



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster en Energías Renovables y Eficiencia Energética

Desarrollo de indicadores de desempeño energético
para optimizar la eficiencia en instituciones educativas.
Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de
Monterrey (FOCIM), México.

Development of energy performance indicators to optimize
the efficiency of educational institutions.
Case study: Monterrey Institute for Scientific Development
(FOCIM), Mexico.

Autora

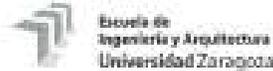
Elizabeth González Botín

Director/es

Cristóbal Cortés Gracia

Santiago Zaragoza Leal

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea requerido para su evaluación).

D./Dña. Elizabeth González Botín

con nº de DNI 43.805.956.H en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo

de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la

Universidad de Zaragoza.

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)

Máster en Energías Renovables y Eficiencia Energética, (Título del Trabajo)

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la
eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el
Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada
debidamente.

Zaragoza, 25 de Noviembre de 2016

Fdo: Elizabeth González Botín

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	4
METODOLOGÍA	11
CLIMATOLOGÍA DE MONTERREY	13
EVALUACIÓN ENERGÉTICA	19
RESUMEN DE LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN FOCIM	20
CONTRATACIÓN DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO Y ANÁLISIS DE TARIFAS	21
BALANCE ENERGÉTICO DE CONSUMOS Y USOS DE ENERGÍA	23
OPORTUNIDADES PARA OPTIMIZAR EL DESEMPEÑO ENERGÉTICO	26
RESUMEN DE LAS OPORTUNIDADES DE MEJORA EN FOCIM	26
1.-ILUMINACIÓN. Estudio de niveles de iluminación por área y sustitución de luminarias	27
2.-ILUMINACIÓN. Planificación de un programa de mantenimiento de luminarias	30
3.-ILUMINACIÓN. Implantación de un sistema de control de iluminación	30
4.-CLIMATIZACIÓN. Estudio de necesidades de refrigeración/calefacción por espacios	30
5.-CLIMATIZACIÓN. Implantación de un sistema de control en el sistema de climatización	31
6.-CLIMATIZACIÓN. Implantación de un programa de mantenimiento a los equipos	32
7.-CLIMATIZACIÓN. Limitar la temperatura de confort en invierno y en verano	32
8.-CLIMATIZACIÓN. Sustitución de minisplits por sistemas de tecnología más avanzada VRF	33
9.-SISTEMA ELÉCTRICO. Optimización de la potencia contratada y distribución de cargas	34
10.-SISTEMA ELÉCTRICO. Análisis con termografía infrarroja para conocer el estado de las instalaciones eléctricas del edificio	35
11.-AGUA. Reducción del consumo de agua	35
12.-DISEÑO PASIVO. Aislamiento de la fachada	35
Estudio de la producción de una fachada ventilada fotovoltaica en FOCIM según la tecnología de vidrio fotovoltaico. Tabla paramétrica: tecnología vidrios fotovoltaicos fachada a 90 °	41
13.-DISEÑO PASIVO. Sombreamiento de ventanas	47
14.-DISEÑO PASIVO.Sustitución de cerramientos (marco + vidrio)	47

15.-DISEÑO PASIVO. Aislamiento de cubierta.....	53
16.-DISEÑO PASIVO. Iluminación de la futura cafetería y terraza.....	57
DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA LA CAFETERÍA DE FOCIM.....	59
Evaluación del consumo total	61
Evaluación de la radiación solar disponible.....	63
Dimensionamiento del campo de captación	66
Dimensionamiento del sistema de acumulación.....	67
Regulador de carga	67
Inversor	68
RESUMEN DE DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIÓN SOLAR AISLADA para cafetería FOCIM	70
Tabla paramétrica: radiación / producción a distintos grados de inclinación proyecto cafetería....	71
Análisis de la propuesta de la instalación fotovoltaica para la cafetería.....	74
Tabla paramétrica: producción / inversión de distintas tecnologías de vidrio fotovoltaico para la totalidad de la cubierta de FOCIM a 40 ° de inclinación.....	77
DESARROLLO DE INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO PARA CENTROS EDUCATIVOS	78
Tipos de certificaciones energéticas en edificios: LEED, BREEAM, VERDE-Green Building Council, Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC), PASSIVHAUS.....	79
Desarrollo de indicadores de desempeño energético a partir de la evaluación energética.....	81
Indicadores de desempeño energético para centros educativos /Caso de estudio: FOCIM	82
RECOMENDACIONES.....	83
CONCLUSIONES	85
BIBLIOGRAFÍA	87
ÍNDICE DE FIGURAS.....	93
ÍNDICE DE TABLAS.....	96
ANEXOS I: Planos arquitectonicos de la futura distribución del edificio y fotos actuales	97
ANEXOS II: Directivas y normas de eficiencia energética. Laboratorios y certificados.....	107

RESUMEN

El objetivo del presente Trabajo de Fin de Máster es desarrollar indicadores de desempeño energético para centros educativos a través de un caso práctico en una institución educativa en México: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM). Este estudio permite identificar y registrar oportunidades de mejora en el desempeño energético de instituciones educativas, las cuales tienen un alto consumo energético por la cantidad de alumnos y profesores en los centros.

Con el inventario elaborado de todos los equipos consumidores de energía y las facturas eléctricas del periodo de un año, se confeccionó el balance energético anual determinando el consumo anual (kWh/año), coste (pesos mexicanos/año) y coste unitario (pesos mexicanos/kWh). Se preparó un balance de consumo eléctrico por sistemas: tecnologías de la información (TI), iluminación, climatización y mantenimiento. Se usó Excel para compilar y manejar todos los datos tanto de equipos consumidores de energía como de facturas. Gracias a este análisis se identificaron los sistemas de mayor consumo energético y se generaron las propuestas de mejora, identificando dentro de cada sistema y área los equipos que deben reemplazarse, implementar el mantenimiento -inexistente hasta este momento-, así como los que requieren una monitorización especial para no generar picos máximos de demanda que inciden de gran manera en las facturas eléctricas, aportando soluciones a todos los problemas planteados por el centro educativo.

En virtud de que en México después de la reciente reforma energética, es posible instalar paneles fotovoltaicos y el centro educativo tiene en proyecto hacer una cafetería en la última planta del edificio, se calculó una instalación fotovoltaica para aprovechar la alta radiación solar en la ciudad de Monterrey y abastecer energéticamente la cafetería. Se construyó una tabla paramétrica para distintos grados de inclinación de los paneles fotovoltaicos. De igual forma, se detallaron propuestas de diseño pasivo para el edificio, resultando como prioritaria la construcción de una fachada ventilada para aislar térmicamente el edificio e incorporando en esta fachada células fotovoltaicas.

Para finalizar, se desarrollaron indicadores para evaluar de desempeño energético del centro educativo los cuales pueden ser usados por cualquier otra institución educativa, de tal manera que les permitan hacer comparaciones entre instituciones educativas de similares prestaciones. Este Trabajo de Fin de Máster puede servir de base para futuros estudios más extendidos y motivar a otras instituciones a evaluar energéticamente sus instalaciones, debido a que es un caso de estudio completo en el que se analizan todos los sistemas aportando propuestas de mejora para cada uno y al mismo tiempo se evalúa la incorporación de una instalación fotovoltaica en cubierta y fachada.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico, la industrialización y las necesidades de transporte de personas, de insumos y de mercancías demandan mayores requerimientos energéticos día tras día. Las consecuencias del calentamiento global debido a las emisiones de los gases de efectos invernadero, demandan aplicar medidas para usar eficientemente la energía y mitigar la emisión de contaminantes a la atmósfera.

El progreso científico y tecnológico favorece el surgimiento de nuevas formas de energías renovables, como la bioenergía, energía solar, geotérmica, mareomotriz, eólica. No obstante, a nivel industrial y doméstico, para satisfacer ciertas demandas de energía, antes de consumir más energía de fuentes renovables, se debe mejorar la eficiencia energética, es decir, disminuir el consumo de energía a través del estudio de los usos y consumos energéticos para proponer medidas de ahorro y una vez implementadas estas medidas, es cuando se pueden considerar las energías renovables como apoyo para proveer energía.

A nivel mundial El Consejo Mundial de la Energía (CME) es la institución del sector de la energía acreditada por la Organización de Naciones Unidas (ONU) y constituye una guía para las estrategias del sector de la energía a nivel internacional, abarcando desde los combustibles fósiles hasta las renovables. El CME trabaja con ADEME (Agencia del Medio Ambiente y Eficiencia Energética, Francia) y con ENERDATA investigando en dos líneas: la primera corresponde a indicadores, revisando las tendencias mundiales de eficiencia energética, uso de energía y emisiones de CO₂ y la segunda línea de investigación, recoge políticas y medidas de eficiencia energética de 90 países según los sectores y los usos finales. [1]

En el año 2008, se aprobó en Europa el SET-Plan (Plan Estratégico Europeo en Tecnologías Energéticas), que constituye la base de la Unión Europea en política de energía y clima. Su finalidad es acelerar el desarrollo de tecnologías bajas en carbono trabajando conjuntamente con el sector industrial a través de Iniciativas Industriales Europeas (IIIE's), así como con el sector de la investigación de la mano de la Alianza Europea para la Investigación en el Sector Energético (EERA). Para poder disponer de esta información de manera fiable se creó el sistema de información SETIS (Strategic Energy Technologies Information System). Todos los países de la Unión Europea deben cumplir los objetivos del SET-Plan. El SET-Plan tiene un objetivo a largo plazo para el año 2050 que es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) entre 80-95% con respecto a las cifras de 1990 y más

a corto plazo, para el 2020, se determinaron los llamados objetivos 20-20-20 que se detallan a continuación:

- Reducir en un 20% la emisión de gases de efecto invernadero tomando como base los niveles de 1990.
- El 20% de la energía consumida debe ser producida por fuentes renovables.
- Incrementar en un 20% la eficiencia energética. [2]

Tres años más tarde del lanzamiento del SET-Plan, en el 2011, en vista de que no había previsión de cumplirse los objetivos 20-20-20 del SET-Plan, se discuten medidas para dicho cumplimiento y se aprueba en el 2012, la Directiva 2012/27/UE del Parlamento y del Consejo Europeo relativa a eficiencia energética, de carácter obligatoria para todos los estados miembros. La Directiva 2012/27/UE del Parlamento y del Consejo Europeo relativa a eficiencia energética, incluye medidas para incrementar la eficiencia energética en los sectores transporte, edificios, industrias y empresas de transformación y distribución de energía. [3]

Esta directiva se transpone en España en el año 2016 a través del Real Decreto 56/2016. Cabe destacar que según esta directiva transpuesta recientemente en España, todas las empresas de más de 250 empleados o que tengan un volumen de negocio que exceda los 50 millones de euros, deberán someterse a una auditoría energética cada 4 años o aplicar un sistema de gestión energética o ambiental certificado por un organismo independiente con arreglo a las normas europeas o internacionales correspondientes (siempre que incluya una auditoría energética realizada con las directrices mínimas mencionadas en la directiva). [4]

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) fue creada en 1947 para facilitar la coordinación internacional y unificar los estándares industriales de distintos países. Hoy en día, 163 países son miembros ISO y según las inquietudes y necesidades de cada país se van actualizando y generando nuevos estándares consensuados para que todos los países puedan manejar un lenguaje común. En Europa, se utilizaba la norma "UNE-EN 16001 Sistemas de Gestión Energética", y fue en el año 2011 cuando ISO lanza el estándar "ISO 50001:2011 Gestión de Sistemas de Energía", primera norma internacional de sistemas de gestión de la energía. Esta norma puede ser implementada de forma voluntaria por las empresas, sumando a esa familia de normas posteriormente la norma ISO 50002 Guía para auditorías energéticas, en el año 2014. [5] Para poder implementar una norma de sistema de gestión de la energía es indispensable desarrollar indicadores de desempeño energético relevantes a los procesos de cada organización.

Desde que esta norma ISO 50001 se aprobó en el año 2011, cada año se incrementa el número de empresas que ha ido implementándola para mejorar sus sistemas de gestión de la energía. Por regiones, Europa es la región que ha tenido mayor porcentaje de empresas certificadas, desde el 2011 hasta el 2015 con un 79%, 85%, 82%, 81% y 84% respectivamente del total mundial, manteniendo la tendencia a lo largo de 4 años. A nivel mundial, un total de 459 empresas han sido certificadas en el 2011 hasta llegar a 11.985 empresas certificadas globalmente en el 2015. Los 10 países con mayor número de empresas certificadas en ISO 50001 al 2015 son: Alemania (5.931), Reino Unido (1.464), Francia (500), Italia (470), India (405), España (390), China (262), Taipei-China (262), Austria (220), Tailandia (138). Se observa un aumento cada año de organizaciones certificadas en ISO 50001, el cual entre el año 2014 y 2015 tuvo el 2do mayor porcentaje de incremento: un 77% en certificaciones del total de las principales normas de sistemas de gestión. Muy probablemente el incremento vertiginoso de empresas certificadas en ISO 50001:2011 e ISO 22301:2012, se deba a que ambas normas son relativamente nuevas en el mercado. Aunado a esto, muchas empresas han decidido implementar y certificarse en ISO 50001:2011 ya que de esta manera pueden cumplir con el requisito de la Directiva 2012/27/UE en eficiencia energética estando certificadas por un organismo internacional.

A continuación, se muestra un resumen comparativo de los certificados a nivel mundial de 2015 y 2014:

Norma	Número de certificados en 2014	Número de certificados en 2015	Diferencia	Variación en %
ISO 9001** Sistema de gestión de la calidad	1.036.321	1.033.936	-2.385	-0,2%
ISO 14001*** Sistema de gestión ambiental	296.736	319.324	22.588	8%
ISO 50001 Sistema de gestión de la energía	6.765	11.985	5.220	77%
ISO 27001 Sistema de gestión de la seguridad de la información	23.005	27.536	4.531	20%
ISO 22000 Sistema de gestión de la inocuidad de los alimentos	27.690	32.061	4.731	16%
ISO/TS 16949 Sistema de gestión de la calidad para la industria del automóvil	57.950	62.944	4.994	9%
ISO 13485 Sistema de gestión de la calidad de equipos médicos	26.280	26.255	-25	-0,1%
ISO 22301 Sistema de gestión de la continuidad de negocio	1.757	3.133	1.376	78%

Tabla 1: Certificados a nivel mundial en normas internacionales ISO años 2014-2015 [6]

La encuesta de certificaciones ISO es una encuesta anual del número de certificados válidos a nivel mundial de las normas de sistemas de gestión ISO. Para compilar la información en esta encuesta, organismos de certificación* acreditados son contactados e informan sobre el número de certificados válidos que tienen al 31 de diciembre de 2015. ISO no realiza la certificación y por lo tanto no emite certificados. A pesar de las fluctuaciones en el número de certificados de un año a otro debido a las diferencias en el número de organismos de certificación y el número de certificados que reportan, esta encuesta resulta en la mejor visión global de las certificaciones de estas normas actualmente disponibles.

* Organismos de certificación acreditados son aquellos que han sido evaluados por organismos acreditadores miembros del IAF, la asociación mundial de organismos de acreditación de la evaluación de la conformidad.

**ISO 9001:2008 (=1.029.746) + ISO 9001:2015 (=4.190)

***ISO 14001:2004 (=318.377) + ISO 14001:2015 (=947)

De acuerdo con los datos oficiales de ISO del año 2015 sobre las empresas certificadas en la norma ISO 50001:2011 Sistemas de Gestión de la Energía, los sectores que tuvieron más empresas certificadas fueron el de la industria del metal (919); alimentos, bebidas y tabaco (876); industria del plástico (672) e industria química (583). En contraposición, los sectores con menor cantidad de certificados fueron hoteles y restaurantes (7), construcción de barcos (9), el sector aeroespacial (10) y el sector educativo (12). Sin embargo, sí hay una motivación a implementar sistemas de gestión que cuiden el ambiente y esto se evidencia ya que a nivel mundial para el 2015 había 680 instituciones educativas y 1665 hoteles y restaurantes certificados en la norma ISO 140001 Sistema de Gestión Ambiental, norma que salió por primera vez en el año 2004 y su última versión data del año 2015. [7]

El consumo de energía en los hoteles y centros educativos tiene gran repercusión tanto económica como ambiental. Para incrementar la eficiencia energética en cualquier sector, es necesario usar indicadores de desempeño energético (IDEn), que tradicionalmente se conocen como indicadores claves de desempeño (KPI) pero en este caso serían en relación al uso y consumo de la energía. Un IDEn es un valor cuantitativo que mide y aporta información sobre el desempeño energético de una organización.

En París, las escuelas representan el 38% de los consumos de las instalaciones municipales y en el 2008 se inició un programa para mejorar la eficiencia energética en 600 edificios escolares. Las mejoras se han focalizado básicamente en el aislamiento de los edificios y en los cerramientos y ventanas. En Eslovenia se realizó otro estudio en 24 escuelas y más del 83% tenían carencias en aislamiento y cerramientos. Un análisis realizado en USA reveló que la diferencia de consumo

energético en las escuelas de primaria y secundaria corresponde al 50% (173 vs 257 kWh/m² respectivamente). [8]

Debido a que este tipo de indicadores de desempeño energético no se han desarrollado y/o extendido a todos los sectores, tal y como se observa la distribución de empresas certificadas por sector en las estadísticas mundiales que mantiene ISO con relación a la norma de gestión de la energía ISO 50001, la finalidad de este Trabajo de Fin de Máster es desarrollar indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas a través de una evaluación energética y proporcionar propuestas de mejora para el Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México

Los objetivos de este trabajo son:

1. Identificar, priorizar y registrar oportunidades para mejorar el desempeño energético de instituciones educativas a través de una evaluación energética.
2. Adicionalmente, como está prevista la construcción de una cafetería en la última planta del edificio de FOCIM, se analizarán los beneficios de una instalación fotovoltaica, así como la viabilidad de estrategias de diseño solar pasivo que podrían aplicarse.
3. Diseñar unos indicadores energéticos para un doble propósito:
 - 3.1. Que definan el estado del desempeño energético de FOCIM.
 - 3.2. Estos indicadores energéticos desarrollados, servirán como base de comparación entre instituciones educativas de similares prestaciones (benchmarking energético).

METODOLOGÍA

Para analizar el uso y consumo de energía por sistemas y conocer su impacto económico en las facturas, fue necesario elaborar varios inventarios detallados por sistema de todos los equipos consumidores de energía, ya que no existía ningún inventario de equipos. FOCIM solo se abastece de energía eléctrica. No existen registros de monitorización de consumos ni contadores electromecánicos dentro de las instalaciones. Los únicos medidores de consumo eléctrico son los 4 de la compañía eléctrica mexicana, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que están asociados a los 4 contratos de suministro de energía eléctrica de FOCIM.

Se usó Excel para tratar toda la información, tanto los inventarios de equipos consumidores de energía para analizar los consumos energéticos por sistema, como los costes anuales tomando los datos recopilados de las facturas eléctricas, así como la información de la contratación de tarifas eléctricas usadas. Se consideró un período base de un año.

El balance energético se confeccionó a través de la cuantificación anual por facturas eléctricas, determinando el consumo anual (kWh/año), coste (pesos mexicanos/año) y coste unitario (pesos mexicanos/kWh). Se preparó un balance de consumo eléctrico por sistemas: TI, iluminación, climatización y mantenimiento.

La institución educativa facilitó los planos arquitectónicos de la que será la nueva distribución del edificio en donde se desea instalar la cafetería en la última planta. No existen planos del sistema eléctrico.

El centro educativo tiene 3 plantas incluyendo la planta baja y el área por planta del edificio es 410 m², sumando 1.230 m². Está ubicado a una altura de 554 metros sobre el nivel del mar, a una latitud de 25° grados en el Hemisferio Norte y las dos fachadas que dan hacia las calles están orientadas al sur y al oeste.

Hay un proyecto de ampliación del edificio, que pasaría de tener 3 niveles a 5. Incluye la división la planta baja en dos niveles y crear una mezanine; usar la última planta como cafetería y área de descanso e incorporar un ascensor. La distribución quedaría como se detalla a continuación:

- Sótano: áreas de desarrollo curricular, coordinación académica/sala de maestros, biblioteca, ventas, audiovisual.
- Planta mezanine/nivel calle: parking para dos coches, almacén, sala de ventas, sala de investigación y rectoría.

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

- Planta 1: salón polivalente o sala de graduación.
- Planta 2: planta de aulas con 5 salones cuya capacidad oscila entre 22 y 24 personas cada una.
- Planta 3: Cafetería y área de descanso.

La última planta está ocupada actualmente por 26 compresores y dependiendo de la posible instalación fotovoltaica, sería el tamaño de la cafetería. No hay consumo térmico. No hay calderas. No se usa agua caliente sanitaria, y la prevista para la nueva cafetería es a través de un calentador alimentado con bombonas de 40 litros de GLP.

FOCIM tiene actualmente 400 alumnos, 30 empleados administrativos y 10 profesores. Los empleados trabajan por turnos desde las 8:00 horas hasta las 22:00 horas. De igual manera, los alumnos y profesores ocupan las aulas en distintos horarios según las asignaturas. La oferta formativa de FOCIM incluye: maestría y doctorado en educación, grados en psicología, contabilidad, comunicación y educación y una novedosa preparatoria o bachillerato orientado al mundo laboral con convenio con empresas en Monterrey para que los alumnos se ubiquen laboralmente al salir del bachillerato.

El régimen de funcionamiento de la institución educativa es por cuatrimestre y entre cada uno de ellos el período de vacaciones varía entre 1, 2 y hasta 4 semanas. El período vacacional de este año es el que se detalla: del 11 al 30 de abril de 2016, del 15 del 27 de agosto de 2016 y del 03 de diciembre 2016 al 02 de enero 2017.

CLIMATOLOGÍA DE MONTERREY

La ciudad de Monterrey está ubicada a 554 msnm. Los datos de climatología que se presentan a continuación corresponden a datos promedio de los últimos 22 años de la NASA [9], histórico de los últimos 12 meses y promedio de los últimos 22 años del Aeropuerto Internacional General Mariano Escobedo (Monterrey, México) [10].

Temperatura en los últimos 22 años

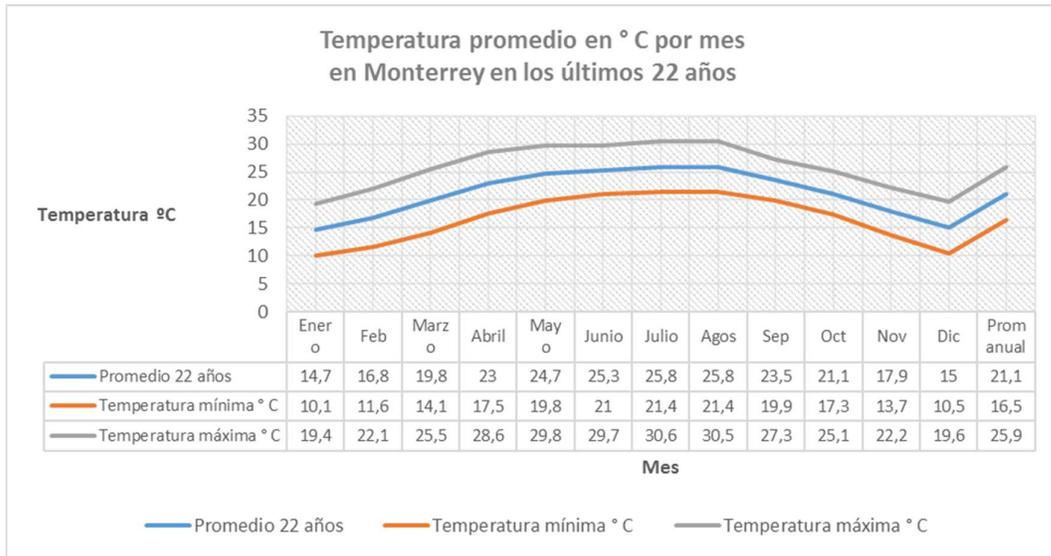


Figura 1: Temperatura promedio en ° C por mes en Monterrey en los últimos 22 años [9]

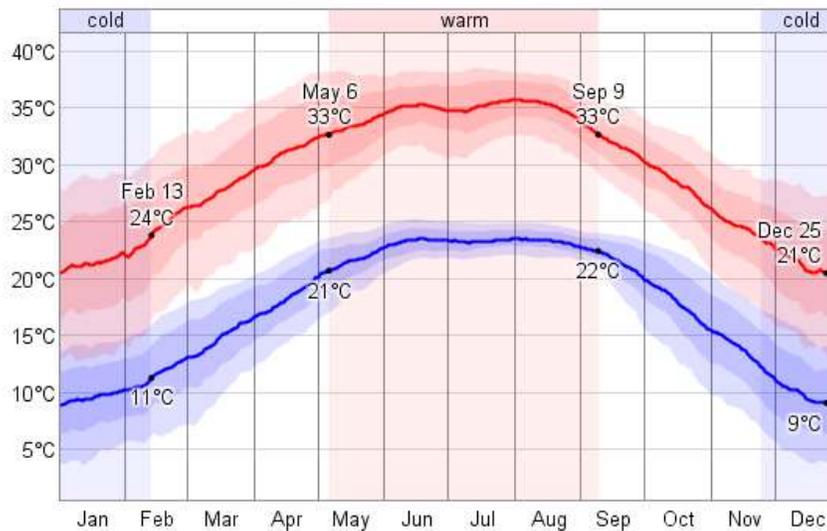


Figura 2: Temperatura promedio en ° C por mes en Monterrey en los últimos 22 años [10]

Temperatura media diaria baja (azul) y alta (roja) con bandas percentiles (banda interna del 25 al 75 percentil, banda externa del 10 al 90 percentil).

Durante el año, la temperatura típica varía de 9 °C a 36 °C y raramente está por debajo de 4 °C o por encima de 39 °C. La estación cálida es del 6 de mayo al 9 de septiembre con una temperatura máxima media diaria de 33 °C. El día más caluroso del año es el 1 de agosto, con un promedio alto de 36 °C y un mínimo de 24 °C. La estación fría dura del 24 de noviembre al 13 de febrero con una temperatura media alta diaria de 24 °C. El día más frío del año es el 1 de enero, con un mínimo promedio de 9 °C y un máximo de 21 °C.

Temperatura en los últimos 12 meses

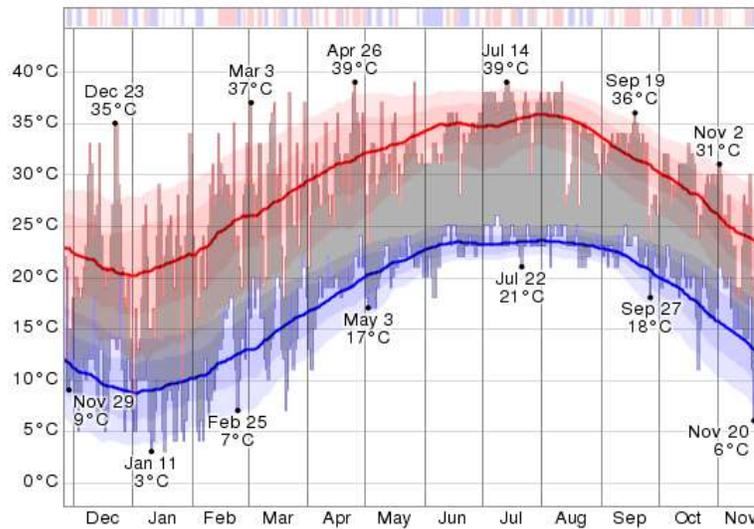


Figura 3: Rango de temperaturas máximas y mínimas en los últimos 12 meses en Monterrey. [10]

El día más caluroso de los últimos 12 meses fue en abril con 30 °C. El promedio de temperatura anual es 32 °C. El mes más caluroso fue julio con un promedio de temperatura de 37 °C. El día más frío fue en enero 2016 con 3 °C y enero fue el mes más frío con una temperatura promedio de 7 °C.

