar en los próximos 15 años la energía renovable que se genera en el país es una meta perfectamente alcanzable; sin embargo los objetivos que el gobierno federal se ha fijado son mínimos, advierten expertos. Actualmente, la meta oficial de generación de energía renovable al 2025 es llegar a 2 mil Mega watts (MW), cifra que se puede alcanzar pronto, cuando, en realidad, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en el año 2012 estimó que se podrían generar para ese año 10 mil MW. Aunque en México existe un enorme potencial de aprovechamiento de energías renovables, en los hechos el aprovechamiento ha sido muy poco; y lo que ha empujado a las energías renovables ha sido el interés de las empresas privadas, señaló Odón de Buen, ex director de la Comisión Nacional de Ahorro de Energía CONAE en la sala de prensa de la CFE.

Las fuentes de energía renovable son hoy en día una alternativa con un extenso potencial para disminuir la dependencia global en el consumo de combustibles fósiles. Estudios realizados por la Organización Latinoamericana de Energía OLADE, han demostrado que por cada MegaWatt-hora (MW/h) de energía renovable generada, la emisión de aproximadamente 0.75 toneladas de CO₂ al año son evitadas a nivel mundial (OLADE, 2012). Además, también se ha demostrado que el uso de energías renovables reduce los costos de generación energética generando ahorros de hasta el 50% en edificios (Tokura, 2005). Mediante la integración de fuentes de energía renovable, es posible que todo el consumo sea de generación propia y no contaminante; incluso puede llegarse a generar más energía de la consumida que podría ser vendida a la red nacional.

1.4.1 Energía eólica.

La energía eólica se ha convertido en una fuente de generación de energía alrededor del mundo, implementándose en más de 70 países. El Consejo Mundial de Energía Eólica (GWEC) y la organización no gubernamental Greenpeace International destacaron en 2009 la importancia de la energía eólica, y como esta podría desempeñar un papel clave en la reducción de emisiones de CO₂. Se calcula que para el 2020 la energía eólica podría contribuir a reducir las emisiones de CO₂ en más de 10 millones de toneladas, 1.5 millones de toneladas por año. En México se cuenta con una diversidad de sitios para generar energía eólica, los lugares con mayor potencial eólico los posee Oaxaca, existiendo también otras regiones identificadas como: Zacatecas, Tabasco, la cadena montañosa de la Rumorosa y el litoral de la península de Baja California, así como también extensiones de litorales del Pacífico y Golfo de México. (Cárdenas y Saldívar, 2007).

De acuerdo con el reporte de la SENER en 2009 del periodo comprendido entre 2006 y 2009 la energía eólica presentó el mayor crecimiento dentro de las fuentes que componen la producción de energía primaria, tuvo un incremento de casi el triple de la potencia eólica instalada a nivel mundial. En el informe sobre Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable de México publicado ese mismo año la SENER reportó que la capacidad eólica en ese año era de 170 MW de capacidad eólica en operación, dividiéndose en:

- 85 MW en los proyectos La Venta I y La Venta II operados por la CFE en el Istmo de Tehuantepec.
- 80 MW en el proyecto de autoabastecimiento Parques Ecológicos de México, que entro gradualmente en operación desde enero del 2009.
- 0.6 MW en una turbina de la CFE en Guerrero Negro, Baja California Sur.
- MW en pequeños aerogeneradores en sitios aislados de la red.
- MW en pequeñas aerobombas (turbinas eólicas que impulsan bombas hidráulicas).

Mientras que en el 2010 la CFE licito dos proyectos denominados la Venta III y Oaxaca I, que en conjunto con otros proyectos eólicos ubicados en las regiones del Istmo de Tehuantepec, La Rumorosa, Baja California, Nuevo León y Tamaulipas se cuente con una capacidad total aproximada de 2,000 MW . (SENER, 2009)

1.4.2 Energía solar.

Existen dos tecnologías para la generación de electricidad a partir de radiación solar: la fotovoltaica y la de concentración solar. Las celdas fotovoltaicas transforman directamente la radiación solar en electricidad, por medio de un fenómeno físico denominado efecto fotovoltaico, se pueden utilizar en conexión con la red eléctrica, o bien en sitios aislados, por medio de sistemas que incluyen baterías. En el caso de las centrales de concentración solar, la radiación solar calienta un fluido, que a su vez mueve una maquina térmica y un generador eléctrico. De acuerdo con la SENER ambas tecnologías se han desarrollado aceleradamente en los últimos años alcanzando eficiencias de más de 15% (SENER, 2009).

La irradiación solar global en México es en promedio de 5 kWh/día/m², pero en algunas regiones del país se llega a valores de 6 kWh/día/m². Con la energía solar que llega a 0.14% de los estados de la República Mexicana: Sonora y Chihuahua bastaría para generar toda la energía eléctrica que requiere hoy en día el país; por ello, el potencial técnico se puede considerar prácticamente infinito; así lo expreso el doctor Claudio Estrada Gasca, director del Centro de Investigación de Energía (CIE) de la UNAM al periódico el Universal. (EL UNIVERSAL, 2011). Sin embargo el potencial económico y financiero se limita a nichos específicos debido a los altos costos de las tecnologías. Para las comunidades aisladas de la red eléctrica, el alto costo de extensión de esta implica que la tecnología fotovoltaica sea en la mayoría de los casos la más económica para satisfacer aplicaciones energéticas de gran necesidad y poco consumo de energía, como iluminación y electrodomésticos. Gracias a nuevas regulaciones que hacen posibles las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica, ya existen en México algunos proyectos en marcha, y hay interés de diversos actores por desarrollar más proyectos, en particular en Baja California. Sin embargo, la viabilidad económica depende fuertemente de los costos de inversión y la tarifa contra la cual el sistema compite.

En México, prácticamente todos los sistemas fotovoltaicos se encuentran en comunidades rurales aisladas de la red eléctrica, y muchos de ellos fueron instalados por medio de programas gubernamentales de electrificación rural. La SENER estima que la capacidad total de estas instalaciones es de 18.5 MW y se prevé vaya en aumento en los años posteriores con la ayuda de organizaciones gubernamentales o independientes (SENER, 2009). Unos de los proyectos en puerta es la dotación de electricidad a 50,000 viviendas (aproximadamente 250,000 habitantes) que la SENER mediante el proyecto Servicios Integrales de Energía implementará dentro de los municipios de menor Índice de Desarrollo Humano en los estados de: Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz, tanto para el consumo doméstico como para detonar actividades productivas relacionadas con las vocaciones naturales de las comunidades, utilizando las tecnologías renovables más adecuadas y de mejor costo beneficio, y de esta manera asegurar la sustentabilidad de los proyectos en un periodo de ejecución de 5 años (SENER, 2009).

Por lo que se refiere a la tecnología de concentración solar, existen planes para la construcción de una instalación de este tipo en Agua Prieta, Sonora. Dicha instalación funcionaría en combinación con una central de ciclo combinado de gas natural; este proyecto contribuirá a la reducción de gases de efecto invernadero. La capacidad neta del campo solar es de 10MW, estando el campo solar al 100%. Este proyecto está planeado para ubicarse en el estado de Sonora y contará con un donativo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial, a través del Banco Mundial (BM), por 49.35 millones de dólares (BM, 2007).

La energía solar aun no es aprovechada al cien por ciento en el mundo, pues la presencia de hidrocarburos para la generación de electricidad sigue presentando costos más bajos y mayor rendimiento en cuanto a las tecnologías basadas en radiación solar, en México el crecimiento de tecnología solar es muy pequeño comparado con otros países, sin embargo se tienen las condiciones ambientales necesarias para impulsar dicho crecimiento, lo que vuelve este potencial económicamente viable para el País.

1.5 Sistemas Fotovoltaicos y Eólicos.

En los años recientes se ha visto un significativo despliegue en los esquemas de generación de energía basados en recursos renovables. Las turbinas eólicas y los paneles fotovoltaicos se han posicionado como una buena opción para la microgeneración de electricidad en los sectores doméstico-residencial. Estudios recientes han demostrado que estos sistemas de generación de energía eléctrica basados en energías renovables presentan un excelente potencial como forma de contribución suplementaria ante los sistemas convencionales de generación de energía eléctrica (Kelleher, 2009). Su principal aplicación es en lugares remotos en los cuales no se cuenta con una conexión a la red eléctrica o en aquellos en los cuales se desea disminuir los costos energéticos y al mismo tiempo contribuir al cuidado del medio ambiente.

Estos sistemas de generación de energía pueden ser autónomos o conectados a la red. Los sistemas autónomos son utilizados principalmente para la electrificación rural donde el grado de dispersión de la población es muy alto, y utilizan baterías para almacenar la energía producida. A diferencia de estos, los sistemas conectados a la red o comúnmente llamados interconectados no utilizan baterías, se encuentran equipados con un inversor de corriente que les permite inyectar electricidad a la red cuando la generación de energía excede las necesidades del usuario, o utilizar la red eléctrica convencional como respaldo en caso de que la demanda sea mayor a la energía generada por el sistema.

En México existen los siguientes instrumentos legales y regulatorios que permiten el aprovechamiento de las energías renovables en conexión a la red (CRE, 2010).

- **Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE).** A finales del año 2008 se publicó esta ley, la cual tiene como propósito regular el aprovechamiento de las energías renovables para la generación de electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público. Su reglamento fue publicado en el 2 de Septiembre del 2009, incluyendo aspectos para la remuneración de proyectos de energía renovable.

- **Contrato de Interconexión para Fuente de Energía Renovable o Sistema de Cogeneración en Pequeña y Mediana Escala.** El 8 de abril de 2010, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) publicó estos modelos de contrato que tienen como propósito establecer los derechos y obligaciones de un usuario que interconecta una fuente de energía renovable al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Estos contratos de interconexión se basan en el principio de medición neta. De esta forma, cuando el usuario inyecta energía el medidor de luz gira en sentido inverso. Al final del período de facturación, este último sólo paga por su consumo neto el cual resulta del total de energía eléctrica consumida menos el total de energía eléctrica generada por la fuente de energía renovable. En el caso de pequeña escala es posible conectar un sistema de generación de energía a la red eléctrica en tensiones inferiores a 1 kilo Volt (kV) y hasta con una capacidad de 30 kilo Watts (kW). En el caso de mediana escala, solo que se permite entregar la energía asociada hasta una capacidad máxima de 500 kW y en tensiones que no sean mayores a 69 kV.
- **Contrato de Interconexión para Fuente Colectiva de Energía Renovable o Sistema Colectivo de Cogeneración en Pequeña Escala.** A este tipo de contrato aplica todo lo relacionado a generación en Pequeña Escala. Con la característica de que la fuente colectiva de generación de energía eléctrica le pertenece a un grupo de generadores. Además la energía generada por la fuente colectiva es dividida para efectos de facturación entre los dueños, dependiendo del porcentaje en la inversión realiza por cada uno de estos.

La CRE también ha desarrollado un marco normativo específico para la interconexión de tecnologías basadas en fuentes renovables (CRE, 2010).

- Especificación de interconexión en baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW (CFE G0100-04).
- Anexos al Contrato de Interconexión en Mediana Escala: Características de los equipos de medición y comunicación (Anexo E-RMT) y Requisitos técnicos para la interconexión (Anexo ERD-T).

- Reglas Generales de Interconexión al SEN para generadores o permisionarios con fuentes de energías renovables o cogeneración eficiente (publicadas en el D.O.F. por la CRE, el 22 de mayo de 2012).
- Normas Mexicanas de la Asociación Nacional de Normalización y Certificación del sector eléctrico (ANCE sección 2.4)

En lo que respecta a la difusión e información, hoy existe una oferta amplia de eventos a nivel nacional e internacional. En el marco nacional es importante destacar la Semana Nacional de Energía Solar organizada por la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), mientras que a nivel internacional sobresale la Intersolar en Munich, Alemania; en San Francisco, Estados Unidos y en Mumbai, India. Es importante señalar también la participación de ProMéxico en la búsqueda de oportunidades para la atracción de inversión y alianzas estratégicas entre empresas mexicanas y extranjeras dentro del sector de las energías renovables.

1.5.1 Sistemas Fotovoltaicos.

Un sistema fotovoltaico está formado por un conjunto de celdas fotovoltaicas cuyo componente principal es el silicio y son capaces de generar electricidad a partir de la luz que incide sobre ellas, con el fin de producir la potencia necesaria con las características de corriente y voltaje requeridas en una aplicación dada (Poconi, 2003). Los componentes básicos de éste tipo de sistemas son: el generador fotovoltaico que convierte la luz del sol directamente en energía eléctrica en corriente directa, la batería que almacena la energía producida por el modulo fotovoltaico además de proporcionar autonomía durante los días de poca insolación y establecer el voltaje de operación del sistema, el controlador de carga cuya función es proteger a la batería, proporcionar información sobre el estado operativo del sistema, y albergar protecciones de este; en los casos donde se requiere suministrar corriente alterna, los sistemas incluyen un inversor de corriente y se encuentran interconectados.

De acuerdo a la Asociación Industrial Europea Fotovoltaica (EPIA), por sus siglas en inglés, la eficiencia de conversión de los sistemas fotovoltaicos con la tecnología actual fluctúa entre el 6 y 15 % dependiendo del tipo de tecnología y la aplicación. La vida útil de los módulos actuales está entre 20 y 30 años (EPIA, 2012). Los costos de los sistemas varían ampliamente dependiendo, del tipo tamaño y sitio de instalación. Los sistemas conectados a red son los más baratos en estos momentos tendiendo costos de entre 5 y 9 dólares por Watt pico instalado (IEA, 2003). Algunas oportunidades de reducción de costos se vislumbran cuando los paneles fotovoltaicos sustituyen a materiales de construcción como lo puede ser los cristales exteriores de edificios o construcciones. Los sistemas autónomos fuera de red tienen costos más elevados, sin embargo existen nichos de mercado donde aún con dichos costos de inversión elevados compiten con otras alternativas como la extensión de la red de distribución o la provisión de electricidad mediante grupos electrógenos.

De acuerdo con la ANES, hasta el año 2006 prácticamente todos los sistemas fotovoltaicos, instalados en México, se encontraban en aplicaciones aisladas de la red eléctrica. Sin embargo, a partir del año 2007 se cuenta con registros de aplicaciones interconectadas, esta tendencia se ha mantenido en los años posteriores de tal manera que en el año 2010, de los 3.5 Mega Watts Pico (MW_p) instalados en ese año, alrededor del 94% fueron sistemas conectados a la red eléctrica. Como se observa en la Fig. 1.11, la capacidad anual instalada (sistemas aislados y conectados a la red) ha mostrado un comportamiento fluctuante en el periodo 2005 – 2010. En términos acumulados, la capacidad aumentó de 16.5 MW_p a 28.62 MW_p . Respecto a la generación anual de electricidad, esta aumentó de 23,235 Mega Watts hora (MWh) en el año 2005 a 40,115 MWh en el año 2010.

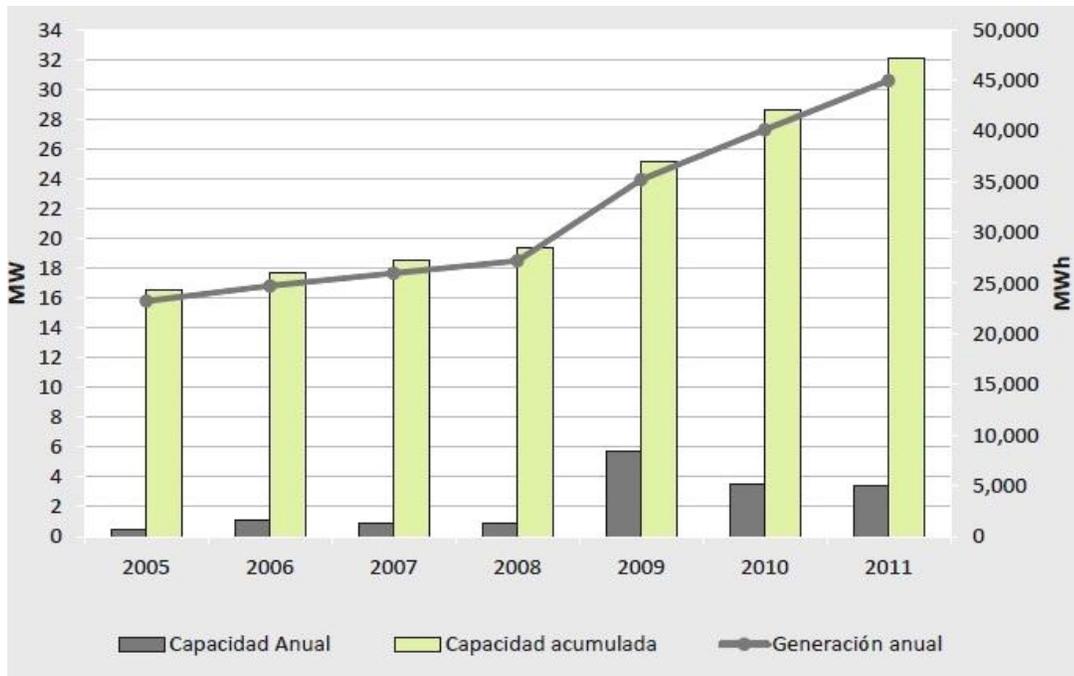


Figura 1.11 Evolución de la capacidad instalada y generación de electricidad de los sistemas fotovoltaicos en México (SENER, 2012).

Debido a los costos actuales de la tecnología fotovoltaica, los subsidios eléctricos y la estructura de las tarifas eléctricas, contra las cuales los sistemas fotovoltaicos compiten, arrojan como resultado que el potencial económico y financiero en México para la implementación de dichos sistemas, actualmente, se limite a nichos específicos. Sin embargo, considerando la irradiación solar, la constante disminución en los costos de esta tecnología y el constante aumento en los precios de las fuentes convencionales de energía primaria, se espera que los sistemas fotovoltaicos logren convertirse en una alternativa económicamente viable a gran escala en el mediano plazo en México. En el año 2009, la SENER a través de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) y con el apoyo de la Agencia de Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ), por sus siglas en alemán, realizaron el estudio titulado Nichos de Mercado para Sistemas Fotovoltaicos en Conexión a la Red Eléctrica en México. Mismo que concluyó que el nicho con el potencial actualmente más grande es el sector residencial (CONUEE, 2009).

Uno de los mayores obstáculos o barreras que presenta la tecnología fotovoltaica es la alta inversión inicial comparada con otras tecnologías. Si a esto se agrega el esquema de subsidios que disfrutaban la mayoría de las tarifas eléctricas en nuestro país, es prácticamente imposible que el mercado, por sí mismo, pueda generar las condiciones que permitan explotar este potencial. Por lo mismo, se han realizado diversos estudios para identificar posibles mecanismos financieros de fomento que aunque en un principio se enfocaron en el rango alto del sector residencial, por el volumen que representa este nicho; resultan útiles para el análisis de distintos sectores, como lo son el sector público (alumbrado público), sector comercial (pequeñas y medianas empresas), etc. que en el corto plazo pueden tener un papel fundamental para incentivar el desarrollo del mercado fotovoltaico en México.

1.5.2 Sistemas Eólicos.

Un sistema eólico por lo general está compuesto por un rotor, un generador o alternador montado en una estructura, una cola (usualmente), una torre de soporte, cableado, y los componentes del sistema de balance: controladores, inversores y baterías. A través del giro de los álabes la turbina convierte la energía cinética del viento en un movimiento rotatorio que acciona el generador. Dependiendo del recurso eólico, una turbina puede reducir la facturación eléctrica entre el 50 y el 90% (Yang et al., 2003), y ayudar a evitar los altos costos de extender las redes de suministro a sitios remotos, prevenir interrupciones de energía y además de no contaminar, lo que la convierte en una fuente eficiente de electricidad.

El tamaño de una turbina eólica viene definido por el tipo de aplicación deseada. El rango de turbinas se encuentra entre los 20 Watts (W) y los 100 kW, las turbinas para aplicaciones residenciales por general se ubican dentro de los 400W a los 100kW dependiendo de la cantidad de electricidad que se desee generar. Una turbina de 1.5kW podría cubrir las necesidades de un hogar que consuma 300kWh (Una casa de interés social en México consume 60kWh mensuales) con una velocidad de aproximadamente 6.5 metros por segundo (m/s) de velocidad promedio anual (EERE, 2007).

Un sistema de energía eólica puede costar, dependiendo del sitio de 30,000 a 35,000 dólares ya instalado, tomando en cuenta su tamaño y aplicación. La Asociación Americana de Energía Eólica (AWEA) por sus siglas en inglés, indica que el costo de un sistema eólico es aproximadamente de 1,000 a 3,000 dólares por kiloWatt; el costo de un sistema eólico residencial está en el rango de los 13,000 a los 40,000 dólares para turbinas de entre los 3 y los 10 kW (AWEA, 2011). Aunque los sistemas de energía involucran una inversión inicial significativamente alta, pueden ser competitivos con fuentes convencionales de energía, cuando se toman en cuenta factores como el tiempo de vida útil o la reducción en los costos evitados con la compañía eléctrica. El período de retorno de la inversión, depende de la elección del sistema, el recurso eólico en el sitio, los costos de la electricidad en su área y como se utiliza el sistema de energía eólica.