En relación con el promedio, el día más caluroso fue el 24 de diciembre. La temperatura alta ese día fue de 35 °C, en comparación con el promedio de 20 °C, una diferencia de 15 °C. En términos relativos, el mes más cálido fue diciembre, con una temperatura media alta de 24 °C, en comparación con un valor típico de 21 °C.

El período de calor más largo fue del 29 de junio al 20 de julio, constituyendo 22 días consecutivos con temperaturas más altas que la media. El mes de julio tuvo la mayor fracción de días más cálidos que el promedio con 84% días con temperaturas más altas que la media.

El día más frío de los últimos 12 meses en Monterrey fue el 11 de enero, con una temperatura baja de 3 ° C. Para referencia, en ese día la temperatura baja promedio es de 9 ° C y la temperatura baja disminuye 4 ° C solo un día de cada diez. El mes más frío de los últimos 12 meses fue enero con una temperatura baja promedio diaria de 7 ° C.

En relación con el promedio, el día más frío fue el 21 de marzo. La temperatura baja ese día fue de 7 ° C, en comparación con el promedio de 15 ° C, una diferencia de 8 ° C. En términos relativos, el mes más frío fue enero, con una temperatura baja promedio de 7 ° C, en comparación con un valor típico de 9 ° C.

El período de frío más largo fue del 27 de enero al 8 de febrero, constituyendo 13 días consecutivos con temperaturas más bajas que el promedio. El mes de enero tuvo la mayor fracción de días más fríos que el promedio, con un 74% de días con bajas temperaturas.

Viento

En los meses del año 2015, la mayor velocidad de viento sostenida fue de 13 m/s, ocurriendo el 27 de abril. La velocidad media diaria más alta del viento fue de 6 m/s (27 de diciembre) y la velocidad máxima de la ráfaga de viento fue de 22 m/s (2 de septiembre). El mes más ventoso fue julio, con una velocidad media del viento de 4 m / s. El mes menos ventoso fue octubre, con una velocidad media del viento de 2 m / s.

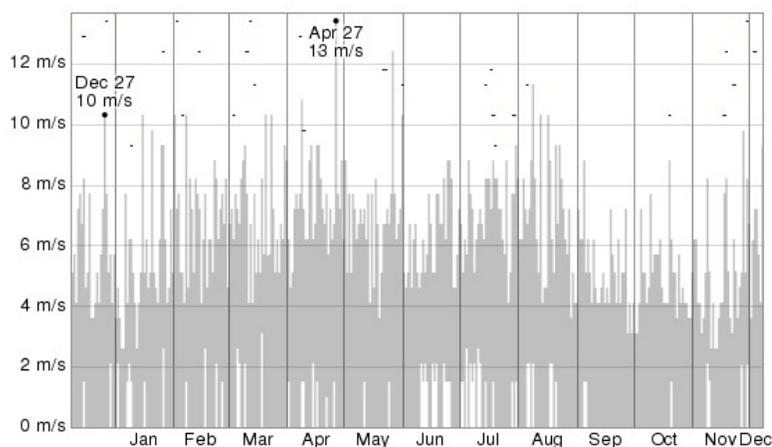


Figura 4: Velocidad del viento en 12 meses del 2015 en Monterrey. [10]

Nubosidad

Nubosidad en los últimos 22 años.

Nivel de nubosidad medio. El rango medio de la cobertura de nubes oscila entre 55% (parcialmente nublado) y 74% (parcialmente nublado). El cielo nublado el 23 de abril y más claro el 22 de diciembre. La parte más despejada del año comienza alrededor del 12 de julio. La parte más nubosa del año comienza alrededor del 23 de febrero.

El 22 de diciembre, es el día más claro del año, el cielo está despejado, en su mayoría despejado, o parcialmente nublado el 38% del tiempo, mayormente o parcialmente nublado el 33% del tiempo.

El 23 de abril, es el día más nublado del año. El cielo está nublado, nublado, o parcialmente nublado el 49% del tiempo, y claro o casi todo despejado el 21% del tiempo.

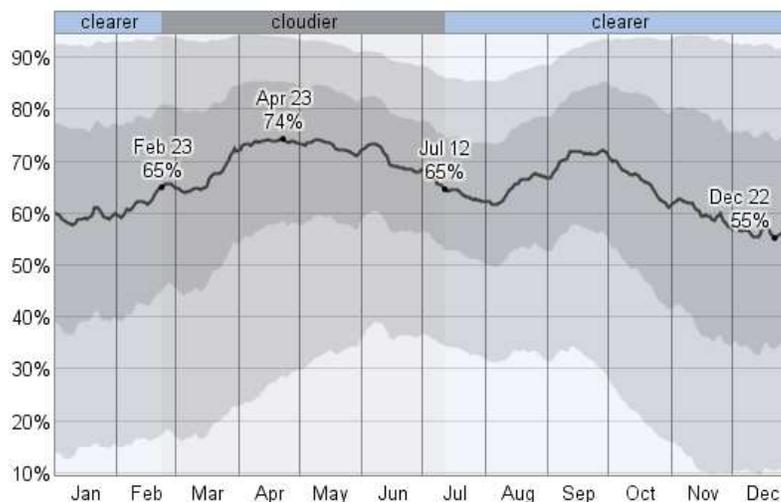


Figura 5: Nivel de nubosidad en los últimos 22 años en Monterrey. [10]

La media de cobertura diaria de nubes (línea negra) con bandas percentiles (banda interna del 40 al 60 percentil, banda externa del 25 al 75 percentil).

Tipos de nubes

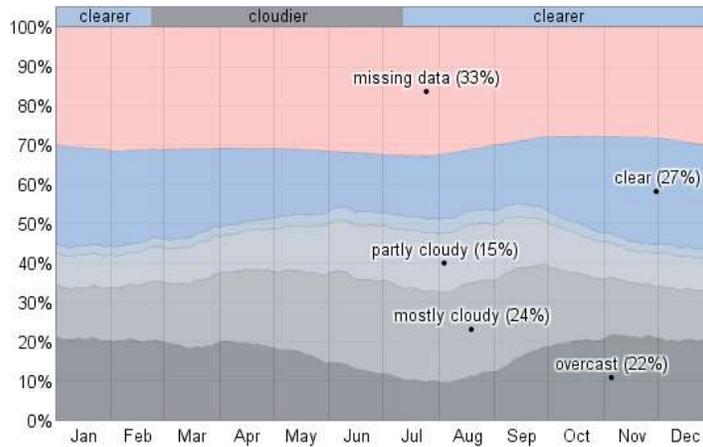


Figura 6: Tipos de nubes en los últimos 22 años en Monterrey. [10]

La fracción de tiempo gastado en cada una de las cinco categorías de cobertura del cielo. Desde la parte superior (más azul) hasta la parte inferior (la más gris), las categorías son claras, en su mayoría despejado, parcialmente nublado, nublado y nublado. El color rosa indica datos perdidos. Fuera de los Estados Unidos los cielos despejados son a menudo reportados de manera ambigua, llevándolos a ser agrupados con los datos que faltan.

Nubosidad en los últimos 12 meses

El mes más nublado de los últimos 12 meses fue mayo, con un 81% de días más nublado que despejado. El período más largo de tiempo nublado fue del 6 de abril al 21 de abril, constituyendo 16 días consecutivos que fueron más nublados de lo que estaban claros. El mes más claro de los últimos 12 meses fue febrero, con un 55% de días más claro que nublado. El período más largo de tiempo claro fue del 14 de enero al 25 de enero, constituyendo 12 días consecutivos que estaban más despejados que nublados.

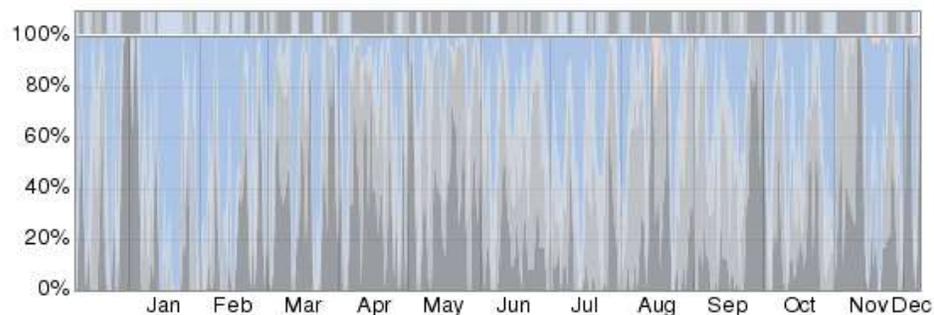


Figura 7: Cobertura de las nubes en los últimos 12 meses en Monterrey. [10]

La fracción de tiempo gastado en cada una de las cinco categorías de cobertura del cielo en el transcurso de los últimos 12 meses sobre una base diaria. Desde la parte superior (más azul) hasta la parte inferior (la más gris), las categorías son claras, en su mayoría despejado, parcialmente nublado, nublado y nublado. El color rosa indica datos perdidos. Fuera de los Estados Unidos los cielos despejados son a menudo reportados de manera ambigua, llevándolos a ser agrupados con los datos que faltan. La barra en la parte superior de la gráfica es gris si el cielo estaba nublado o mayormente nublado durante más de la mitad del día, azul si es claro o casi transparente durante más de la mitad del día y azul gris de lo contrario.

Cobertura de nubes por hora y mes

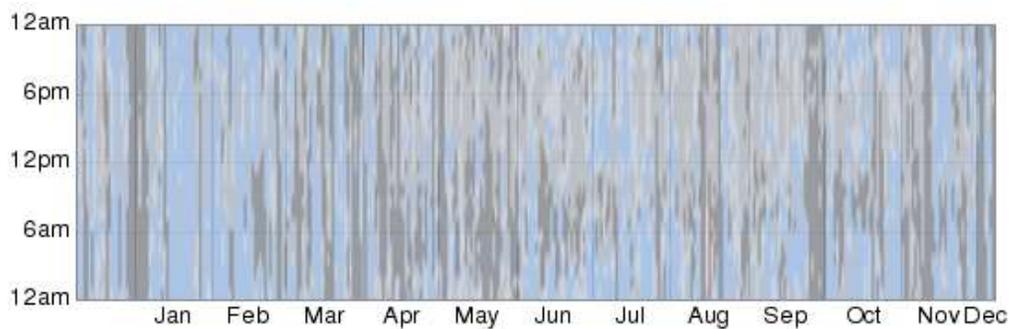


Figura 8: Cobertura de las nubes por hora y mes en los últimos 12 meses en Monterrey. [10]

La cobertura de nubes por horas durante el año informa los meses en horizontal y las horas del día en la vertical. El nivel de nubosidad del cielo está codificado por colores: desde el más azul hasta el más gris, las categorías son claro, en su mayoría despejado, parcialmente nublado, nublado y nublado. El color rosa indica datos perdidos. Fuera de los Estados Unidos, los cielos despejados son a menudo reportados de manera ambigua, llevándolos a ser agrupados con los datos faltantes.

EVALUACIÓN ENERGÉTICA

RESUMEN DE LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN FOCIM	
Alcance	Edificio del Instituto para el desarrollo científico de Monterrey FOCIM Xicoténcatl Norte 975, Centro, 64000 Monterrey, Nuevo León, México
Período de análisis	Junio 2015 a mayo 2016
Fuentes energéticas: Electricidad	Tarifa OM de media tensión hasta 100kW Tarifa 2 de baja tensión hasta 25kW
Metodología	Se establece un modelo teórico en base a: Inventario de elementos consumidores (total 579 equipos) Potencias nominales (total instalada 149.497W) Facturas eléctricas (total importe facturas 121.438,64 \$ mexicanos)
	Se realiza un análisis según usos energéticos: Sistema de climatización 43% Sistema de iluminación 24% Sistemas de TI 27% Mantenimiento 6%
	Se realizan las propuestas de mejora
	Se calculan indicadores de desempeño energético
Consumos energéticos	Electricidad: 49.443 kWh/año
Costes energéticos	Electricidad: 121.438,64 \$ mexicanos /año
Principales ratios energéticos	Energía por unidad de superficie: $4.120 \text{ kWh-mes} / 1.230 \text{ m}^2 = 3,34 \text{ kWh/mes-m}^2$ Potencia instalada por unidad de superficie: $149.497\text{W} / 1.230 \text{ m}^2 = 121,54 \text{ W/m}^2$

Tabla 2: Resumen de la evaluación energética en FOCIM.

CONTRATACIÓN DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO Y ANÁLISIS DE TARIFAS

El edificio posee 4 medidores/contadores de electricidad. No existen planos de las instalaciones eléctricas y se desconoce qué sistemas están asociados a cada medidor. Adicionalmente, desde que se alquiló el edificio, no ha habido ningún análisis de las tarifas contratadas. A raíz de un excesivo importe en las facturas eléctricas, se decidió cambiar uno de los contratos y adquirir un transformador para tener una subestación, cambiando uno de los contratos con tarifa de baja tensión a una tarifa de media tensión. El centro educativo FOCIM tiene 1 contrato con tarifa de media tensión OM y 3 contratos con tarifa 2 de baja tensión, pero solo están registrando consumos en dos de los contadores. Descripción de las tarifas que tiene contratadas FOCIM:

1 contrato con tarifa OM Tarifa ordinaria para servicio general en media tensión, con demanda menor a 100 kW.

3 contratos con Tarifa General 2 hasta 25 kW de demanda.

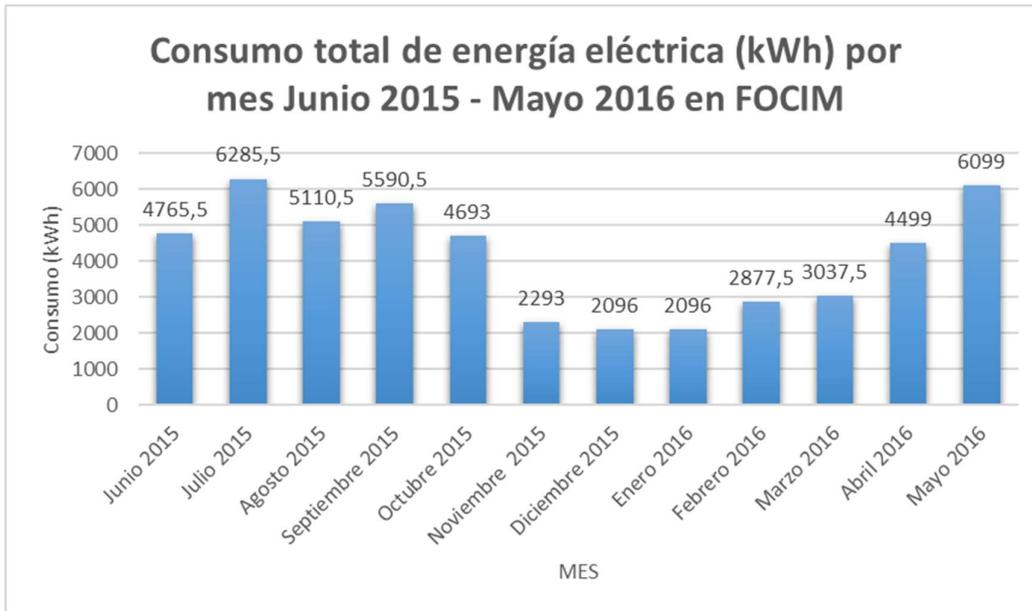


Figura 9: Consumo total de energía (kWh) por mes en un período base de un año desde junio 2015 a mayo 2016.

Analizando un período base de un año, en los meses de noviembre y diciembre 2015 y enero 2016, se registran los menores consumos de energía, respectivamente. Esto se puede asociar

al periodo vacacional y a que los equipos de climatización que usan en el edificio tal y como está especificado en sus fichas técnicas, demandan menos energía para producir calor que para refrigerar.

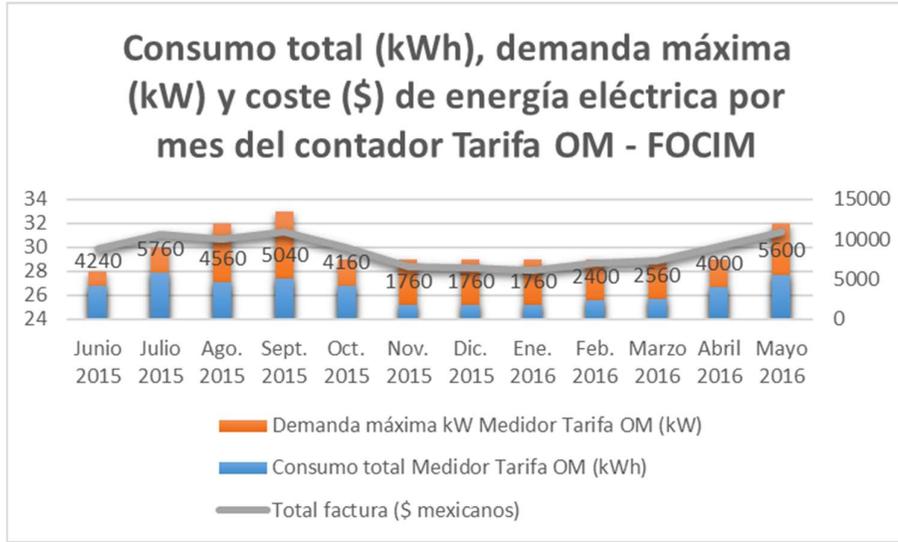


Figura 10: Tarifa OM Comparación demanda máxima vs consumo vs facturación en \$ mexicanos por mes en un periodo de un año base.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) para la tarifa OM, cobra por concepto de demanda máxima, el valor más alto registrado por el medidor (se mide en intervalos de 15 minutos cada 5 minutos) dentro del período de facturación multiplicado por la tarifa del mes. También se considera que cualquier fracción de demanda máxima medida se tomará como kilowatt completo. [11]

El centro educativo está pagando un importe elevado en las facturas en el contrato del medidor de media tensión por concepto de demanda máxima. Para reducir el importe de las facturas en el medidor tarifa OM es indispensable gestionar la demanda máxima.

La potencia contratada y conectada de FOCIM según el contrato de tarifa OM es 90 kW para un máximo de 100kW, y del contrato con tarifa 2 es máximo 25kW. Al hacer el inventario de equipos en FOCIM resultó que la potencia total de todos los equipos conectados asciende a 149 kW.

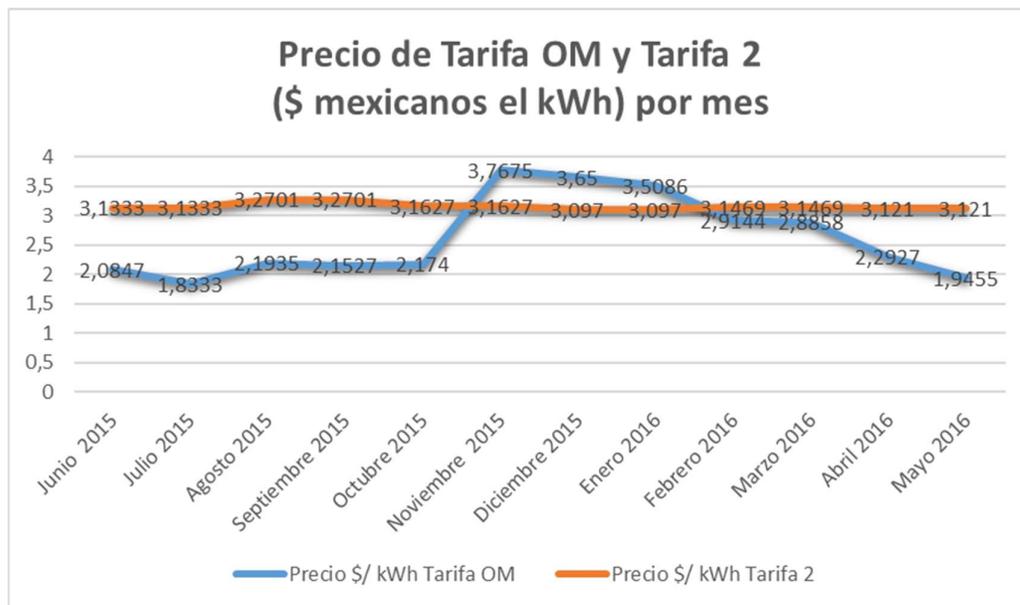


Figura 11: Precio de tarifa OM y tarifa 2 en \$ mexicanos por mes en un periodo de un año base.

Con relación a los precios por tarifa se observa que los precios de la tarifa 2 son mayores en promedio todo el año a los de la tarifa OM. En la curva que representa a la tarifa OM, se deduce que el precio por kWh consumido en la tarifa OM es mayor en noviembre, diciembre 2015 y enero 2016 que otros meses a pesar de que esos meses hubo un menor consumo energético tal como se mostró en la figura 1.

BALANCE ENERGÉTICO DE CONSUMOS Y USOS DE ENERGÍA

Se elaboraron inventarios de equipos separando éstos 4 áreas o sistemas:

- Sistema de iluminación.
- Sistema de climatización.
- Área de mantenimiento.
- Sistema de Tecnología de la Información o TI.

Para cada equipo se detalló la potencia, la antigüedad, las horas de funcionamiento según las entrevistas al personal de cada área, la fecha de último mantenimiento. No existe documentación técnica de los equipos. Tomando en cuenta las facturas eléctricas de un período base de un año, se determinó el coste asociado a cada uno de los cuatro sistemas diferenciados.

Se identificaron las áreas de uso significativo de la energía de distintos sistemas de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Potencia de cada equipo, aplicando un factor de corrección de 0,9 a los equipos de climatización debido a que no todos los equipos funcionan a plena carga durante todas las horas. Una vez que un equipo alcanza la temperatura de consigna el compresor no consume el 100% de su potencia.
- Horas de funcionamiento semanal y anual. Se aplicó un factor de corrección a las horas de funcionamiento de los equipos de mantenimiento ya que los consumos calculados de acuerdo a la potencia y horas de funcionamiento eran muy elevados. La información proporcionada a través de entrevista, era subjetiva.

Toda la información se trató para que cada equipo consumidor de energía estuviera asociado a un área determinada del edificio, con sus horas de funcionamiento al día, su potencia, la fecha del último mantenimiento. Al tratar los datos de esta manera, podemos determinar por área o espacio qué equipos de informática, climatización e iluminación hay en un aula de estudios o en una oficina administrativa y saber su consumo y cómo repercute en el total. Este mismo análisis lo podemos hacer por sistema y de igual forma se clasificaron los espacios según su uso (administrativo, formativo, mantenimiento, servicios generales).

Al totalizar los consumos de los equipos según la potencia de cada uno y las horas de funcionamiento y contrastar con el consumo total de facturas eléctricas, se encontraron diferencias que se detallan seguidamente:

Total consumo anual energía eléctrica según potencia de equipos y horas de funcionamiento: 123.380 kWh.

Total consumo anual energía eléctrica facturada: 49.443 kWh.

Por lo tanto, se aplica un factor de corrección a los equipos de climatización de 0,9 entendiendo que no trabajan al 100% de su carga todas las horas que permanecen encendidos. Se realizó una encuesta a cada departamento sobre el uso promedio de cada equipo, pero al ser subjetiva, se aplica un factor de corrección a las horas de uso de los equipos del área de mantenimiento y de TI.

Para ajustar el consumo de los sistemas según la potencia y horas de funcionamiento al consumo registrado en las facturas, después de aplicar los factores de corrección, se toma como referencia el sistema más fiable que corresponde a la iluminación. Teniendo en cuenta que las luminarias trabajan al 100% de su potencia las horas indicadas tanto en el área formativa como en la administrativa, ajustamos el consumo de los otros sistemas según el sistema fijado de iluminación.

Sistema/área	Consumo anual kWh/año ESTIMADO
Climatización	63.256
Iluminación	12.472
Equipos TI	40.753
Mantenimiento	6.899
Total general estimado	123.380

Tabla 3: Balance por sistemas (% del total de energía consumida por sistema /área) ESTIMADO.

Sistema/área	Consumo anual (kWh/año) AJUSTADO
Climatización	21.086
Iluminación	12.472
Equipos TI	13.585
Mantenimiento	2.300
Total general facturado	49.443

Tabla 4: Balance por sistemas (% del total de energía consumida por sistema /área) AJUSTADO.

Una vez ajustados los valores según el sistema fijado (iluminación) se define que los equipos que presentan mayor consumo en el edificio son los asociados al sistema de climatización 43%, seguidos de los equipos de Tecnología de la Información TI con un 27%, iluminación 24% y el área de mantenimiento con un 6% con respecto al total de energía consumida anualmente.

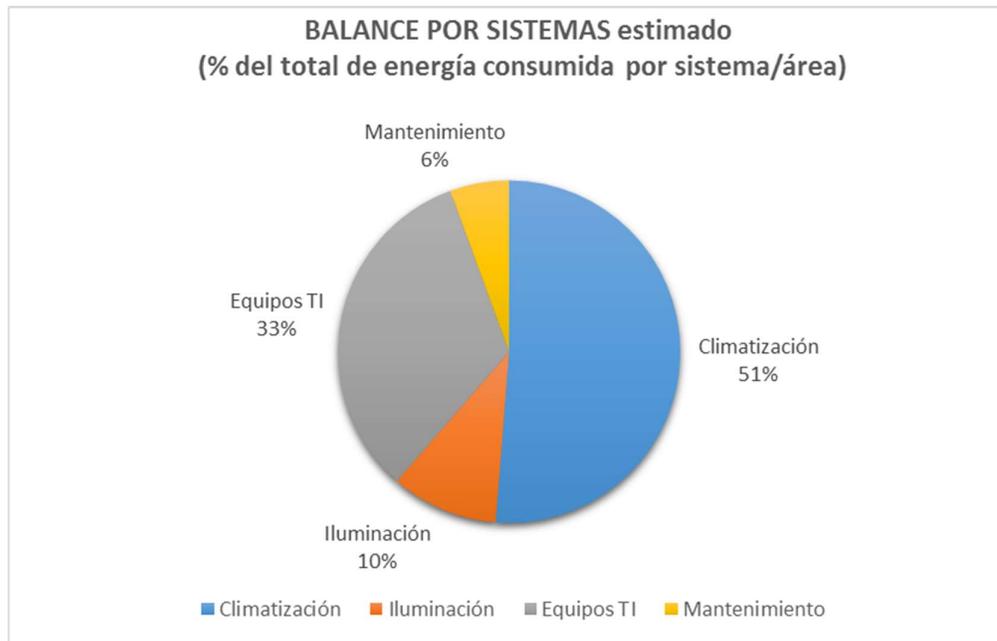


Figura 11: Balance por sistemas (% del total de energía consumida por sistema /área) ESTIMADO

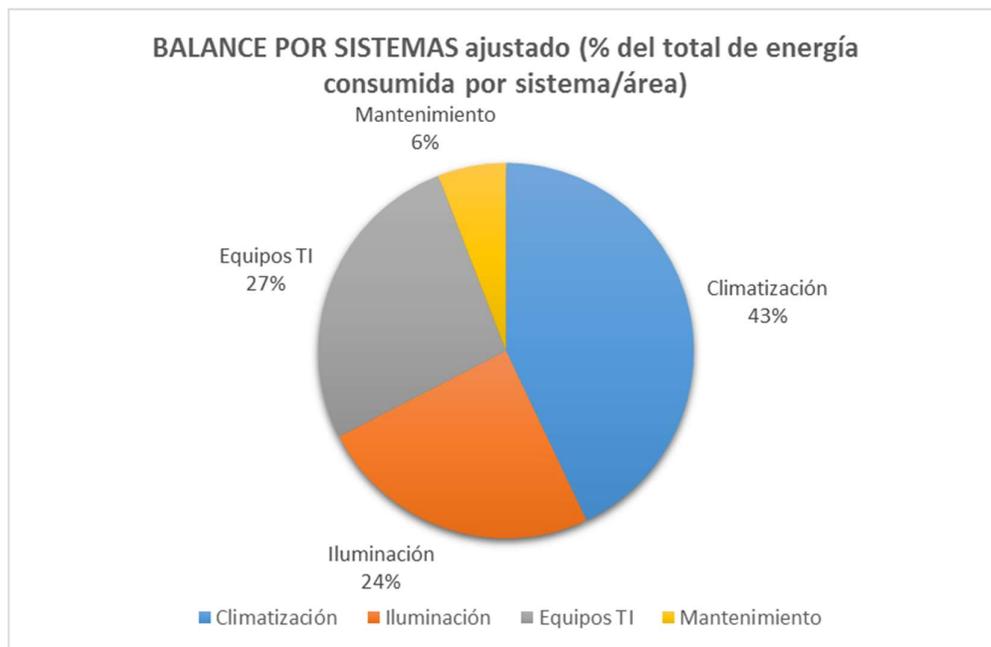


Figura 12: Balance por sistemas (% del total de energía consumida por sistema /área) AJUSTADO

OPORTUNIDADES PARA OPTIMIZAR EL DESEMPEÑO ENERGÉTICO

Se enumeran las oportunidades de mejora por grupos de sistemas, y en desarrollo del capítulo se hace énfasis detallando más las que tienen mayor peso e importancia para mejorar el desempeño energético del edificio.