En México (y en otros países en vías de desarrollo) se ha intentado introducir estos sistemas como parte de programas sociales de electrificación a comunidades de escasos recursos económicos. En la mayoría de los casos, estos proyectos no han funcionado cuando se ha dejado la responsabilidad de operación y mantenimiento a la comunidad. Realmente, la aplicación de la generación eoloeléctrica para electrificación rural presenta mayores retos de implementación que dicha generación interconectada a red. Por otro lado, los sistemas interconectados han presentado un gran crecimiento principalmente en el Istmo de Tehuantepec, donde se espera que para los años posteriores se tenga 2500 Mega Watts (MW) de capacidad instalada, con miras a que se puedan instalar otros 3000 MW en la misma zona (Borja, 2008). Así mismo, la SENER reporta que varias empresas privadas están formulando proyectos eoloeléctricos en la modalidad de exportación, teniendo como áreas de interés el norte de los estados de Baja California y Tamaulipas, mientras que otras están formulando y evaluando la viabilidad de proyectos eoloeléctricos en diferentes entidades del país, tales como Zacatecas, Yucatán, Tamaulipas, Quintana Roo, Veracruz, Baja California Sur, Chihuahua, Sinaloa, Hidalgo y Puebla. Para ello se espera contar con el apoyo de la CFE en la implementación de dichos proyectos (SENER, 2009).

El desarrollo eoloeléctrico en nuestro país es un nicho de oportunidad que ofrece amplios beneficios, los cuales ya se han hecho evidentes en varios países del mundo. Sin embargo, existen situaciones tanto en el ámbito nacional como internacional que podrían entorpecerlo, principalmente resumidas en tres puntos (Borja, 2008):

- La producción de aerogeneradores en los próximos cinco años se encuentra acaparada.
- La atención de los que tienen aerogeneradores se está dirigiendo a los países que ofrecen las mejores condiciones y la mayor rentabilidad.
- Las empresas que han acaparado la industria eoloeléctrica no pretenden vender generadores, lo que pretenden es vender electricidad.

No obstante, los retos y oportunidades de la investigación y el desarrollo tecnológico son muy amplios, en la medida en que su objetivo sea lograr que la generación eoloeléctrica logre superar las ventajas económicas de tecnologías convencionales para generación de electricidad. También es importante formular los elementos de estrategia y establecer las condiciones necesarias para que los mayores beneficios de la generación eoloeléctrica se queden en el país y no se vayan al extranjero, esto con mayor énfasis en el aprovechamiento de su potencial para crear nuevas fuentes de empleo, mediante la producción local de bienes de capital.

1.6 Elección del Sistema de generación de energía eléctrica.

Para el proyecto Criterios Bioclimáticos aplicados en edificios públicos para el sistema de iluminación interior basados en fuentes de energía alternativas, el objetivo principal fue el cubrir las necesidades económicas y de consumo de energía eléctrica del edificio H de posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Como estrategia fue importante la implementación de un sistema de generación de energía basado en fuentes renovables, que fuese capaz de generar la energía requerida y al mismo tiempo reducir el costo de la factura eléctrica.

Como se ha mencionado con anterioridad, los sistemas fotovoltaicos y eólicos son muy útiles en el sector doméstico-residencial. Debido al tamaño y al consumo del edificio, este se considera una aplicación residencial, por lo cual se decidió usar un sistema de los mencionados para cubrir las necesidades del inmueble. El consumo del edificio era de 36 kWh diarios, este dato de consumo de energía fue calculado por estimación de cargas del edificio. Por consecuente se debía conseguir un sistema de dimensiones y características que cumpliera con los requerimientos de energía; lo cual llevo a la formulación de la siguiente pregunta: ¿Qué sistema es el más apropiado, eólico o fotovoltaico?, para responder a esta pregunta fue necesario realizar un análisis minucioso en la zona de estudio que proporcionara los datos necesarios para hacer la elección correcta.

Como primer paso, se recurrió a los proveedores de sistemas de generación de energía eléctrica para requerir una cotización de un sistema eólico y uno fotovoltaico, sin embargo un sistema capaz de generar esa cantidad de Kilowatts-hora sería demasiado costoso y rebasaría el presupuesto del proyecto, por lo cual se optó en elegir un sistema interconectado capaz de generar entre el 20 y 30% de la energía requerida, y lo restante se disminuiría con el cambio de las luminarias actuales (que representaban el 50% de la energía consumida por el edificio) por otras de menor consumo y mejor eficiencia. De esta manera el costo de la factura de electricidad no se reduciría a cero, pero disminuiría en gran porcentaje. En las tablas 1.2 y 1.3 se muestran las cotizaciones en pesos de los sistemas fotovoltaico y eólico proporcionados por la compañía Energía Renovable del Centro.

Posteriormente se procedió a realizar un análisis climático de la zona de operación del sistema de generación, esto con la finalidad de determinar si el lugar cubría los requerimientos necesarios para su correcto funcionamiento; el análisis se centró en el historial meteorológico de los dos años inmediatos anteriores (2009-2010) sobre radiación solar y velocidad del viento. Para ello se recurrió a la Dra. Marina Herrera, gerente de Hidroclimatología de la Comisión Estatal de Aguas (CEA) con la finalidad de solicitar su apoyo y obtener acceso a la base de datos de la estación meteorológica IQUERTAR6, ubicada a unos cuantos metros del Posgrado de la Facultad.

Tabla 1.2 Cotización y descripción del sistema fotovoltaico

Descripción	Capacidad de generación	Cantidad	Radiación solar	Total
Kit fotovoltaico para interconexión: 8 módulos fotovoltaicos marca Kyocera modelo KD235GX-LPB de 235 W, estructura de aluminio anodizado temple 6 para sujeción de los módulos, inversor marca SMA modelo Sunny Boy 2000HFUS.	12 kWh (Valor neto incluida la eficiencia del sistema)	1 Kit	1000 W/m ² (Durante 8 horas continuas)	\$ 125, 994.8 (I.V.A. incluido)

Tabla 1.3 Cotización y descripción del sistema eólico

Descripción	Capacidad de generación	Cantidad	Velocidad del viento	Total
Sistema de generación eólico para interconexión: 1 turbina de viento, torre para sujeción, inversor marca SMA modelo Sunny Boy 2000HFUS	12 kWh (Valor neto incluida la eficiencia del sistema)	1 Kit	12.6 Km/h (Durante cinco horas de viento continuo)	\$ 117, 170.1 (I.V.A. incluido)

El objetivo del análisis fue comparar las características climáticas de los alrededores del edificio H y determinar si eran adecuadas para los requerimientos de los sistemas cotizados por la compañía de energías renovables, y de esta manera elegir el sistema apropiado a instalar. En las Figs. 1.12^a, 1.12^b y 1.13^a, 1.13^b se muestran los valores respectivos de las variables meteorológicas requeridas a lo largo de los años mencionados.

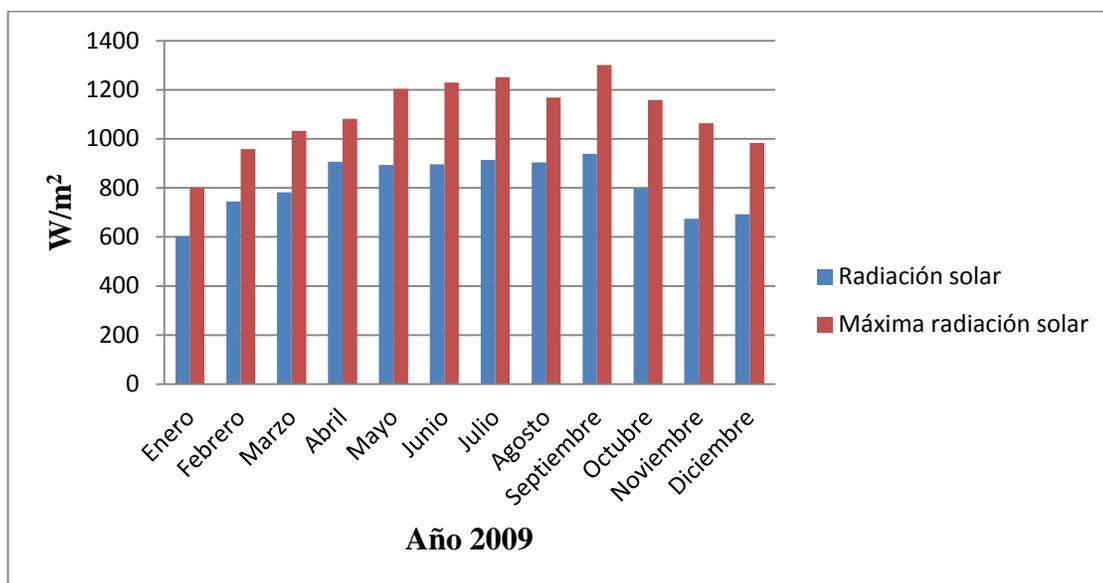


Figura 1.12^a Radiación solar promedio en el año 2009 (CEA, 2009-2010)

En el año 2009 la radiación solar máxima estuvo presente en los meses comprendidos entre Abril y Septiembre alcanzando valores entre 800 y 1000 Watts por metro cuadrado (W/m^2) y valores máximos que alcanzaron los $1300 W/m^2$, mientras que en los meses restantes se mantuvo relativamente baja debido a la presencia del invierno. En general en este año se obtuvo un promedio de $812 W/m^2$.

Mientras tanto en el 2010 la radiación solar presenta una tendencia de aumento al principio del año y mantiene valores de $900 W/m^2$ y picos de hasta $1350 W/m^2$ entre los meses comprendidos entre Mayo y Septiembre, y al igual que en 2009 mantuvo un valor promedio de $812 W/m^2$; lo que califica a estos dos años con una radiación solar constante y muy buena.

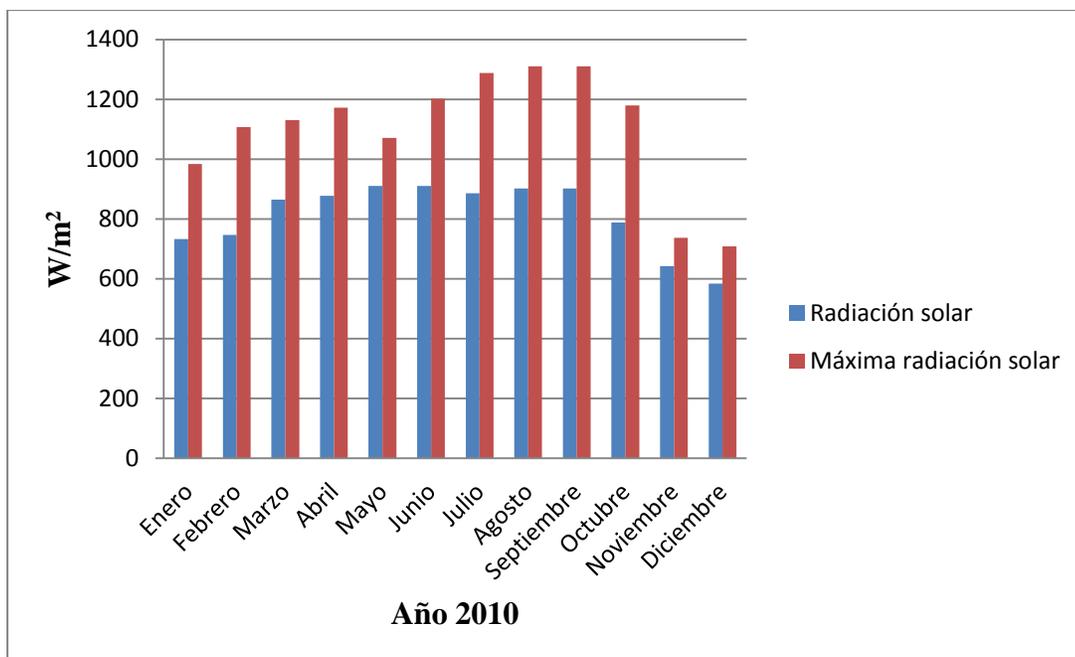


Figura 1.12^b Radiación solar promedio en el año 2010 (CEA, 2009-2010).

En cuanto a la velocidad del viento, durante todo el 2009 los valores se mantienen por debajo de los 10 Kilómetros por hora (Km/h), solo en febrero alcanzan los 11.3 Km/h. Quienes se presentan con valores elevados son las ráfagas, alcanzando velocidades de hasta 36 Km/h y manteniendo un promedio de 27 Km/h durante todo el año; desafortunadamente las ráfagas se presentan muy esporádicas y no garantizan una velocidad constante. En general el promedio de velocidad del viento del año 2009 fue de 8 Km/h.

Para el 2010 las velocidades presentan valores más bajos que en 2009 sobrepasando apenas los 5Km/h, y solo en el mes de febrero de logra el valor más alto con 8 Km/h. En cuanto a las ráfagas hay una disminución del 20% con respecto al año anterior alcanzando valores mínimos de 13 Km/h y solo máximos en los meses de Enero y Febrero; colocando al año con un promedio 62% más bajo que en 2009.

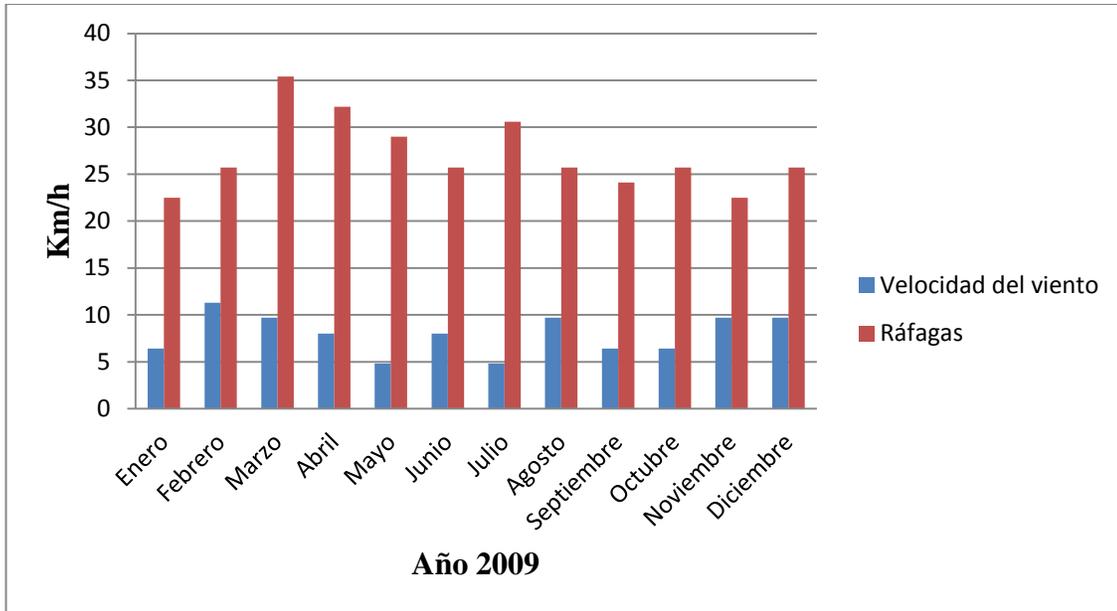


Figura 1.13^a Velocidad del viento promedio en el año 2009 (CEA, 2009-2010).

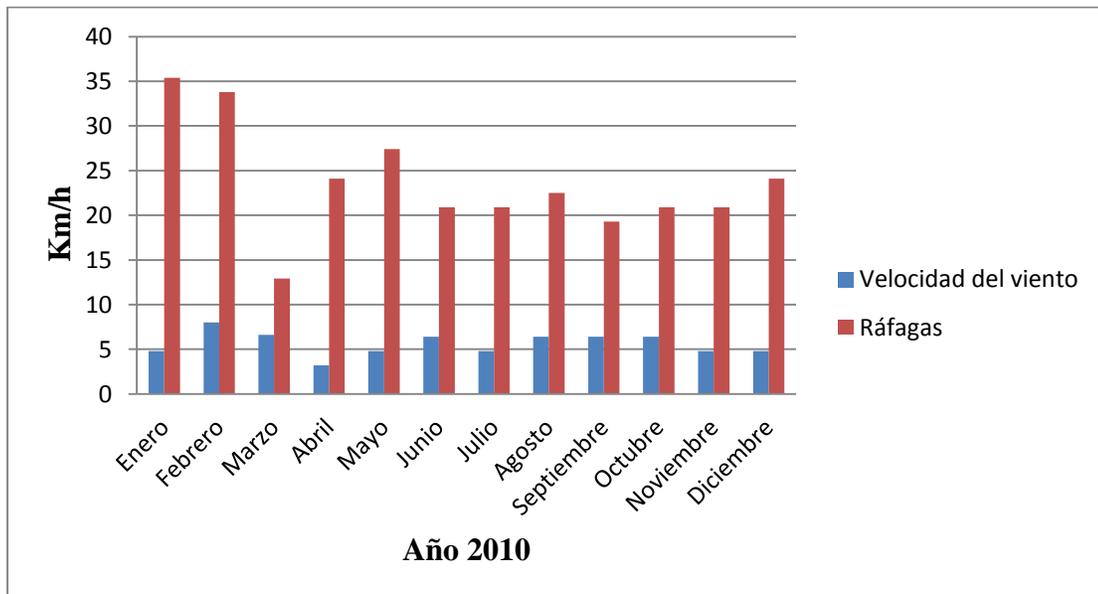


Figura 1.13^b Velocidad del viento promedio en el año 2010 (CEA, 2009-2010).

Con base en las características de los sistemas cotizados en la Tabla 1.2, una radiación promedio de 8.12 W/m^2 y picos promedio de hasta 1200 W/m^2 durante el año, ofrece mejores resultados para la instalación de un sistema fotovoltaico a uno eólico, pues las condiciones climáticas del entorno permitirían al sistema eólico funcionar con una eficiencia baja; debido a ello el sistema fotovoltaico fue elegido como sistema de generación de energía eléctrica del edificio. No es la intención de este estudio descartar la posibilidad de utilizar un sistema eólico en la Universidad o la ciudad, simplemente que para este caso en particular la azotea del edificio H (3m de altura) fue elegida como zona de instalación debido a que se requería que el sistema se encontrara lo más cerca posible de la acometida de este. Sin embargo las aplicaciones de sistemas eólicos pueden resultar muy útiles en edificios y lugares más elevados donde el recurso eólico es mayor.

1.7 Hipótesis.

Aplicando criterios bioclimáticos se puede determinar un sistema óptimo de generación de energía eléctrica basado en energías alternativas el cual sea capaz de generar ahorros potenciales en el consumo de energía eléctrica, así mismo la instalación de sistemas eficientes de iluminación mantienen niveles de confort lumínicos al interior del edificio mejorando la salud de los usuarios.

1.8 Objetivo.

Mediante un sistema de generación de energía eléctrica fotovoltaico y la instalación de luminarias eficientes y ahorradoras, reducir el consumo de energía, generar ahorros en los gastos de electricidad, y mantener un confort lumínico con base en la Norma Europea UNE-EN 12464-1 al interior de las aulas de clase del edificio H de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

1.9 Justificación.

Con la realización de este proyecto se exhorta a la población en general sobre del uso de sistemas de generación de energía eléctrica basados en fuentes renovables; se resaltan las características de dichos sistemas, en qué condiciones son aplicables, ventajas y desventajas, beneficios ambientales, costos, ahorros que pueden generar en la factura de electricidad, así como también la aclaración de los mitos relacionados con la viabilidad de estos sistemas para sustituir a los combustibles fósiles y la energía nuclear.

Además también se muestra un panorama de los riesgos que conlleva una mala iluminación interior para los usuarios, acciones correctivas que ayuden a mejorarla usando criterios bioclimáticos, beneficios a la salud de una iluminación eficiente, y como esta puede contribuir en el ahorro de energía eléctrica y al mismo tiempo mitigar el cambio climático.

CAPÍTULO II.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1. Valoración del confort visual.

Una iluminación correcta es aquella que permite distinguir las formas, los colores, los objetos en movimiento y apreciar los relieves; y que todo ello, además, se haga fácilmente y sin fatiga, es decir, que garantice el confort visual permanentemente. Este estudio se enfocará al análisis de los niveles de iluminación y la uniformidad de la iluminancia, factores clave para asegurar el confort visual (Norma UNE-EN 12464-1, 2003).

- Nivel de iluminación.
- Uniformidad de iluminancia.

No obstante, no se debe olvidar otro factor fundamental para conseguir un adecuado confort visual en los lugares de trabajo, que es el tipo de iluminación: natural o artificial. La iluminación de los lugares de trabajo debe realizarse siempre que no existan problemas de tipo técnico, con un aporte suficiente de luz natural, aunque ésta, por sí sola, no garantiza una iluminación correcta ya que varía en función del tiempo, es preciso compensar su insuficiencia o ausencia con luz artificial.

2.2. Nivel de iluminación o iluminancia.

El confort visual depende de los niveles de iluminancia y de su distribución en el espacio, la luz intensa, el color dado, la vista, entre otros. La variable más adecuada para el control del confort visual es el nivel de iluminancia. En Fotometría, la iluminancia (E) es la cantidad de flujo luminoso emitido por una fuente de luz que incide, atraviesa o emerge de una superficie por unidad de área. Su unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades (SI) es el *Lux* (Eq. 1).

$$1Lux = 1 \frac{Lumen}{m^2} \quad (1)$$

En general, la iluminancia se define según la siguiente expresión:

$$E_v = \frac{dF}{dS} \quad (2)$$

dónde:

E_v = iluminancia, medida en luxes.