RESUMEN DE LAS OPORTUNIDADES DE MEJORA
1.-ILUMINACIÓN. Estudio de niveles de iluminación por área y sustitución de luminarias.
2.-ILUMINACIÓN. Planificación de un programa de mantenimiento de luminarias.
3.-ILUMINACIÓN. Implantación de un sistema de control en iluminación.
4.-CLIMATIZACIÓN. Cálculo de necesidades de refrigeración/calefacción por espacios.
5.-CLIMATIZACIÓN. Implantación de un sistema de control en el sistema de climatización.
6.-CLIMATIZACIÓN. Implantación de un programa de mantenimiento a los equipos de climatización.
7.-CLIMATIZACIÓN. Limitar la temperatura de confort en invierno y en verano.
8.-CLIMATIZACIÓN. Sustitución de minisplits por sistemas de tecnología más avanzada VRF .
9.-SISTEMA ELÉCTRICO. Optimización de la potencia contratada y distribución de cargas .
10.-SISTEMA ELÉCTRICO. Análisis del estado de las instalaciones eléctricas a través de termografía infrarroja.
11.-AGUA. Reducción del consumo de agua.
12.-DISEÑO PASIVO. Aislamiento de la fachada. Estudio de fachada ventilada fotovoltaica. Tabla paramétrica.
13.-DISEÑO PASIVO. Sombreamiento de ventanas.
14.-DISEÑO PASIVO. Sustitución de cerramientos de huecos (marco + vidrio).
15.-DISEÑO PASIVO. Aislamiento de cubierta.
16.-DISEÑO PASIVO. Iluminación de la futura cafetería y terraza.

Tabla 5: Resumen de las oportunidades de mejora en FOCIM

1.-ILUMINACIÓN. Estudio de niveles de iluminación por área y sustitución de luminarias.

Situación actual: No existe un estudio de luminosidad en el centro educativo para las aulas ni para los puestos de trabajo y hay luminarias de podrían reemplazarse.

Existen 89 lámparas fluorescentes compactas, 2 fluorescentes circulares, 65 lámparas fluorescentes de tubo y 53 lámparas de diodo emisor de luz (LED). Del total de 209 lámparas, el 25% son LEDs. Teniendo en cuenta que la mayoría de los meses del año en Monterrey hay temperaturas elevadas y que el mayor consumo de energía es causado por los equipos de climatización para refrigerar las aulas y oficinas es vital analizar las luminarias usadas. El 75% de las luminarias son lámparas fluorescentes que convierten el 40% de la energía consumida en calor. Por lo tanto, además de la temperatura elevada en verano, las lámparas emiten calor y los equipos de refrigeración están consumiendo más energía para mantener la temperatura en 23 °C.

En relación al calor emitido por las luminarias, se pueden diferenciar las lámparas de la siguiente forma:

- Una lámpara LED de luz blanca convierte entre un 70% y un 80% de la energía consumida en luz y entre un 20% y un 30% en calor. Los LEDs no emiten radiación infrarroja (ni ultravioleta).
- Una lámpara fluorescente convierte el 20% de la energía consumida en luz, el 40% en calor y cerca del 40% restante en radiación infrarroja (IR).
- Las lámparas incandescentes convierten alrededor del 10% en luz, el 20% en calor y la energía restante en radiación IR. [12]

Las LED no tienen ningún elemento tóxico y alcanzan el 100% de su rendimiento desde el mismo momento en que se encienden mientras que las bombillas de bajo consumo deben ser recicladas con tratamiento de residuos peligrosos ya que contienen una pequeña porción de mercurio (entre 3 y 6 mg). Las LED duran 10 años, entre 50.000 y 100.000 horas y su rendimiento 100-150 lm/W. La vida útil de los tubos fluorescentes se acorta en los centros educativos, debido al continuo apagado y encendido, duran entre 5000 y 10000 horas y el rendimiento en color de estas lámparas es aproximadamente del 70% [13].

Las lámparas LED integradas se clasifican por su flujo luminoso total, por su distribución espacial de la luz (omnidireccional o direccional) y por la forma de su bulbo [13]. El porcentaje de ahorro en consumo eléctrico, suele estar en torno al 50% usando LEDs en vez de lámparas fluorescentes. Las lámparas fluorescentes no dan luz continua, sino que muestran un parpadeo que depende de la frecuencia de la corriente alterna aplicada. Una exposición continua a esta luz puede

causar dolor de cabeza y es muy perjudicial para quienes sufren de migraña. Este parpadeo lateral en el tubo fluorescente al final de su vida, puede afectar los estados de concentración de los estudiantes.

El color de la luz emitida por las lámparas tiene también una gran importancia en el comportamiento de los alumnos y en su aprovechamiento en el centro educativo. Las lámparas de colores cálidos, proporcionan ambientes más sociables y relajados y las de luz fría proporcionan un ambiente similar al aire libre, que ayudan a evitar la sensación que pueden sufrir algunos alumnos y empleados por la permanencia de varias horas en un recinto cerrado. Las lámparas con un índice de reproducción del color menor a 80 no deben utilizarse en interiores donde las personas trabajan durante largos períodos. La luz no sólo mejora el ambiente de la oficina, sino que también influye en la realización de las tareas, ya que determina el estado de ánimo de los empleados ayudándoles a concentrarse y a mejorar la productividad. Según la NORMA europea UNE-EN 12464-1:2012 Iluminación de los lugares de trabajo en interiores, estos son los valores recomendados para centros educativos y oficinas: [14]

Edificios educativos	Em lux	UGRI	Ra
Áreas de circulación/pasillos	100	25	80
Almacenes de materiales de profesores	100	25	80
Escaleras	150	25	80
Biblioteca (estanterías)	200	19	80
Aulas, aulas de tutoría, aulas de prácticas de música, aulas de prácticas de informática, laboratorio de lenguas, salas de profesores,	300	19	80
Biblioteca (sala de lectura) aulas de clases nocturnas y educación de adultos, sala de lectura, pizarra, mesa de demostraciones, aulas de arte, aulas de prácticas y laboratorios, aulas de manualidades, talleres de enseñanza	500	19	80
Aulas de arte en escuelas de arte	750	19	80
Aulas de dibujo técnico	750	16	80
Halls de entrada, aulas comunes de estudio y aulas de reunión,	200	22	80
Aulas de preparación y talleres	500	22	80
Salas de deporte (gimnasio y piscinas)	300	22	80
Cocina	500	22	80
Cantinas escolares	200	22	80

Tabla 6: Iluminación de los lugares de trabajo en interiores: Centros educativos. Norma europea UNE-EN 12464-1:2012. [14]

Oficinas	Em lux	UGRI	Ra
Archivo, copias, etc.	300	19	80
Escritura, escritura a máquina, lectura y tratamiento de datos, puestos de trabajo de CAD, salas de conferencias y reuniones	500	19	80
Dibujo técnico	750	16	80
Archivos	200	25	80
Mostrador de recepción	300	22	80

Tabla 7: Iluminación de los lugares de trabajo en interiores: Oficinas Norma europea UNE-EN-12464-1:2012. [14]

Em: es la iluminancia mantenida en la superficie de referencia para el área interior, tarea o actividad dada en la columna 2. La iluminancia media para cada tarea no debe ser inferior del valor en tablas para cada área, independientemente de la edad y estado de la instalación. La iluminancia mantenida puede ser disminuida en circunstancias inusuales o aumentada en circunstancias críticas (trabajos de precisión).

UGRI: es el límite de Índice de Deslumbramiento Unificado (UGR) cuando los límites son aplicables a la situación recogida en la columna anterior de iluminancia Em.

Ra: Proporciona los índices de rendimiento de colores mínimos para la situación recogida en la columna de iluminancia Em.

Descripción de las mejoras:

- Hacer un estudio de los niveles de las condiciones de iluminación de las áreas y los puestos de trabajo para identificar si existe una excesiva o deficiente iluminación en cada espacio.
- Identificar los niveles adecuados de iluminación para cada puesto de trabajo y espacio en el centro educativo y comparar los parámetros con los resultados del informe anterior. Se recomienda usar conjuntamente la norma mexicana NOM 025-STPS-2008 de la Secretaría del trabajo que rige los lineamientos básicos para la iluminación de sitios de trabajo y la norma europea UNE-EN 12464-1:2012 Iluminación de los lugares de trabajo en interiores.
- Sustitución de las lámparas fluorescentes por LEDs, priorizando las fluorescentes de tubo que estén más tiempo encendidas y posteriormente las fluorescentes compactas. Dentro de las luminarias LEDs hay que resaltar que las lámparas omnidireccionales emiten luz hacia todas las áreas y que las direccionales son preferibles ya toda la potencia se usa para iluminar hacia abajo. Se puede obtener más información técnica en la norma Oficial Mexicana NOM-030-ENER-2012, Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba. [15]

2.-ILUMINACIÓN. Planificación de un programa de mantenimiento de luminarias.

Situación actual: No se realiza mantenimiento a las luminarias. La falta de mantenimiento a las luminarias puede conducir a una reducción del 35% aproximadamente del flujo luminoso. Deben ser sustituidas al final de la vida útil indicada por el fabricante, aunque la lámpara siga alumbrando, el rendimiento lumen/watio no es el mismo. [16]

Descripción de la mejora: Un programa de mantenimiento de luminarias aumentará la luminosidad evitando el tener tantas luminarias encendidas simultáneamente.

3.-ILUMINACIÓN. Implantación de un sistema de control de iluminación.

Situación actual: Existen zonas como baños, despachos, escaleras, algunos pasillos que pasan mucho tiempo las luminarias encendidas sin dar servicio a ningún usuario, lo que conlleva a un excesivo consumo. Las luminarias de las escaleras siempre están encendidas a pesar de que hay un acristalamiento en toda la pared en varios pisos que da luz natural a la escalera.

Adicionalmente, todas las aulas tienen persianas interiores y a pesar de que algunas aulas y oficinas tienen luz natural a través de las ventanas, el uso de las persianas hace que las luces deban estar encendidas. Esta situación tiene dos consecuencias: no se usa la luz natural para reducir la cantidad de luminarias encendidas y en invierno se desaprovecha el calor que genera el sol para calentar las estancias debido a que existen las persianas.

Descripción de la mejora:

- Instalar sensores que ajusten la intensidad lumínica en función de la luz ambiental y sensores que actúen en función de la ocupación de la sala. De esta manera el equipo de climatización funcionará más adecuadamente sin tener que refrigerar espacios con ganancias térmicas provocadas por exceso de iluminación.
- Implantar diferentes sistemas de control integrados en las luminarias adecuados para cada tipo de estancia: foto sensores con regulación de luz artificial en aulas, oficinas y pasillos y detectores de presencia o sistemas de temporización en baños, escaleras.
- Usar de forma adecuada las persianas para poder usar la luz natural para iluminar y calentar las estancias en invierno.
- Al remodelar los espacios, usar colores claros para pintar las paredes y techos.

4.-CLIMATIZACIÓN. Cálculo de necesidades de refrigeración/calefacción por espacios.

Situación actual: El centro educativo prefiere tener un sistema de climatización de 26 minisplits y no centralizado ya que si falla algún equipo no deja de funcionar todo el sistema. Cada aula tiene 2 equipos

de climatización y ambos equipos se encienden manualmente por un operario para todas las aulas independientemente de la cantidad de alumnos. El consumo asociado al sistema de climatización representa un 43% del consumo total del edificio.

Descripción de la mejora: Elaborar un estudio por área a climatizar según el área y la ocupación promedio de las aulas para determinar las necesidades de climatización reales.

5.-CLIMATIZACIÓN. Implantación de un sistema de control en el sistema de climatización.

Situación actual: Además de que posiblemente se estén usando más equipos de los necesarios por aula, la mayoría de los equipos se encienden de 18:00 a 22:00 horas provocando una situación de demanda máxima la cual se ve reflejada en un mayor coste en la factura eléctrica. El sistema de iluminación y los equipos de TI representan casi el mismo porcentaje y el sistema de iluminación tiene un consumo estable y con menor potencia el sistema de climatización.

Esta gráfica explica claramente que el horario más caluroso del día es entre las 12 am y 12 pm entre los meses de abril a octubre de ahí que el consumo eléctrico sea mayor en esos meses por la demanda de refrigeración del edificio. El clima de Monterrey es semi árido, la fachada de mayor área está orientada totalmente al sur y los cerramientos tienen un 100% de pérdida porque son de vidrio sencillo y marco de aluminio.

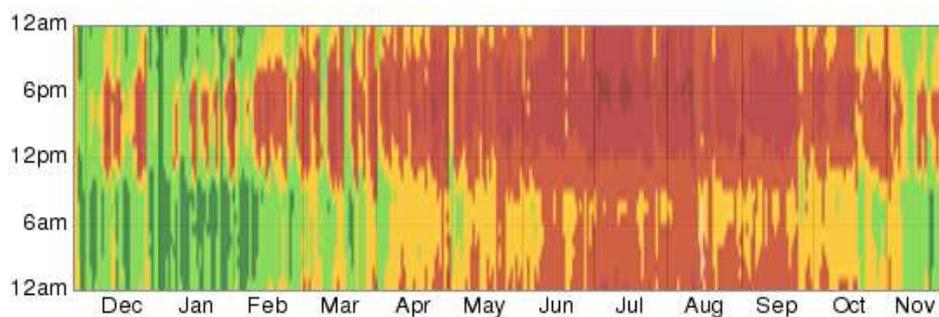


Figura 14: Banda de temperatura en Monterrey a distintas horas del día para cada mes. [9]

Las horas del día se muestran en el eje vertical y los meses del año en el horizontal. Frío es verde oscuro (0 °C a 10 °C), frío moderado es de (10 °C a 18 °C), confortable es amarillo (18 °C a 24 °C), templado es rojo suave (24 °C a 29 °C), caluroso es rojo fuerte (29 °C a 38 °C) y sofocante es rojo intenso (sobre 38 °C).

Descripción de la mejora: Adquirir un analizador para el control de la demanda máxima con la finalidad de administrar las cargas y gestionar la demanda máxima. Este equipo tiene un analizador de redes interno para el cálculo de la demanda máxima y cada vez que el equipo registra un exceso de consumo,

este desconectará una línea con cargas no críticas para disminuir la potencia y asegurar que la instalación no sobrepase el límite de demanda.

6.-CLIMATIZACIÓN. Implantación de un programa de mantenimiento a los equipos de climatización.

Situación actual: En el inventario realizado casi ningún equipo de climatización ha tenido mantenimiento y muchos de ellos tienen 8 años de antigüedad. Las fichas técnicas de equipos de refrigeración indican que deben tener mantenimiento cada 6 meses. La obstrucción de los filtros produce que los equipos trabajen más para enfriar el mismo espacio.

Propuesta de mejora: programa de mantenimiento preventivo.

7.-CLIMATIZACIÓN. Limitar la temperatura de confort en invierno y en verano.

Situación actual: La temperatura de consigna a la que se encuentran los minisplits es 23 °C, pero se varía manualmente por profesores y operario.

Descripción de la mejora:

- Ajustar las temperaturas de consigna ya que cada grado extra de refrigeración significa un incremento de consumo de energía del 7%. El IDAE recomienda limitar la temperatura de consigna a 21 °C en invierno y 26 °C en verano. El Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE) establece que las condiciones interiores de diseño para el mantenimiento de la calidad del aire y confort térmico oscila en verano entre 23 °C y 25 °C, con humedad relativa de 45%-60% y en invierno de 21 °C a 23 °C con humedad relativa de 40%-50%. por razones de ahorro energético las temperaturas en los edificios refrigerados no deberán bajar de los 26 °C y no superar los 21 °C en los calefactados. Una temperatura excesiva reduce el rendimiento del trabajador y aumenta la posibilidad de errores y de accidentes laborales. [17]

La norma ISO 7730:2006 ergonomía del ambiente térmico, determinación analítica e interpretación del bienestar térmico, indica igualmente entre los criterios de diseño en diferentes espacios para una actividad metabólica de 70 W/m², que la temperatura operativa debe ser en °C:

1. Despacho individual y oficina diáfana: temperatura de verano 24,5 +/- 1; temperatura de invierno 22 +/- 1.
2. Sala de actos y sala de conferencias: temperatura de verano 24,5 +/- 1,5; temperatura de invierno 22 +/- 1,5.
3. Aula y cafetería/restaurante: temperatura de verano 24,5 +/- 2,5; temperatura de invierno 22 +/- 2. [18]

- Debido a que la última planta del edificio no está aislada térmicamente, es más vulnerable a estar más fría en invierno y más caliente en verano que el resto de plantas del edificio. Por tanto, se recomienda programar las clases en verano en las aulas de la planta 2 y de preferencia las aulas que no dan directamente a la calle, ya que es la fachada sur la que recibe sol durante todo el día. Esta medida es para que los equipos de climatización no tengan que trabajar más para enfriar las aulas del piso 3 y cualquier aula que esté en la fachada sur de cualquier piso, que estarán con temperaturas más elevadas debido a que la cubierta del edificio no está aislada térmicamente y además el sol incide en la fachada sur.

8.-CLIMATIZACIÓN. Sustitución de minisplits por sistemas de tecnología más avanzada VRF.

Situación actual: Los equipos de climatización son 26 minisplits con capacidad de enfriamiento y calefacción de 18.000 BTU/h. Los 20 minisplits de marca AUX tienen rendimiento EER 2,74 W/W.

- Para enfriamiento en trabajo estable: potencia consumida 1760 W y consumo de corriente 8 A.
- Para calefacción en trabajo estable: potencia consumida 1430 W y consumo de corriente 6,5 A. [19]
- Los 6 minisplits restantes marca Mirage X3 tienen una potencia de 1600 W. [20]

COP es el índice para la eficiencia en calor y EER es usado para la eficiencia en frío.

EER (coeficiente de eficiencia energética) es el ratio entre la capacidad frigorífica y el consumo de energía utilizado para obtenerlo. Cuanto más alto es el EER, mejor rendimiento tendría la máquina. Los equipos etiquetados como clase A tienen al menos un EER de 3,2 W/W y los de clase G 2,2W/W o menos. Los minisplits AUX tendrían una clasificación de coeficiente de eficiencia energética D (entre 2,6 y 2,8 W/W).

COP (coeficiente de rendimiento) es el ratio entre la capacidad calorífica y el consumo de energía utilizado para obtenerlo. Cuanto más alto es el COP, mejor rendimiento tendría la máquina. Los equipos etiquetados como clase A tienen al menos un COP de 3,6 W/W y los de clase G 2,4W/W o menos. Los sistemas de climatización continúan mejorando para maximizar las reducciones de emisiones de GEI. La industria ha mejorado la eficiencia energética de los sistemas de climatización mediante una combinación de innovación y estrategias de transformación del mercado. La eficiencia de los aires acondicionados residenciales de sistema dividido aumentó de 9,5 SEER (~ 2,2 COP) a 14,9 SEER (~ 3,8 COP). [21]

El propósito del IEER es arrojar un valor de eficiencia a carga parcial en el sistema, sin embargo, ésta solo considera los valores de consumo en cuatro puntos de operación del sistema (100%, 75%, 50% y 25%) empleando factores de uso estimados e independientes de cada caso particular.

El sistema VRF es de capacidad variable tiene un rango de operación entre un 5% y 100% de su valor nominal, el valor real de consumo varía a cada hora de operación del sistema y en función de la carga efectiva en ese instante. Lo novedoso de estos sistemas de caudal variable de refrigerante (VRF) es que el consumo de los mismos no es el consumo total del sistema, sino que es en función de la potencia que se entrega. En estos sistemas de climatización, el parámetro que se modifica es el caudal o flujo, y puede regularse a través de la tecnología inverter de los compresores y a las válvulas de expansión electrónicas o válvulas de modulación de impulsos, incorporadas en unidades interiores y exteriores, con el fin de ajustar la capacidad a la demanda. A cada unidad interior se entrega el refrigerante (la potencia frigorífica) que demanda la zona que climatiza. El sistema VRF controla individualmente cada unidad reduciendo al mínimo los costes de funcionamiento gracias al compresor inverter y al sistema electrónico de control. Son capaces de variar la corriente en el compresor de alterna a continua para ajustar a las potencias frigoríficas a las demandas energéticas. [22]

Descripción de la mejora: en caso de nuevas adquisiciones de equipos de climatización optar por la tecnología VRF u otros sistemas de climatización con los mejores índices de eficiencia. Por ejemplo, el nuevo sistema ECOi-EX de Panasonic está diseñado para ofrecer el mejor ESEER del sector, que en el caso de un sistema 8HP (5.965 Watios) puede llegar a 9,33 e incluso en cargas parciales garantiza el 100% de la capacidad en modo frío a temperaturas exteriores de 43°C. Con sus 1.000 metros de tubería, la serie ECOi-EX incorpora dos grandes novedades: la posibilidad de alcanzar los 30 metros de altura entre unidades interiores y los 200 metros de distancia entre una unidad interior y la unidad exterior. Esto facilita la instalación de estos sistemas en grandes edificios como estaciones de tren, aeropuertos, escuelas y hospitales. Las unidades de ECOi-EX ofrecen además módulos de libre combinación como 8HP & 10HP, 12HP & 14HP & 16HP. [23]

9.-SISTEMA ELÉCTRICO. Optimización de la potencia contratada y distribución de cargas.

Situación actual: Existen varios contratos con distintas tarifas, hay mayor potencia conectada 149kW que la contratada (90kW Tarifa OM + 25kW Tarifa 2) y no están distribuidas las cargas uniformemente.

Descripción de las mejoras:

- Estimar el uso y consumo de energía en el futuro, en base a la cantidad de alumnos en el próximo período y el proyecto de cafetería y ascensor para hacer el análisis concreto del cambio de tarifa.
- Potencia contratada en el contrato OM 90 kW cuyo límite es 100 kW y en el contrato tarifa 2 el límite es 25kW. Los otros dos contratos no tienen facturación. La potencia instalada en el edificio es de 149kW. Se requiere repartir las cargas adecuadamente para evitar penalizaciones en las facturas eléctricas.

10.-SISTEMA ELÉCTRICO. Análisis del estado de las instalaciones eléctricas a través de termografía infrarroja

Situación actual: Se desconoce el estado de las instalaciones eléctricas del edificio ni hay planos eléctricos. A través de una termografía infrarroja se pueden detectar los fallos en los sistemas eléctricos del edificio y además la presencia de puentes térmicos en los cerramientos para mejorar aislamiento de la fachada del edificio. A nivel eléctrico se pueden detectar el desequilibrio de cargas, sistemas sobrecargados, conexiones sueltas u oxidadas que incrementan la resistencia del circuito, fallo de aislamiento, fallo de componentes, errores de cableado, equipos poco sobredimensionados. [24]

Propuesta de mejora: Estudio de termografía infrarroja para detectar fallos en las instalaciones eléctricas y además para analizar el nivel de aislamiento del edificio al detectar los puentes térmicos en los cerramientos de las fachadas.

11.-AGUA. Reducción del consumo de agua.

Situación actual: A pesar de que en el centro educativo no se usa agua caliente sanitaria, no hay reductores de caudal.

Descripción de la mejora: Adquirir economizadores de agua.

12.-DISEÑO PASIVO. Aislamiento de la fachada.

Situación actual: En el edificio educativo FOCIM la fachada más larga del edificio está ubicada hacia el sur y la otra fachada que da a la calle está orientada al oeste. La razón principal por el gasto de climatización más en verano es porque la fachada sur recibe sol durante todo el día. Las ventanas son muy pequeñas y horizontales y aun así el edificio reporta muchas ganancias térmicas.

Propuesta de mejora: La más efectiva propuesta de mejora para el edificio es aislar la fachada porque una está orientada totalmente al sur y la otra al oeste. Las temperaturas de Monterrey irán siendo más acentuadas debido al cambio climático y el edificio está orientado de una forma determinada con respecto al Sol. Hay que conservar el edificio aislado. Lo ideal es aislar todas las fachadas, pero la fachada sur es la que reporta más ganancias térmicas. Un aislante térmico es un producto que reduce la transmisión de calor a través de la estructura sobre la que se instala.

Hay varios sistemas recomendables para aislar una fachada:

- Revestimiento de fachada por el exterior. Sistema SATE (sistema de aislamiento térmico exterior).
- Aislamiento por dentro del muro (cámara de aire) con poliuretano, lanas minerales o celulosa.
- Aislamiento por el interior (trasdosados) haciendo un nuevo muro por dentro del perímetro del edificio y dejando una cámara de aire que puede o no rellenarse (este trasdosado ocuparía 50 cm del área de los espacios de esa fachada).
- Muros cortina acristalados: las zonas acristaladas de la fachada con orientación sur se pueden cerrar en muros cortina formados por módulos fotovoltaicos con tedlar transparente. El muro cortina es un sistema de fachada acristalada, que elimina el elemento de sujeción metálico de la cara externa de la fachada, evitando las líneas externas y consiguiendo un efecto de continuidad en la superficie del vidrio. El vidrio tradicional utilizado en la construcción de muros cortina puede ser reemplazado por vidrio fotovoltaico, permitiendo la generación de energía eléctrica y evitando la entrada de la radiación infrarroja y los rayos UVA. En el mercado hay vidrio fotovoltaico de doble y triple acristalamiento. [25]



Figura 15: Muro cortina acristalado [25]

- Parasoles fotovoltaicos: para proporcionar sombreado sobre los ventanales del muro cortina, se pueden instalar parasoles con laminados, sin marco. La sujeción es a través de un sistema de grapas, limitando la entrada de radiación solar a las aulas y oficinas.



Figura 15: Muro cortina acristalado con parasoles fotovoltaicos [25]

- Sistema de fachada ventilada: se fija sobre la pared preexistente una estructura metálica que soporta una hoja de revestimiento cerámico, metálico, madera, vidrio simple o vidrio fotovoltaico, separada del aislamiento a través de una cámara de aire disminuyendo la temperatura superficial del recubrimiento interno del edificio. La ventaja principal es que se eliminan los puentes térmicos. Las medidas de envolvente térmica pueden derivar en un ahorro de entre el 25-40% de la energía consumida en un edificio. [25]

La transmisión de calor es la transmisión de energía por conducción, convección o radiación térmica o por combinación de éstas. La radiación térmica es la radiación electromagnética emitida por la superficie de un cuerpo opaco o dentro de un elemento de volumen semi-transparente. Está regida por la temperatura del cuerpo emisor y sus características de radiación. Por tanto, la transmisión de calor por radiación son los intercambios de energía entre cuerpos (separados entre sí) por medio de ondas electromagnéticas. Los intercambios pueden suceder cuando los cuerpos están separados entre sí por vacío o por un medio transparente o semi-transparente. Estos intercambios de calor por radiación pueden evaluarse si se conoce la forma en que los cuerpos opacos y semi-transparentes emiten, absorben y transmiten radiación. [26]

Los materiales de una envolvente en relación con la transmisión de calor por radiación se clasifican como se describe seguidamente:

- Medio opaco: medio que no transmite ninguna fracción de la radiación incidente. La absorción, emisión y reflexión de la radiación pueden ser tratados como fenómenos superficiales.