F = flujo luminoso, en lúmenes.

dS = elemento diferencial de área considerado, en metros cuadrados.

La iluminancia se puede definir a partir de la magnitud radiométrica de la irradiancia sin más que ponderar cada longitud de onda por la curva de sensibilidad del ojo.

Así, entonces:

E_v es la iluminancia.

E_λ representa la irradiancia espectral.

V_λ simboliza la curva de sensibilidad del ojo, entonces:

$$E_v = K \int E(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

Tanto la iluminancia como el nivel de iluminación se pueden medir con un aparato llamado fotómetro. A la iluminancia que emerge de una superficie por unidad de área también se le denomina emitancia luminosa M_v . Las normas y recomendaciones de iluminación para edificios educativos indica que el nivel de iluminación requerido para aulas de tutoría, estudio y reunión, sala de profesores y sala de lectura varía de los 200 a 500 lux, Tabla 2.1 (Norma UNE-EN, 2003).

Tabla 2.1 Edificios Educativos (Norma UNE-EN 12464-1, 2003).

Tipo de interior, tarea y actividad	\bar{E}_m lux	UGR_L lux	R_a lux	Observaciones
Aulas, aulas de tutoría	300	19	80	La iluminación debería ser controlable
Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
Sala de lectura	500	19	80	La iluminación debería ser controlable
Pizarra	500	19	80	Evitar reflexiones especulares
Mesa de demostraciones	500	19	80	En salas de lectura 750 lux
Aulas comunes de estudio y aulas de reunión	200	22	80	
Salas de profesores	300	19	80	

Dónde:

\bar{E}_m = Iluminancia mantenida.

UGR_L = Índice de Deslumbramiento Unificado.

R_a = Rendimiento de colores mínimos.

2.3. Uniformidad de iluminancia.

Se define como “uniformidad de iluminancia” a la relación o cociente entre la iluminación mínima y la iluminancia medida sobre la superficie (Eq. 4), la uniformidad del área de tarea no debe ser inferior a 0.7.

$$\text{Uniformidad de iluminancia} = \left(\frac{\text{Lectura menor}}{\text{Lectura mayor}} \right) \geq 0.7 \quad (4)$$

El área de tarea debe ser iluminada tan uniformemente como sea posible. La iluminancia de las áreas circundantes inmediatas puede ser inferior a la iluminancia del área de tarea pero no debe ser menor que los valores dados en Tabla 2.1 (Norma UNE-EN, 2003).

Tabla 2.2 Uniformidades y relación entre iluminancias de áreas circundantes inmediatas al área de tarea (Norma UNE-EN 12464-1, 2003).

Iluminancia de tarea Lux	Iluminancia de áreas circundantes inmediatas
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	E_{tarea}
Uniformidad: ≥ 0.7	Uniformidad: ≥ 0.5

La consideración de los niveles de iluminación es normalmente suficiente para el análisis de las condiciones visuales, reservándose el estudio de luminancias para casos muy específicos, como por ejemplo, el alumbrado de autopistas y carreteras. La medición de los niveles de iluminación debe efectuarse mediante un luxómetro, colocado en el mismo plano de trabajo, y con la misma inclinación que tenga la superficie de este.

2.4. Celdas solares y generación de energía.

Las celdas solares son instrumentos formados de materiales semiconductores que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. El circuito ideal equivalente de una celda solar consiste en una fuente de corriente en paralelo con un diodo y las terminales de salida del circuito conectadas a la carga.

La ecuación para la corriente generada por el dispositivo (I_{max}) es:

$$I_{max} = -I_f + I_o \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (5)$$

donde:

I_o = Corriente de saturación del diodo ideal

I_f = Corriente fotogenerada

k = Constante de Boltzman

V = Tensión en la celda

q = Carga del electrón

T = Temperatura

Por su comportamiento similar al de un diodo, las celdas solares presentan una curva característica de corriente-tensión ($I-V$), tomando en cuenta una irradiancia estándar de 1000 W/m^2 y una temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

El conocimiento de esta curva permite conocer los valores de corriente y voltaje máximos de la celda y de esta manera calcular la potencia máxima de salida de esta (P_{max}), (Eq. 6).

$$P_{max} = I_{max} V_{max} \quad (6)$$

donde:

I_{max} = Corriente generada por el dispositivo

V_{max} = Voltaje de operación

Existen varios parámetros que caracterizan el funcionamiento de una celda solar, estos son:

- Corriente de corto circuito (I_{cc}), correspondiente a una tensión nula entre contactos.

$$I_{cc} \cong I_f \quad (7)$$

- Tensión a circuito abierto (V_{ca}), correspondiente a $I_{max} = 0$.

$$V_{ca} \cong \frac{kT}{e} \ln \left[\frac{I_f}{I_o} + 1 \right] \quad (8)$$

- Factor de llenado (FF), definido como la eficacia de la celda solar, mientras más alto sea este factor mejor es la calidad de la celda.

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} V_{ca}} \quad (9)$$

- Eficiencia de conversión energética (η).

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_i} \quad (10)$$

donde:

P_i = potencia de la radiación solar incidente sobre la celda.

2.5. Evaluación del consumo de energía eléctrica.

Debido a los elevados consumos de energía eléctrica por el sistema de iluminación artificial, es necesario cuantificar los costos; para ello se implementa el cálculo del consumo de potencia (Eq. 11).

Se designa con la letra P y se mide en vatios W . De acuerdo con la ley de ohm y el triángulo de impedancias se puede expresar de la siguiente manera:

$$P(t) = V(t) \cdot I(t) \cos \phi \quad (11)$$

Donde V e I son las magnitudes del voltaje y corriente de fase, respectivamente y $\cos \phi$ es el factor de potencia del circuito. Para conocer el trabajo eléctrico que corresponde al consumo de energía en forma continua, se realiza la siguiente integral (Eq. 12).

$$E(t) = \int_0^t p(t) dt \quad (12)$$

La medición de energía es la medición de la potencia con la simultánea integración en el tiempo, es decir se calcula un promedio de la potencia; con ello es posible evaluar el consumo de energía eléctrica al interior del edificio.

CAPÍTULO III.

3. METODOLOGÍA.

El sistema de iluminación interior en edificios públicos basado en fuentes de energía alternativas y criterios bioclimáticos, comprende el equipamiento de un sistema de generación de energía limpia, el uso de instrumentos que permitan analizar la energía eléctrica consumida por el edificio y el sistema de iluminación, así como también la medición de los niveles de iluminación al interior del edificio. Se realizará el análisis de las variables climáticas correspondientes para la selección del sistema de generación de energía, la energía generada se utilizará para la alimentación del edificio y sistema de iluminación implementado dentro este, que permita el confort lumínico establecido por la norma europea UNE-EN 12464-1, de esta manera se optimizará el consumo de energía eléctrica, pues el sistema de iluminación actual representa el mayor consumo de energía en el edificio.

3.1 Lugar de desarrollo de pruebas y mediciones.

El análisis y sistema de monitoreo de variables puede ser implementado para todo tipo de interiores, es importante recalcar que este los análisis realizados en este proyecto de investigación son aplicados a un área académica, con la finalidad de conocer el estado de la iluminación de las aulas de clase, y el consumo de energía del edificio; marcando las pautas para la mejora dichos parámetros cuando sea requerido.

Las pruebas y mediciones realizadas fueron llevadas a cabo en los alrededores y las aulas de clase del edificio H, este edificio se encuentra ubicado en la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), y pertenece al conjunto de edificios educativos del al área de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, en la ciudad de Santiago de Querétaro, Querétaro México. En las Figs. 3.1^a y 3.1^b se muestra la vista real y esquemática del edificio donde se llevaran a cabo los análisis correspondientes.



Figura 3.1^b Vista real del edificio H de posgrado, Facultad de Ingeniería UAQ.

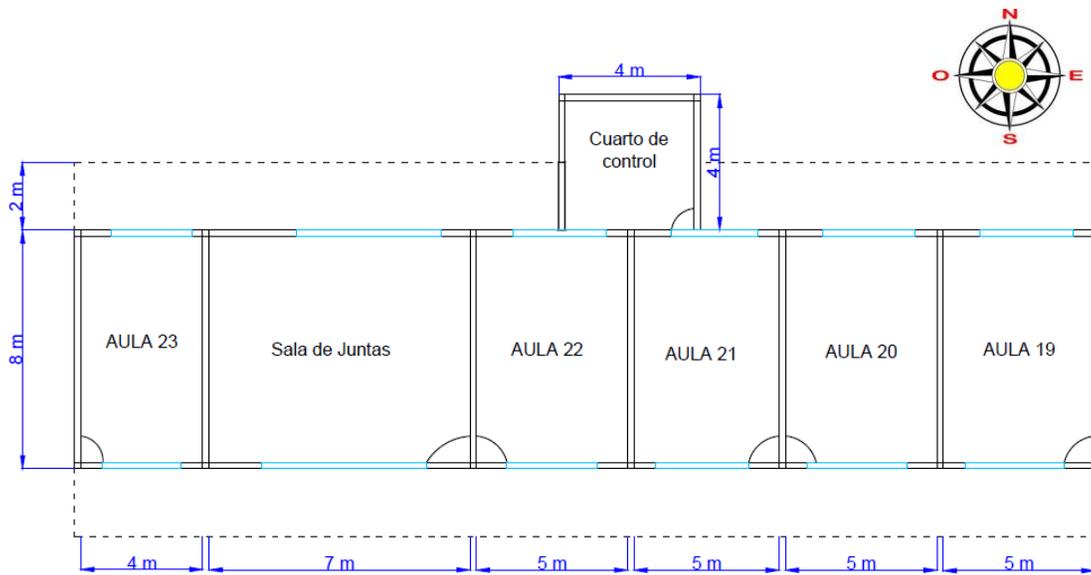


Figura 3.1^b Vista esquemática plana del edificio H de posgrado, Facultad de Ingeniería UAQ.

3.1.1 Descripción del edificio.

El edificio se encuentra orientado hacia el oeste y cuenta con un solo nivel; sus dimensiones son de 3m de altura, 31m de largo y 10m de ancho; además de un pasillo de 2m de ancho y 31 m de largo, 5 aulas de clase enumeradas desde el 19 hasta el 22, una sala de juntas denotada como “SAJUPO” y un cuarto de control destinado al monitoreo de variables para estudios del edificio; el área de las aulas 19 a 22 es de $40 m^2$, la sala de juntas tiene un área de $56 m^2$, el área del salón 23 es de $32 m^2$, el cuarto de control presenta un área de $16 m^2$, siendo el área completa del edificio de $326 m^2$. Los muros están hechos de tabicón con acabados en interiores y exteriores de pintura blanca vinílica, el firme del edificio es de concreto con acabados en piso de cerámica; se cuenta con 15 ventanas, 12 de ellas se encuentran dentro de las aulas, de las cuales 6 están orientadas hacia el sur con dimensiones de 1.90 m de largo por 1.50 m de ancho, las otras 6 hacia el norte con dimensiones de 2.90m de largo por 1.50m de alto; 4 ventanas mas se encuentran dentro de la Sala de juntas, 2 orientadas hacia el norte y dos hacia el sur de las dimensiones mencionadas; la ventana restante está ubicada hacia el oeste y se encuentra dentro del cuarto de control. En cuanto a iluminación el edificio cuenta en total con 33 lámparas, distribuidas 4 en cada aula, 8 en la Sala de juntas y 5 en el pasillo.

En la parte superior del edificio se cuenta con una sistema de riego para la implementación de una azotea verde (El proyecto azotea verde es un proyecto independiente al proyecto desarrollado en esta tesis); además se encuentran instalados también 8 módulos fotovoltaicos, marca Kyocera, modelo KD235GX-LPB, de 235W de potencia cada uno. Dichos módulos se encuentran conectados a un inversor marca SMA modelo Sunny Boy 2000HFUS instalado dentro del cuarto de control que se encuentra ubicado en la parte trasera del edificio, y conforman un sistema solar interconectado a la red eléctrica (Fig. 3.2^a).



Figura 3.2^a Azotea del edificio H.

También se cuenta con una estación meteorológica marca HOBO modelo U30 para el monitoreo de variables meteorológicas útiles para los proyectos desarrollados en este edificio. Fig. 3.2^b.



Figura 3.2^b Estación meteorológica para monitoreo de variables.

Al interior del edificio, dentro del cuarto de control, se encuentran instalados el centro de carga trifásico del edificio, el inversor, accesorios y herramientas, como se muestra en la Fig. 3.2^c.



Figura 3.2^a Cuarto de control del edificio H.

3.1.2 Descripción de las aulas.

Cada aula se encuentra equipada con un proyector de video marca Panasonic modelo PT-LB1VU, una pantalla eléctrica para proyección de 1.52 por 1.52 metros, cinco contactos eléctricos dúplex y un regulador de voltaje, 2 pizarrones blancos de 2.40 metros de largo por 1.25 metros de ancho, puerta de aluminio de 2.12 metros de largo por 1 metro de ancho con acrílico, persianas lisas verticales de PVC, sillas acojinadas ergonómicas, y 6 diferentes tipos de escritorios con acabados en madera y estructura metálica, el aula 21 cuenta con un aire acondicionado de 1.5 ton y la sala de juntas solo tiene un pizarrón blanco de las medidas mencionadas. El número de muebles varía dependiendo del aula, debido a que se tienen 5 tipos diferentes de escritorios que difieren en dimensiones unos con respecto de los otros, tal es el caso que algunas aulas llegan a tener hasta 18 escritorios, mientras que otras llegan a tener solo 5. En las Figs. 3.3^a y 3.3^b se muestra el interior de las aulas de clase, y la sala de juntas; también se aprecia el número de muebles y su acomodo dentro de cada una de estas.



Figura 3.3^a Vista interior de las aulas de clase 19, 20, 21 y 22 del edificio H.



Figura 3.3^b Vista interior de el aula 23, y la Sala de juntas del edificio H.

En las Figs. 3.4^a, 3.4^b, 3.4^c, 3.4^d, 3.4^e, y 3.4^f se muestran la vista real y esquemática de los escritorios existentes dentro de las aulas, en los cuales se puede apreciar su forma y dimensiones, así como también son notables desperfectos en algunos de ellos, pero la mayoría se encuentra en perfecto estado. Los escritorios han sido clasificados en 6 tipos para mejor manejo dentro de este estudio.



Figura 3.4^a Vista real y esquemática del escritorio tipo 1.



Figura 3.4^b Vista real y esquemática del escritorio tipo 2.

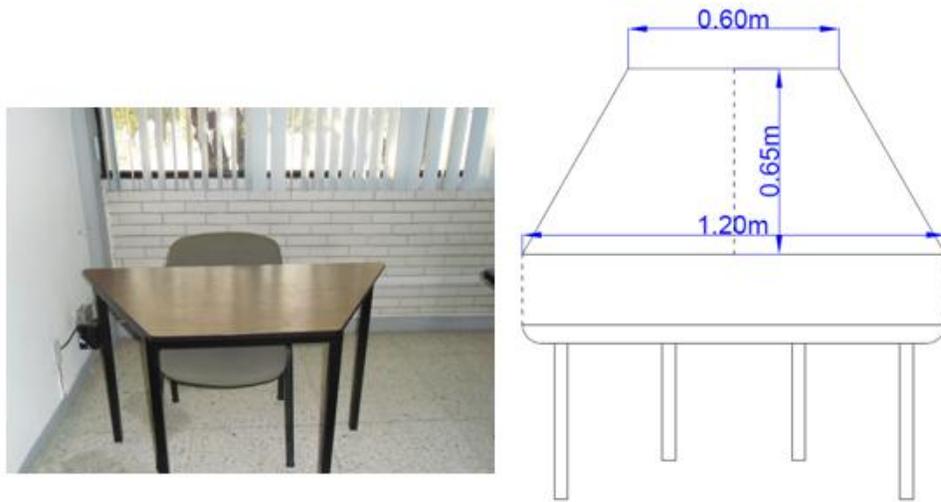


Figura 3.4^c Vista real y esquemática del escritorio tipo 3.

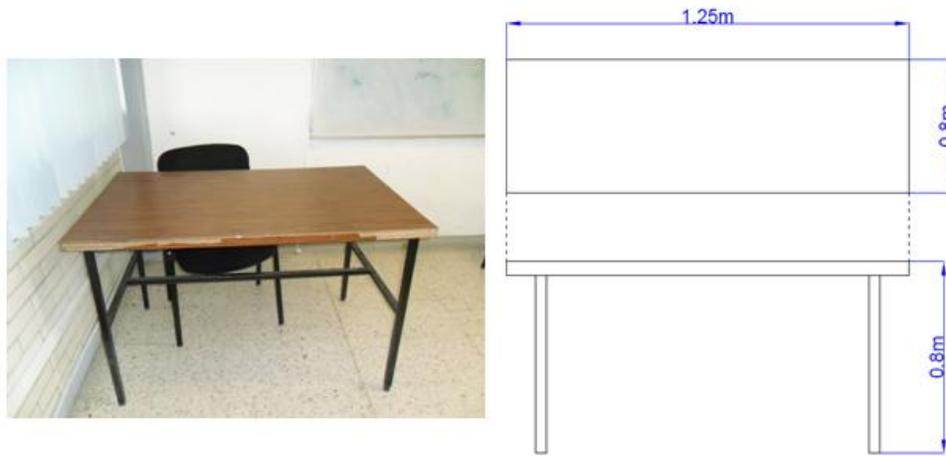


Figura 3.4^d Vista real y esquemática del escritorio tipo 4.



Figura 3.4^e Vista real y esquemática del escritorio tipo 5.



Figura 3.4^f Vista real y esquemática del escritorio tipo 6.

Las aulas enumeradas del 19 al 22 cuentan cada una con cuatro lámparas fluorescentes para iluminación interior, dos ellas con dos tubos T8 de 35 Watts y balastro electromagnético de 2X35 Watts y las dos restantes con dos tubos T8 de 75 Watts y balastro electromagnético de 2X75 Watts. El aula 23 cuenta con 4 lámparas con dos tubos T8 de 75Watts y balastro electromagnético de 2X75 Watts, mientras que la Sala de Juntas cuenta con 8 lámparas, cada una con tubos T5 de 2X32 Watts y un balastro electrónico de 2X32 Watts. Es importante mencionar que el estado actual de las luminarias se encuentra en muy malas condiciones; entre estas destacan la ausencia de protectores de polvo en algunas lámparas, el mal funcionamiento de los tubos (ya que algunos se encuentran fundidos y los que no lo están parpadean constantemente), el ruido generado por algunas luminarias debido al desgaste del balastro y el excesivo consumo de energía que presentan debido a las condiciones en que operan; estas condiciones se observan en las Figs. 3.5^a, 3.5^b, 3.5^c, 3.5^d, y 3.5^e. Por otro lado, en la Fig. 3.5^f se puede observar que al interior de la Sala de juntas se encuentran instaladas luminarias más nuevas y ahorradoras que las de las aulas 19 a 23; estas luminarias se encuentran en perfecto estado y funcionan correctamente.



Figura 3.5^a Luminarias del aula 19.



Figura 3.5^b Luminarias del aula 20.



Figura 3.5^c Luminarias del aula 21.



Figura 3.5^d Luminarias del aula 22.



Figura 3.5^e Luminarias del aula 23.



Figura 3.5^f Luminarias de la Sala de juntas.

3.2 Análisis de iluminación al interior del edificio.

Para realizar un análisis de forma precisa y confiable de la iluminación interior del edificio es importante el uso de herramientas, instrumentos y dispositivos que permitan determinar las condiciones actuales con las que cuenta el inmueble, así como también se requiere la implementación de un método que permita el monitoreo y registro de los índices de iluminación. La adquisición de datos lumínicos se realizará en áreas estratégicas al interior del edificio con el objetivo de determinar si las condiciones de iluminación actuales cumplen con las establecidas en la norma europea UNE-EN 12464-1.

Para este caso, el estudio solo se centra en la medición de iluminancia al interior de las aulas de clase y la sala juntas; la iluminancia (E), en Fotometría, es la cantidad de flujo luminoso emitido por una fuente de luz que incide, atraviesa o emerge de una superficie por unidad de área. Su unidad de medida en el *SI* es el *Lux*, esta variable es la más adecuada para el control del confort visual. La medición de iluminancia se realiza con un instrumento llamado Luxómetro, el cual es capaz de medir simple y rápidamente la iluminancia real; la unidad de medida que utiliza es el *Lux*, este instrumento contiene una célula fotoeléctrica que capta la luz y la convierte en impulsos eléctricos que son interpretados y representados en un display o aguja con la correspondiente escala de luxes.

Para este experimento se utilizó un Luxómetro manual digital registrador para servicio pesado con interfaz para PC marca EXTECH modelo HD450. El Luxómetro HD450 mide iluminancia en Lux y en Bujías pie (Fc). Este instrumento es un registrador de datos e incluye una conexión para PC y software compatible con Windows para descarga de datos, puede guardar 16000 lecturas en el medidor para descargar a una PC o guardar y ver 99 lecturas directamente en la pantalla LCD del medidor. En la Fig. 3.6^a se ilustra una fotografía del HD450, las características del instrumento son mostradas en las tablas 3.1, 3.2, y 3.3, así como en las Figs. 3.6^b y 3.6^c.



Figura 3.6^a Luxómetro digital registrador (EXTECH, 2011).

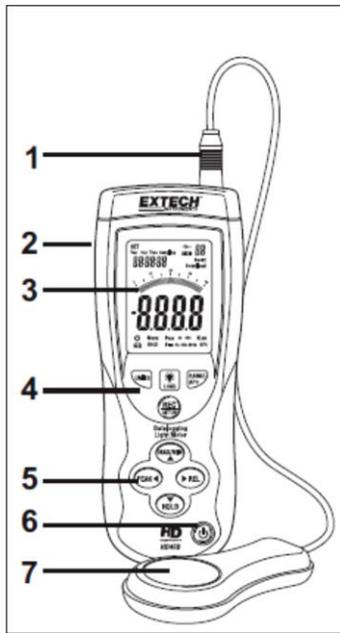


Figura 3.6^b Medidor HD450 (EXTECH, 2011).

Tabla 3.1 Descripción del medidor (EXTECH, 2011).

1. Enchufe del cable sensor
2. Conexión usb para PC (bajo tapa plegadiza)
3. Pantalla LCD
4. Juego de botones con función alta
5. Juego de botones con función baja
6. Botón de encendido y apagado
7. Sensor de Luz

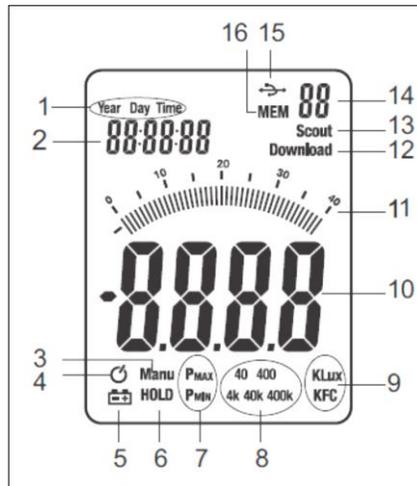


Figura 3.6^c Pantalla del medidor HD450 (EXTECH, 2011).

Tabla 3.2 Descripción de la pantalla

1. Modos de configuración del reloj
2. Pantalla del reloj
3. Icono de modo relativo
4. Icono de apagado automático
5. Icono de batería débil
6. Icono de retención de datos
7. Modos de retención de picos
8. Indicadores de escala
9. Unidad de medida
10. Pantalla digital
11. Gráfica de barras pantalla
12. Icono descargar datos a PC
13. Conexión serial a PC activa
14. Número de dirección de memoria
15. Icono de conexión USB a PC
16. Icono de memoria

Tabla 3.3 Resolución y precisión del medidor HD450 con respecto a escalas en Luxes
(EXTECH, 2011).

Unidades	Escala	Resolución	Precisión
LUX	400.0	0.1	\pm (5% de lectura + 10 dígitos)
	4000	1k	
	40.00K	0.01	\pm (10% de lectura + 10 dígitos)
	400.0K	0.1K	

El medidor HD450 puede ser conectado a una PC a través de su interfaz USB, el software permite al usuario:

- Transferir memorias previamente guardadas en la memoria interna del medidor a una PC.
- Ver, trazar, analizar, guardar e imprimir los datos de lecturas.
- Control remoto a través del medidor a través de los botones virtuales de software.
- Registro de lecturas en tiempo real.

En la Fig. 3.7 se muestra la ventana del software para análisis de datos del Luxómetro HD450, en la parte derecha de la ventana se observa la imagen del luxómetro

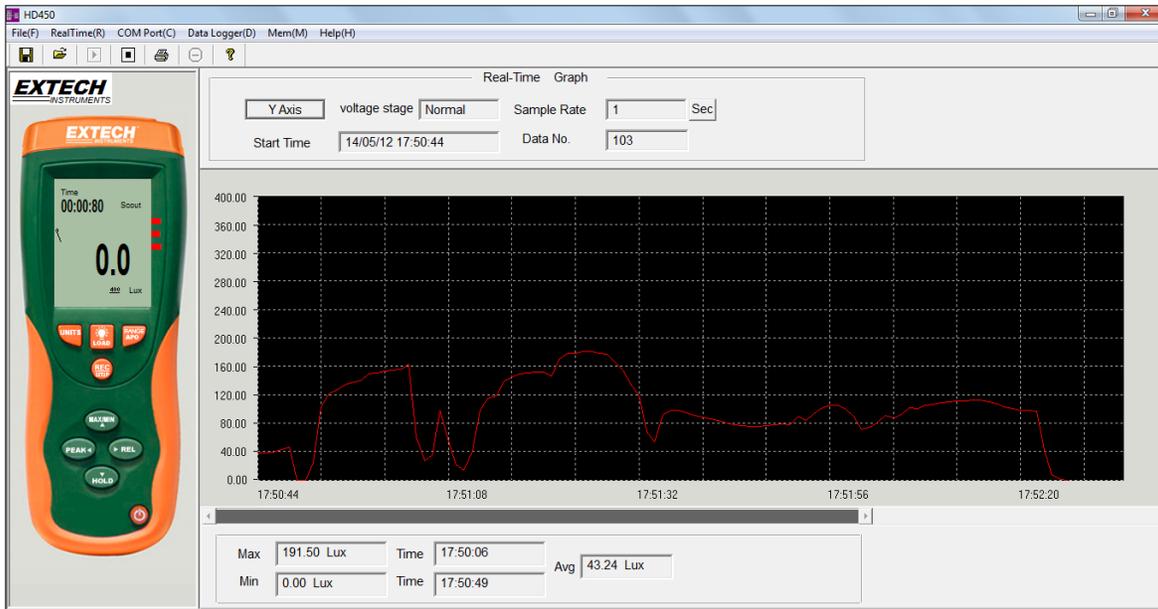


Figura 3.7 Software para manejo de datos.

3.2.1 Selección de zonas y estrategia para monitoreo.

Las zonas de monitoreo de este estudio están conformadas por las aulas 19, 20, 21, 22, 23, y la Sala de juntas del edificio H. Las áreas de interés son aquellas donde se encuentran ubicados los muebles del aula, por ser estos lugares donde se necesita una buena iluminación para el desarrollo óptimo de actividades. Cada medición incluye como puntos de referencia los escritorios para alumnos, el escritorio del maestro y los pizarrones. Los monitoreos de iluminancia se llevaron a cabo de forma manual registrando el valor de esta al centro del área de trabajo de cada mueble, debido a que este es el lugar de uso frecuente por el usuario y donde se debe concentrar la mayor cantidad de iluminación, si este lugar se encuentra bien iluminado los alrededores a este punto lo estarán también; debido a que el área de los escritorios existentes en el edificio es relativamente pequeña (aproximadamente $1 m^2$ en promedio) las aéreas cercanas al centro no presentan variación significativa en cuanto a valores de iluminación se refiere (8 Luxes por la mañana y 4 Luxes por la tarde en promedio), el caso es similar para los pizarrones.

3.2.2 Primer monitoreo lumínico al interior de las aulas de clase.

El primer monitoreo se llevó a cabo el día domingo 08 de Abril del año 2012, las mediciones fueron realizadas con puertas y persianas cerradas, por ser estas las condiciones en que se imparten clases en las aulas comúnmente. Cada medición incluyó dos tomas de lecturas de las áreas de interés, una con luces apagadas y otra con luces encendidas; ambas lecturas fueron realizadas en intervalos de una hora con un horario de monitoreo de 7am a 8 pm, el propósito fue conocer los valores de iluminancia desde que sale el sol y hasta que se oculta, y observar si existe un cambio significativo de estos valores en las áreas de trabajo a lo largo del día. En las Figs. 3.9^a, 3.9^b, 3.9^c, 3.9^d, 3.9^e, y 3.9^f se observan los diagramas esquemáticos de las aulas de clase y la Sala de juntas así como su simbología correspondiente (Fig. 3.8); en estas figuras se puede apreciar el acomodo de los muebles, con qué tipo de escritorios cuenta cada aula, la distribución de estos al interior de cada una y la zona de referencia para la toma de lecturas de la primera medición.

	REFERENCIA PARA MEDICION
	VENTANA
	PIZARRON
	ESCRITORIO TIPO 1
	ESCRITORIO TIPO 2
	ESCRITORIO TIPO 3
	ESCRITORIO TIPO 4
	ESCRITORIO TIPO 5
	ESCRITORIO TIPO 6

Figura 3.8: Simbología de los diagramas esquemáticos.

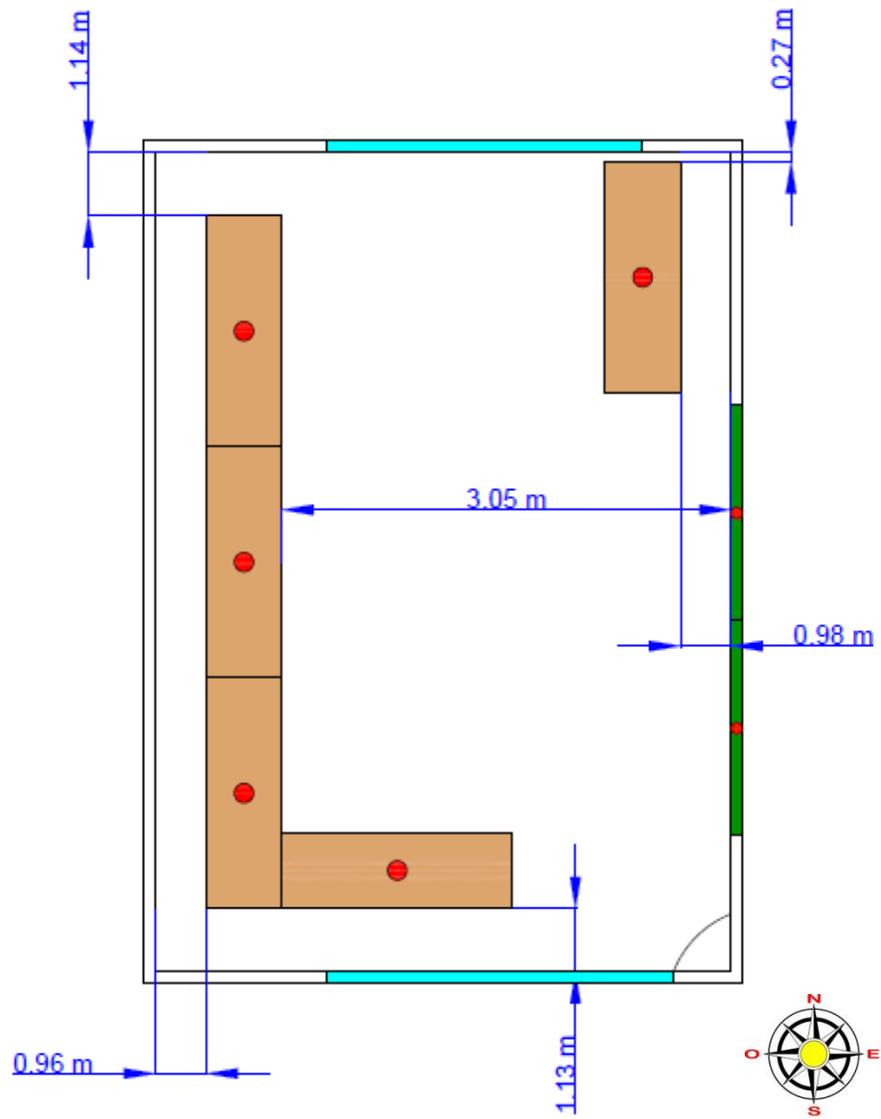


Figura 3.9^a Diagrama esquemático de el aula 19, 1^a medición.

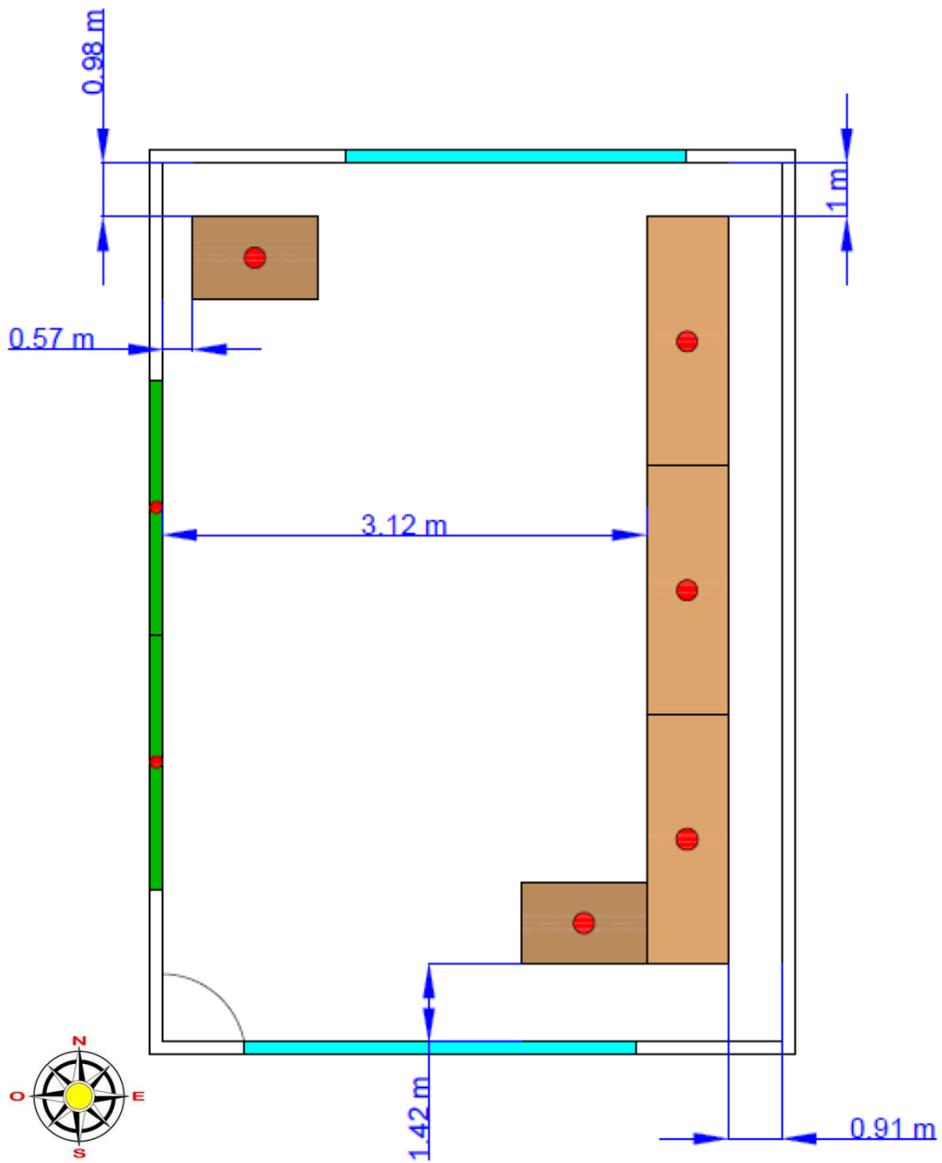


Figura 3.9^b Diagrama esquemático de el aula 20, 1^a medición.

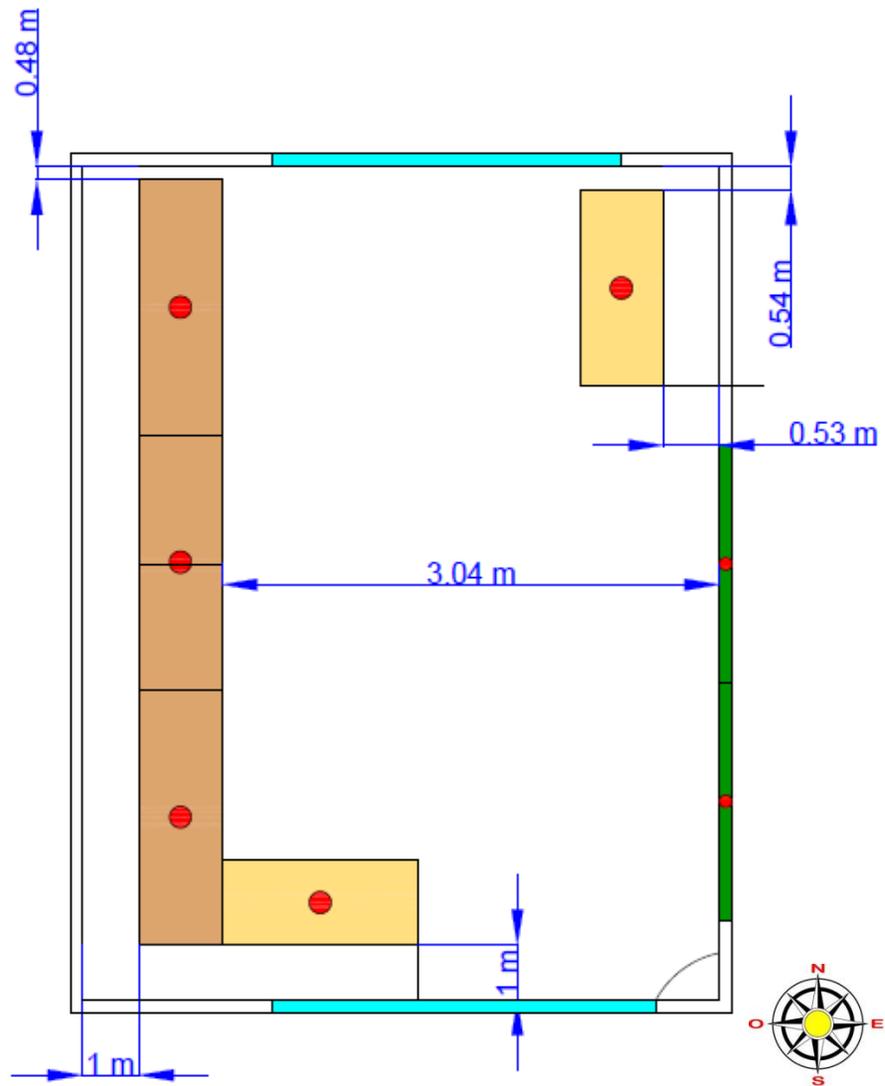


Figura 3.9^c Diagrama esquemático de el aula 21, 1^a medición.

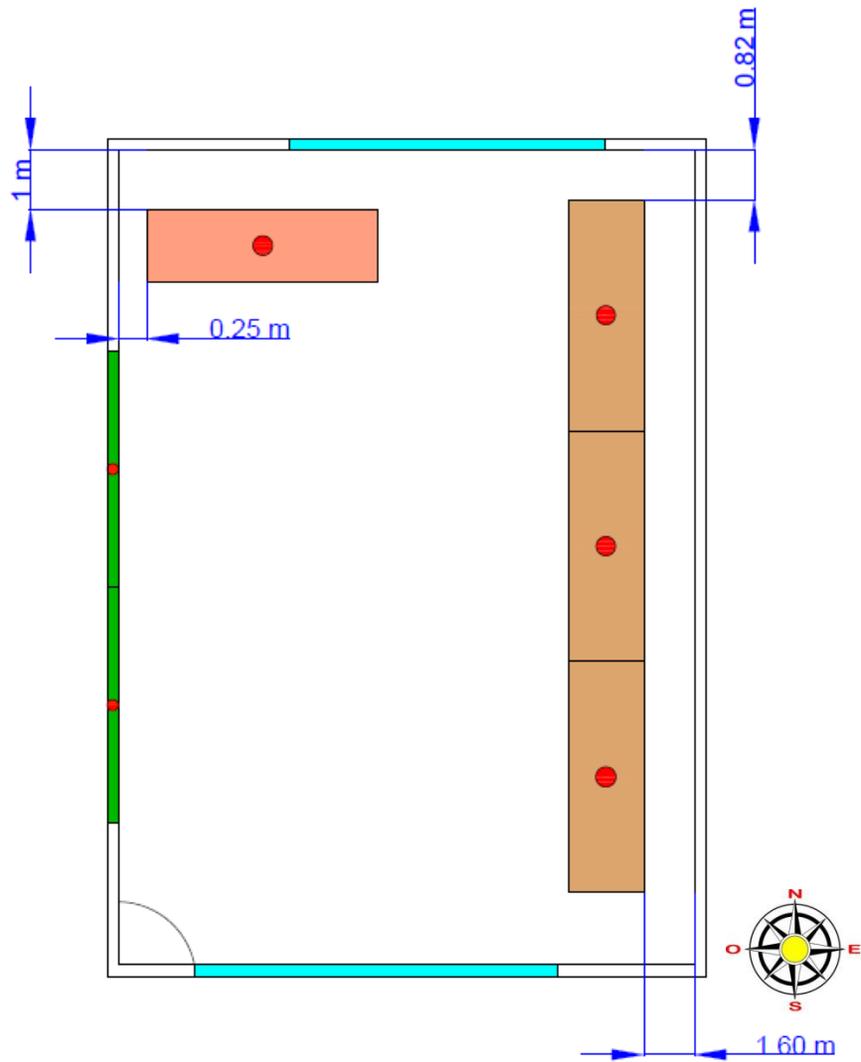


Figura 3.9^d Diagrama esquemático de el aula 22, 1^a medición.