- Medio semi-transparente: medio en el cual la radiación incidente se atenúa progresivamente dentro del material por absorción, difusión o ambos. La absorción, difusión y emisión de radiación son fenómenos de masa (volumen).

Las propiedades de radiación de un medio opaco o semi-transparente son generalmente función de la distribución espectral y direccional de la radiación incidente y de la temperatura del medio. A continuación, se describe la fachada ventilada con revestimiento fotovoltaico y según el tipo de tecnología del vidrio se obtiene un mayor rendimiento de producción de energía y un mayor aislamiento térmico del edificio en función de la transmisión del calor por radiación de los vidrios opacos o semi-transparentes.

Si usamos una fachada ventilada con revestimiento fotovoltaico, dependiendo de la orientación de la fachada, la ubicación del edificio, y la tecnología fotovoltaica empleada, la energía eléctrica generada por un solo metro cuadrado de un sistema como ONYX puede variar entre 40-200 kW/h anuales. Las ventajas de una fachada fotovoltaica ventilada son: ahorro de energía gracias al aislamiento (hasta el 40%) y producción eléctrica, eliminación de puentes térmicos, aumento del confort térmico en interiores, así como reducción de la contaminación acústica, diseño novedoso, protección de la fachada y de la cubierta del edificio, mayor producción de energía en condiciones de baja luminosidad, mayor producción de energía en condiciones de alta temperatura. [25]

Hay varios tipos de tecnologías de vidrio fotovoltaico que pueden aplicarse:

- Vidrio de silicio amorfo.
- Vidrio de silicio cristalino (mono y policristalino).

El vidrio de silicio cristalino se comporta a nivel estructural como el vidrio convencional, pero genera energía eléctrica por la radiación solar y además aporta aislamiento térmico al edificio. La potencia se define por el número de células fotovoltaicas utilizadas por vidrio. Cada vidrio cristalino de ONYX SOLAR tiene una potencia que varía entre 80 y 160 Wp por m² dependiendo de la densidad de la célula que necesite el diseño en función de la mayor o menor aportación de luz natural.

En el mercado español el vidrio de silicio amorfo se produce en opaco y con distintos grados de semi-transparencia para permitir la entrada de luz interior dentro del edificio y que los ocupantes puedan ver el exterior.

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

Transmisión de la luz	Potencia pico
Opaco	58Wp
M visión 10 % transparencia	38Wp
L visión 20% transparencia	32Wp
XL visión 30% de transparencia	28Wp

Tabla 8: Transmisión de la luz y potencia de los vidrios de silicio ONYX SOLAR [25]

Los vidrios fotovoltaicos pueden personalizarse para requerimientos específicos en relación al tipo de vidrio, grosor, grado de semi-transparencia, color y pueden configurarse vidrios de doble acristalamiento con incorporación de cámaras de aire o argón de 6mm, 12mm y 16 mm e incluso doble cámara de 6+6mm. [25]



Figura 17: Fachada ventilada fotovoltaica de FEMSA Coca Cola en Monterrey [25]

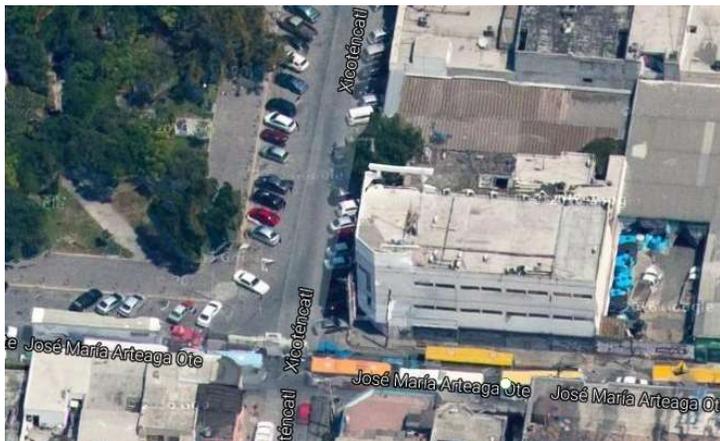


Figura 18: Fachada sur del edificio del Instituto para el desarrollo científico en Monterrey FOCIM

En Monterrey, FEMSA, la Embotelladora de Coca Cola más grande a nivel mundial, optó por un fabricante español ONYX SOLAR la incorporación de una fachada ventilada de silicio amorfo color gris y con 20% de semi-transparencia (L visión). El edificio tiene una superficie de 3.242 metros cuadrados. Se estima que el ahorro energético de este tipo de aislamiento con esta solución constructiva puede ahorrar hasta el 40% de las necesidades energéticas del edificio. Han logrado un 24% de reducción en las necesidades de climatización con un payback menor a un año. Lo realmente importante es que es mucho mayor la disminución de demanda de energía generada con el aislamiento térmico en comparación con la disminución de la demanda por la aportación de energía con las células fotovoltaicas. [25]

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

Estudio de la producción de una fachada ventilada fotovoltaica en FOCIM según la tecnología de vidrio fotovoltaico

Para la latitud de Monterrey, se toman los datos de radiación mensual en superficie horizontal y la radiación global incidente sobre los paneles orientados hacia el Ecuador a distintos grados de inclinación. [27]

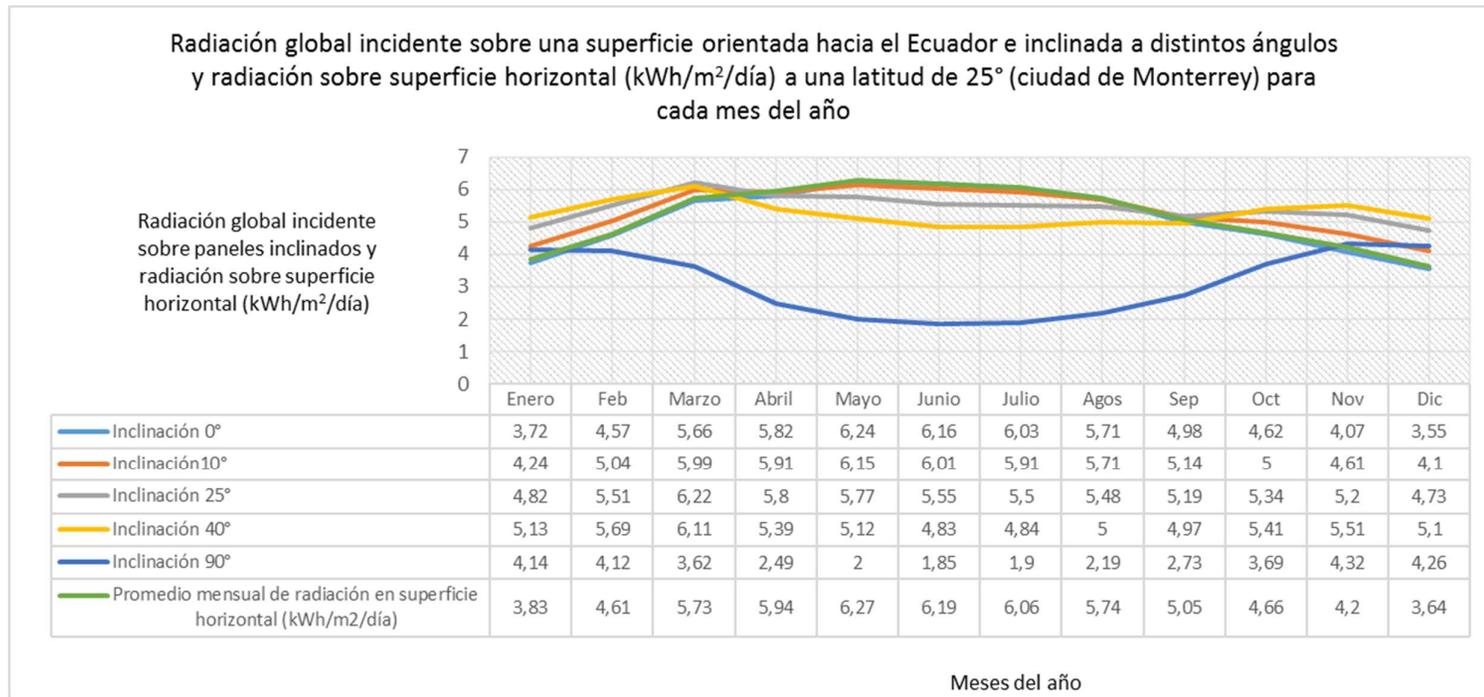


Figura 18: Gráfico-tabla de la radiación global incidente sobre una superficie orientada hacia el Ecuador e inclinada a distintos ángulos y radiación sobre superficie horizontal (kWh/m²/día) a una latitud de 25° (ciudad de Monterrey) para cada mes del año.

Con respecto a la figura anterior, para una ciudad como Monterrey ubicada a latitud 25°, tiene una excelente radiación solar sobre superficie horizontal, los meses que se recibe más radiación sobre superficie horizontal son los comprendidos de marzo a agosto. La inclinación de paneles fotovoltaicos es de suma importancia, ya que puede verse reducida la radiación notablemente, como es el caso de la inclinación a 90° la cual es muy desfavorable.

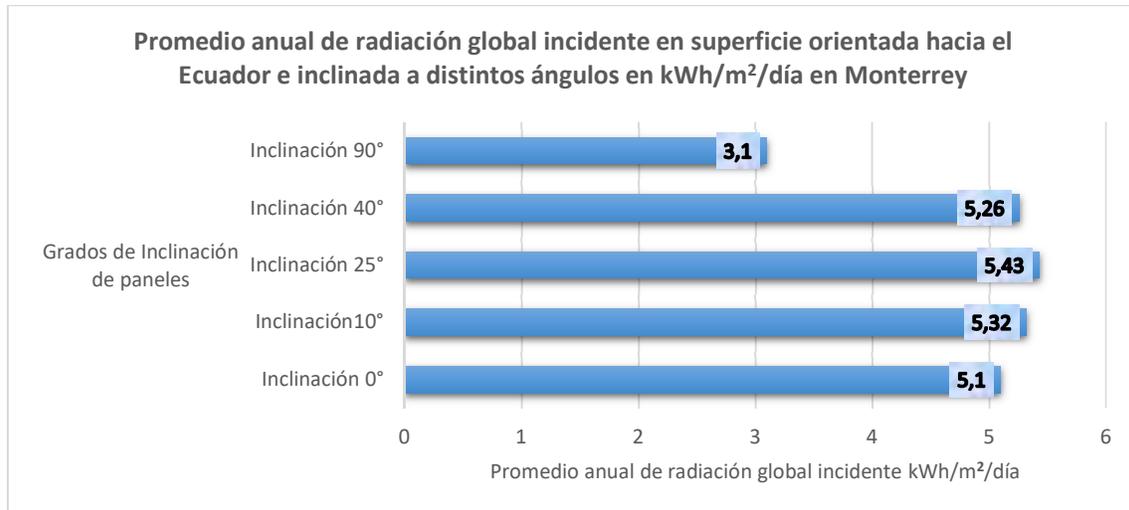


Figura 20: Promedio anual de radiación global incidente sobre una superficie orientada hacia el Ecuador e inclinada a distintos ángulos (kWh/m²/día) a una latitud de 25° (Monterrey).

La siguiente tabla muestra la producción que podría tener una fachada ventilada fotovoltaica en la fachada sur del edificio con los paneles a 90° de inclinación.

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

Tabla paramétrica: Energía producida por una fachada ventilada de 477,63 m ² con distintos tipos de tecnología de vidrio fotovoltaico y energía consumida en FOCIM por mes												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Promedio mensual de radiación sobre superficie horizontal (kWh/m ² /día)	3,83	4,61	5,73	5,94	6,27	6,19	6,06	5,74	5,05	4,66	4,20	3,64
K (25° latitud e inclinación 90°)	1,08	0,89	0,63	0,42	0,32	0,30	0,31	0,38	0,54	0,79	1,03	1,17
Radiación global incidente (kWh/m ² /día) a 90° inclinación	4,14	4,12	3,62	2,49	2	1,85	1,9	2,19	2,73	3,69	4,32	4,26
Producción (Wh/día) silicio amorfo Opaco 58Wp/m ² Potencia instalada 27.702 W	114.686	114.132	100.281	68.978	55.404	51.249	52.634	60.667	75.626	102.220	119.673	118.011
Producción (kWh/día) silicio amorfo	114,69	114,13	100,28	68,98	55,40	51,25	52,63	60,67	75,63	102,22	119,67	118,01
Producción (kWh/mes) silicio amorfo	3.440,59	3.423,97	3.008,44	2.069,34	1.662,12	1.537,46	1.579,01	1.820,02	2.268,79	3.066,61	3.590,18	3.540,32
Producción (kWh/mes) silicio amorfo 10% transparencia 38Wp/m ² Potencia instalada 18.150 W	2.254,23	2.243,34	1.971,09	1.355,81	1.089,00	1.007,33	1.034,55	1.192,46	1.486,49	2.009,21	2.352,24	2.319,57
Producción (kWh/mes) silicio amorfo 20% transparencia 32Wp/m ² Potencia instalada 15.284 W	1.898,27	1.889,10	1.659,84	1.141,71	917,04	848,26	871,19	1.004,16	1.251,76	1.691,94	1.980,81	1.953,30
Producción (kWh/mes) silicio amorfo 30% transparencia 28 Wp/m ² Potencia instalada 13.373 W	1.660,93	1.652,90	1.452,31	998,96	802,38	742,20	762,26	878,61	1.095,25	1.480,39	1.733,14	1.709,07
Consumo real energía FOCIM (kWh/mes)	2.096,00	2.877,50	3.037,50	4.499,00	6.099,00	4.765,50	6.285,50	5.110,50	5.590,50	4.693,00	2.293,00	2.096,00
Climatización 43% (kWh/mes)	901,28	1.237,33	1.306,13	1.934,57	2.622,57	2.049,17	2.702,77	2.197,52	2.403,92	2.017,99	985,99	901,28
Equipos TI 27% (kWh/mes)	565,92	776,92	820,12	1.214,73	1.646,73	1.286,68	1.697,08	1.379,85	1.509,43	1.267,11	619,11	565,92
Iluminación 24% (kWh/mes)	503,04	690,6	729	1.079,76	1.463,76	1.143,72	1.508,52	1.226,52	1.341,72	1.126,32	550,32	503,04
Mantenimiento 6% (kWh/mes)	125,76	172,65	182,25	269,94	365,94	285,93	377,13	306,63	335,43	281,58	137,58	125,76

Tabla 9: Tabla paramétrica: Energía producida por una fachada ventilada de 477,63 m² con distintos tipos de tecnología de vidrio fotovoltaico relacionada con la energía consumida total y por sistema en FOCIM.

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

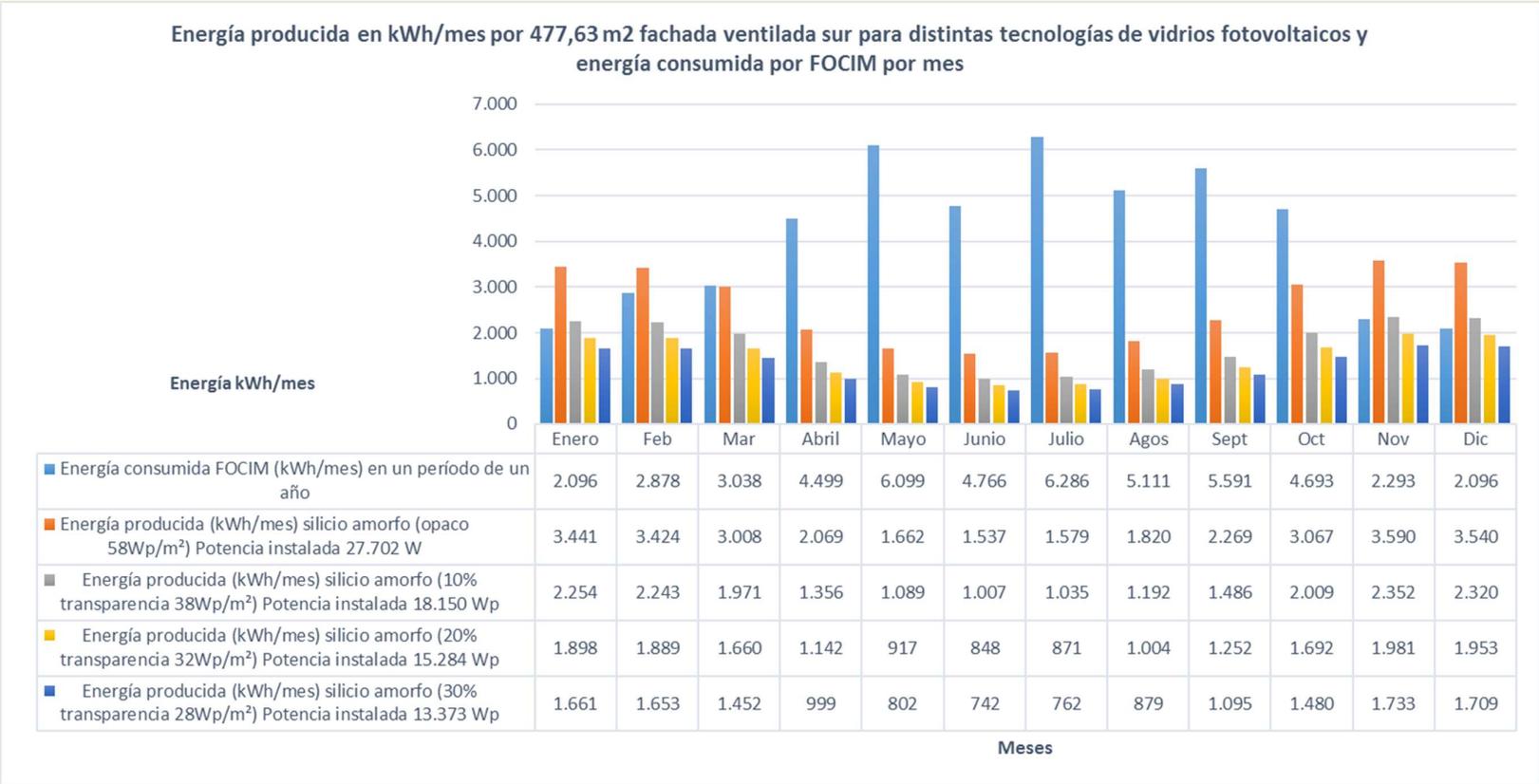


Figura 21: Gráfico tabla energía producida por una fachada ventilada de 477,63 m² con distintos tipos de tecnología de vidrio fotovoltaico relacionada con la energía consumida total en FOCIM por mes.

Con los datos de radiación solar [27] y la potencia de los vidrios fotovoltaicos de silicio amorfo y silicio cristalino de distintos grados de transparencia según las fichas técnicas del proveedor [25], se calcula la producción de energía total de una fachada ventilada de 477 m² para la fachada sur de FOCIM. No se han tomado en cuenta para calcular la producción:

- Pérdidas de cableado.
- Posibles pérdidas debidas a errores en la orientación.
- Pérdidas por la limpieza de los paneles.
- Consumo propio de los equipos adicionales que se pueda requerir la instalación fotovoltaica (dependiendo del tipo de cargas en el edificio: reguladores, inversores, etc., los cuales tienen su propio consumo eléctrico y eficiencia y disminuirían la cantidad de energía disponible para ser usada en el edificio).

Debido a que en este apartado del TFM se analiza la propuesta de mejora de una “fachada ventilada fotovoltaica que aisle al edificio para reducir el consumo energético” y no desde el punto de vista de producción fotovoltaica, no se ha profundizado en estos factores que aminoran la cantidad de energía final disponible para el edificio. Los mismos han sido obviados en el cálculo de la producción de la fachada ventilada fotovoltaica (pérdidas y consumos propios de equipos en la instalación).

No obstante, puede consultarse la repercusión de estos factores de pérdida posteriormente, cuando se analice el proyecto de una cafetería en la última planta del edificio: una instalación fotovoltaica de cubierta calculada específicamente para que pueda funcionar de manera autónoma, tomando en cuenta todos los factores posibles.

Analizando la tabla de producción de energía de la fachada ventilada fotovoltaica y teniendo en cuenta que la inclinación de paneles fotovoltaicos a 90° no es la inclinación óptima, al comparar la producción de la fachada y consumo anual del edificio, se obtiene:

Desde el punto de vista energético, solo con esta fachada ventilada fotovoltaica y usando silicio amorfo opaco en la pared sur del edificio, 5 meses al año (de noviembre a marzo) la energía producida es mayor que la energía total consumida en el edificio, por lo que el consumo estaría cubierto.

Desde la perspectiva de diseño, se pueden combinar distintas tecnologías de vidrios, con grados de transparencia para aprovechar la luz natural en los cerramientos que ya tiene el edificio, lo cual representa un diseño novedoso para el centro educativo .

Teniendo en cuenta que lo más importante en esta propuesta no es la producción de energía fotovoltaica sino el ahorro en climatización que genera una fachada ventilada -que puede ser de cerámica, de madera u otro material-. Si una empresa ubicada en la misma ciudad, instaló una fachada ventilada de silicio amorfo color gris, con 20% de semi-transparencia y obtuvo una una reducción en el consumo de energía en climatización del 24%, se podría estimar:

Si el consumo facturado de energía en FOCIM es 49.443 kWh/año (promedio mensual 4.120,25 kWh/mes) y los sistemas de climatización representan un 43% del total de ese consumo 21.261 kWh/año, entonces considerando en el peor de los casos una reducción del 24% en el 43% del consumo de climatización de FOCIM correspondería a 5.103 kWh/año. Este ahorro equivale al consumo promedio total de un mes de FOCIM (4.120 kWh/mes). La empresa FEMSA Coca Cola, usó silicio con 20% de semi-transparencia, que produce 28 Wp/m² obteniendo la reducción del consumo del 24%, si usaos de silicio amorfo opaco que produce 58Wp/m², podría reducir proporcionalmente el 28,5% del 43% del consumo en climatización).

Si a esto, le sumamos que con la fachada fotovoltaica de silicio opaco se producen 31.007 kWh/año, el consumo de 49.443 kWh/año, se reduciría a 44.340 kWh/año y con el aporte de la energía producida por la fachada ventilada DE 31.007 kWh/año, solo habría que pagar el segundo año 13.333 kWh/año de energía consumida.

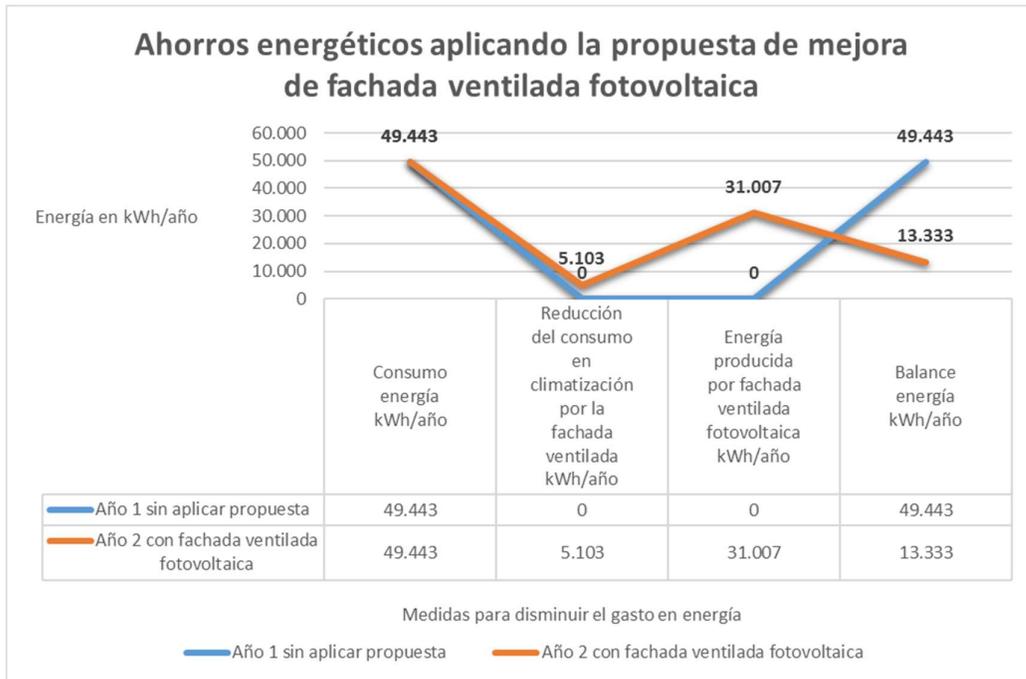


Figura 22: Gráfico- tabla Ahorros energéticos aplicando la propuesta de mejora de fachada ventilada fotovoltaica.

13.-DISEÑO PASIVO. Sombreamiento de ventanas.

Situación actual: ventanas sin protección solar.

Propuesta de mejora: instalar parasoles o lamas horizontales en la fachada sur ya que el sol incide durante todo el día en esa fachada y es la mayor en área y, en la fachada oeste, instalar lamas verticales en las ventanas. También pueden hacerse aleros y voladizos.

14.-DISEÑO PASIVO. Sustitución de cerramientos de huecos (marco + vidrio).

Situación actual: cristales sencillos con marco de aluminio, que ocupan 19 m² del total de 185 m² en la fachada oeste y 42 m² del total de 477 m² en la fachada sur, representa 100% de pérdidas térmicas.

La cantidad de refrigeración necesaria para mantener un edificio en verano a temperatura de confort depende de su nivel de aislamiento térmico. Los edificios mal aislados en invierno se enfrían rápidamente y pueden tener condensaciones en el interior. La cubierta exterior de un edificio es uno de los lugares principales por donde se pierde o gana calor si no está bien aislada. Aproximadamente entre el 25 y 35% de las necesidades de calefacción se generan por las pérdidas de calor que se producen en las ventanas o cerramiento de un hueco. El hueco es la parte térmicamente más débil de la envolvente de un edificio, y por él se producen las mayores pérdidas de energía.

Los componentes del cerramiento de un hueco son vidrio y marco y su proporción en el hueco generalmente es del 70% de superficie acristalada y 30% el área ocupada por el marco. Dependiendo del vidrio y el tipo de carpintería del marco, el aislamiento de una ventana será más o menos eficiente. Si comparamos un acristalamiento sencillo, con un sistema de doble cristal o doble ventana, los últimos reducen prácticamente a la mitad la pérdida de calor con respecto al acristalamiento sencillo. Las corrientes de aire y la condensación del agua se ven disminuidas con este tipo de acristalamiento doble. Se prefieren los marcos de madera para ventanas ya que materiales como el hierro o el aluminio se caracterizan por su alta conductividad térmica, por lo que permiten el paso del frío o el calor con mucha facilidad. Los más recomendables, son los marcos o carpinterías denominadas con rotura de puente térmico, las cuales contienen material aislante entre la parte interna y externa del marco. [28]

El cerramiento del hueco se presenta como el primer elemento a valorar técnica y económicamente a la hora de afrontar una rehabilitación térmica del edificio.

La transmitancia térmica del hueco es directamente proporcional a las propiedades de los materiales y a la participación de los marcos y vidrios en el conjunto de la superficie del hueco. La

siguiente tabla muestra valores de transmitancia térmica del hueco, para distintos marcos y configuraciones de acristalamientos.