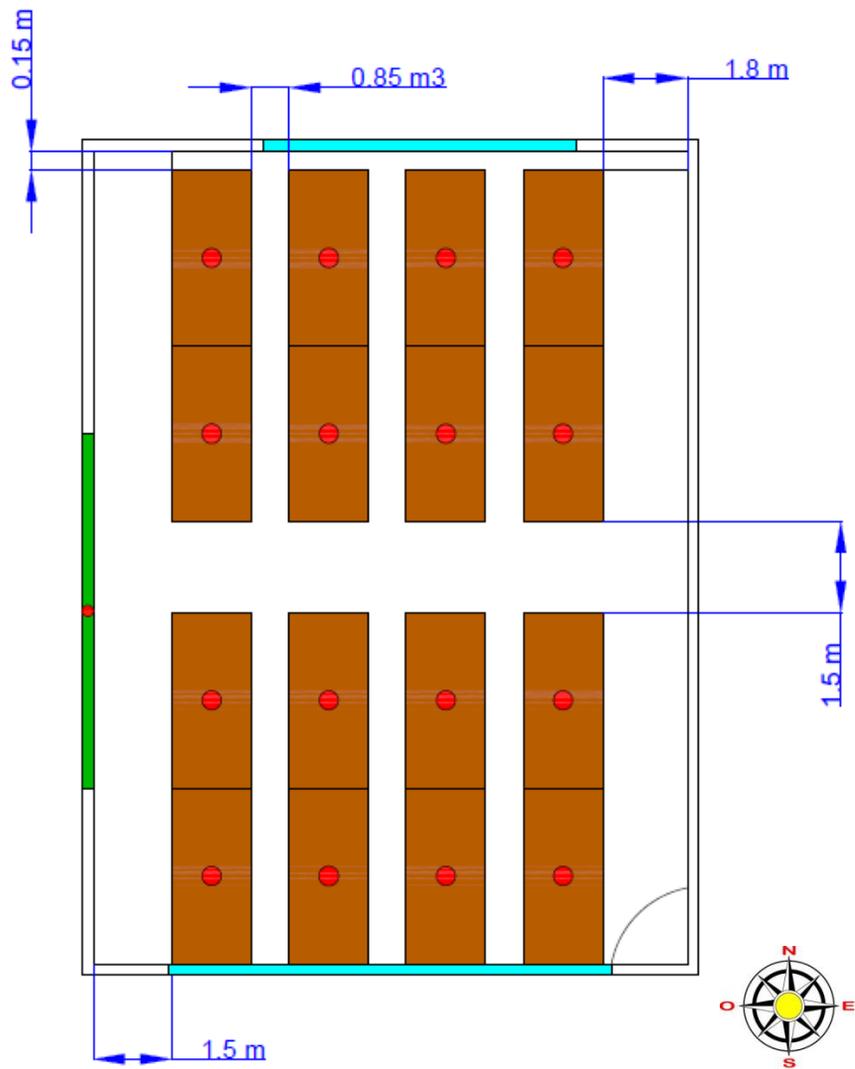


Figura: 3.9^e Diagrama esquemático de la Sala de Juntas, 1^a medición.

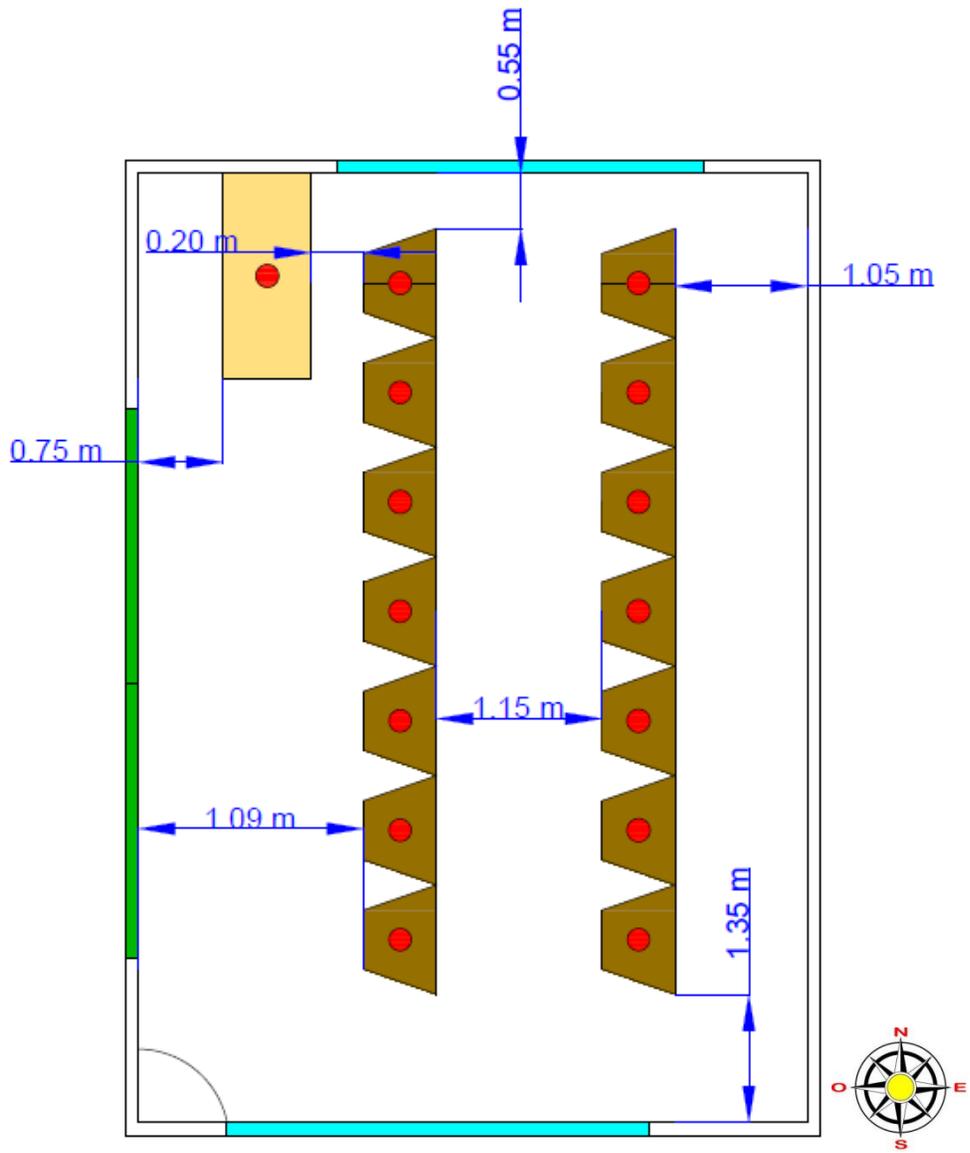


Figura: 3.9^f Diagrama esquemático de el aula 23, 1^a medición.

3.3 Generación y consumo de energía.

El edificio H está equipado con un sistema fotovoltaico para generación de energía, este sistema se encuentra interconectado a la red eléctrica y está diseñado para abastecer un consumo promedio diario de 10.91 kWh (332.76 kWh/mensual promedio). La energía generada por el sistema fotovoltaico es suministrada para el consumo del edificio; gracias a este sistema se dejan de emitir a la atmosfera por año 3.1 ton de CO₂ (equivale a 54 árboles) la Fig. 3.9 se muestra el esquema de instalación del sistema.

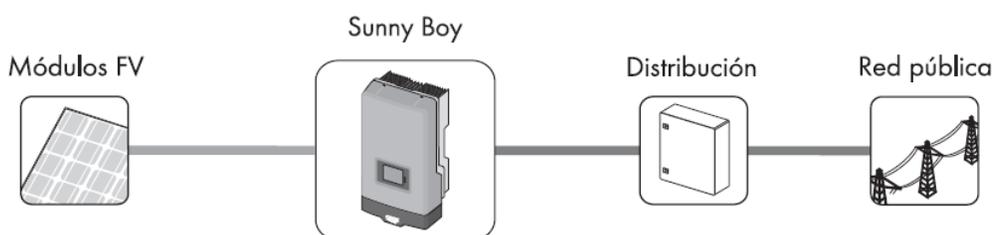


Figura 3.10 Esquema de instalación del sistema fotovoltaico (SMA, 2011).

El kit fotovoltaico para interconexión a la red de CFE incluye:

- Módulos fotovoltaicos

Se cuenta con 8 módulos fotovoltaicos policristalinos, marca Kyocera, modelo KD235GX-LPB, de 235 W de potencia cada uno, y una estructura de aluminio anodizado temple 6 para sujeción de los 8 módulos. En la Fig. 3.11 se muestran los 8 módulos fotovoltaicos instalados en un área de 15.5 m² con un ángulo de inclinación de 30° hacia el sur en la azotea del edificio H; en conjunto son capaces de generar 10.91 Kw promedio diario, evitando así lanzar a la atmósfera 3.1 toneladas de CO₂ al año, equivalentes a 54 árboles.



Figura 3.11 Módulos fotovoltaicos para generación de energía.

- Inversor fotovoltaico

El inversor fotovoltaico es un modelo Sunny Boy 2000HFUS marca SMA (Fig. 3.12), este inversor transforma la corriente continua del generador fotovoltaico en corriente apta para la red y la inyecta a la red eléctrica pública.

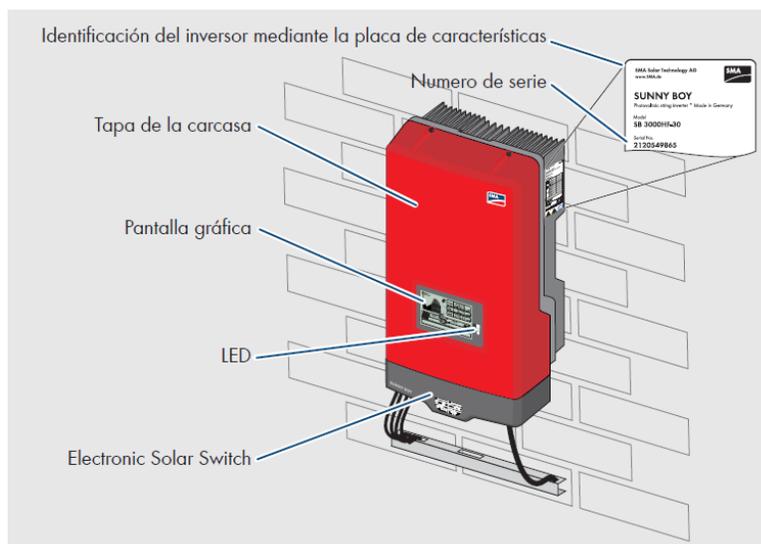


Figura 3.12 Inversor Fotovoltaico Sunny Boy 2000HFUS (SMA, 2011).

El inversor Sunny Boy 2000HFUS cuenta con una memoria interna para el almacenamiento de datos de la energía generada por el sistema fotovoltaico; el inversor es capaz de almacenar la energía generada a lo largo del día durante 63 días con valores medios en intervalos de 5 minutos, y la energía total diaria con valores finales diarios durante 30 años. Para la comunicación con otros equipos el inversor Sunny Boy se encuentra equipado con un radiotransmisor estándar Bluetooth con un alcance de 50 metros en campo abierto y aproximadamente 10 metros con obstáculos.



Figura 3.13: Inversor Fotovoltaico instalado en el cuarto de control del edificio H.

Como se puede apreciar en la Fig. 3.13 el inversor Sunny Boy fue instalado en el cuarto de control del edificio H, su función es transformar la corriente proveniente de los módulos fotovoltaicos a corriente alterna para uso del edificio. En la tabla 3.4 se muestran las características eléctricas y de potencia a la entrada y salida del inversor Sunny Boy 2000HFUS.

Tabla 3.4 Datos técnicos del inversor fotovoltaico Sunny Boy (SMA, 2011).

Datos técnicos	Sunny Boy 2000HFUS
Entrada (CC)	
Potencia máxima de CC (con $\cos \varphi = 1$)	2100 W
Tensión max. de CC	700 V
Rango de tensión MPP	175 V-560 V
Tensión nominal de CC	530 V
Tensión de CC mín./tensión inicial	175 V/220 V
Corriente max. de entrada/ por String	12 A/12 A
Salida(CA)	
Potencia nominal de CA (a 230 V,50Hz)	2000 W
Potencia aparente de CA máxima	2000 VA
Tensión nominal de CA; rango	220, 230, 240 V; 180-280 V
Frecuencia de red de CA; rango	50, 60 Hz \pm 4.5 Hz
Corriente máx. de salida	11.4 A
Factor de potencia ($\cos \varphi$)	1
Fases de inyección/fases de conexión	1/1

3.3.1 Monitoreo de generación de energía.

Para el monitoreo de la energía generada por el sistema fotovoltaico descrito con anterioridad se hizo uso del software Sunny Explorer, esta herramienta es un software gratuito proporcionado por la compañía SMA Solar Technology; este software es de fácil instalación y compatible con la mayoría de los sistemas operativos. El Sunny Explorer permite visualizar y administrar todos los datos del sistema fotovoltaico almacenados en la memoria del inversor Sunny Boy, y se puede comunicar fácilmente con otros equipos mediante Bluetooth.

En la Fig. 3.14 se muestra la interfaz de usuario del Sunny Explorer, la interfaz permite acceder rápidamente a toda la información importante de la unidad fotovoltaica y de los equipos conectados a esta; en la tabla 3.5 son descritos uno a uno los componentes de la interfaz de usuario.

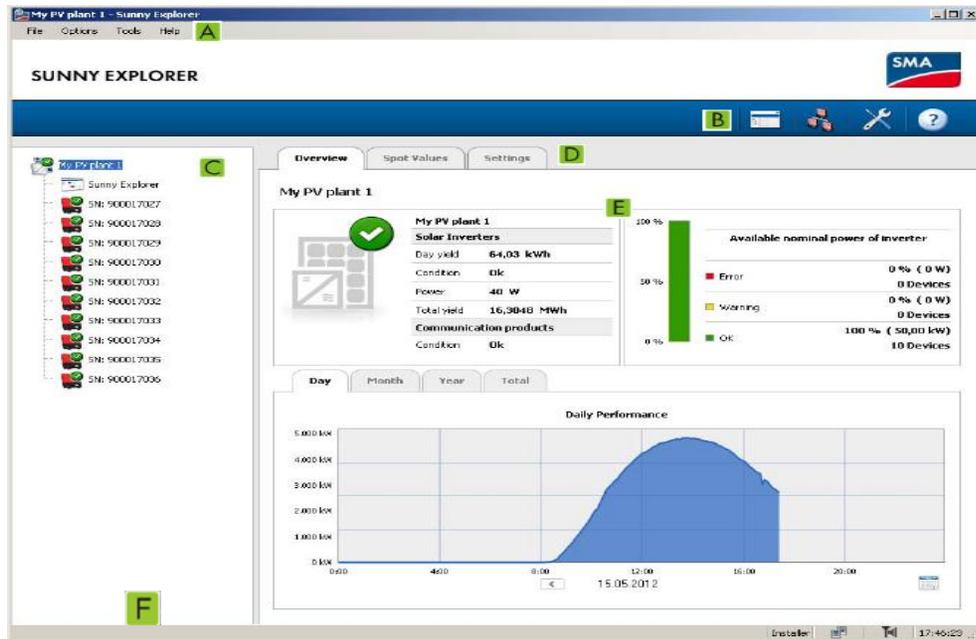


Figura 3.14 Interfaz de Usuario del software Sunny Explorer (SMA, 2004).

Tabla 3.5 Componentes de la interfaz de usuario del Sunny explorer (SMA, 2004).

Posición	Denominación	Significado
A	Barra de menús	Control de las funciones básicas.
B	Barra de símbolos	Permite acceder de manera rápida a las funciones principales.
C	Estructura de la instalación	Aparecen todos los equipos de una instalación FV representados en una estructura de árbol.
D	Menú de equipos	Permite consultar información y configurar los equipos seleccionados en la estructura de la instalación.
E	Campo de contenidos	Se muestra el propio contenido, el contenido se determina a través del menú de equipos.
F	Barra de estado	Comunica el estado actual del software.

3.3.2 Monitoreo del consumo de energía

Este monitoreo consistió en medir cuanta cantidad de energía (Kwh) consume el edificio H de la red eléctrica, de esta manera se puede determinar qué porcentaje de energía se compra y que porcentaje se genera. Para llevarlo a cabo se usó un analizador trifásico de la calidad de energía eléctrica, marca FLUKE, modelo 434 (Fig. 3.15). El FLUKE 434 posee diferentes opciones para distintas mediciones, entre las que destacan: Fluctuaciones, Armónicos, Parpadeo (Flicker) de tensión, Desequilibrio, Transitorios, Corrientes de arranque, Potencia y energía. Posee también una memoria interna capaz de almacenar copias de la pantalla visualizada, con un máximo de 50 capturas, y conjunto de datos completos de la medida en curso, con un máximo de 10 conjuntos.



Figura 3.15 Analizador trifásico de la calidad de la energía eléctrica FLUKE 434 (FLUKE, 2011).

La medición del consumo de energía del edificio H se realizó con el FLUKE 434 en el modo Potencia y energía, en este modo el FLUKE 434 puede medir la cantidad de energía consumida en watts- hora (Wh), Volts-Amperes-hora (VAh), Volts-Amperes reactivos-hora (VARh) y el factor de potencia (FP) en distintos rangos dependiendo del valor de la tensión, estos rangos se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Rangos en Wh, VAh, VARh del analizador (FLUKE, 2011).

	V*1	V*10	V*100	V*1000
0.1 mV/A	000,0 kWh ... 200,0 GWh	0,000 MWh ... 2,000 TWh	00,00 MWh ... 20,00 TWh	000,0 MWh ... 200,0 TWh
1 mV/A	00,00 kWh ... 20,0 GWh	000,0 kWh ... 200,0 GWh	0,000 MWh ... 2,000 TWh	00,00 MWh ... 20,00 TWh
10 mV/A	0,00 kWh ... 2,000 GWh	00,00 kWh ... 20,0 GWh	000,0 kWh ... 200,0 GWh	0,000 MWh ... 2,000 TWh
100 mV/A	000,0 Wh ... 200,0 MWh	0,00 kWh ... 2,000 GWh	00,00 kWh ... 20,0 GWh	000,0 kWh ... 200,0 GWh
1 mV/A	00,00 Whr ... 200,0 kWh	000,0 Wh ... 200,0 MWh	0,00 kWh ... 2,000 GWh	00,00 kWh ... 20,0 GWh

En la Fig. 3.16 se muestra la forma en que se conectó el analizador para la medición de energía; primero se colocaron las pinzas amperimétricas alrededor de los conductores de fase A (L1), B (L2), C (L3) y N (neutro). Las pinzas están marcadas con una flecha que indica la polaridad de señal correcta.

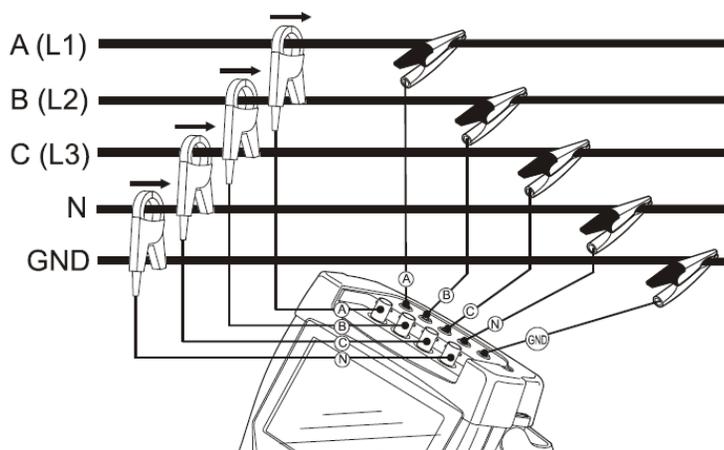


Figura 3.16 Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico (FLUKE, 2011).

Posteriormente se llevaron a cabo las conexiones de tensión, comenzando por la toma de tierra luego con el N (neutro), A (L1), B (L2), C (L3) sucesivamente; es necesario comprobar siempre dos veces las conexiones, así como también asegurarse de que las pinzas amperimétricas estén firmemente conectadas y completamente cerradas alrededor de los conductores.

En la Fig. 3.17 se muestra el FLUKE 434 conectado en el tablero de distribución eléctrica del edificio H ubicado en el cuarto de control, de esta manera se estuvo monitoreando el consumo de energía del edificio 24 horas durante la primera mitad del año 2012.



Figura 3.17: Conexión del analizador FLUKE 434 al tablero de distribución eléctrica del edificio H.

CAPÍTULO IV.

4. RESULTADOS.

La metodología utilizada para la adquisición de datos de iluminación fue especificada en el capítulo III donde se describe la forma, método y características del monitoreo de una forma más detallada.

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de los experimentos correspondientes a índices de iluminación, generación y consumo de energía; los cuales fueron fundamentales para conocer el estado de las luminarias al interior de las aulas según la norma UNE-EN 64124-1, el ahorro generado por el sistema fotovoltaico, así como también el panorama de consumo de energía eléctrica actual del edificio.

4.1 Registro de los índices de iluminación al interior de las aulas, primer monitoreo.

La distribución de iluminancia al interior de un edificio, constituye una característica del área de trabajo, en el caso de las aulas educativas, las mesas de trabajo y sus alrededores son el lugar donde las personas concentran mayormente la atención visual. Considerando esto, la adquisición de datos solo está tomada con relación a los puntos de la superficie del área de trabajo.