Vidrio (70%)		Marco (30%)			
		Metálico U=5,7	Metálico RPT U=4	Madera U=2,5	PVC U=1,8
Monolítico 4mm	U=5,7	5,7	5,2	4,7	4,5
4-6-4	U=3,3	4	3,5	3,0	2,8
4-12-4	U=2,9	3,7	3,2	2,7	2,5
4-6-4 bajo emisivo	U=2,5	3,5	3,0	2,5	2,3
4-12-4 bajo emisivo	U=1,7	2,9	2,4	1,9	1,7

Tabla 10: Transmitancia térmica del hueco (W/m^2K) [28]

Metálico RPT- Rotura de puente térmico entre 4 y 12 mm, los marcos de madera se consideran de una densidad de 700 kg/m^3 , los marcos de PVC se consideran de 3 cámaras, y el vidrio de baja emisividad con coeficiente de emisividad ϵ menor o igual a 0,03.

MARCO

El marco representa generalmente entre el 25 y el 35% de la superficie del hueco. Tomando en cuenta el aislamiento térmico, sus características principales son la transmitancia térmica y su absorptividad. Estas características van a influir en función de la fracción de superficie ocupada por el marco, en la transmitancia total del hueco y en el factor solar modificado del mismo.

Si clasificamos los marcos en función del material con el que están fabricados se pueden distinguir estos tipos:

Marco Metálico: normalmente son fabricados en aluminio o acero con diferentes acabados

Marco Metálico con Rotura de Puente Térmico (RPT): “la rotura de puente térmico consiste en la incorporación de uno o varios elementos separadores de baja conductividad térmica que separan los componentes interiores y exteriores de la carpintería logrando reducir el paso de energía a su través, mejorando el comportamiento térmico de la carpintería. Los valores de transmitancia térmica comúnmente aceptados para este tipo de carpinterías son de $U = 4,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ hasta $U = 3,20 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, en función de la anchura de los elementos separadores que configuran la rotura de puente térmico.

Los valores mencionados anteriormente pueden ser notablemente reducidos en función de las mejoras técnicas que se introduzcan en los perfiles según la norma UNE-EN ISO 10077-1.” [28]

Marco de Madera.

Marco de PVC: las carpinterías se constituyen usualmente por perfiles huecos de PVC, lo que aporta un comportamiento térmico excelente. Los valores de transmitancia comúnmente aceptados son de $U = 2,2 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ hasta $U = 1,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Estas carpinterías tienen elevada ocupación en el hueco.

Independientemente de los materiales del marco hay que mencionar en términos de aislamiento el sistema de apertura y cierre de la ventana. Esto puede condicionar su permeabilidad al aire (el paso de aire cuando la ventana cerrada es sometida a una presión diferencial entre ambas caras). La norma UNE-EN 12207 define la clasificación de las ventanas según su permeabilidad al aire.

Material del perfil	Transmitancia térmica U ($\text{W/m}^2 \text{ K}$)
Metálico	5,7
Metálico RPT ($4\text{mm} \leq d < 12 \text{ mm}$)	4
Metálico RPT $d \geq 12 \text{ mm}$	3,2
Madera dura ($\rho = 700 \text{ Kg/m}^3$ y 60 mm de espesor)	2,2
Madera blanda ($\rho = 500 \text{ Kg/m}^3$ y 60 mm de espesor)	2
Perfiles huecos de PVC (2 cámaras)	2,2
Perfiles huecos de PVC (3 cámaras)	1,8

Tabla 11: Transmitancia térmica de los perfiles según la norma UNE-EN ISO 10077-1 [28]

VIDRIO

Por la superficie que ocupa, el vidrio es el elemento principal en el cerramiento y su principal propiedad es la transparencia, permitiendo elevados aportes de luz natural que mejoran el confort de cualquier edificio. Hoy en día, se producen vidrios para aislamiento térmico reforzado y protección solar que pueden ser combinados con otras prestaciones como son la decoración, el diseño, el aislamiento acústico, la seguridad o el bajo mantenimiento (auto limpiables).

Desde la perspectiva del aislamiento térmico las principales características del acristalamiento a tener en cuenta son su coeficiente U o transmitancia térmica ($\text{W/m}^2 \text{ K}$) y su factor solar (g). El factor solar es el coeficiente de calentamiento por ganancia solar, es decir, el porcentaje de radiación

incidente que atraviesa la ventana o que es absorbida y posteriormente emitida hacia el interior. Los cristales deben tener un coeficiente U (coeficiente de transmisión de calor) lo más bajo posible para mantener el calor en el exterior. Un cristal simple tiene un coeficiente U de 5,7 W/m² K, el cristal doble 2,8, el triple 1,9 y también pueden rellenarse con gases. [28]

La clasificación de los vidrios se puede hacer según su configuración y la presencia de capas metálicas que optimizan sus prestaciones de aislamiento térmico y control solar. Se pueden clasificar los vidrios como se detalla a continuación:

Vidrio sencillo (monolítico): tiene una única hoja de vidrio.

Unidad de Vidrio Aislante (UVA): son los vidrios de doble acristalamiento o vidrio de cámara. Es un conjunto de dos o más láminas de vidrios monolíticos separados entre sí por uno o más espaciadores, herméticamente cerrados a lo largo de todo el perímetro. Las unidades de vidrio aislante, o doble acristalamiento, al encerrar entre dos paneles de vidrio una cámara de aire, limitan el intercambio de calor por convección y conducción, debido a la baja conductividad térmica del aire. El resultado es un incremento de la capacidad aislante que se refleja en la disminución de su transmitancia térmica (U = 3,3 W/m² K, para la composición más básica 4-6-4). La capacidad del aislamiento térmico se ve significativamente mejorada por la incorporación de los vidrios de baja emisividad.

En relación a la prestación de control solar, las UVAs presentan menores factores solares por incorporar dos vidrios, para una UVA de 4-6-4 el valor g está en torno a 0,75. El factor solar (g) puede ser fuertemente modificado por la sustitución del vidrio exterior por un vidrio de control solar. De igual manera, los vidrios de baja emisividad aportan un control solar significativo.

Vidrio de baja emisividad: son vidrios monolíticos en los que se deposita una capa de óxidos metálicos extremadamente fina, del orden de nanómetros lo cual brinda al vidrio una capacidad de aislamiento térmico reforzado. Habitualmente estos deben ir ensamblados en UVA (doble acristalamiento) lo cual aporta el mayor beneficio de aislamiento térmico. El coeficiente de emisividad ϵ es un número adimensional que relaciona la habilidad de un objeto real para irradiar energía térmica con la habilidad de irradiar si éste fuera un cuerpo negro y es igual a la radiación emitida por una superficie entre la radiación emitida si fuera un cuerpo negro. Un cuerpo negro tiene un coeficiente de emisividad igual a 1.

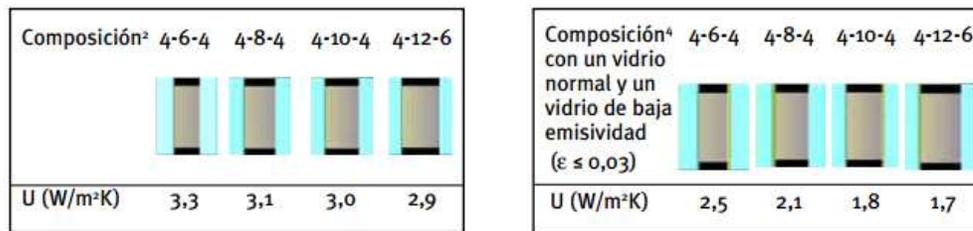


Figura 23: Coeficiente de transmitancia térmica al ensamblar un doble acristalamiento con ambos vidrios monolíticos y al ensamblar un vidrio monolítico y otro de baja emisividad. [28]

La nomenclatura 4-6-4 en una unidad de vidrio aislante o doble acristalamiento, indica los espesores vidrio-cámara-vidrio expresados en milímetros, comenzando por el vidrio exterior. Los espesores del vidrio no afectan la transmitancia térmica. Los vidrios bajo emisivos exigen ir ensamblados en doble acristalamiento. La posición del vidrio bajo emisivo como vidrio interior o exterior no incluye en el valor de U pudiendo verse afectado el valor g. Manteniendo la misma la composición del acristalamiento (mm de grosor vidrio simple y mm de cámaras de aire) la transmitancia térmica es menor cuando se combina un vidrio monolítico y otro de baja emisividad que cuando ambos son monolíticos.

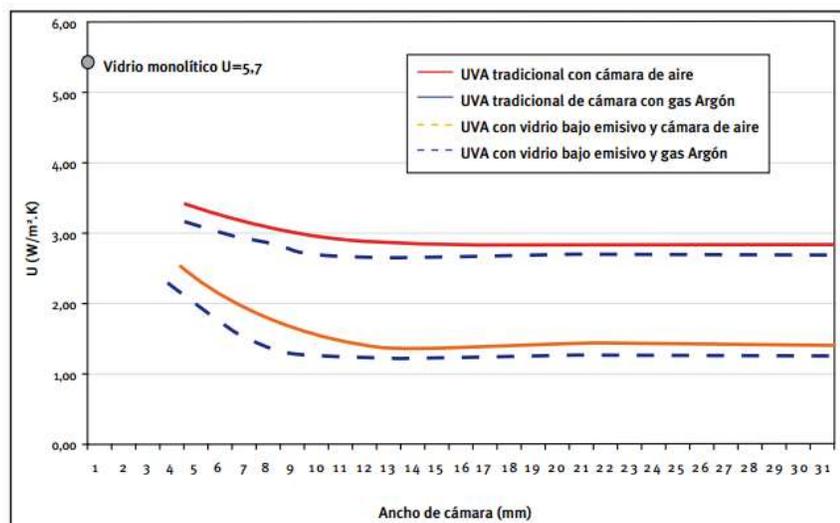


Figura 24: Relación entre la transmitancia y el ancho de cámara para distintas unidades de vidrio aislante o acristalamientos (UVAs) [28]

Vidrio de control solar: dentro de este grupo se encuentran vidrios de naturaleza distinta: vidrios de color, serigrafiados o de capa. A pesar de que los vidrios de control solar se instalan normalmente en UVA para obtener una buena transmitancia térmica, se pueden utilizar como vidrios monolíticos

cuando la prioridad es la protección térmica frente a la radiación solar directa que es el caso que nos ocupa en la fachada de FOCIM. Tomando en cuenta como situación inicial en el edificio de FOCIM, que las carpinterías de los cerramientos son de aluminio y vidrio monolítico, el IDAE muestra en la siguiente tabla 13 tipos de intervenciones con % en pérdidas y ahorro si se cambia el tipo de acristalamiento, el espesor de la cámara y la carpintería de los cerramientos de los huecos.

Situación	Acristalamiento	Espesor cámara	Carpintería	Pérdidas (*) (%)	Ahorro (**) (%)
Inicial	Vidrio monolítico	-	Madera	100	0
1	Doble	6	Metálica	85	15
2	Doble	12	Metálica	79	21
3	Doble	6	Metálica RPT	74	26
3	Doble bajo emisivo	6	Metálica	74	26
4	Doble	12	Metálica RPT	68	32
5	Doble bajo emisivo	6	Metálica RPT	64	36
5	Doble	6	Madera	64	36
6	Doble bajo emisivo	12	Metálica	62	38
7	Doble	6	PVC	60	40
8	Doble	12	Madera	57	43
9	Doble	12	PVC	53	47
9	Doble bajo emisivo	6	Madera	53	47
10	Doble bajo emisivo	12	Metálica RPT	51	49
11	Doble bajo emisivo	6	PVC	49	51
12	Doble bajo emisivo	12	Madera	40	60
13	Doble bajo emisivo	12	PVC	36	64

Tabla 12: 13 tipos de intervenciones posibles para mejorar el aislamiento térmico de un cerramiento con vidrio monolítico y marco metálico [28]

(*) % de pérdidas energéticas a través del cerramiento tomando como referencia (100%) la situación inicial.

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

(**) % de ahorros (reducción de pérdidas energéticas) logrados a través del cerramiento respecto a la situación inicial.

Cálculos realizados para participación de 30% marco y 70% acristalamiento.

Propuesta de mejora: en el caso de no optar por una fachada ventilada y que se quiera hacer otro tipo de intervención a la envolvente, se recomienda la sustitución de los cerramientos huecos (marcos + acristalamientos) que actualmente son de vidrio monolítico con carpintería metálica que reporta pérdidas del 100% y 0% de ahorro, por la mejor tecnología disponible en el mercado que corresponde a los acristalamientos dobles (o incluso pudieran instalarse triples) con vidrio bajo emisivo con cámara de aire de 12 mm y carpintería de PVC para lograr pérdidas de 36% y ahorros del 64%.

15.- DISEÑO PASIVO. Aislamiento de cubierta.

Situación actual: en la última planta solo están los 26 compresores de los minisplits. Cubierta sin aislar. Este es el motivo por el cual el piso 3 es más caluroso que las plantas inferiores. Tanto si se va a construir la cafetería como si se deja la cubierta sin uso, se debe aislar la cubierta.

Hay varios tipos de rehabilitación de cubiertas con aislamiento térmico. En este caso se puede aislar la cubierta entendiendo que será transitable o aislarla haciendo una cubierta ajardinada que tendría que complementarse con un sistema de drenaje. Entre las opciones de rehabilitación por el exterior para la cubierta en el caso que sea transitable, se encuentran: [29]

Rehabilitación de la cubierta plana por el exterior con poliestireno expandido (EPS-h)

De acuerdo a la posición del aislamiento con respecto al sistema de impermeabilización, las cubiertas planas se clasifican en frías o calientes. La cubierta caliente es propia de climas lluviosos y fríos, en los que la impermeabilización se coloca sobre el aislamiento para protegerlo manteniendo las propiedades térmicas en esas condiciones climáticas. La cubierta fría o invertida se recomienda para climas cálidos y secos ya que se el aislamiento es el que protege la impermeabilización al colocarse encima, reduciendo las demandas térmicas. Se coloca una protección sobre el aislamiento según el uso que se vaya a dar a la cubierta.

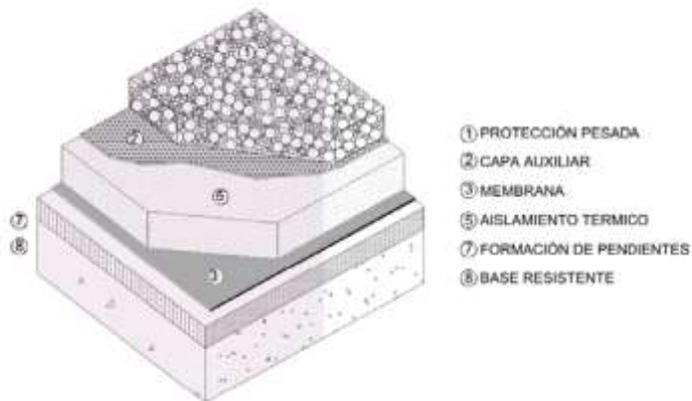


Figura 25: Esquema de cubierta invertida [29]

El poliestireno expandido (EPS) empleado en esta aplicación se denomina EPS-h (EPS hidrófobo) y es un material de baja absorción de agua específico para hacer una cubierta invertida ya que este tipo de cubierta requiere esta propiedad en aislamiento.

En la cubierta plana tradicional, la lámina de impermeabilización está expuesta a altas temperaturas deterioro con el tiempo. En cambio, la cubierta invertida con EPS-h es un sistema de aislamiento que protege la lámina de impermeabilización de los cambios de temperatura y del deterioro continuo por efecto del clima y el uso o mantenimiento de la cubierta.

Por lo tanto, el producto aislante que forme parte de la cubierta invertida debe aportar una serie de prestaciones al sistema: Resistencia a la absorción de agua. Estabilidad dimensional en condiciones de temperatura y humedad. Resistencia mecánica en función de su uso.

Para hacer una cubierta invertida con EPS-h como opción en un proyecto de rehabilitación, se debe tener en consideración: el estado de la lámina de impermeabilización, la capacidad portante de la estructura original para soportar la carga adicional que supone el sistema de cubierta invertida con EPS-h, los diversos aspectos de drenaje e irregularidades de la cubierta.

Se recomienda analizar:

Sobrecarga. Si la estructura de la cubierta puede soportar la carga adicional que supone la cubierta invertida, ésta queda limitada por los siguientes valores mínimos: • 80 kg/m² (0,80 kN/m²) para cubiertas acabadas con grava. • 25 kg/m² (0,25 kN/m²) para cubiertas de losa (prefabricada o no).

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

Lámina de impermeabilización. Se debe analizar previamente al estado de la impermeabilización. Comprobar que no existe ningún daño anterior a la instalación del aislamiento.

Condensaciones. La posible aparición de condensaciones entre la lámina de impermeabilización y el soporte (forjado o capa de formación de pendientes) queda resuelta con la cubierta invertida con EPS-h al dejar de ser la membrana la cara fría del cerramiento.

Drenajes y capas separadoras. La incorporación de un sistema de cubierta invertida con EPS-h da la oportunidad de mejorar el sistema de drenaje de la cubierta.

Rehabilitación de la cubierta plana por el exterior con proyección de espuma de poliuretano (PUR) y proyección con elastómero

Este sistema consiste en proyectar espuma de poliuretano y aplicando una capa de elastómero que protege al aislamiento de la radiación UV e incrementa la impermeabilización de la cubierta. Características de este sistema:

Aislamiento:

- Espuma de poliuretano.
- Capa de espesor mínimo de 30 mm.
- Densidad mínima aplicada de 45 kg/m³ en cubiertas para garantizar impermeabilidad.

Protección:

- Elastómero de poliuretano.
- Capa poliuretánica de espesor variable (1,5-3 mm).
- Densidad 1.000 kg/m³ con coloración.
- Aporta protección UV a la espuma del poliuretano e incrementa la impermeabilidad de la cubierta.

Rehabilitación de la azotea invertida transitable con aislamiento térmico de poliestireno extruido (XPS)

En azoteas, puede ser especialmente recomendable y sencillo de instalar, por el soporte dado por el último forjado. Adicionalmente con el XPS se puede proceder con seguridad y certeza sobre la durabilidad de las propiedades térmicas de las planchas aislantes a instalar sobre la impermeabilización, dándole una protección adicional dentro del concepto de “cubierta invertida” (denominado así porque las posiciones convencionales de impermeabilización sobre aislamiento se invierten).

Se tratará de soportes de hormigón (forjados de diversos tipos) sobre los que se sitúa una capa de pendientes que, a su vez, da soporte al sistema de azotea invertida (impermeabilización +

aislamiento + acabado). Las planchas de XPS no deben quedar expuestas en la aplicación final de uso, es decir, en todos los casos deberán disponerse tras un acabado visto dado por otros productos (en la azotea, usualmente, grava o baldosas). Existen proveedores de baldosas con base aislante de XPS incorporada de fábrica. De esta manera, se obtienen dos beneficios a la vez, el aislamiento de la azotea rehabilitada y el acabado de la superficie por donde transitar. [29]

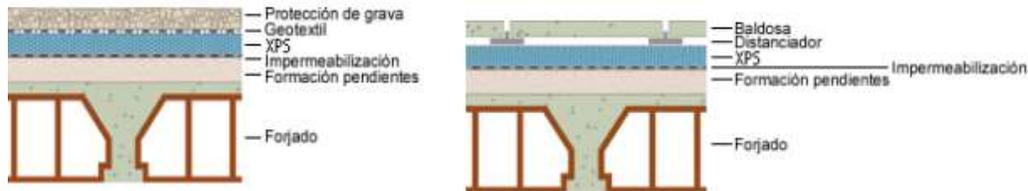


Figura 14: Diferencias en el detalle constructivo para cubiertas invertidas no transitables y transitables (izquierda no transitable y derecha transitable) [29]

Propuestas de mejora:

- Aislar la cubierta del edificio ya que toda el área de 410 m² está absorbiendo calor continuamente durante el día además aislando la cubierta se evita la aparición de goteras y humedades. Independientemente de que se construya la cafetería en esa planta, se recomienda aislar la superficie antes de construir la cafetería y zonas recreativas ya que se aislaría mejor, y la planta de abajo no recibiría tantas ganancias térmicas.

Por el clima caluroso y altas temperaturas en Monterrey, se recomienda **aislar con cualquiera de las tres opciones descritas: una cubierta fría o invertida con poliestireno expandido (EPS-h), con poliestireno extruido (XPS) o con proyección de espuma de poliuretano (PUR) y elastómero.**

- Las clases del instituto educativo deberían programarse en el piso 2 y de ser posible ubicar primero las aulas situadas hacia el norte, ya que la fachada sur recibe sol todo el día. Los estudiantes demandarán más refrigeración y calefacción en las aulas del piso 3 por la falta de aislamiento.

16.-DISEÑO PASIVO. Iluminación de la futura cafetería y terraza.

Situación actual: el espacio está ocupado por los compresores.

Propuestas de mejora: En Monterrey anochece a las 6:00 en enero y a las 20:30 en julio, con lo cual se pueden aprovechar todas esas horas de sol para la iluminación de la última planta del edificio en proyecto.

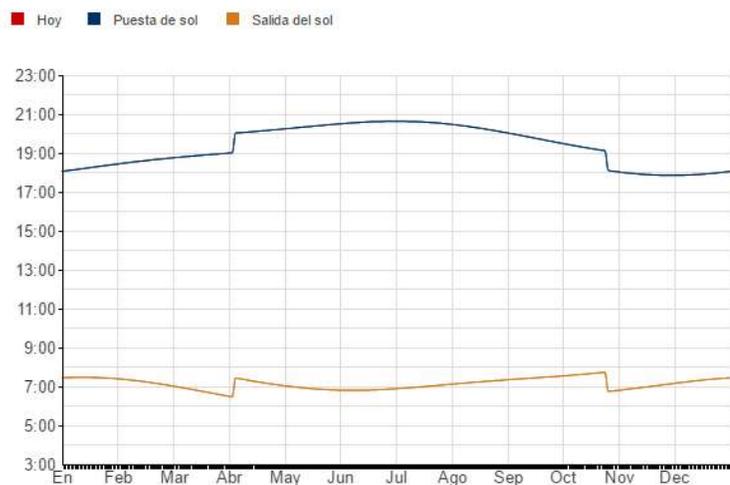


Figura 27: Horas de salida y puesta de sol en Monterrey por mes en el año 2015. [30]

- Se recomienda un diseño que incorpore muchos cristales en todas las paredes de la cafetería, sería ideal para aprovechar al máximo las ganancias solares y las vistas de una terraza que no tiene edificios colindantes. En cuanto al diseño con estrategias pasivas de la futura cafetería, la pared de la fachada sur de la cafetería deberá estar separada de la pared del edificio hacia adentro por lo menos 2 o 3 metros para que pueda hacer sombreado un voladizo que cubra esa fachada del sol. Por la fachada norte, podrían abrirse ventanas o si no es posible por el colindante, se puede hacer lo mismo que en la fachada sur, pero en este caso para tener luz natural dejando también un espacio en el caso que no puedan hacerse las ventanas en el mismo nivel de la pared.
- Se puede hacer un sistema de ventilación cruzada en la cafetería aprovechando el nuevo diseño.
- Para el área de la terraza que puede ocupar unos 300 mt con luminarias, se recomienda instalar luminarias solares. En caso de que no sean solares, sistematizar el encendido de las

luces de acuerdo a las horas de puesta de sol en Monterrey y el apagado para la hora que cerrará la cafetería.

- También podría hacerse una cubierta vegetal que ayuda a mantener las temperaturas más bajas.
- Una instalación fotovoltaica sería ideal, ya que la orientación es perfecta con la fachada hacia el sur. Aunque se construya la cafetería, se pueden colocar los paneles en el techo de la cafetería y unos paneles híbridos aportarían agua caliente sanitaria para la cafetería además que los paneles híbridos mantienen más bajas las temperaturas de los módulos fotovoltaicos.
- Es importante crear un doble techo en la cafetería en el caso de no instalar paneles fotovoltaicos, ya que se crea una cámara de aire.
- Para el área de la terraza, de igual forma se puede construir una pérgola y colocar paneles fotovoltaicos.
- Si se cierra la terraza, un lucernario fotovoltaico garantiza la optimización de la generación fotovoltaica aportando propiedades bioclimáticas de confort térmico en el interior de la terraza ya que casi la totalidad de los rayos ultravioletas e infrarrojos son absorbidos por un material basado en silicio que actúa como filtro solar. Además, la cámara de aire del vidrio aislante garantiza un mejor rendimiento térmico en el interior del edificio.



Figuras 16 y 17: Lucernario fotovoltaico y panel fotovoltaico [25]

DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA LA CAFETERÍA

El comportamiento de un módulo fotovoltaico está definido por su característica V-I, cambia según las condiciones de iluminación y temperatura. Se han establecido unas condiciones estándares de medida denominadas STC (Standard Test Conditions), de uso universal que se mencionan a continuación:

- Irradiancia: 100mW/cm^2 (1.000 W/m^2).
- Distribución espectral: AM 1,5.
- Incidencia normal.
- Temperatura de la célula: $25\text{ }^\circ\text{C}$.

Air Mas (AM) es la longitud de trayectoria a través de la atmósfera terrestre atravesada por el rayo de Sol directo, que se expresa como múltiplo de la trayectoria recorrida hasta un punto a nivel del mar con el Sol directamente encima (adimensional).

La caracterización del módulo se completa con la medida de la Temperatura de Operación Nominal de la Célula, TONC, que es la temperatura media de equilibrio de la cédula dentro de un módulo bajo estas condiciones de operación que alcanzan las células solares cuando se somete al módulo a las siguientes condiciones de operación: [31]

- Irradiancia: 80 mW/cm^2 (800 W/m^2).
- Distribución espectral: AM 1,5.
- Incidencia normal (al mediodía).
- Temperatura ambiente: $20\text{ }^\circ\text{C}$.
- Velocidad del viento: 1m/s (a circuito abierto).

La temperatura de operación de los módulos depende de los factores ambientales de irradiancia, temperatura ambiente, tipo de célula y encapsulado, velocidad del viento y de la refrigeración o aireación de los módulos por la parte posterior. Un módulo fotovoltaico produce menor potencia cuanto mayor sea la temperatura de operación. La variación de la potencia en relación a la temperatura varía en función de la tecnología: para módulos de silicio cristalino es de un 4 o 5% por cada $10\text{ }^\circ\text{C}$ de variación de temperatura. En el caso de silicio amorfo es de un 2-3% por cada $10\text{ }^\circ\text{C}$ de variación de temperatura. [31]

Curvas I-V para el panel solar Amerisolar AS-6P30-260W [32]

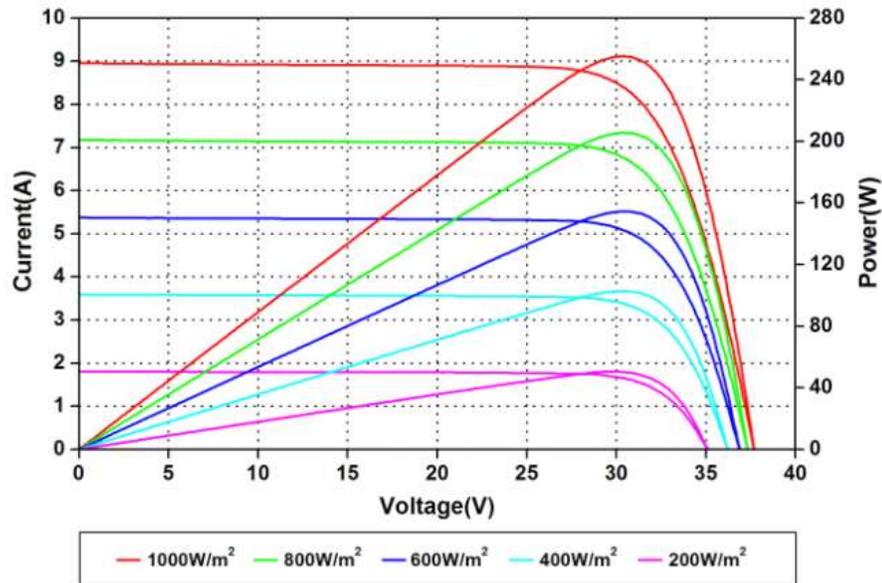


Figura 30: Variación de las curvas Corriente – Voltaje y Potencia – Voltaje a distintas irradiancias. [32]

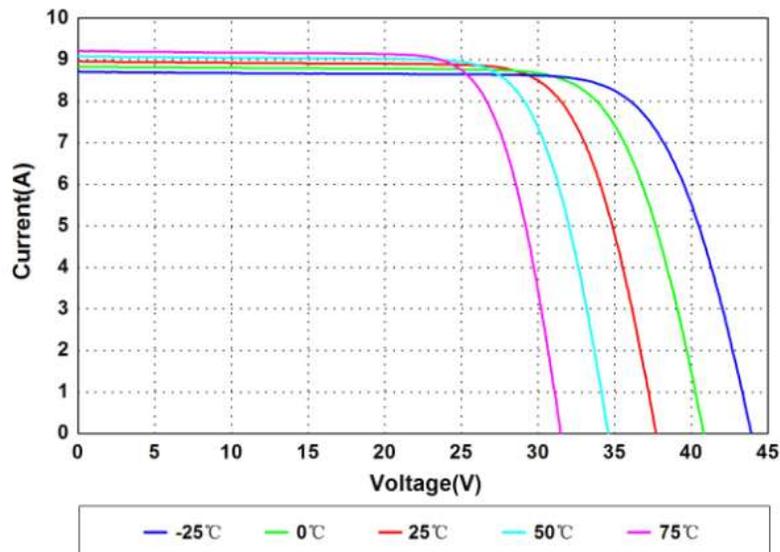


Figura 31: Variación de las curvas Corriente – Voltaje a distintas temperaturas. [32]

Para dimensionar una instalación fotovoltaica autónoma se deben conocer dos parámetros: la demanda energética a cubrir y la energía disponible (radiación solar). Todo el estudio se realizará siguiendo la metodología dimensionamiento de instalaciones fotovoltaicas aisladas tomando en consideración el diseño para el peor mes. [31]

Se calcula la instalación fotovoltaica para la abastecer la demanda de una cafetería en la última planta del edificio para una pequeña cafetería siguiendo el método del peor mes. De esta manera se asegura el suministro en el período en el cual la relación de la radiación disponible y el consumo de energía es más crítica. Al tener el suministro cubierto en el mes más crítico, dado por el coeficiente del consumo máximo y la menor radiación del año, se asegura que el resto de meses no habrá inconveniente con el suministro contando con la seguridad de una capacidad de acumulación requerida para cubrir un número de días de bajo nivel de radiación (días de autonomía). El número de días de autonomía se definen según el uso o finalidad de la instalación y las características climatológicas de la zona.

Para estimar los consumos se elaboró un perfil de carga, tomando en cuenta: número de equipos que se instalarán, potencia nominal de cada equipo que el centro educativo desea instalar y horas de funcionamiento diarias que se estiman que van a ser usados.

Evaluación del consumo total

La energía necesaria será el producto entre número de equipos iguales por la potencia del equipo, y número de horas de uso o funcionamiento $P \cdot N \cdot H$. Se separan los equipos que funcionan con corriente alterna y corriente continua. Para los consumos en corriente continua (C_a) se considera un margen de seguridad de captación (E_b) que corresponde a las pérdidas de cableado, variaciones en los consumos previstos inicialmente, consumo del regulador y ciclado de la batería, estimado en un 15% en la mayoría de los casos y se multiplica por el total de consumo en corriente continua. $C_c = (100 + E_b) \cdot T_{cc}/100$

Para la corriente alterna, los consumos en continua (C_c) además del margen de seguridad de captación (E_b), se tendrá en cuenta la eficacia del inversor (E_i) estimada en un 85% como valor medio, debido a que tiene su propio consumo constante y un rendimiento variable en función de la carga a la que suministre. $C_a = (100 + E_b) \cdot T_{ca}/E_i$

EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA NECESARIA PARA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA						
Lugar	Cafetería FOCIM (120 m ²)					
Ubicación	Xicoténcatl Norte 975, 3er piso, Centro, 64000 Monterrey, N.L. , México					
Equipo	Voltaje (V)	Potencia (W)	Cantidad	Potencia instalada (W)	Horas estimadas de uso (h)	Consumo (Wh/día)
Cafetera	120	800	1	800	4	3.200
Sandwichera	120	800	1	800	1	800
Extractor de zumo	120	250	1	250	1	250
Frigorífico	120	250	2	500	12	6.000
Horno	120	2.000	1	2.000	1	2.000
Microondas	120	800	1	800	2	1.600
Cocina vitrocerámica	120	2.000	1	2.000	2	4.000
Campana extractora	120	300	1	300	2	600
Lavavajillas	120	2.000	1	2.000	2	4.000
Equipo de música	120	100	1	100	12	1.200
Televisor	120	200	1	200	12	2.400
Alumbrado interior	120	12	15	180	12	2.160
Alumbrado exterior	120	12	10	120	4	480
Climatización sistema de caudal variable de refrigerante VRF	220	2088	5	10.440	12	125.280
Total potencia a instalar (Potencia de equipos * cantidad de equipos) = 20.490 W						
Total consumo a 120 voltios						28.690
Total consumo a 220-230 voltios (climatización)						125.280
Total consumo a 120 V y 220 V sin pérdidas						153.970
Consumo real a 120 Voltios incl. margen de seguridad de captación (Eb) 15% del consumo (28.690*1,15)						32.993
Total Consumo real a 120 Voltios incl. pérdidas por la eficiencia del inversor 85% (Ei) (32.993/0,85)						38.815
Consumo real a 220 Voltios incl. margen de seguridad de captación (Eb) 15% del consumo (125.280*1,15)						144.072
Total Consumo real a 220 Voltios incl. pérdidas por la eficiencia del inversor 85% (Ei) (142.072/0,85)						169.496
Total consumo ajustado diario Wh/día a 120 y 220 V						208.311

Tabla 13: Evaluación de la energía necesaria para una cafetería en FOCIM.

A pesar de que se hace un diseño de instalación fotovoltaica para que la cafetería sea autónoma, se consideran todos los equipos de corriente alterna, teniendo en cuenta que hay

disponibilidad de conexión a red (no es un área rural poco electrificada). Por esta misma razón, para el cálculo de las baterías, solo se tendrá en cuenta 1 día de autonomía.

Otra peculiaridad del estudio, es la diferenciación de cargas según el voltaje de trabajo. Para no tener que dimensionar cables con mayores diámetros en el transporte de la corriente, los equipos de climatización se diseñan según su potencia para distintos tipos de corriente. Los de mayor potencia trabajan a más de 220 voltios. En la tabla anterior, se diferencian los equipos que funcionan con voltaje de 220-230 V y el resto de equipos a 120V, para poder calcular posteriormente el dimensionamiento de los inversores, ya que uno deberá aportar corriente a la carga a 120V y el otro a 220V a todos los equipos de climatización.

El estudio se hace según las especificaciones iniciales del centro educativo, no obstante, está sujeto a modificaciones según el resultado para hacer variaciones de horas de funcionamiento, área total de cafetería u otras que apliquen para poder llevar a cabo la instalación fotovoltaica.

Evaluación de la radiación solar disponible

La energía que puede ser aprovechada por un panel solar fotovoltaico dependerá del clima del emplazamiento, así como del ángulo de inclinación que el panel tenga con relación a los rayos solares.

Los paneles deben estar orientados hacia el Sur, salvo que exista sombreado por montañas o edificios que podría variarse ligeramente la posición.

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) especifica los periodos de diseño habituales y el ángulo óptimo de inclinación para que se obtenga la energía máxima:

- Cuando el periodo de diseño es el mes de diciembre, es la latitud más 10 grados.
- Si el mes de diseño es el de julio, la inclinación óptima es la latitud menos 20 grados.
- Si el objetivo es maximizar la producción anual, la inclinación debe ser igual a la latitud menos 10 grados. [33]

En algunos casos en vez de funcionar con una inclinación fija todo el año, se puede trabajar la instalación con dos inclinaciones a lo largo del año para aumentar la energía incidente. Un ejemplo podría ser funcionar con ángulos de inclinación sobre la horizontal de 15° durante los meses de abril a septiembre, y de 60° de octubre a marzo.

Con la evaluación de la radiación solar disponible, se analiza la radiación global incidente sobre la superficie de los paneles para cada mes.

Los datos de radiación tienen los valores medio de energía recibida durante un día por unidad de superficie horizontal que correspondan a una latitud específica.

El factor de corrección k representa el cociente entre la energía total incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el Ecuador e inclinada a un ángulo específico y otra horizontal.

Por lo tanto, la energía que incide sobre un panel inclinado es el resultado de multiplicar la energía sobre superficie horizontal por el factor de corrección k que corresponda a la latitud del emplazamiento e inclinación del panel.

Coordenadas GPS: Latitud del emplazamiento: 25.685238 0° Norte. Longitud: -100.3314454 Altura de Monterrey 554 metros, altura del edificio 16 metros.

Para la elección de la inclinación de paneles se sigue el criterio de optimizar la instalación fotovoltaica para el peor mes del año, que será algún mes de invierno.

Además de la radiación sobre la superficie horizontal y el grado de inclinación de los paneles, hay otros factores que inciden en la producción de una instalación fotovoltaica como la temperatura, nubosidad (y en función de esto se calculan los días de autonomía para instalaciones aisladas), sombreamientos, etc.

En el apartado de climatización se detallaron los datos de nubosidad para Monterrey, resultando los meses de abril y mayo los más nublados. Los meses más despejados son enero y febrero.

Diciembre, enero y febrero son los meses óptimos para la máxima producción de energía fotovoltaica ya que la temperatura máxima no supera los 24 °C, y los paneles brindan su máxima potencia a condiciones estándar de temperatura 25 °C. A pesar de que estos 3 meses tienen menor radiación sobre la superficie horizontal que el resto de meses, ésta radiación se modifica cuando colocamos los paneles a una inclinación de 40 ° y aplicamos el coeficiente k .

En este estudio, no se va a considerar ningún tipo de sombreamiento ya que la instalación será en la última planta del edificio sin edificios colindantes que hagan sombra y se dispone de 410 m² para la instalación con suficiente espacio para distribuir los paneles adecuadamente.

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio mensual de radiación incidente en superficie horizontal (kWh/m ² /día)	3,83	4,61	5,73	5,94	6,27	6,19	6,06	5,74	5,05	4,66	4,20	3,64
K (25° latitud e inclinación 40°)	1,34	1,23	1,07	0,91	0,82	0,78	0,80	0,87	0,98	1,16	1,31	1,40
Radiación incidente (kWh/m ² /día) inclinación 40°	5,13	5,69	6,11	5,39	5,12	4,83	4,84	5	4,97	5,41	5,51	5,1

Tabla 14: Evaluación de la radiación solar disponible: Valor de la radiación global incidente sobre la superficie de los paneles a latitud 25° e inclinación 40°.

Cálculo de la relación consumos/radiación disponible

Se usan en este método valores medios mensuales de radiación global [27] y valores medios diarios de carga, el caso de la cafetería en proyecto se ha estimado igual la carga para cada mes, pero en un caso en funcionamiento se agregarían los consumos variables mes a mes. Relacionamos los consumos Wh/día con la radiación incidente disponible para cada uno de los meses del año y de estos dos factores se establece el dimensionamiento de la instalación para los equipos de captación y acumulación. La relación de consumos/radiación disponible (C/R) se calcula según: $C/R=Ct/Rd$. De las distintas estimaciones de consumo comparadas con la radiación disponible, se tomó el valor mayor de la fila de consumos/radiación, corresponde al C/Rmax, es el peor mes de año ya que es el mes que tiene menor radiación incidente a esa inclinación. El valor numérico de 40.845 es coincidente con la potencia mínima de captación (en condiciones STC) para el sistema. Se necesita al menos una potencia 40.845W para satisfacer la demanda de 208.311 Wh/día.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación global incidente (kWh/m ² /día) a 40° inclinación	5,13	5,69	6,11	5,39	5,12	4,83	4,84	5	4,97	5,41	5,51	5,1
Consumo total ajustado (Wh/día)	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311
Relación Consumos/Radiación	40.606	36.610	34.093	38.648	40.686	43.129	43.039	41.662	41.914	38.505	37.806	40.845

Tabla 15: Relación consumos/radiación incidente disponible para un consumo estimado fijo mensual.

Dimensionamiento del campo de captación

Identificado el valor máximo de la relación consumo/captación considerando el diseño para diciembre, el peor mes del año, se procede al cálculo del número de paneles que son requeridos para garantizar el suministro incluso en el peor mes.

El valor máximo de la relación consumo/radiación es de 40.845. Este valor es coincidente con la potencia mínima de captación (en condiciones STC) para el sistema, por tanto, se necesita una potencia de 40.845 W.

Con la potencia de captación (Pp) del panel elegido en watio-pico (Wp) y el mayor valor de C/R (C/Rmax) obtenemos los paneles necesarios. Se calculan los paneles requeridos aplicando un factor de 1,1 al mayor valor de (C/Rmax) para compensar posibles pérdidas debidas a errores en la orientación, la limpieza de los paneles, pérdidas por temperatura de operación de la célula, pérdidas de mismatch o conexionado (por conexión de módulos fotovoltaicos diferentes para formar un generador fotovoltaico), etc., usando la siguiente fórmula:

$$N_p = 1,1 * (C/R_{max})/P_p$$

- Pp: Potencia de captación del panel elegido en watio-pico (Wp)
- C/Rmax: es el mayor valor de C/R
- Np: número de paneles

Mayor valor de C/Rmax: $40.845 * 1,1 = 44.929,5$ W Potencia necesaria incluyendo pérdidas

El número de paneles será el número entero mayor que resulte del número de paneles Np calculado en la fórmula. $N_p = 44.929,5 / 250 = 179,70$

Potencia a instalar: $180 * 250 \text{ W} = 45.000 \text{ W}$

C/Rmax	Potencia Panel (W)	Voltaje a circuito abierto (V)	Corriente corto circuito (A)	(C/Rmax) /potencia	Cantidad	Nº paneles/3	Nº paneles/6
44.925,50	235	37,50	8,48	191,17	192,00	64,00	32,00
44.925,50	240	37,70	8,57	187,19	188,00	62,67	31,33
44.925,50	245	37,90	8,66	183,37	185,00	61,67	30,83
44.925,50	250	38,00	8,75	179,70	180,00	60,00	30,00
44.925,50	255	38,10	8,83	176,18	177,00	59,00	29,50
44.925,50	260	38,20	8,90	172,79	173,00	57,67	28,83
44.925,50	265	38,30	8,98	169,53	170,00	56,67	28,33

Tabla 16: Cálculo de paneles y comparación de especificaciones técnicas de paneles para seleccionar el diseño del campo de captación fotovoltaico

Instalaremos 180 paneles, 6 en serie y repetimos 30 veces esta configuración en paralelo.

Grupo 1: 6 paneles en serie y repetimos esta configuración conectando 30 veces en paralelo.

Voltaje: en diseños en serie los voltajes de los paneles se suman. Como se necesita tener un voltaje de 220 V-230 V, para los equipos de climatización $220V/38V= 5,78$ V que es el voltaje a circuito abierto del panel seleccionado de 250W se configuran 6 paneles en serie para que la suma de los voltajes llegue a 220V, se tendría $6*38V=228$ V.

Corriente: se calcula la corriente para los grupos en paralelo: $30*8,75=262,5$ A

Dimensionamiento del sistema de acumulación

Para dimensionar el sistema de acumulación es necesario conocer sobre la nubosidad en la zona ya que en los días nublados la producción no será igual y el sistema de baterías aportará la energía requerida. Se tomará 1 solo día de autonomía ya que el edificio dispone de conexión a red.

Características del banco de baterías requerido: se calcula según la tensión de banco y la capacidad en amperios-hora. La tensión debe ser la misma que los consumos y la configuración de paneles. Para determinar la capacidad, se definen los días de autonomía, en este caso 1 y la profundidad máxima de descarga a la que deseamos someter la batería. Se toma una profundidad máxima de descarga del 80%.

La capacidad del sistema de acumulación Q será:

$Q= 110 * \text{consumo} * \text{días de autonomía} / (\text{tensión de trabajo de la instalación (V)} * \text{profundidad de descarga máxima})$.

$Q=110* 208.311 *1 / (48*80) = 5.967,24$ Ah. Seleccionamos 4 bancos de baterías estacionarias de 1590 Ah. C100 para cubrir los 5.967,24

Cada batería tiene 6 vasos x 2V lo que equivaldrían a 24 celdas para llegar a los 48V del sistema. El número total de batería sería de 96 celdas y se conectan 24 baterías en serie y 4 bancos de batería en paralelo.

Regulador de carga

Su función es proteger la batería y mantener la tensión estable, carga las baterías y de noche o cuando el campo solar no esté operativo, el regulador envía energía a las cargas. Está determinado por su tensión nominal y la intensidad de corriente que es capaz de gestionar desde los paneles y hacia la carga. Se selecciona un regulador con la tensión nominal igual a la del banco de baterías 48V.

Corriente proveniente de la carga instalada $20.490W / 48V= 436,87$ A

Ahora se calcula la máxima corriente proveniente del campo solar, $180 \text{ paneles} * 250 \text{ W} = 45.000 \text{ W} / 48 \text{ V}$
 $= 937,5 \text{ A}$

Se recomienda que la corriente nominal del regulador sea un 25% superior a la corriente que proviene bien de los paneles o de la corriente que absorbe la carga. La mayor de ambos sistemas es la corriente proveniente del campo solar. $937,08 \text{ A} * 1,25 = 1.171,87 \text{ A}$

Se necesitará un regulador de voltaje de 1200 A para todas las baterías, 4 reguladores de 300 A conectados en paralelo, o 12 reguladores de 100 A. Regulador de carga Blue Solar 150/100 marca Victron detecta instantáneamente la tensión de trabajo de la batería (a 12, 24 o 48 voltios) y vienen de serie con 8 programas con los que poder seleccionar las tensiones de carga a baterías que correspondan. El regulador Blue Solar 150/100 incorpora un seguidor ultra rápido para optimización de la producción fotovoltaica en condiciones adversas, lo cual es ideal para instalaciones fotovoltaicas aisladas de uso doméstico, pero de gran tamaño. [34]

Inversor

La tensión de entrada (continua) debe coincidir con la tensión de trabajo de los paneles y la batería y la tensión de salida (alterna) debe corresponder a la operación de las cargas que se quieren operar (en el caso de la cafetería los equipos funcionarían a 120 voltios y 220 voltios (los equipos de climatización). Se identifican qué cargas de corriente alterna podrían funcionar simultáneamente. Total cargas instaladas: 20.490 W

Total cargas a 220 voltios funcionando simultáneamente (climatización): 10.440 W

Total cargas a 120 voltios funcionando simultáneamente: 10.050 W

Seleccionamos inversores para las cargas de 120 voltios y para las cargas de 220 voltios con voltaje de entrada de 48V.

Inversores para cargas con voltaje 220 V:

4 inversores Phoenix tensión de entrada 48V dc y potencia 3000 W y tensión de salida 230 V y 60 Hz, para satisfacer los equipos de climatización de carga 10.440 W. Total potencia 4 inversores 12.000W

Inversores para cargas con voltaje 120 V:

3 inversores Quattro de 48V dc voltios de entrada y potencia 5000 W y tensión de salida 120 V y 60 Hz, para satisfacer el resto de equipos que suman la carga de 10.050 W y voltaje 120 V. Total potencia 3 inversores 15.000W. idealmente se selecciona el inversor que se aproxime a la carga instalada.

Cabe señalar que, en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, la potencia de los inversores define la potencia nominal de la instalación fotovoltaica o en caso contrario sabiendo la superficie disponible y el tipo de configuración elegida se determina la potencia del inversor. Los valores de potencia del generador fotovoltaico y del inversor deben corresponderse entre sí. En sistemas fotovoltaicos fijos orientados no óptimamente o con sombreados parciales, se recomienda dimensionar el inversor con menor potencia y en sistemas con seguimiento se puede seleccionar un inversor con mayor potencia. En general la potencia nominal del inversor puede ser un 20% inferior a la potencia del generador fotovoltaico bajo condiciones STC porque la potencia pico de un generador se alcanza puntualmente, por lo que el inversor trabaja en valores de potencia inferior al 70% de su potencia máxima. Además la máxima potencia de una célula fotovoltaica se obtiene a 25 °C y usualmente no se consigue todo el tiempo trabajar a esa temperatura ideal por lo que la potencia de salida de la instalación fotovoltaica es menor, y por último hay un proceso de degradación de los módulos que van perdiendo potencia. Tampoco es conveniente subdimensionar el inversor debido a que las sobrecargas permanentemente reducen la vida útil y en ningún caso sobrepasar la máxima corriente de entrada del inversor.

Hay varias configuraciones para conectar los inversores:

Inversor tipo string y generador particionado usualmente conectados a sistemas con potencias hasta 3kW se usan si hay sombreados o diferencias en orientación de los módulos y se conectaría un inversor por cada string. En sistemas medianos se conectan dos o tres strings a un inversor formando una configuración fotovoltaica por partes. Para grandes sistemas fotovoltaicos se usa la configuración maestro esclavo. En este caso se usan 3 inversores entre los cuales se reparte la potencia total del sistema. Uno trabaja como maestro y funciona individualmente mientras hay baja radiación solar y al aumentar la radiación el inversor maestro se acerca al límite de su potencia y uno de los inversores esclavo es activado y así sucesivamente. Se van rotando para equilibrar la carga de los inversores, el trabajo del inversor maestro es realizado por todos secuencialmente. Este tipo de configuración tiene la ventaja que es en caso de baja radiación, solo trabaja un inversor y es más eficiente que usar un gran inversor central de mayor capacidad. [31]

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

RESUMEN DE DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIÓN SOLAR AISLADA para cafetería FOCIM												
RADIACIÓN DISPONIBLE (kWh/m²/día) a 25° latitud y 40° de inclinación												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación incid.(kWh/m ² /día) a 40°	5,13	5,69	6,11	5,39	5,12	4,83	4,84	5	4,97	5,41	5,51	5,1
Consumo total ajustado (Wh/día)	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311
Relación C/R	40.606	36.610	34.093	38.648	40.686	43.129	43.039	41.662	41.914	38.505	37.806	40.845
								Valor	Unidad	Cantidad	Precio €	Total € sin IVA
DIMENSIONADO DEL CAMPO DE CAPTACIÓN: Panel Amerisolar – 250 W de potencia policristalino)								250	W	180	170	30.600
Número de paneles $N_p=1,1 \cdot P_{max}/P_p$ $N_p = (40.845 \text{ W} \cdot 1,1) / 250\text{W} = 180$ paneles												
Potencia de captación a instalar $P_p \cdot N_p$ $250\text{W} \cdot 180 = 45.000 \text{ W}$								45.000	W			
Estructura sobre suelo para 12 paneles (180 paneles/12=15 estructuras)										15	315	4.751
DIMENSIONADO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN: BAE 1650 Estacionaria 1590 Ah.C100,6 vasos x 2v										4	4.650	18.600
Días de autonomía (D)								1	día			
Profundidad de descarga máxima (Mpd)								80	%			
Tensión de trabajo de la instalación (V)								48	V			
Capacidad del sistema de acumulación (Q) $Q = 110 \cdot \text{consumo} \cdot \text{día autonomía} / (\text{voltaje} \cdot \text{profundidad de descarga})$ $Q = 110 \cdot 208.311 \cdot 1 / (48 \cdot 80) = 5.967,24 \text{ Ah}$.								5.967,24	Ah			
REGULADOR DE CARGA: Regulador BLUE SOLAR MPPT 150/100 MC4 (12/24/48v – 100 A)										12	750	9.000
Corriente de carga instalada $20.490\text{W} / 48\text{V} = 436,87 \text{ A}$ Corriente del campo solar $45.000/48\text{V} = 937,5 \text{ A} \cdot 1,25 = 1.171,87 \text{ A}$												
INVERSOR Se calculan las cargas que podrían funcionar en simultaneidad												
Carga (equipos climatización) 10.440 W (tensión de salida 230 V) Inversor: Phoenix 48v/3000W – 230v.										4	1.526	6.104
Resto de cargas 10.050 W (tensión de salida 120 V) Inversor: Quattro 48/5000/70-100/100										3	2.878	8.634
TOTAL INVERSIÓN												77.689

Tabla 17: Resumen de dimensionamiento de una instalación fotovoltaica aislada para cafetería FOCIM.

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

TABLA PARAMÉTRICA	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Octubre	Nov.	Dic.
Promedio radiación incidente en superficie horizontal (kWh/m ² /día)	3,83	4,61	5,73	5,94	6,27	6,19	6,06	5,74	5,05	4,66	4,20	3,64
Consumo total ajustado (Wh/día)	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311
K inclinación 0°	0,97	0,99	0,99	0,98	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,97	0,98
Radiación global incidente (kWh/m ² /día) a 0°	3,72	4,57	5,66	5,82	6,24	6,16	6,03	5,71	4,98	4,62	4,07	3,55
Consumo/Radiación a 0°	55.998	45.582	36.804	35.792	33.383	33.817	34.546	36.482	41.830	45.089	51.182	58.679
K inclinación 10°	1,11	1,09	1,05	0,99	0,98	0,97	0,98	0,99	1,02	1,07	1,10	1,13
Radiación global incidente (kWh/m ² /día) a 10°	4,24	5,04	5,99	5,91	6,15	6,01	5,91	5,71	5,14	5	4,61	4,1
Consumo/Radiación a 10°	49.130	41.332	34.776	35.247	33.872	34.661	35.247	36.482	40.527	41.662	45.187	50.808
K inclinación a 25°	1,26	1,20	1,09	0,98	0,92	0,90	0,91	0,95	1,03	1,15	1,24	1,30
Radiación global incidente (kWh/m ² /día) a 25°	4,82	5,51	6,22	5,8	5,77	5,55	5,5	5,48	5,19	5,34	5,2	4,73
Consumo/Radiación a 25°	43.218	37.806	33.491	35.916	36.102	37.534	37.875	38.013	40.137	39.010	40.060	44.040
K inclinación a 40°	1,34	1,23	1,07	0,91	0,82	0,78	0,80	0,87	0,98	1,16	1,31	1,40
Radiación global incidente (kWh/m ² /día) a 40°	5,13	5,69	6,11	5,39	5,12	4,83	4,84	5	4,97	5,41	5,51	5,1
Consumo/Radiación a 40°	40.606	36.610	34.093	38.648	40.686	43.129	43.039	41.662	41.914	38.505	37.806	40.845
K inclinación a 90°	1,08	0,89	0,63	0,42	0,32	0,30	0,31	0,38	0,54	0,79	1,03	1,17
Radiación global incidente (kWh/m ² /día) a 90°	4,14	4,12	3,62	2,49	2	1,85	1,9	2,19	2,73	3,69	4,32	4,26
Consumo/Radiación a 90°	50.317	50.561	57.544	83.659	104.156	112.601	109.637	95.119	76.304	56.453	48.220	48.899

Tabla 18: Paramétrica de radiación global incidente para distintos grados de inclinación de paneles en una instalación fotovoltaica aislada para la cafetería del edificio.

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Producción a 25° latitud y 40° de inclinación de 180 paneles de 250W (Wh/día)	230.850	256.050	274.950	242.550	230.400	217.350	217.800	225.000	223.650	243.450	247.950	229.500
Consumo total ajustado para cafetería (Wh/día)	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311	208.311
Excedente (Wh/día)	22.539	47.739	66.639	34.239	22.089	9.039	9.489	16.689	15.339	35.139	39.639	21.189

Tabla 19: Producción, consumo y excedente diario de la cafetería por cada mes a 25° latitud y 40° inclinación de los paneles en Wh/día diseñado para el peor mes.