Considerando lo establecido en el capítulo II, la norma UNE-EN 12464-1 establece que el rango requerido del nivel de iluminación óptimo para interiores de aulas educativas se encuentra entre 200 y 500 lux constantes a lo largo del día para evitar los efectos negativos de una mala iluminación. Las Tablas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 muestran los resultados obtenidos durante el primer monitoreo en las aulas de clase del edificio H, cada tabla muestra los promedios en Lux de los valores de iluminancia obtenidos en las horas de muestreo.

Tabla 4.1 Índices de iluminación del aula 19.

Hora de registro	Promedio en Lux (luces apagadas)	Promedio en lux (luces encendidas)
07 am	0	118.22
08 am	1.95	103.37
09 am	1.85	102.14
10 am	13.57	114.01
11 am	16.37	119.14
12 am	20.88	126.75
01 pm	68.62	183.55
02 pm	61.02	175.17
03 pm	49.57	162.37
04 pm	42.97	162.75
05 pm	45.18	179.60
06 pm	44.47	172.68
07 pm	26.38	147.37
08 pm	0	124.25

Tabla 4.2 Índices de iluminación del aula 20.

Hora de registro	Promedio en Lux (luces apagadas)	Promedio en lux (luces encendidas)
07 am	0	115.98
08 am	2.03	113.43
09 am	1.75	105.50
10 am	21.36	132.73
11 am	42.18	153.63
12 am	44.13	152.96
01 pm	35.57	149.87
02 pm	30.81	141.87
03 pm	24.21	132.72
04 pm	21.05	128.60
05 pm	18.01	131.18
06 pm	14.82	151.55
07 pm	9.21	120.67
08 pm	0	112.33

Tabla 4.3 Índices de iluminación del aula 21.

Hora de registro	Promedio en Lux (luces apagadas)	Promedio en lux (luces encendidas)
07 am	0	154.78
08 am	32.55	161.90
09 am	157.14	289.75
10 am	253.71	365.71
11 am	339.85	442.00
12 am	308.71	414.71
01 pm	233.42	371.14
02 pm	205.00	335.85
03 pm	151.28	313.00
04 pm	151.44	291.85
05 pm	121.62	277.00
06 pm	99.35	254.28
07 pm	54.67	221.40
08 pm	0	164.97

Tabla 4.4 Índices de iluminación del aula 22.

Hora de registro	Promedio en Lux (luces apagadas)	Promedio en lux (luces encendidas)
07 am	0	144.00
08 am	15.53	158.71
09 am	95.33	230.16
10 am	131.96	255.16
11 am	154.95	282.91
12 am	130.33	260.66
01 pm	101.16	248.66
02 pm	91.83	230.50
03 pm	55.76	199.13
04 pm	41.16	186.16
05 pm	49.46	195.58
06 pm	34.33	186.00
07 pm	38.80	174.80
08 pm	0	145.68

Tabla 4.5 Índices de iluminación de la sala de juntas.

Hora de registro	Promedio en Lux (luces apagadas)	Promedio en lux (luces encendidas)
07 am	0	120.79
08 am	23.52	143.57
09 am	121.05	241.35
10 am	158.41	277.05
11 am	179.00	249.23
12 am	152.76	271.64
01 pm	107.82	231.58
02 pm	170.25	223.26
03 pm	71.98	202.37
04 pm	73.01	199.25
05 pm	68.59	186.52
06 pm	46.23	157.17
07 pm	69.92	159.31
08 pm	0	117.05

Tabla 4.6 Índices de iluminación del aula 23.

Hora de registro	Promedio en Lux (luces apagadas)	Promedio en lux (luces encendidas)
07 am	0	169.16
08 am	41.40	190.24
09 am	111.00	249.94
10 am	78.52	229.41
11 am	120.76	282.52
12 am	130.59	295.82
01 pm	96.05	244.88
02 pm	79.30	230.62
03 pm	63.74	225.78
04 pm	59.12	223.78
05 pm	51.63	217.12
06 pm	27.70	192.23
07 pm	10.15	169.61
08 pm	0	165.72

Conforme a los resultados obtenidos del primer monitoreo y como se muestra en la Fig. 4.1, el valor promedio de iluminancia de las aulas de clase y la sala de juntas del edificio H con luces encendidas fue aproximadamente de 198 lux, con un valor máximo y mínimo de 255 y 129 lux; por lo cual es apreciable que las aulas carecen de una iluminación eficiente que ofrezca confort lumínico a los usuarios, pues su valor de iluminancia promedio y bajo se encuentran por debajo de mínimo requerido por la norma, y su valor máximo apenas supera los 250 lux.

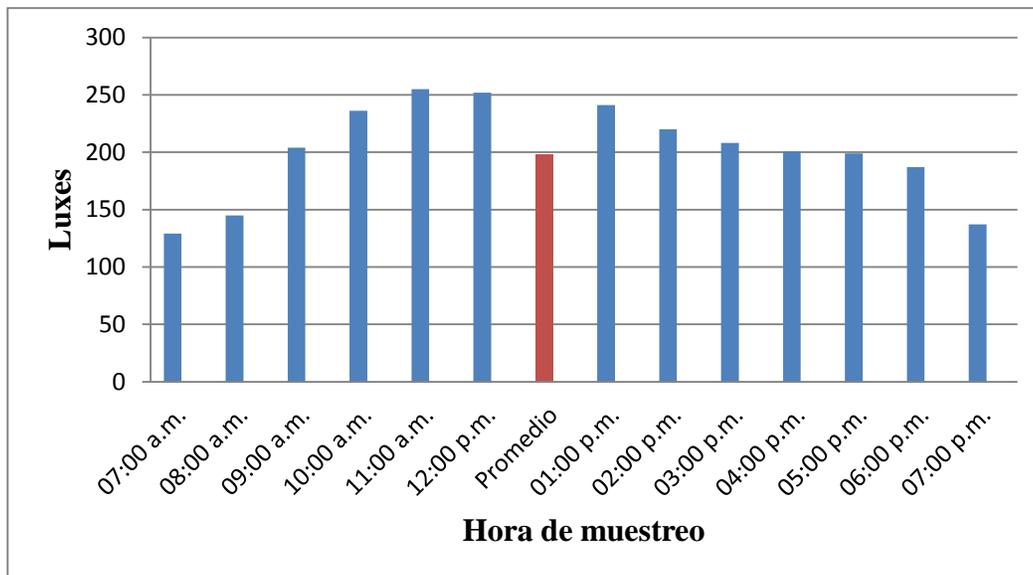


Figura 4.1 Valores de iluminancia en las horas de muestreo con luces encendidas de las aulas de clase y la sala de juntas del edificio H, 1^{er} monitoreo.

Conforme a lo anterior se determinó que las luminarias existentes en las aulas de clase y la sala de juntas no cumplen con los requerimientos de la Norma, y por lo tanto no son apropiadas para la salud de los usuarios; para solucionar este problema se procedió al remplazo de luminarias en aula 21 como área de prueba. Las nuevas luminarias son un modelo OF1013B marca Construlita (Fig. 4.2); estas luminarias están equipadas con balastro electrónico de 3X32 watts y tres tubos T5 de 32watts que pueden proporcionar 400 luxes en promedio; una base metálica de acero formado con dimensiones de 53.6 cm de ancho por 122 cm de largo y 8.2 cm de alto, y un louver en aluminio semiespecular.

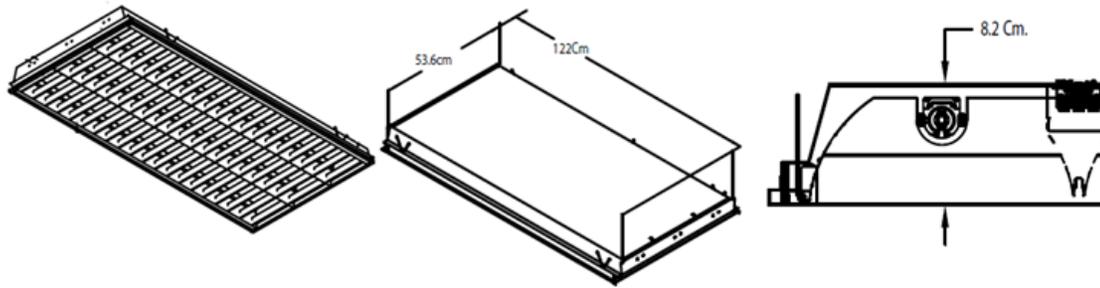


Figura 4.2 Esquemático de luminarias modelo OF1013B marca Construlita.

Debido a que el aula 21 tiene dimensiones iguales a la mayoría de las aulas, se eligió esta como área de pruebas para realizar un segundo monitoreo y determinar la cantidad de iluminancia en las áreas de interés, para ello fueron instaladas cuatro luminarias de las descritas anteriormente en lugares estratégicos del aula como se muestra en la Fig. 4.3.



Figura 4.3 Luminarias instaladas en el aula 21.

A la par de la instalación de las luminarias en el aula 21, la dirección de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería reemplazó todas las luminarias existentes en las aulas 19, 20, 22, y 23; las nuevas luminarias son un modelo MAGG equipadas con dos tubos T5 de 28 watts y un balastro electrónico de 2X28 watts tal como se muestra en la Fig. 4.4.



Figura 4.4: Luminarias instaladas en las aulas 19, 20, 22, y 23.

Posteriormente las persianas de las aulas y la sala de juntas fueron reemplazadas por películas de vinil para permitir la entrada de más luz solar y mejorar la iluminación interior a lo largo del día, como se muestra en la Fig. 4.5.



Figura 4.5: Ventanas de las aulas del edificio H revestidas con películas de vinil.

4.2 Segundo monitoreo lumínico al interior de las aulas de clase.

Actualmente el acomodo de los escritorios dentro de las aulas de clases es informal y poco ergonómico, no se respeta el área de trabajo personal que cada usuario debe tener en un escritorio ni la distribución simétrica de espacios dentro del aula que permita mantener un confort ergonómico, el problema llega al grado de que en la mayoría de las veces llegan a ocupar dos o tres alumnos un solo escritorio, esto es debido a que no se tiene estandarizado un tipo de escritorios para las aulas y en lugar de ello se utilizan escritorios de diversas formas y medidas. Para solucionar este problema se hizo un reacomodo ergonómico de los muebles dentro de los salones de clases para el segundo monitoreo lumínico, con ello se estableció una simetría de los espacios en que los escritorios estaban ubicados, de tal manera que cada usuario tuviera un área de trabajo propia y que la cantidad de personas dentro del aula fuese la correspondiente al número de escritorios al interior de esta.

Como se muestra en las Figs. 4.6^a y 4.6^b, el reacomodo se hizo utilizando los escritorios existentes, pues no existía la posibilidad de deshacerse de ellos y destinar un recurso económico a la estandarización de muebles para las aulas de clase de este edificio.



Figura 4.6^a Reacomodo de escritorios en el aula 23.



Figura 4.6^b Reacomodo de escritorios en las aulas 19, 20, 21 y 22.

El objetivo del segundo monitoreo lumínico fue conocer los niveles de iluminación existentes en las condiciones ideales de operación de las aulas de clase, además del aula 21 también se incluyeron las aulas 19, 20, 22, y 23 para determinar si las luminarias actuales eran competentes y cumplían con las condiciones de iluminación establecidas en la norma europea UNE-EN 64124-1. Debido a que las luminarias de la Sala de juntas no se modificaron, esta fue excluida del segundo experimento. El monitoreo se llevó a cabo el día Domingo 27 de agosto del año 2012, cada medición incluyó dos tomas de lecturas de las áreas de interés, una con luces apagadas y otra con luces encendidas; ambas tomas de lecturas fueron realizadas en intervalos de una hora con un horario de monitoreo de 7am a 8 pm a puerta cerrada.

En las Figs. 4.7^a, 4.7^b, 4.7^c, 4.7^d, 4.7^e, y 4.7^f se observan los diagramas esquemáticos de las aulas de clase incluidas en el segundo monitoreo, en estas figuras se puede apreciar el reacomodo de los muebles, con qué tipo de escritorios cuenta cada aula, la distribución de estos al interior de cada una y la zona de referencia para la toma de lecturas.

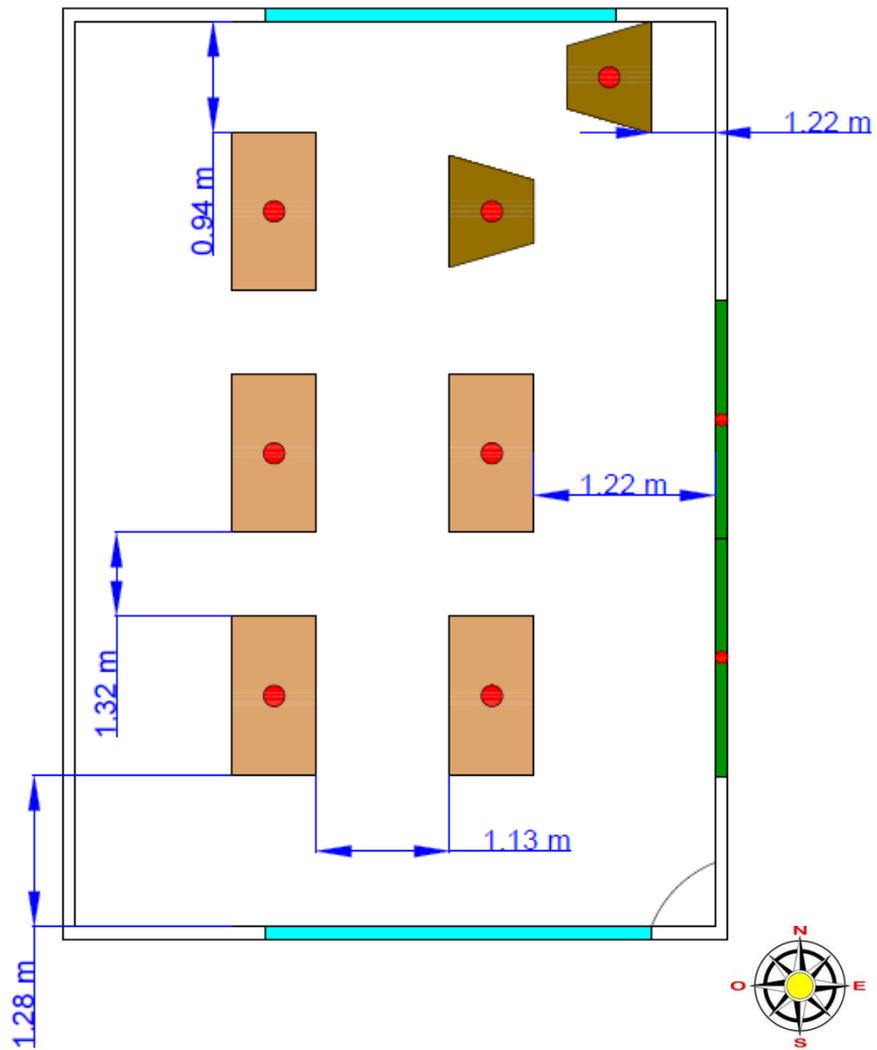


Figura: 4.7^a Diagrama esquemático de el aula 19 2^{da} medición.

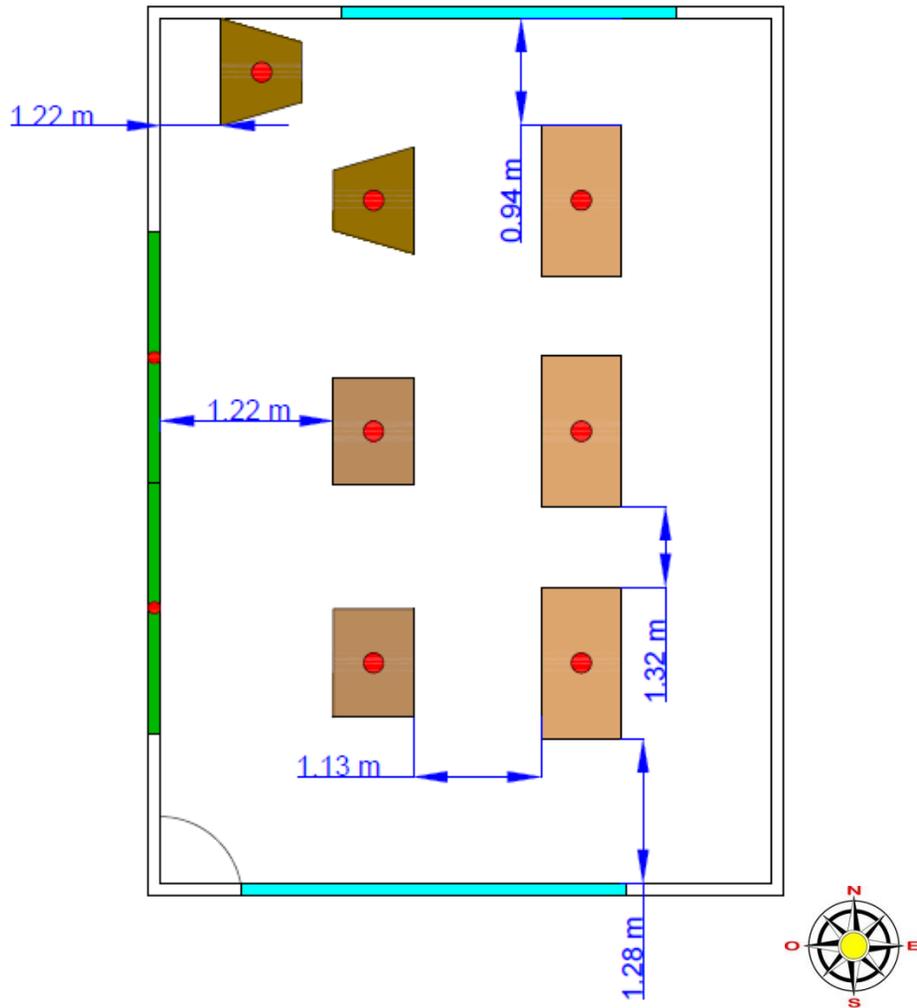


Figura: 4.7^b Diagrama esquemático de el aula 20 2^{da} medición.

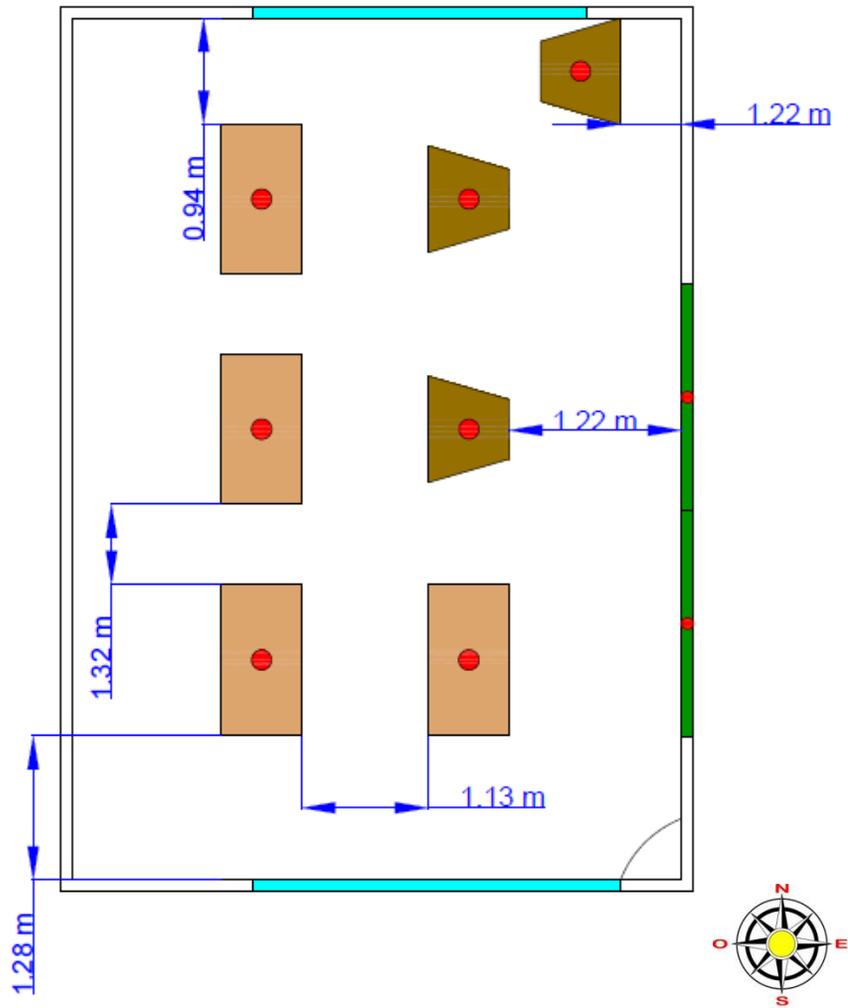


Figura: 4.7^c Diagrama esquemático de el aula 21 2^{da} medición.