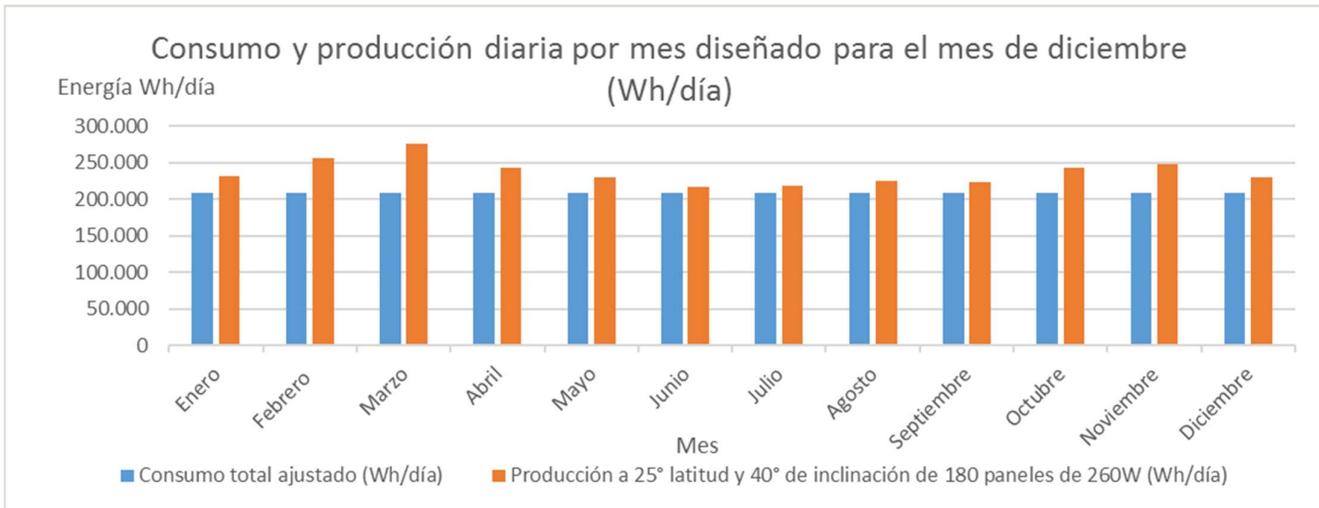


Figura 18: Consumo y producción por día de la cafetería diseñado para el peor mes: diciembre

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Producción instalación fotovoltaica cafetería (kWh/mes)	6.925,50	7.681,50	8.248,50	7.276,50	6.912,00	6.520,50	6.534,00	6.750,00	6.709,50	7.303,50	7.438,50	6.885,00
Consumo total ajustado cafetería (kWh/mes)	6.249,33	6.249,33	6.249,33	6.249,33	6.249,33	6.249,33	6.249,33	6.249,33	6.249,33	6.249,33	6.249,33	6.249,33
Excedente (kWh/mes)	676,17	1.432,17	1.999,17	1.027,17	662,67	271,17	284,67	500,67	460,17	1.054,17	1.189,17	635,67

Tabla 20: Producción, consumo y excedente diario de la cafetería por cada mes a 28° latitud y 40° inclinación de los paneles en kWh/mes diseñado para el peor mes.

Consumo real energía durante 1 año en FOCIM (kWh/mes)	2.096,00	2.877,50	3.037,50	4.499,00	6.099,00	4.765,50	6.285,50	5.110,50	5.590,50	4.693,00	2.293,00	2.096,00
Climatización 43% (kWh/mes)	901,28	1.237,33	1.306,13	1.934,57	2.622,57	2.049,17	2.702,77	2.197,52	2.403,92	2.017,99	985,99	901,28
Equipos TI 27% (kWh/mes)	565,92	776,92	820,12	1.214,73	1.646,73	1286,68	1.697,08	1.379,85	1.509,43	1.267,11	619,11	565,92
Iluminación 24% (kWh/mes)	503,04	690,6	729	1.079,76	1.463,76	1.143,72	1.508,52	1.226,52	1.341,72	1.126,32	550,32	503,04
Mantenimiento 6% (kWh/mes)	125,76	172,65	182,25	269,94	365,94	285,93	377,13	306,63	335,43	281,58	137,58	125,76
Producción instalación fotovoltaica cafetería (kWh/mes) 180 paneles (1,62 m ² /*180)= 292,83 m ²	6.925,50	7.681,50	8.248,50	7.276,50	6.912,00	6.520,50	6.534,00	6.750,00	6.709,50	7.303,50	7.438,50	6.885,00
Producción (kWh/mes) fachada ventilada silicio amorfo opaco 477,63 m ²	3.440,59	3.423,97	3.008,44	2.069,34	1.662,12	1.537,46	1.579,01	1.820,02	2.268,79	3.066,61	3.590,18	3.540,32

Tabla 21: Consumo de energía en FOCIM en el período de un año y proporción de uso según los sistemas incorporando la estimación de producción para la instalación fotovoltaica de la cafetería y la estimación de la producción de la fachada ventilada fotovoltaica en kWh/mes.

Análisis de la propuesta de la instalación fotovoltaica para la cafetería

Para la cafetería de FOCIM, se han diseñado las cargas para un área cerrada de 120 metros cuadrados y una terraza abierta de 380 metros. La climatización representa el mayor consumo debido a los 5 equipos de climatización calculados para el área cerrada de 120 mts² y 12 horas de funcionamiento desde las 10:00 hasta las 22:00 horas que cierra el centro educativo.

Una variación en el régimen de funcionamiento del horario de cafetería podría disminuir considerablemente el consumo en la climatización. Una reducción de 2/3 del horario de funcionamiento de la cafetería, limitándolo entre las 18:00 y 22:00 horas que son las de mayor ocupación hay en el edificio y justamente el horario donde ya no hay incidencia del sol directa, reduciría muchísimo el consumo ya que las temperaturas bajan y entre junio y agosto el sol se oculta más tarde, con lo que tampoco habría tanto uso de la iluminación.

Tanto la cubierta como la fachada de la cafetería, son de vital importancia para el mayor o menor uso de los equipos de climatización. No se recomienda un área de servicio a los alumnos abierta, tal y como está diseñado hacia la terraza ya que si se instala climatización dentro del área cerrada de la cafetería, un espacio abierto para proveer alimentos hacia la terraza, constituiría un punto de fuga para el área refrigerada de la cafetería (ver planos y fotos en sección anexos).

El excedente de la producción de la instalación fotovoltaica podría usarse para la demanda de los equipos de climatización evitando los cargos por demanda máxima, justo en los meses de mayor producción que coinciden con los meses más calurosos, donde se supone que trabajan más los equipos de climatización.

Monterrey tiene una temperatura media excelente para una instalación fotovoltaica, ya que los paneles fotovoltaicos están diseñados para proporcionar su máxima potencia a una temperatura de 25 °C. Hay algunos meses que la temperatura en Monterrey es superior a 25 °C, por tanto, se podría considerar instalar paneles híbridos de tecnología española para refrescar la célula fotovoltaica.

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

MES	Consumo de energía (kWh) por mes Junio 2015 - Mayo 2016 FOCIM	Consumo (kWh) Sistema climatización (43%)	Total Facturas (\$ mexicanos)	Total en € Tasa de cambio noviembre 2016 1 €=21,48 (\$ mexicanos)
Junio 2015	4.765,50	2.049,17	10.485,68	488,16
Julio 2015	6.285,50	2.702,77	12.206,36	568,27
Agosto 2015	5.110,50	2.197,52	11.802,55	549,47
Septiembre 2015	5.590,50	2.403,92	12.649,80	588,91
Octubre 2015	4.693,00	2.017,99	10.729,56	499,51
Noviembre 2015	2.293,00	985,99	8.316,52	387,18
Diciembre 2015	2.096,00	901,28	7.464,59	347,51
Enero 2016	2.096,00	901,28	7.215,73	335,93
Febrero 2016	2.877,50	1.237,33	8.497,20	395,59
Marzo 2016	3.037,50	1.306,13	8.890,29	413,89
Abril 2016	4.499,00	1.934,57	10.728,18	499,45
Mayo 2016	6.099,00	2.622,57	12.452,18	579,71
Total anual	49.443,00	21.260,49	121.438,64	5.653,57
Promedio mensual	4.120,25	1.771,70	10.119,88	471,13

Tabla 22: Consumo de energía, consumo del sistema de climatización y total facturas por mes, anual y promedio mensual en FOCIM en pesos mexicanos y euros

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

Producción de 180 paneles	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total año
Producción (kWh/mes) panel 0°	5.022	6.170	7.641	7.857	8.424	8.316	8.141	7.709	6.723	6.237	5.495	4.793	82.526
Producción (kWh/mes) panel 10°	5.724	6.804	8.087	7.979	8.303	8.114	7.979	7.709	6.939	6.750	6.224	5.535	86.144
Producción (kWh/mes) panel 25°	6.507	7.439	8.397	7.830	7.790	7.493	7.425	7.398	7.007	7.209	7.020	6.386	87.899
Producción (kWh/mes) panel 40°	6.926	7.682	8.249	7.277	6.912	6.521	6.534	6.750	6.710	7.304	7.439	6.885	85.185
Producción (kWh/mes) panel 90°	5.589	5.562	4.887	3.362	2.700	2.498	2.565	2.957	3.686	4.982	5.832	5.751	50.369

Tabla 23: Paramétrica de producción en kWh/mes de los 180 paneles para distintos grados de inclinación de paneles en una instalación fotovoltaica aislada

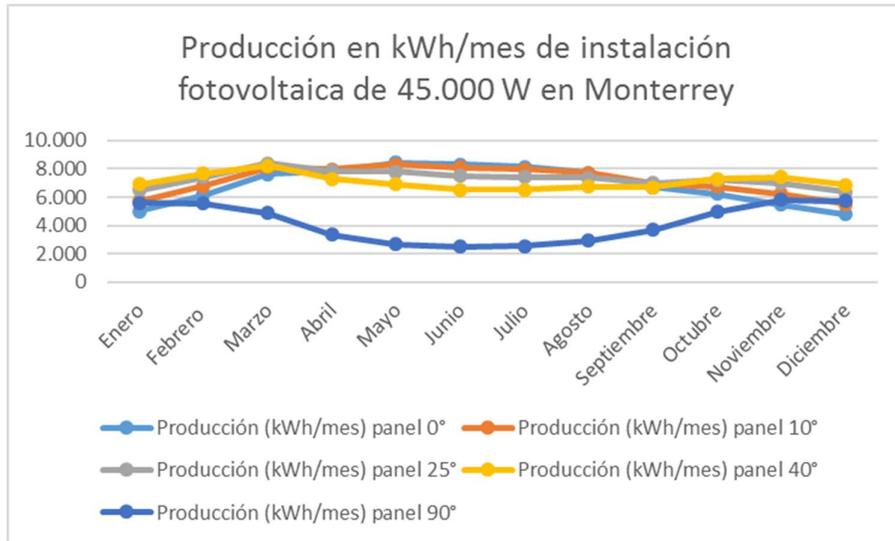


Figura 33: Producción en kWh/mes de instalación fotovoltaica de 45.000 W en Monterrey

Analizando la máxima producción cada mes según la inclinación (en verde), se deduce que la inclinación de los paneles ideal sería 7 meses a 25° de marzo a septiembre inclusive (suman 53.339 kWh período 1), y 5 meses a 40° de inclinación de octubre a febrero (36.234 kWh período 2). Esto produciría al año 89.573 kWh/año, que es mayor que la cualquier producción anual manteniendo una inclinación fija. La máxima producción se produce los meses mayo, junio y julio a 0° debido a la radiación y ángulo. El sistema se ha diseñado el peor mes que es diciembre para satisfacer la demanda en el peor mes de diciembre, con la radiación más baja y para ese diseño la inclinación óptima es 40°.

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

Producción en kWh/año e inversión (€) de distintas tecnologías de vidrio fotovoltaico para la cubierta de FOCIM - 410 m² a 40° inclinación

	Inversión (€) para 410 m ²	Potencia (W) instalada en 410 m ²	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic	Producción anual kWh/año
Radiación incidente a latitud 25 e inclinación 40			5,13	5,69	6,11	5,39	5,12	4,83	4,84	5	4,97	5,41	5,51	5,1	
Amerisolar 252 paneles ocupan 410 m ² policristalino 250 W Precio: 170€/panel	42.840	63.000	9.696	10.754	11.548	10.187	9.677	9.129	9.148	9.450	9.393	10.225	10.414	9.639	119.259
ONYX Silicio cristalino amorfo opaco 410 m ² 58 Wp Precio: 94 €/m ²	38.540	23.780	3.660	4.059	4.359	3.845	3.653	3.446	3.453	3.567	3.546	3.859	3.931	3.638	45.016
ONYX Silicio cristalino amorfo transparencia 10% 38Wp Precio: 100 €/ m ²	41.000	15.580	2.398	2.660	2.856	2.519	2.393	2.258	2.262	2.337	2.323	2.529	2.575	2.384	29.493
ONYX Silicio cristalino amorfo transparencia 20% 32Wp Precio: 102 €/m ²	41.820	13.120	2.019	2.240	2.405	2.122	2.015	1.901	1.905	1.968	1.956	2.129	2.169	2.007	24.836
ONYX Silicio cristalino amorfo transparencia 30% 28Wp Precio: 105 €/m ²	43.050	11.480	1.767	1.960	2.104	1.856	1.763	1.663	1.667	1.722	1.712	1.863	1.898	1.756	21.732
ONYX Vidrio silicio monocristalino 163Wp/m ² Precio: 136 €/ m ²	55.760	66.830	10.285	11.408	12.250	10.806	10.265	9.684	9.704	10.025	9.964	10.847	11.047	10.225	126.509
ONYX Vidrio silicio policristalino 148Wp/m ² Precio: 119 €/ m ²	48.790	60.680	9.339	10.358	11.123	9.812	9.320	8.793	8.811	9.102	9.047	9.848	10.030	9.284	114.867
Consumo real energía durante 1 año en FOCIM (kWh/mes)			2.096	2.878	3.038	4.499	6.099	4.766	6.286	5.111	5.591	4.693	2.293	2.096	49.443

Tabla 24: Paramétrica de producción en kWh/año e inversión (€) de distintas tecnologías de vidrio fotovoltaico para la cubierta de FOCIM -410m² a 40° inclinación

DESARROLLO DE INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO PARA CENTROS EDUCATIVOS

Un indicador de desempeño energético IDEn es un valor cuantitativo o medida del desempeño energético tal como lo defina la organización y puede expresarse como una simple medida, un cociente o un modelo completo.

Desempeño energético son resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el consumo de la energía y el uso de la energía (ventilación, iluminación, calefacción, refrigeración, transporte, procesos, líneas de producción).

Eficiencia energética es la proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía. Por ejemplo: Eficiencia de conversión; energía requerida/energía utilizada; salida/entrada; valor teórico de la energía utilizada/energía real utilizada (tanto la entrada como la salida necesitan ser claramente especificadas en cantidad y calidad y ser medibles. [35]

Tipos de certificaciones energéticas en edificios

Existen varios tipos de certificaciones para definir el consumo energético de un edificio, entre ellas se mencionan:

LEED – USA

El U.S. Green Building Council (USGBC) de los Estados Unidos, fundada en 1993, es la organización líder que representa a toda la industria de la construcción en lo que se refiere a "Construcción Verde", cuya finalidad es crear un sistema que mida y defina el grado de eficiencia y productividad de la construcción verde y analice el impacto de la misma en el medio ambiente.

Leadership in Energía and Environmental Design (LEED), es el sistema internacional de certificación desarrollado por el USGBC, el cual verifica y aprueba que una construcción ha sido desarrollada implementando las nuevas prácticas ambientales creando una mayor eficiencia en su edificación. Puntos por 5 categorías (emplazamiento, gestión del agua, calidad ambiental interior, materiales y energía y atmósfera). Puntuación global - Escala de 4 niveles (Certificado, Plata, Oro, Platinum). [36]

BREEAM – Reino Unido

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology) es el método de evaluación y certificación de la sostenibilidad de la edificación. Se corresponde con un

conjunto de herramientas avanzadas y procedimientos encaminados a medir, evaluar y ponderar los niveles de sostenibilidad de una edificación, tanto en fase de diseño como en fases de ejecución y mantenimiento, contemplando las particularidades propias de cada una de las principales tipologías de uso existentes (vivienda, oficinas, edificación industrial, centros de salud, escuelas, etc.). Puntos por categorías de requisitos (gestión, energía, materiales, residuos, uso del suelo y ecología, salud y bienestar, agua, transporte y contaminación). Puntuación global – Escala de 5 rangos. [37]

VERDE - Green Building Council - España

Esta certificación se basa una metodología de evaluación de la sostenibilidad de los edificios en una aproximación al análisis del ciclo de vida en cada fase y evalúa la reducción de los impactos del edificio y su emplazamiento por la implementación de medidas tanto de diseño como de rendimiento agrupadas en una lista de criterios de sostenibilidad. [38]

ESPAÑA - Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC)

Certificación que usa programas generales oficiales para la evaluación de la demanda energética y del consumo energético y de los Procedimientos Generales para la Certificación energética de Edificios (LIDER-CALENER), así como los cambios necesarios para la convergencia de la certificación energética con el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE). Última versión publicada en noviembre 2016. [39]

PASSIVHAUS - Sistema Alemán

El estándar Passivhaus se basa en la construcción de edificios de cualquier índole que cuenten con un gran aislamiento térmico, un riguroso control de infiltraciones, y una máxima calidad del aire interior, además de aprovechar la energía del sol para una mejor climatización, reduciendo el consumo energético del orden del 70% (sobre las construcciones convencionales). [40] Este estándar no requiere usar un producto específico o estilo arquitectónico, sino la optimización de los recursos existentes a través de técnicas pasivas, como por ejemplo una orientación correcta de las ventanas para aprovechar el calor del sol cuando están cerradas y la ventilación natural al abrirlas o poner protecciones solares que impidan un sobrecalentamiento en verano. Se basa en estos principios: Excelente aislamiento térmico, ventanas y puertas de altas prestaciones, ausencia de puentes térmicos, ventilación mecánica con recuperación de calor, estanqueidad al aire. [41]

Desarrollo de indicadores de desempeño energético a partir de la evaluación energética

Una vez realizada la evaluación energética del centro educativo y elaboradas las propuestas de mejora, se desarrollan los indicadores de desempeño energético, que sean relevantes para la organización.

La ocupación del Edificio, varía a lo largo del día y durante la semana para los salones, ya que en estos se toman diferentes materias. Los empleados no tienen horario fijo. El horario de funcionamiento de las instalaciones difiere en cuanto al servicio que prestan.

El gasto en energía eléctrica en el periodo base de un año fue de 121.438,636 \$ mexicanos, a razón de 10.119 \$ mexicanos al mes.

El consumo total en un año fue de 49.443 kWh, 4.120 kWh promedio mensual, el consumo mínimo fue de 1.760 kWh mes en los meses de diciembre 2015 y enero 2016. El máximo reportó 6.286 kWh en el mes de julio 6.286 kWh. Esta variación se debe a que es un instituto educativo y tiene periodos vacacionales, así como las demandas por calefacción en los meses más calurosos y el consumo más bajo en los meses de invierno.

Igualmente se ha incluido indicadores de desempeño energético para las instalaciones fotovoltaicas de la cafetería y fachada ventilada. Para la cafetería el total de energía producida anual es 85.185 kWh/año y de promedio 7.098,75 kWh/mes. Los metros cuadrados que ocupa cada panel fotovoltaico corresponden a $1,640 * 0,992 = 1,626 * 180$ paneles = 292,83 m² y la potencia instalada de esos 180 paneles es de 45.000 W. La inversión para la instalación aislada de cafetería es de 77.689 euros/292,83 = 265,30 euros el m² de instalación aislada.

Para la fachada ventilada fotovoltaica de silicio amorfo opaco, la producción a 90 al año es 31.007 kWh/año y el promedio mensual 2.584 kWh/mes. Los metros instalados de fachada ventilada serían 477,63 m² y la potencia instalada 27.702 W (477,63 m² * 58 Wp/m²). La inversión para la instalación de fachada ventilada conectada a red es 94 euros el m² y los costes de instalación en México corresponden 0,34€/Wp, que se dividen en las siguientes partidas: 0,2\$/Wp para el coste del inversor, 0,15\$/Wp para el resto de equipamiento eléctrico necesario (cableado...), 0,03\$/Wp para la mano de obra para la instalación. Estos datos corresponderían a indicadores económicos.

Los siguientes indicadores de desempeño energético han sido desarrollados un centro educativo y tienen como finalidad evaluar comparativamente el desempeño energético de interno de FOCIM y las mejoras que se van realizando durante el tiempo, así como evaluar el desempeño de centros educativos con los mismos parámetros.

Indicadores de desempeño energético para centros educativos / Caso de estudio FOCIM

Tipo	Indicador	Unidades	Valores de FOCIM	Fuente de información
Por área total del edificio	Índice de consumo energético por área total	kWh/mes- m ²	4.120 kWh /1.230 m ² = 3,34 kWh/mes- m ²	Facturas de energía y dimensiones del edificio.
Por área total del edificio	Índice de potencia instalada por área total	W/m ²	149.497W/1.230 m ² = 121,54 W/m ²	Potencia total instalada del inventario de equipos y dimensiones del edificio.
Por área o espacio parcial	Índice de consumo energético por piso	kWh/mes- m ²	N/A ya que no existen contadores independientes por planta	Consumos a partir de los medidores que puedan ser instalados en cada piso y las dimensiones físicas construidas (en m ²) de los planos arquitectónicos.
Por sistema	Índice de consumo energético por sistema de climatización, iluminación, IT, mantenimiento	kWh/mes- m ²	Climatización: (4.120 kWh*0,43) / 1.230 m ² =1,44 kWh/mes-m ² Equipos TI: (4.120 kWh*0,27) / 1.230 m ² =0,90 kWh/mes-m ² Iluminación: (4.120 kWh*0,24) / 1.230 m ² =0,80 kWh/mes-m ² Mantenimiento: (4.120 kWh*0,06)/ 1.230 m ² =0,20 kWh/mes-m ²	Los consumos a partir de los cálculos estimados ajustados en porcentaje. Lo ideal es instalar medidores por sistema y las dimensiones físicas construidas (en m ²) de los planos arquitectónicos.
Por sistema	Índice de potencia instalada por sistema de climatización, iluminación, IT, mantenimiento por área total	W/m ²	Climatización: 84.800W/1.230 m ² =68,94 W/m ² Iluminación: 5.760W/ 1.230 m ² = 4,68 W/m ² Equipos TI: 26.951W/ 1.230 m ² =21,91 W/m ² Mantenimiento: 31.986W/ 1.230 m ² =26 W/m ²	Potencia instalada del aforo de carga o inventario de equipos actualizado y el área de los planos arquitectónicos.
Por persona	Índice de consumo energético promedio por persona	kWh/mes- persona	4.120 kWh/mes/440 personas=9,36 kWh/mes-persona	Consumo promedio mensual/ número total de empleados y promedio de estudiantes en el edificio para un periodo.
Por persona	Índice de la potencia instalada total por persona	W/persona	149.497W /440 personas= 339,76 W/persona	Potencia total instalada del inventario de equipos o censo de carga/el N° total de empleados sumado al promedio de estudiantes en el edificio.
Por instalación fotovoltaica aislada	Índice de la producción promedio por área ocupada cafetería	kWh/mes - m ² instalados	Producción de energía al mes/ m ² 7.098,75 kWh/mes/292,83 m ² =24,24 kWh/mes-m ²	Indicadores propuestos para analizar el desempeño de la instalación fotovoltaica
Por instalación fotovoltaica conectada	Índice de la producción promedio por área ocupada fachada ventilada	kWh/mes - m ² instalados	2.584 kWh/mes/ 477,63 m ² = 5,41 kWh/mes-m ²	Indicadores propuestos para analizar el desempeño de la instalación fotovoltaica
Por instalación fotovoltaica aislada	Índice de potencia instalada por área ocupada en cafetería	W por m ² ocupado	Potencia instalada/ m ² ocupados 45.000 W/292,83 m ² =153,67 W/ m ²	Indicadores propuestos para analizar el desempeño de la instalación fotovoltaica
Por instalación fotovoltaica conectada	Índice de potencia instalada por área ocupada en fachada ventilada	W por m ² ocupado	Potencia instalada/ m ² ocupados 27.702W/477,63=57,99 W/ m ²	Indicadores propuestos para analizar el desempeño de la instalación fotovoltaica

Tabla 25: Indicadores de desempeño energético para centros educativos.

RECOMENDACIONES

Todos los datos de climatología inciden directamente en el comportamiento energético de un edificio, la temperatura es un factor clave para el uso de climatización en una instalación. Cuando el clima de un lugar tiene temperaturas que varían con las estaciones se requiere aislar un edificio para mantener la temperatura de confort y evitar los consumos por calefacción y refrigeración. Existen diversas soluciones para aislar térmicamente un edificio. Al rehabilitar fachadas es de vital importancia el tratamiento de los cerramientos conformados por los marcos y los vidrios, que en el caso de FOCIM ocupan un 10% de cada fachada y por las características actuales tienen pérdidas térmicas aunado a que algunos equipos de climatización están ubicados justo encima de las ventanas. El uso de protección solar cambia las características del aislamiento térmico de una ventana (sombreamientos y el doble acristalamiento pueden reducir la pérdida de calor de un 25 a un 40%.) En el caso del edificio de FOCIM, la primera actuación sería la rehabilitación de la fachada y cubierta, para aislar el edificio, adicionando elementos de sombra para los nuevos cerramientos ya que, por la orientación del edificio, la fachada sur del edificio recibe sol durante todo el día. Se deben tomar en cuenta, las especificaciones técnicas de los materiales a usar en la rehabilitación energética de un edificio, como coeficientes de transmitancia térmica de vidrios y marcos, del material a emplear en la fachada y en la cubierta.

En México y a nivel mundial existen normas que certifican la calidad de un producto y de sistemas. En términos de sostenibilidad, es preferible adquirir los equipos y materiales que se produzcan en el propio país y cumplan con los parámetros internacionales recomendados para asegurar que la medida de ahorro será efectiva en el tiempo. Por tanto, se sugiere tomar en cuenta el uso de productos que cumplan con las exigencias específicas para que la actuación sobre el edificio pueda ser confiable una vez realizada la obra. En relación a los equipos, elegir aquellos equipos cuyos fabricantes garanticen las especificaciones técnicas de eficiencia en los sistemas/equipos (climatización, iluminación, electrodomésticos para la cafetería, entre otros).

Para medir el grado de mejora, se requiere implementar sistemas de control y medida. Esto abarca desde implementación de control para los sistemas de iluminación y climatización, como la medición de todos los parámetros que tengan repercusión en el consumo energético. Es necesario la instalación de medidores por plantas, sistemas que contabilicen separadamente el uso de energía. Esta es una primera evaluación energética que debe repetirse periódicamente e incrementar el grado de mediciones para poder aplicar las medidas específicas por área. El uso de medidores por áreas / sistemas tiene una doble función, contabilizar el consumo y en caso de una desviación en el consumo se puede identificar fácilmente el origen. Un sistema de control de máxima potencia es requerido.

Desde el punto de vista de aprovechamiento de energías renovables para el edificio, Monterrey tiene una temperatura media excelente para una instalación fotovoltaica debido a la radiación solar. Una fachada ventilada fotovoltaica aun en la peor inclinación de 90 ° en términos de producción, es una excelente alternativa para aislar térmicamente el edificio y aprovechar la radiación difusa con la tecnología de silicio amorfo opaco que es la que proporciona mayor potencia dentro de la gama de silicio amorfo al mismo tiempo que cambiaría el aspecto externo del edificio. No obstante, pueden hacerse fachadas ventiladas de cerámica, madera, etc., u otras alternativas para aislar fachadas como trasdosados o el sistema SATE.