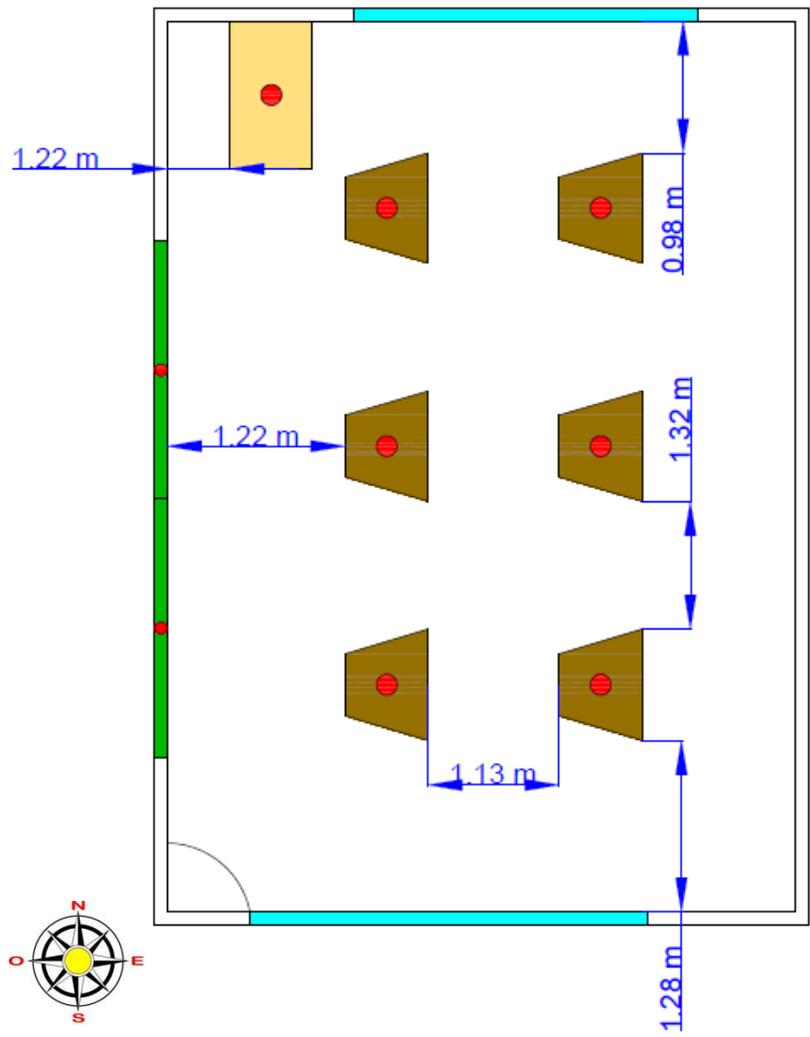


Figura: 4.7^e Diagrama esquemático de el aula 23 2^{da} medición.

4.2.1 Registro de los índices de iluminación al interior de las aulas, segundo monitoreo.

En las tablas 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 y 4.12 se muestran los resultados obtenidos del segundo monitoreo en las aulas de clase, así como los promedios en luxes de los valores de iluminancia obtenidos en las horas de muestreo.

Tabla 4.7 Índices de iluminación de el aula 19 2^{da} medición.

Hora de registro	Promedio en Lux (luces apagadas)	Promedio en lux (luces encendidas)
07 am	0	186.95
08 am	10.86	186.97
09 am	41.53	186.37
10 am	80.61	224.42
11 am	50.00	196.77
12 am	79.66	261.77
01 pm	142.80	329.07
02 pm	139.33	313.77
03 pm	98.15	308.50
04 pm	107.00	327.00
05 pm	44.16	235.20
06 pm	54.33	254.77
07 pm	2.50	201.65
08 pm	0	188.71

Tabla 4.8 Índices de iluminación de el aula 20 2^{da} medición.

Hora de registro	Promedio en Lux (luces apagadas)	Promedio en lux (luces encendidas)
07 am	0	182.23
08 am	29.95	243.70
09 am	113.44	273.81
10 am	180.97	329.33
11 am	171.22	320.44
12 am	158.54	306.66
01 pm	314.11	465.22
02 pm	271.22	422.33
03 pm	153.44	323.55
04 pm	156.33	312.22
05 pm	80.15	241.00
06 pm	66.44	239.44
07 pm	7.13	203.63
08 pm	0	181.22

Tabla 4.9 Índices de iluminación de el aula 21 2^{da} medición.

Hora de registro	Promedio en Lux (luces apagadas)	Promedio en lux (luces encendidas)
07 am	0	297.58
08 am	43.28	309.12
09 am	248.44	394.11
10 am	241.22	434.44
11 am	188.22	361.33
12 am	156.22	337.33
01 pm	314.66	407.88
02 pm	239.22	415.62
03 pm	130.66	333.77
04 pm	147.55	366.22
05 pm	53.55	342.76
06 pm	54.66	315.12
07 pm	1.55	298.11
08 pm	0	296.22

Tabla 4.10 Índices de iluminación de el aula 22 2^{da} medición.

Hora de registro	Promedio en Lux (luces apagadas)	Promedio en lux (luces encendidas)
07 am	0	188.25
08 am	215.00	473.55
09 am	376.77	545.88
10 am	229.22	400.33
11 am	157.00	363.88
12 am	126.66	290.33
01 pm	251.66	433.22
02 pm	208.88	368.22
03 pm	185.55	343.88
04 pm	214.44	349.33
05 pm	194.55	489.44
06 pm	294.88	473.77
07 pm	2.88	220.11
08 pm	0	190.44

Tabla 4.11 Índices de iluminación de el aula 22 2^{da} medición.

Hora de registro	Promedio en Lux (luces apagadas)	Promedio en lux (luces encendidas)
07 am	0	188.15
08 am	91.70	224.41
09 am	139.88	272.77
10 am	200.55	395.88
11 am	164.66	285.11
12 am	88.33	235.88
01 pm	145.66	290.44
02 pm	108.55	273.44
03 pm	57.44	227.44
04 pm	38.88	205.44
05 pm	33.22	232.77
06 pm	12.00	201.88
07 pm	0	198.55
08 pm	0	186.66

En la Fig. 4.8 se muestran los valores promedio de iluminancia con luces encendidas de todas las aulas en las distintas horas de muestreo, es apreciable que dichos valores han aumentado con respecto a los obtenidos en el segundo monitoreo; el valor promedio ahora se ubica en 299 luxes, mientras que los valores máximo y mínimo están en 385 y 208 luxes. Esta mejora se debe en gran parte a al cambio de luminarias, pero también al reemplazo de las persianas por vinil, que como se puede observar en los valores de iluminancia con luces apagadas de las tablas 4.7,4.8, 4.9, 4.10, y 4.11 ha permitido mayor aprovechamiento de la luz solar y por consecuente mejorado la iluminación interior.

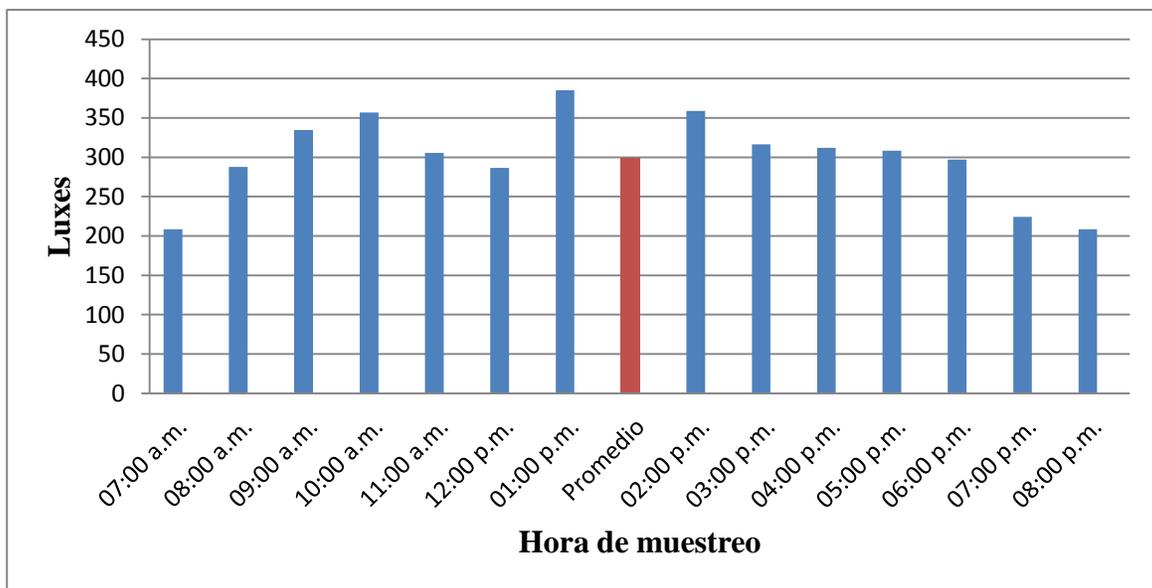


Figura 4.8 Valores de iluminancia en las horas de muestreo con luces encendidas de las aulas de clase del edificio H, 2^{do} monitoreo.

En todo caso es importante señalar en qué medida ha mejorado la iluminación interior de las aulas del primer monitoreo con respecto al segundo, si bien como se ya se menciona anteriormente las condiciones de las luminarias antes del segundo monitoreo se encontraban en pésimas condiciones lo cual limitaba una buena iluminación y el uso de la luz solar no se tomaba en cuenta; mejorar estos sencillos parámetros ha ocasionado un incremento en los niveles de iluminancia alrededor del 51% lo cual representa un aumento de 101 luxes en dichos niveles.

El promedio de iluminancia del primer monitoreo fue de 198 luxes, si a esto se le agrega un aumento de 101 luxes del segundo monitoreo da como resultado un promedio de 299 luxes como se muestra en la Fig. 4.8; ahora tomando en cuenta los índices de iluminancia de Edificios educativos de la tabla 2.1 en el apartado Aulas, aulas de tutoría, 300 luxes es la iluminación adecuada para estos lugares, por lo tanto se ha logrado conseguir el valor adecuado de iluminancia para las aulas de clase mientras que anteriormente este se encontraba por debajo del mínimo requerido. En la Fig. 4.9 se muestran los valores promedios de ambos monitoreos, así como también el porcentaje de incremento en los índices de iluminación del segundo monitoreo con respecto al primero.

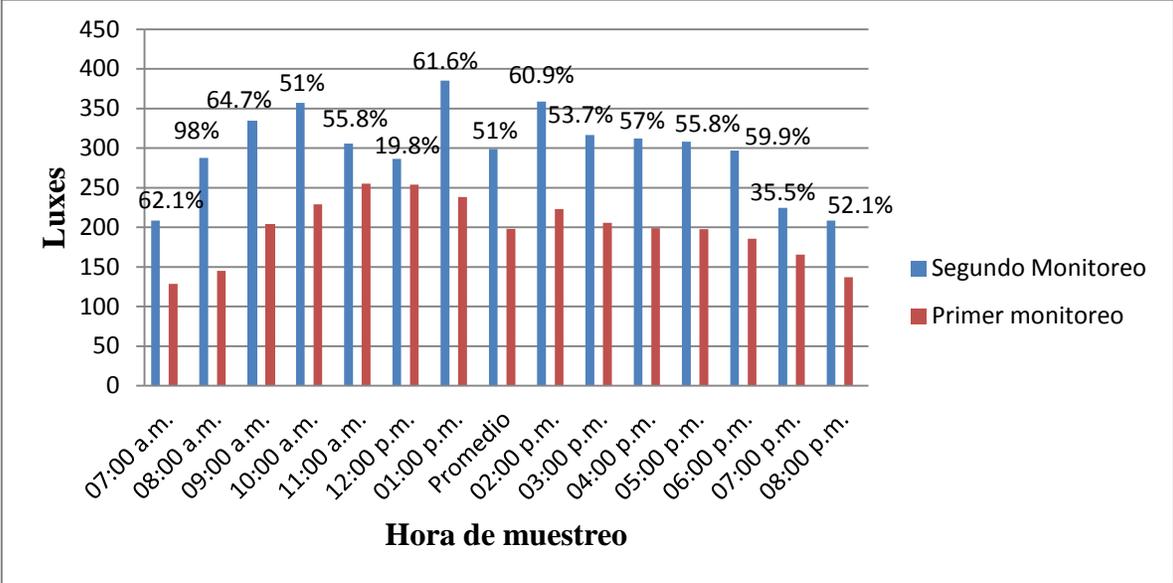


Figura 4.9 Comparativa de los valores de iluminancia promedio del 1^{er} y 2^{do} monitoreo lumínico en las horas de muestreo con luces encendidas de las aulas de clase del edificio H.

Otro punto importante es el estado de la iluminación interior del aula 21, puesto que esta aula se tomó como área de prueba para estudiar el comportamiento de las nuevas luminarias y verificar si son capaces de cumplir con las condiciones establecidas en la norma UNE-EN 64124-1.

En la Fig. 4.10 se muestra una comparativa de los índices de iluminancia entre el primer y segundo monitoreo del aula 21, así como también el porcentaje de incremento de dichos índices del segundo monitoreo con respecto del primero. Como se puede observar los índices de iluminancia presentan un porcentaje alto en las primeras y últimas horas de muestreo mientras que en las horas posteriores se mantiene relativamente bajo, esto se debe a que la orientación del aula 21 dentro del edificio permite una entrada constante de luz solar a lo largo del día, lo que propicia una buena iluminación interior del aula, no obstante en la horas de muestreo donde la luz solar es muy poca o nula la iluminación mejora gracias a las lámparas instaladas.

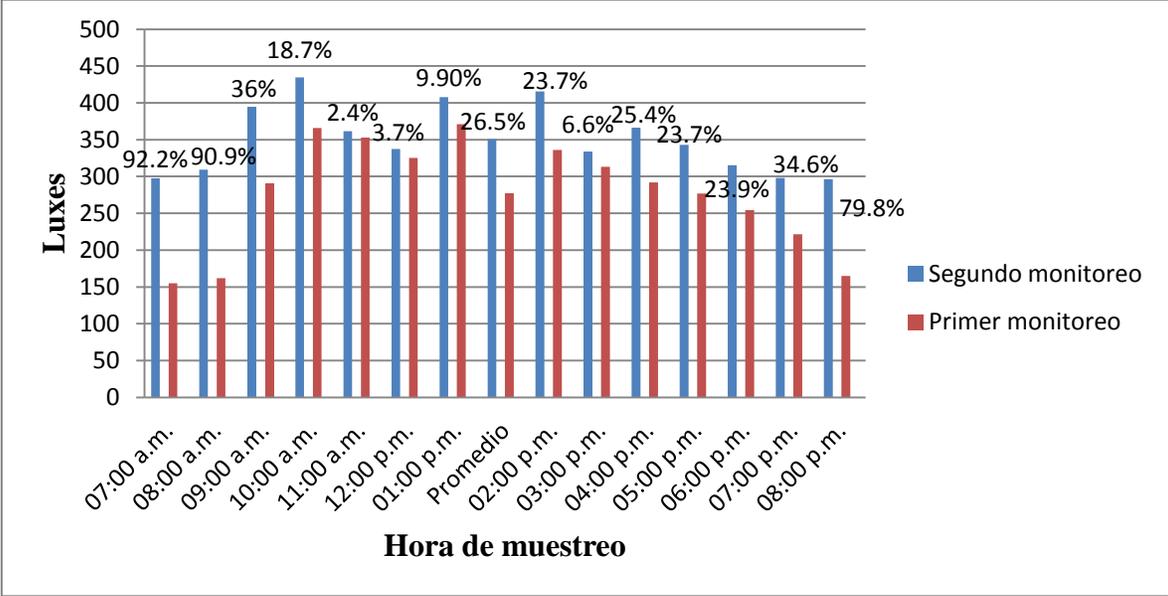


Figura 4.10 Comparativa de los valores de iluminancia promedio del 1^{er} y 2^{do} monitoreo lumínico en las horas de muestreo con luces encendidas del aula 21.

El promedio de los índices de iluminación del aula 21 ha pasado de 277 luxes del primer monitoreo a 350 luxes en el segundo, presentando una mejora del 26.5% lo que representa un aumento de 73 luxes; este aumento no es muy notable a simple vista a lo largo del día, pues como se mencionó anteriormente y como se observa en la Fig. 4.10 esto se debe a la orientación del aula que permite la entrada de luz.

No obstante, durante la noche y madrugada los índices de iluminancia se ubican en aproximadamente 297 luxes, lo que representa una iluminación adecuada según los requerimientos establecidos en la norma UNE-EN 64124-1 al cumplir con una iluminancia de 300 luxes para aulas de clase.

4.3 Registro de energía generada por el sistema fotovoltaico.

El sistema fotovoltaico fue instalado en el mes de junio del año 2011 y empezó a funcionar en julio de ese mismo año, la capacidad de generación de energía del sistema es de 10.91 KWh promedio diarios con una radiación solar de 1000 w/m^2 presente durante el día. La capacidad del sistema equivale de acuerdo con lo reportado en Noviembre del 2011 por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IEE) al consumo promedio diario de 5.5 casas-habitación distribuidas por el Instituto del Fondo Nacional para la Vivienda de los Trabajadores (INFONAVIT) con un costo menor a 250,000 pesos (IEE, 2011); obviamente la capacidad del sistema puede variar dependiendo de las condiciones del día. Para el 2011 el monitoreo de generación de energía fue realizado en el segundo semestre del año, con un registro en intervalos de una hora a lo largo del día. En la Fig. 4.11 se muestran los meses y la energía generada diaria en kWh del año correspondiente.

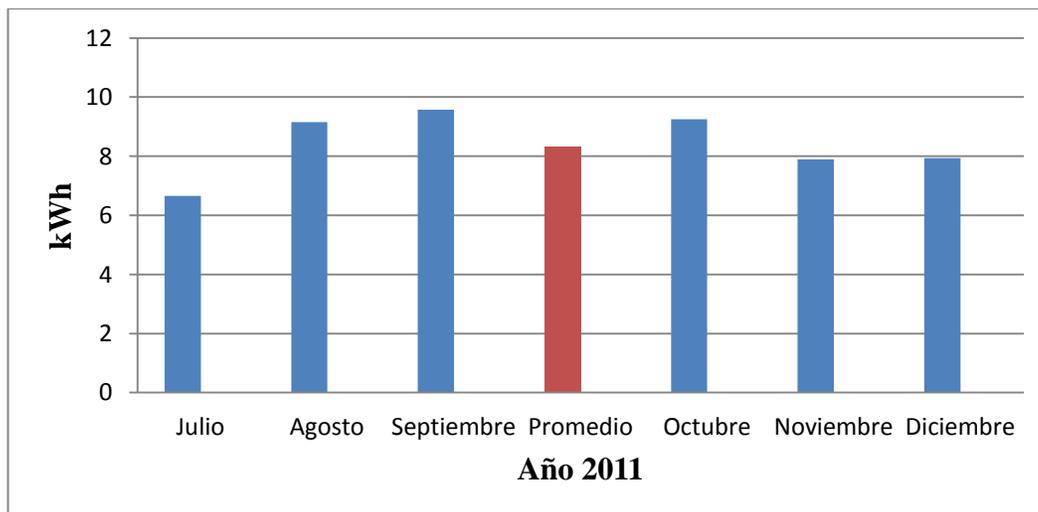


Figura 4.11 Energía Promedio diaria generada en el 2^{do} semestre del año 2011.

Como se puede observar en la Fig. 4.11 el promedio generado diario en el segundo semestre del 2011 fue de 8.33 kWh, teniendo los valores más altos en los meses de agosto, septiembre y octubre, esto se debe a que en la ciudad de Santiago de Querétaro estos meses presentan buena radiación solar mientras que los meses de noviembre y diciembre presentan una disminución debido a la llegada del invierno y la nubosidad que este conlleva. Finalmente el mes de julio se coloca como el más bajo de la gráfica debido a que fue un mes muy lluvioso en el año.

Para el 2012 el monitoreo se llevo a cabo del mes de enero hasta el mes de julio con el fin de analizar el funcionamiento del sistema fotovoltaico en su primer año de servicio, en la Fig. 4.12 se muestra la energía generada diaria en kWh a lo largo de los meses mencionados.

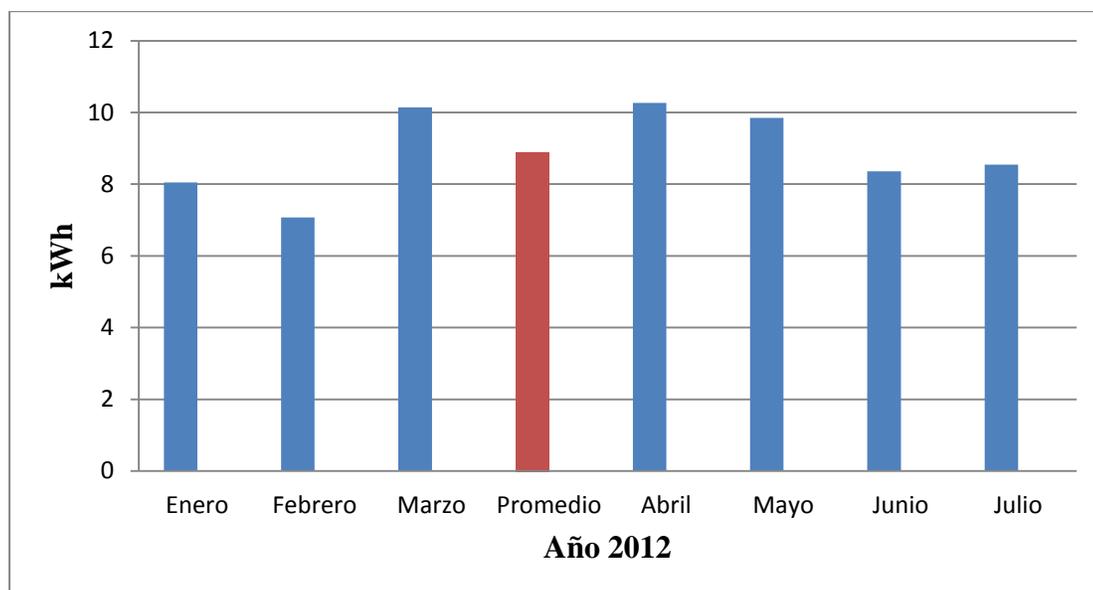


Figura 4.12 Energía promedio diaria generada en el 1^{er} semestre del año 2012.

En este año el promedio fue 8.89 KWh lo que representa un aumento de 6.72% más que el año anterior, teniendo los valores más altos en los meses de marzo, abril, y mayo debido a la llegada de la primavera, para junio y julio los valores disminuyen debido a la temporada de lluvias, sin embargo el mes de junio de este año no fue tan lluvioso como el del año anterior, presentando un aumento del 28.22%. Finalmente los primeros dos meses del año se mantienen en valores similares al año anterior por la presencia del invierno. En la Fig. 4.13 se muestra el promedio mensual de energía generada del periodo 2011-2012.

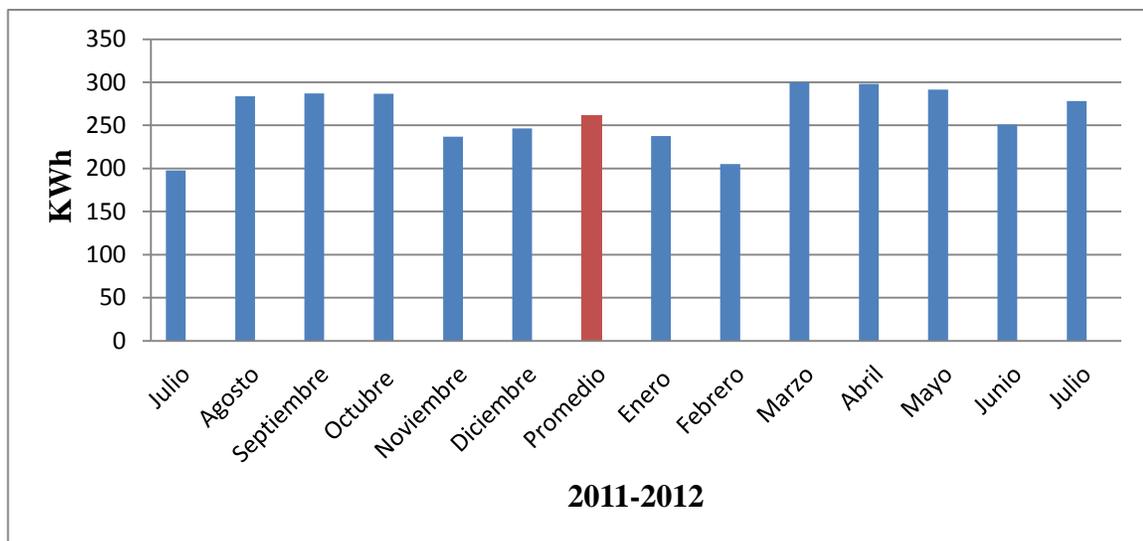


Figura 4.13 Energía promedio mensual generada del primer año de servicio del sistema fotovoltaico.

De acuerdo con la tabla 1.2 el sistema es capaz de generar 10.91 kWh diarios con una radiación de 1000 W/m², por lo cual para una radiación de 8.12 W/m² diaria (obtenida del análisis climático realizado) se espera que el sistema genere 8.85 kWh. De acuerdo con la Fig. 4.13 entre la segunda mitad del 2011 y la primera del 2012 en promedio se generaron 250 kWh mensuales y 8.33 kWh diarios (equivalentes a 4 casas-habitación), es decir 6% menos de lo esperado. Sin embargo, con esta cantidad de energía generada el sistema se mantiene dentro del rango esperado aportando 27 % del consumo del edificio.

4.4 Registro del consumo de energía del edificio

El monitoreo de consumo de energía del edificio H fue realizado a la par del de generación de energía, esto con la finalidad de tener el registro de la cantidad de Kilowatts-hora que se obtuvieron de la red eléctrica en ese año, además de conocer en qué porcentaje el cambio de luminarias disminuyó el consumo de energía. En la Fig. 4.14 se muestra la cantidad de energía eléctrica comprada y la energía generada para uso del edificio H en el año mencionado.

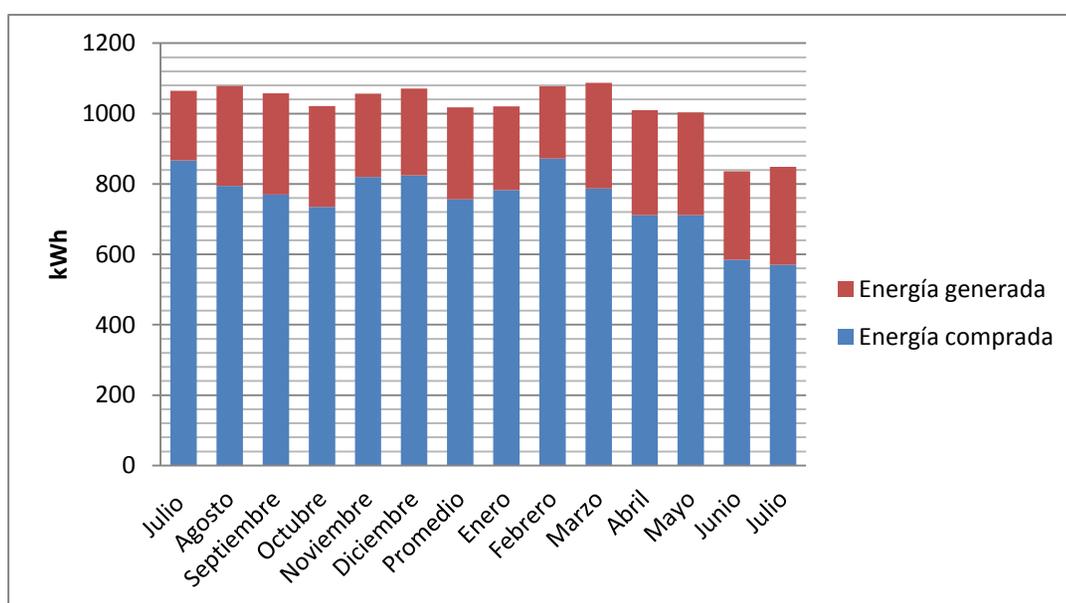


Figura 4.14 Consumo total de energía por mes en el periodo Julio 2011- Julio 2012.

Como ya se mencionó, antes de este estudio la compra de energía eléctrica para el consumo del edificio H era en promedio 1080 kWh mensuales los cuales se obtenían de la red eléctrica. A partir de Julio del 2011 que el sistema fotovoltaico entro en funcionamiento solo se consumían en promedio 789 kWh mensuales de la red, ahorrando un 27% gracias a la energía generada, en Junio del 2012 se realizó el cambio de las luminarias y el consumo de energía de la red se posicionó en 577 kWh promedio mensuales, ahorrando en esta ocasión un 26% más con dicho cambio con respecto a Julio del 2011. De esta manera el desarrollo de este proyecto logró ahorrar 47% de la energía comprada con anterioridad.

En cuanto a costos de energía se refiere, se recurrió al departamento de Obras Públicas de la UAQ para obtener una copia de las facturas de energía eléctrica emitidas por la CFE y de esta manera tener el historial del precio del Kilowatt-hora del periodo 2010-2012, en la Fig. 4.15 se muestra la evolución de los precios en pesos mexicanos en el periodo mencionado.

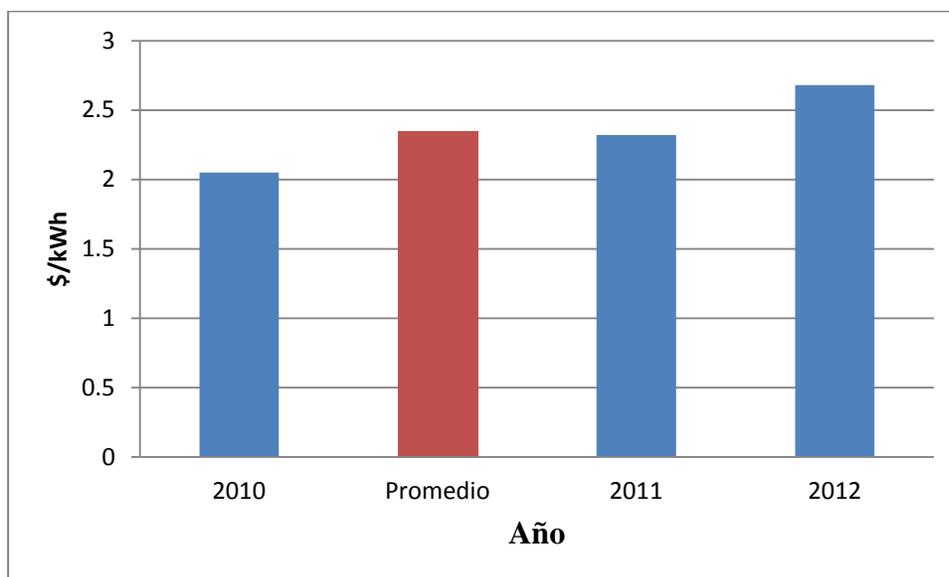


Figura 4.15 Precio del Kilowatt-hora en la factura de electricidad del Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UAQ del año 2010 al 2012.

El precio del Kilowatt-hora comprado a la CFE en el año 2012 tuvo un incremento del 31% con respecto al año 2010, y 16% con respecto al 2011; lo que supone un incremento alrededor del 15% anual a partir del 2010, esto implica que aunque el consumo de energía disminuya los precios de esta se incrementan debido a los costos de generación. Lo anterior recalca la importancia del uso de sistemas de generación de energía eléctrica con base en energías renovables en nuestros días. Para este periodo, el costo promedio del Kilowatt-hora fue de 2.35 pesos mexicanos, es decir, que antes del sistema de generación y el cambio de luminarias, el costo de la energía consumida por el edificio H era de aproximadamente \$30,456.00 al año, siendo ahora el costo de \$16,271.40; logrando de esta manera ahorrar \$14, 184.60 por año.

CAPÍTULO V.

5. CONCLUSIONES

Con la realización de este proyecto se logró mejorar las condiciones de iluminación interior en las aulas de clase del edificio, con ello se contribuye al cuidado de la salud de los alumnos que pasan gran parte del día estudiando en ellas. Los alumnos podrán gozar de un confort lumínico en las horas de clase evitando posibles fatigas o problemas de vista cansada. Sin embargo, los niveles de iluminancia y el confort en las aulas puede ser mejorado; como se mencionó a lo largo de esta Tesis la orientación geográfica de los edificios influye en la luminosidad natural adquirida por medio de las ventanas, produciendo picos en algunos puntos de las aulas, para ello se recomienda que en el edificio H el tamaño de las ventanas sea de alrededor de un 10 a 15% más grandes, de tal forma que la iluminación natural recibida al interior del aula incremente.

Con lo anterior también se debe añadir un sistema de persianas y lámparas controlables, con la finalidad de equilibrar la iluminación natural y artificial dentro del salón de clase cumpliendo con los requerimientos de la norma UNE-EN 12464-1, así como también la reubicación de los árboles de la parte trasera del edificio para aprovechar la luz natural proveniente de la zona norte. Además es necesario utilizar superficies de trabajo en colores claros y asegurar que estas sean del mismo tipo y estén distribuidas de manera simétrica en toda el aula. Los colores de las paredes deberán ser de preferencia en blanco para aprovechar mejor la luz recibida por la superficie de estas.

Se realizó también la implementación del Sistema Fotovoltaico para generación de energía eléctrica que permite generar grandes ahorros en la factura de electricidad y a su vez aprovecha los recursos naturales de la ciudad. En conjunto con el cambio de luminarias han reducido el costo del 47% del total de la energía consumida por el edificio. Dicho ahorro se ve reflejado en el consumo mensual de 8.45 casas-habitación con un costo menor a \$ 250,000.00 distribuidas por el INFONAVIT.

Si a esto se suma que el Sistema Fotovoltaico tiene un promedio de vida útil de 22 años, dentro de los cuales por cada año de uso se dejan de emitir 3.1 toneladas de CO₂, al final de la vida útil del sistema se habrán evitado 68.2 toneladas de CO₂ lo que equivale a 3683 árboles. En cuanto a dinero se refiere, el proyecto logró que la dirección de Investigación y Posgrado economice \$14,184.60 por año, para lo cual el retorno de inversión del Sistema Fotovoltaico se logrará en 9 años, dejando un ahorro en los años posteriores de aproximadamente \$185,000.00 (Calculados al año 2012) que se podrían usar para mejoras del edificio. Sin embargo si se tiene en cuenta que el precio del kWh en el país incrementa cada año el retorno de inversión será más corto y los ahorros posteriores aumentaran.

CAPÍTULO V.

6. REFERENCIAS

Akashi, Y.; Boyce, P., R. A field study of illuminance reduction, *Energy and Buildings*, 38 (2006) 588-599.

American Wind Energy Association (AWEA); Small wind turbine market report, (2011) www.awea.org/learnabout/smallwind/upload/AWEA_SmallWindReport-YE-2011.pdf.

Banco Mundial (BM); México: Banco Mundial aprueba US\$49,35 millones para energía térmico solar. *Comunicado de prensa N°:2007/101/LAC Octubre del 2007*, <http://go.worldbank.or/B7ARK4KY60>.

Borja, M.; Oportunidades y retos para el desarrollo eoloeléctrico en México 22, (2008) 65-71, *Boletín del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), Artículos Técnicos* www.iie.org.mx/boletin022008/artec.pdf.

Cárdenas, R.; Saldívar, G.; Educación y Nuevas Tecnologías Central Eoloeléctrica La Venta II 8, (2007) 1-2.

Centro de Investigaciones Energéticas Medio Ambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Publicaciones CIEMAT, (2010).

Comisión Federal de Electricidad (CFE). Síntesis Informativa sobre el Sector Energético, *Boletín de prensa 26 de Febrero del 2012*, www.saladeprensa.cfe.gob.mx.

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE); Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Nichos de Mercado para sistemas fotovoltaicos en conexión a la red eléctrica en México, (2009) www.giz.de/Themen/en/dokumente/en-market-niches-for-gride-connected-photovoltaic-systems-mexico.pdf.

Comisión Reguladora de Energía (CRE); Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ); Guía para trámites con la Comisión Reguladora para permisos de generación e importación de energía eléctrica con energías renovables, cogeneración y fuente firme, (2010) <http://www.giz.de/Themen/de/dokumente/sp-Guia-para-tramites-de-permisos-con-la-CRE.pdf>.

De los mozos, M. P. Desarrollo, proyecto y estudio de un edificio bioclimático, *Tesis de Licenciatura*, (2009).

El Universal; UNAM: Bastaría a México con Energía Solar, *Equipo de Redacción de El Universal* 26 de abril del 2011. www.eluniversal.com.mx/articulos/63898.html.

European Photovoltaic Industry Association (EPIA); Global Market Outlook for Photovoltaics until 2016, (2012) www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/Global-Market-Outlook-2016.pdf.

Extech Instruments; Manual del usuario, *Luxómetro digital registrador para servicio pesado con interfaz de PC HD450*, (2010), www.extech.com/instruments/resources/manuals/HD450_UMsp.pdf.

FLUKE; Manual de usuario, *FLUKE 433/434 Three Phase Power Quality Analyzer*, (2004), http://assets.fluke.com/manuals/433_434_umspa0000.pdf.

Gil A. Historia de la iluminación, revista digital, (2009) 1-9.

Global Wind Energy Council (GWEC), Wind Energy Market worldwide continues strong growth, *Boletín de prensa* 2 de febrero del 2009, www.wwindea.org/home/index.php.

Guillaume, D.; Zyteck, R. La escalada de los costos de la energía barata, *Publicación trimestral del Fondo Monetario Internacional y del Banco Mundial*, 47 (2010) 1-3.

Guillaume[a], D.; Zyteck, R. Islamic republic of Iran: Selected Issues Paper, *IMF Country report*, 10 (2010) 1-20.

Han, H.J.; Jeon, Y.I.; Lim, S.H.; Kim, W.W.; Chen, K. New developments in illumination, heating and cooling technologies for energy-efficient buildings, *Journal of energy*, (2010) 2647-2653.

Hernández, C. Tarifas subsidiadas, causa de ineficiencia, *Revista Energía a debate*, 26 (2008) 53-56.

Instituto de Investigaciones Eléctricas (IEE); Esquemas de financiamiento para sistemas fotovoltaicos en la vivienda y la hipoteca verde, (2011) 24-26.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate change 2001: *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (2001).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Summary for Policymakers en Climate Change 2007, *Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (2007) 113-114.

International Energy Agency (IEA). CO₂ emissions from fuel combustion Highlights, *IEA statistics*, (2011), www.iea.com.

International Energy Agency (IEA); Renewables for Power Generation: *Status & Prospects*, (2003) www.antoniolima.web.br.com/arquivos/renewpower_2003.pdf.

International Energy Agency (IEA); World Energy Outlook, (2010), www.iea.com.

- Juodis E. Energy efficient building: study material for architecture students, *Lithuania: Vilnius Gediminas Technical University*, (2007).
- Kellher, J.; Ringwood, J., V.; A computational tool for evaluating the economics of solar and wind microgeneration of electricity 34, (2009) 401-409.
- Leslie, R. P. Capturing the daylight dividend in buildings: why and how?, *Review, Building and Environment*, (2003) 32: 223-233.
- López V. M. Edificación sustentable para la ciudad de México, eficiencia energética en los edificios para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero, *Coordinación del programa de cambio climático y sustentabilidad del Instituto Politécnico Nacional*, (2010) 1-15.
- McDonald K. Iluminación artificial, *Revista construir, América Central y el Caribe*, (2010) 1-1.
- Méndez C. M. Análisis de iluminación para interiores mediante el monitoreo y registro de índices del entorno luminoso, tesis de licenciatura, (2009).
- Morillon, G.; Edificación sustentable en México, *Retos y Oportunidades*, (2011) 2-3.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA), NASA Images, (2009), www.nasa.gov.
- Norma Española UNE-EN 12464-1. Iluminación de los lugares de trabajo, Parte 1, *Lugares de trabajo en interiores-Establecimientos educativos*, 2003.
- Omer, A. M. Energy, environment and sustainable development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12 (2008) 2265-2300.

Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Sistemas de información económica energética, Energía en cifras, 22 (2011) 1-12.

<http://www.olade.org/sites/default/files/publicaciones/PLEGABLE2012-SEC.pdf>

Plan Nacional de desarrollo 2007-2012; Energía electricidad e hidrocarburos, (2007) 130-133, pnd.presidencia.gob.mx.

Poponi, D.; Analysis of diffusion paths for photovoltaic technology based on experience curves 74, (2003) 1-40.

Secretaría de Energía (SENER), Dirección General de Planeación Energética; *Energías Renovables para el desarrollo sustentable en México*, (2009) 21-22.

<http://www.giz.de/Themen/en/dokumente/sp-energias-renovables-desarrollo-sustentable-mexico.pdf>.

Secretaría de Energía (SENER). Dirección General de Planeación Energética, *Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025*, (2010) 113-114,

http://www.sener.gob.mx/res/1825/SECTOR_ELECTRICO.pdf.

Secretaría de Energía (SENER). Dirección General de Planeación Energética, Programa de Fomento de Sistemas Fotovoltaicos en México (ProSolar), (2012) 28-29.

http://www.anes.org/anes/formularios/LeyesyNormas/Leyes/informe_final_ProSolar_Color.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT-INE). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002, (2006).

http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/mexico_nghgi_2002.pdf.

SMA Solar Technology; User manual, *PV inverter Sunny Boy 2000HFUS/2500HFUS/3000HFUS*, (2011), http://files.sma.de/dl/9524/HF_STP_US-BUS095110.pdf.

SMA solar Technology; User manual, *System Monitoring SUNNY EXPLORER*, (2004), <http://files.sma.de/dl/8494/Explorer-BA-en-15.pdf>.

Tiravanti E. La iluminación, STILAR ENERGY SRL, (2012) 1-8, www.stilar.net.

Tokura, H.; Physiological significance of bright vs dim light intensities during the daytime for thermoregulatory responses, *Environmental Ergonomics – The Ergonomics of Human Comfort, Health and Performance in the Thermal Environment* 8, (2005) 98-99.

U.S. Department of Energy's Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE); Small Wind Systems, (2007).

Universia. Red iberoamericana de colaboración universitaria, *Noticias ciencia y nuevas tecnologías (N.N. T.T.) México*, (2009) www.universia.net.mx.

Wilhelm, B.; Weckerle, P.; Durst, W.; Fahr, C.; Rock, R. Increased illuminance at the workplace: Does it have advantages for daytime shifts?, *Lighting Research & Technology*, 43 (2011) 185-199.

www.windpoweringamerica.gov/pdfs/small_wind/small_guide_spanish.pdf

Yang, HX.; Lu, L.; Burnett J.; Weather data and probability analysis of hybrid photovoltaic, *Wind power generation systems in Hong Kong* 28, (2003) 13-24.