Para la cubierta, que será el piso de la cafetería, se recomienda aislar de igual manera, con cualquiera de los sistemas descritos, y el techo de la cafetería y terraza bien podrían ser de paneles fotovoltaicos mono o policristalinos, o de vidrios tratados para aislar térmicamente el área como lucernarios. En el caso de optar por una instalación fotovoltaica en el techo de la cafetería y terraza, pueden orientarse al sur que los paneles fotovoltaicos y con inclinación de 40 ° según el diseño para satisfacer la demanda de las cargas de la cafetería en el peor mes del año diciembre. Sin embargo, si solo se realizara la instalación fotovoltaica para producir energía podría considerarse una inclinación que brinde la mayor producción promedio anual. Lo ideal es usar dos inclinaciones tal y como se analizó previamente. Estos módulos están diseñados para proporcionar su máxima potencia a una temperatura de 25 °C que es superada algunos meses en Monterrey. Por ello se recomienda analizar una instalación solar híbrida, que aporte los beneficios de la tecnología solar térmica y fotovoltaica. Aunque en el edificio no se usa agua caliente sanitaria, con estos paneles híbridos se podrían ofrecer mejores prestaciones de confort para los alumnos, que pueda usar además la cafetería y al mismo tiempo refrescar la temperatura de las células fotovoltaicas. En el panel solar híbrido la parte térmica se encarga de mantener refrigerado el panel solar a una temperatura sensiblemente por debajo de la que alcanzaría de tratarse de un panel fotovoltaico sencillo y aproximándose más a su temperatura ideal de trabajo 25 °C. Es necesario que se empleen módulos fotovoltaicos homologados, las normas no son de obligado cumplimiento, pero son una garantía de durabilidad y para una instalación que tiene vida útil de a largo plazo es preferible colocar módulos de calidad.

Para poder mejorar el sistema de gestión de la energía, se deben desarrollar, establecer e implementar indicadores de desempeño energético. Una vez establecidos, a medida que se vayan realizando las mejoras en el edificio, se podrán comparar los resultados y medir el grado de avance en materia de eficiencia energética.

CONCLUSIONES

Este estudio revela que a través de una evaluación energética en cualquier organización se pueden desarrollar indicadores de desempeño energético relevantes al sector. Al realizar el análisis energético del edificio, se obtienen ratios de consumo del edificio y se puede comparar la eficiencia energética de varios centros educativos analizados.

Con los indicadores se pueden descubrir los equipos consumidores/sistemas potencialmente mejorables, determinando posibilidades de optimización de la eficiencia energética de los sistemas e instalaciones.

Existen muchas medidas de ahorro que pueden aplicarse para mejorar la eficiencia energética en una organización y algunas de ellas no requieren inversión. Las medidas de ahorro energético se identifican fácilmente realizando alguna de estas actividades:

Una evaluación energética como la que se ha presentado en este trabajo de fin de master, analizando los consumos producto de la potencia de equipos instalados por las horas de funcionamiento y comparándolos con las facturas de suministros de energía. De esta forma se asigna a cada sistema el uso y consumo por tipo de energía en relación al total de la organización. Algunos resultados pueden variar mayormente porque la estimación de horas de uso podría no ser objetiva y de igual manera, sucede con el cálculo de consumo de un equipo de climatización debido a que no todas las horas de funcionamiento está trabajando en carga total. No obstante, si aplicamos algún factor de corrección a los sistemas de climatización y se fija un sistema como el de iluminación que es fiable en relación al consumo energético, se pueden estimar proporcionalmente los usos y consumos por sistema dentro de la organización.

En segunda opción, una auditoría energética más detallada y que requiere mucha más inversión para realizar mediciones en el sitio. El procedimiento sería igual comparando las facturas de suministros energéticos, potencia de equipos y las horas de funcionamiento con las facturas de gasto de energía.

Las auditorías de sistemas de gestión de energía según la norma ISO 50.001, van un paso más allá de una simple auditoría energética o evaluación energética de equipos e instalaciones. Es una auditoría de un sistema completo de la organización que además de evaluar equipos e instalaciones, también se audita a toda aquella persona cuyas actividades tengan un efecto en el consumo y uso de la energía. Obviamente, dentro de una auditoría de gestión energética ISO 50.001, la revisión o evaluación energética es el primer paso para determinar la situación actual de la organización y definir

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

sus objetivos en materia de energía. A partir de allí, se deben desarrollar los indicadores de desempeño energético relevantes y adecuados a cada organización y las líneas de base energéticas, para entonces comenzar a medir y obtener ahorros en el consumo de energía y ahorros económicos.

Adicionalmente, se encuentran las certificaciones energéticas de edificios que son evaluaciones del comportamiento del edificio y hay varios tipos de certificaciones internacionalmente conocidos como LEED, BREAM y PASSIVHAUS.

Primeramente, se deben aplicar las propuestas de mejora para ser más eficientes y, en segundo lugar, se pueden usar las energías renovables apoyando el consumo de las energías limpias.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] World Energy Council. World energy perspectives: Energy efficiency policies [versión electrónica], 2016. [Consulta: 11 de noviembre 2016]. Disponible en: <Http://www.worldenergy.org/wpcontent/uploads/2016/10/EnergyEfficiencyAStraightPathFullReport.pdf>
- [2] European Commission. Europe 2020 targets [en línea]. [Consulta: 15 de agosto 2016]. Disponible en: http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_en.htm
- [3] Gobierno de España. Diario Oficial de la Unión Europea. Directiva 2012/27/UE del Parlamento y del Consejo Europeo relativa a eficiencia energética [versión electrónica], 2012. [Consulta: 10 de septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.lamoncloa.gob.es/espana/eh15/industriayturismo/documents/directiva%20eficiencia%20energ%C3%A9tica.pdf>
- [4] Gobierno de España. BOE [Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado]. Real Decreto 56/2016 relativo a eficiencia energética [versión electrónica], 2016-02-13. [Consulta: 3 julio 2016]. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2016/02/13/pdfs/BOE-A-2016-1460.pdf>. BOE Nº 38 páginas 11655 a 11681.
- [5] ISO [International Organization for Standardization]. About ISO [en línea]. [Consulta: 23 julio 2016]. Disponible en: <http://www.iso.org/iso/home/about.htm>
- [6] ISO [International Organization for Standardization]. The ISO Survey of Management System Standard Certifications 2015: Executive Summary [versión electrónica], 2016. [Consulta: 14 septiembre 2016]. Disponible en: http://www.iso.org/iso/the_iso_survey_of_management_system_standard_certifications_2015.pdf
- [7] ISO [International Organization for Standardization]. ISO survey 2015 [en línea], 2016. [Consulta: 21 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.iso.org/iso/iso-survey>

- [8] Allab Y., Pellegrino M., Guo X., Nefzaoui E. & Kindinis A. Energy and comfort assessment in educational building: case study in a French university campus. ENB - Energy and Buildings, [versión electrónica], 2016 in press. [Consulta: 21 noviembre 2016]. Disponible en: <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.enbuild.2016.11.028>
- [9] Atmospheric Science Data Center. NASA Surface meteorology. Temperature in Monterrey [en línea]. [Consulta: 1 noviembre 2016]. Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov>
- [10] WeatherSpark. Historical Weather For The Last Twelve Months in Monterrey, Mexico [en línea]. [Consulta: 02 noviembre 2016]. Disponible en: <https://weatherspark.com/history/32575/2016/Monterrey-Nuevo-Leon-Mexico>
- [11] México. CFE [Comisión Federal de Electricidad]. Tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica (2015-2016), [en línea]. [Consulta: 18 agosto 2016]. Disponible en: http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_negocio.asp
- [12] Ledia Group. La importancia de la disipación del calor en una lámpara LED [en línea], 2012-10-09. [Consulta: 02 agosto 2016]. Disponible en: <https://lediagroup.com/tecnologia-led/la-importancia-de-la-disipacion-del-calor-en-una-lampara-led/>
- [13] Endesa. Sistemas de iluminación [en línea]. [Consulta: 2 septiembre 2016]. Disponible en: http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-uso-de-la-electricidad/xxii.-sistemas-de-iluminacion
- [14] Norma europea UNE-EN 12464-1:2012 Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores [versión electrónica]. [Consulta: 14 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.saltoki.es/iluminacion/docs/03-UNE-12464.1.pdf>
- [15] México. SEGOB [Secretaría de Gobernación]. Diario Oficial de la Federación. Proyecto de la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-030-ENER-2016, Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (led) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba [en línea], 2016-07-21. [Consulta: 2 octubre 2016]. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5445366&fecha=21/07/2016
- [16] Gobierno de España. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. IDAE [Instituto de Diversificación y Ahorro Energético]. Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Centros docentes, [versión electrónica], 2001. [Consulta: 07 agosto 2016]. Disponible en:

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5573_GT_iluminacion_centros_docentes_01_6803da23.pdf

- [17] España. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. Secretaría de Estado de Energía. Dirección General de política energética y minas. RITE Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, versión consolidada del Real Decreto 1027/2007 del 20 de julio, [versión electrónica], 2013 septiembre. [Consulta: 17 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reglamento/RDecreto-1027-2007-Consolidado-9092013.pdf>. Página 43
- [18] HERNÁNDEZ CALLEJA, A., Bienestar térmico: criterios de diseño para ambientes térmicos confortables [versión electrónica], 2007. Notas técnicas de prevención Nº 779. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. [Consulta: 21 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/752a783/nTP-779.pdf>
- [19] Aux de México. Ficha técnica de Mini Splits línea Classic [versión electrónica]. [Consulta: 21 septiembre 2016]. Disponible en: http://www.aux.com.mx/MINISPLIT-CLASSIC-AUX_DE-MEXICO/44.htm
- [20] Mirage aires acondicionados y línea blanca. Ficha técnica de Mini Splits X3 Mirage [en línea], 2015. [Consulta: 21 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.mirage.mx/2503/productos/aires-acondicionados/minisplit/x3/>
- [21] Goetzler W., M. Guernsey, J. Young, J. Fuhrman. The future of Air Conditioning for Buildings [versión electrónica], 2016. US Department of Energy. Energy Efficiency & Renewable Energy. [Consulta: 31 octubre 2016]. Disponible en: http://energy.gov/sites/prod/files/2016/07/f33/The%20Future%20of%20AC%20Report%20-%20Full%20Report_0.pdf
- [22] Iberdrola. Climatización: caudal variable de refrigerante, [versión electrónica], 2005. [Consulta: 22 octubre 2016]. Disponible en: http://www.iberdrola.es/02sica/gc/es/doc/noviembre_inst_05.pdf

- [23] Panasonic. Panasonic presenta el nuevo ECOi-EX: la nueva serie de VRF diseñada para condiciones extremas [en línea]. [Consulta: 24 noviembre 2016]. Disponible en: http://www.aircon.panasonic.eu/ES_es/news/new/925/
- [24] ATISAE. Análisis de eficiencia energética de edificios a través de termografía infrarroja. Estado de la instalación eléctrica de un edificio, [versión impresa curso], 2014. ATISAE, Madrid. [Consulta: 30 octubre 2016].
- [25] ONYX SOLAR. Vidrio fotovoltaico para edificación. Proyectos y referencias [versión electrónica], 2016. [Consulta: 21 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.onyxsolardownloads.com/docs/ALL-YOU-NEED/Professional-Experience-Book-ES.pdf>
- [26] España. ANDIMAT [Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes]. Transmisión de calor por radiación, [en línea]. [Consulta: 18 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.andimat.es/sobre-aislamiento/conceptos-basicos-del-aislamiento/transmision-de-calor-por-radiacion>
- [27] Atmospheric Science Data Center. NASA. Surface meteorology. Radiación solar en Monterrey [en línea]. [Consulta: 3 noviembre 2016]. Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/homer>
- [28] Gobierno de España. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. IDAE [Instituto de Diversificación y Ahorro Energético]. Guía Técnica para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios. Soluciones de acristalamiento y cerramiento acristalado, [versión electrónica], 2008. [Consulta: 07 noviembre 2016]. Serie Eficiencia y ahorro energético en edificios. Disponible en: http://www.andimat.es/wp-content/uploads/2008/10/guia-n5_vm.pdf. ISBN: 978-84-96680-40-1
- [29] Gobierno de España. Comunidad de Madrid y ANDIMAT [Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes]. Guía de rehabilitación energética de edificios de viviendas [versión electrónica], 2008. [Consulta: 07 noviembre 2016]. Serie Madrid vive ahorrado energía. Disponible en: <http://www.andimat.es/wp-content/uploads/2008/08/capitulo-de-rehabilitacion-de-cubiertas-con-aislamiento-termico.pdf>

- [30] Sunrisesunse.info. Horarios de la salida y puesta de sol en 2016 en Monterrey [en línea]. [Consulta: 2 septiembre 2016]. Disponible en: <http://sunrisesunset.info/salida-puesta-sol>
- [31] BAYOD RÚJULA, Á., Sistemas fotovoltaicos. Prensas Universitarias de Zaragoza. 1ra edición, 2009. Colección de textos docentes, Nº 154. Serie Energías Renovables. ISBN 978-84-92521-94-4
- [32] Amerisolar. Ficha técnica módulo fotovoltaico AS-6P30 [versión electrónica], [Consulta: 21 septiembre 2016]. Disponible en: http://www.weamerisolar.com/files_b/AS-6P30%20Module%20Specification.pdf
- [33] Gobierno de España. Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. IDAE [Instituto de Diversificación y Ahorro Energético]. Instalaciones de energía solar fotovoltaica. Pliego de condiciones técnicas de instalaciones aisladas de red. [versión electrónica], 2009. [Consulta: 07 noviembre 2016]. Disponible en: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_Pliigo_aisladas_de_red_09_d5e0a327.pdf.
- [34] MONSOLAR. Regulador Blue Solar VICTRON MPPT 150/100 Tr/MC4 para 12/24/48V, [en línea]. [Consulta: 2 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.monsolar.com/regulador-blue-solar-victron-mppt-150-100-tr-mc4-para-12-24-48v.html>
- [35] ISO [International Organization for Standardization]. ISO 50.001 Sistemas de gestión de la energía. Guía práctica para PYMES [versión electrónica], 2015. [Consulta: 13 septiembre 2016]. Disponible en: http://www.iso.org/iso/es/50001_handbook_preview.pdf
- [36] USGBC [U.S. Green Building Council] LEED [Leadership in Energy and Environmental Design], [en línea], [Consulta: 28 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.usgbc.org/leed>
- [37] BREEAM [Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology], [en línea], [Consulta: 28 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.breeam.com/>
- [38] <http://www.gbce.es/pagina/certificacion-verdeGBCE> [Green Building Council España], [en línea], [Consulta: 28 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.gbce.es/pagina/certificacion-verde>
- [39] Gobierno de España. Ministerio de Fomento. Código Técnico de la Edificación. Nueva versión de la herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC), [en línea], 2016, [Consulta: 24 noviembre

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

2016]. Disponible en: <http://www.codigotecnico.org/index.php/menu-recursos/menu-aplicaciones/282-herramienta-unificada-lider-calener>

[40] PEP [Plataforma Edificación PassivHaus], El estándar, cómo funciona [en línea], [Consulta: 28 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.plataforma-pep.org/estandar/como-funciona>

[41] España. Dirección General de Industria. Energía y Minas de la Comunidad de Madrid. Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo [versión impresa], 2011, Madrid [Consulta: 31 octubre 2016].

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2: Temperatura promedio en ° C por mes en Monterrey en los últimos 22 años [9].....	13
Figura 2: Temperatura promedio en ° C por mes en Monterrey en los últimos 22 años [10].....	13
Figura 3: Rango de temperaturas máximas y mínimas en los últimos 12 meses en Monterrey [10]....	14
Figura 4: Velocidad del viento en 12 meses del 2015 en Monterrey [10].....	15
Figura 5: Nivel de nubosidad en los últimos 22 años en Monterrey [10].....	16
Figura 6: Tipos de nubes en los últimos 22 años en Monterrey [10].....	17
Figura 7: Cobertura de las nubes en los últimos 12 meses en Monterrey [10].....	17
Figura 8: Cobertura de las nubes por hora y mes en los últimos 12 meses en Monterrey [10].....	18
Figura 9: Consumo total de energía (kWh) por mes en un período base de un año desde junio 2015 a mayo 2016.....	19
Figura 10: Tarifa OM Comparación demanda máxima vs consumo vs facturación en \$ mexicanos por mes en un periodo de un año base.....	20
Figura 11: Precio de tarifa OM y tarifa 2 en \$ mexicanos por mes en un periodo de un año base.....	21
Figura 12: Balance por sistemas (% del total de energía consumida por sistema /área) ESTIMADO....	24
Figura 13: Balance por sistemas (% del total de energía consumida por sistema /área) AJUSTADO....	24
Figura 14: Banda de temperatura en Monterrey a distintas horas del día para cada mes [9].....	30
Figura 15: Muro cortina acristalado [25].....	35
Figura 16: Muro cortina acristalado con parasoles fotovoltaicos [25].....	36
Figura 17: Fachada ventilada fotovoltaica de FEMSA Coca Cola en Monterrey [25]	38
Figura 18: Fachada sur del edificio del Instituto para el desarrollo científico en Monterrey FOCIM....	38
Figura 19: Gráfico-tabla de la radiación global incidente sobre una superficie orientada hacia el Ecuador e inclinada a distintos ángulos y radiación sobre superficie horizontal (kWh/m ² /día) a una latitud de 25° (ciudad de Monterrey) para cada mes del año.....	40
Figura 20: Promedio anual de radiación global incidente sobre una superficie orientada hacia el Ecuador e inclinada a distintos ángulos (kWh/m ² /día) a una latitud de 25° (Monterrey).....	41
Figura 21: Gráfico-tabla energía producida por una fachada ventilada de 477,63 m ² con distintos tipos de tecnología de vidrio fotovoltaico relacionada con la energía consumida total en FOCIM por mes.....	43

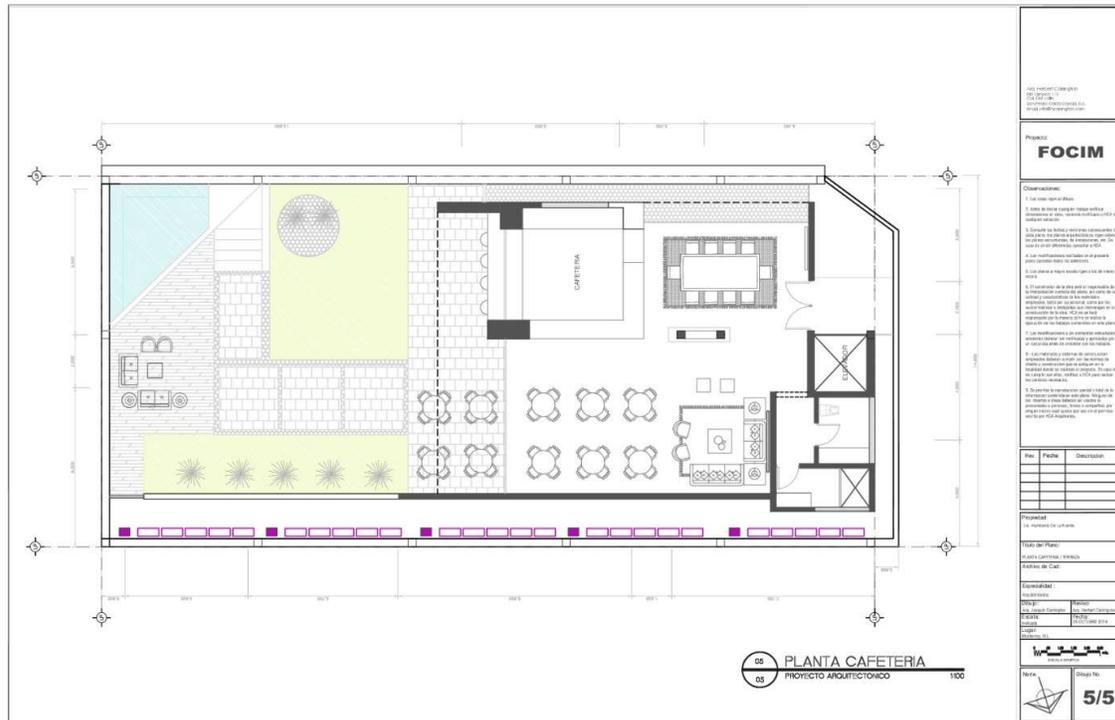
Figura 22: Gráfico tabla Ahorros energéticos aplicando la propuesta de mejora de fachada ventilada fotovoltaica.	45
Figura 23: Coeficiente de transmitancia térmica al ensamblar un doble acristalamiento con ambos vidrios monolíticos y al ensamblar un vidrio monolítico y otro de baja emisividad [28].....	50
Figura 24: Relación entre la transmitancia y el ancho de cámara para distintas unidades de vidrio aislante o acristalamientos (UVAs) [28]	50
Figura 25: Esquema de cubierta invertida [29]	52
Figura 26: Diferencias en el detalle constructivo para cubiertas invertidas no transitables y transitables (izquierda no transitable y derecha transitable) [29]	55
Figura 27: Horas de salida y puesta de sol en Monterrey por mes en el año 2015 [30].....	56
Figuras 28 y 29: Lucernario fotovoltaico y panel fotovoltaico [25]	57
Figura 30: Variación de las curvas Corriente – Voltaje y Potencia – Voltaje a distintas irradiancias [32].....	60
Figura 31: Variación de las curvas Corriente – Voltaje a distintas temperaturas [32].....	60
Figura 32: Consumo y producción diaria diseñado para el peor mes: diciembre.....	72
Figura 33: Producción en kWh/mes de instalación fotovoltaica de 45.000 W en Monterrey.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2: Certificados a nivel mundial en normas internacionales ISO años 2014-2015. [6].....	8
Tabla 2: Resumen de la evaluación energética en FOCIM.....	23
Tabla 3: Balance por sistemas (% del total de energía consumida por sistema /área) ESTIMADO.....	23
Tabla 4: Balance por sistemas (% del total de energía consumida por sistema /área) AJUSTADO.....	23
Tabla 5: Resumen de las oportunidades de mejora en FOCIM.....	26
Tabla 6: Iluminación de los lugares de trabajo en interiores: Centros educativos. NORMA europea UNE-EN 12464-1:2003. [14].....	28
Tabla 7: Iluminación de los lugares de trabajo en interiores: Oficinas NORMA europea UNE-EN-12464-1:2003. [14].....	29
Tabla 8: Transmisión de la luz y potencia de los vidrios de silicio ONYX SOLAR [25]	39
Tabla 9: Tabla paramétrica: Energía producida por una fachada ventilada de 477,63 m ² con distintos tipos de tecnología de vidrio fotovoltaico relacionada con la energía consumida total y por sistema en FOCIM.....	43
Tabla 10: Transmitancia térmica del hueco (W/m ² K) [28]	48
Tabla 11: Transmitancia térmica de los perfiles según la norma UNE-EN ISO 10077-1 [28].....	49
Tabla 12: 13 tipos de intervenciones posibles para mejorar el aislamiento térmico de un cerramiento con vidrio monolítico y marco metálico [28]	52
Tabla 13: Evaluación de la energía necesaria para una cafetería en FOCIM.....	62
Tabla 14: Evaluación de la radiación solar disponible: Valor de la radiación global incidente sobre la superficie de los paneles a latitud 25° e inclinación 40°	65
Tabla 15: Relación consumos/radiación incidente disponible para un consumo estimado fijo mensual.....	65
Tabla 16: Cálculo de paneles y comparación de especificaciones técnicas de paneles para seleccionar el diseño del campo de captación fotovoltaico.....	66
Tabla 17: Resumen de dimensionamiento de una instalación fotovoltaica aislada para cafetería FOCIM.....	70
Tabla 18: Paramétrica de radiación global incidente para distintos grados de inclinación de	

paneles en una instalación fotovoltaica aislada para la cafetería del edificio	71
Tabla 19: Producción, consumo y excedente diario de la cafetería por cada mes a 28° latitud y 40° inclinación de los paneles en Wh/día diseñado para el peor mes.....	72
Tabla 20: Producción, consumo y excedente diario de la cafetería por cada mes a 28° latitud y 40° inclinación de los paneles en kWh/mes diseñado para el peor mes.....	73
Tabla 21: Consumo de energía en FOCIM en el período de un año y proporción de uso según los sistemas incorporando la estimación de producción para la instalación fotovoltaica de la cafetería y la estimación de la producción de la fachada ventilada fotovoltaica en kWh/mes.....	73
Tabla 22: Consumo de energía, consumo del sistema de climatización y total facturas por mes, anual y promedio mensual en FOCIM en pesos mexicanos y euros.	75
Tabla 23: Paramétrica de producción en kWh/mes de los 180 paneles para distintos grados de inclinación de paneles en una instalación fotovoltaica aislada.....	76
Tabla 24: Paramétrica de producción (kWh/año) e inversión (€) de distintas tecnologías de vidrios fotovoltaicos para toda la cubierta de 410 m ² a 40 °inclinación.....	77
Tabla 25: Indicadores de desempeño energético para centros educativos.....	81

Nivel 5: Cafetería y terraza.



Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

Fotos FOCIM situación actual



Fachadas oeste y sur, aulas de clase.

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.



Salón de actas, área de comedor, área de ordenadores, escalera

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.



Pasillos, área de mantenimiento, cubierta del edificio y entrada.

ANEXO II: DIRECTIVAS Y NORMAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE REFERENCIA. LABORATORIOS Y CERTIFICADOS. ENLACES DE INTERÉS.

En esta sección solo se mencionan algunas de las directivas, normas y entes de referencia del total de las existentes a nivel mundial.

DIRECTIVAS EUROPEAS RELEVANTES

- Directiva 2012/27/UE Relativa a la eficiencia energética.
- Directiva 2002/31/CE sobre el etiquetado energético de los acondicionadores de aire de uso doméstico.
- Directiva 2003/66/CE respecto al etiquetado energético de frigoríficos, congeladores y aparatos combinados electrodomésticos.
- Reglamento N°2422/2001 sobre el etiquetado de la eficiencia energética para los equipos ofimáticos.
- Directiva 2000/55/CE respecto a los requisitos de eficiencia energética de los balastos de lámparas fluorescentes.
- Real Decreto 1890/2008: Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07.
- El Real Decreto 187/2011: Reglamento Relativo al establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía.
- Directiva 2010/31/UE, deroga en parte a la pionera Directiva 2002/91/CE (Energy Performance of Buildings Directive) relativa a la eficiencia energética en los edificios. Establece un método de cálculo dentro de unos límites para el cálculo de la eficiencia energética en los edificios de nueva construcción y aquellos con reformas profundas de los estados miembros. A partir del 31 de diciembre de 2020 los edificios que se construyan deben ser de consumo de energía casi nulo, siendo obligatorio para edificios públicos a partir del 31 de diciembre de 2018. Marca unos requisitos mínimos en eficiencia energética en las instalaciones:
 - Iluminación.
 - Producción de agua caliente sanitaria (ACS).
 - Calefacción.
 - Refrigeración.
 - Ventilación.

NORMAS INTERNACIONALES, EUROPEAS, AMERICANAS, ESPAÑOLAS, MEXICANAS (normas para sistemas y productos)

Organización Internacional de Normalización (ISO)

Su finalidad es la coordinación de las normas nacionales con el objeto de facilitar el comercio, el intercambio de información y contribuir con normas comunes al desarrollo y a la transferencia de tecnologías. Las normas ISO son voluntarias, comprendiendo que ISO es un organismo no gubernamental y no depende de ningún otro organismo internacional, por lo tanto, no tiene autoridad para imponer sus normas a ningún país.

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

La ISO ofrece un catálogo bastante extenso de normas que abarcan desde la clasificación de lenguas e idiomas (ISO 639), pasando por la identificación de todas las monedas del mundo con un código de tres letras (ISO 4217), hasta la gestión de la calidad (Familia de normas ISO 9000), la gestión medioambiental (Familia de normas ISO 14000) o la definición de un sistema de gestión de la seguridad de la información (ISO 27001).

- ISO 50001: 2011 Sistemas de gestión de la energía
- ISO 13790:2008 Eficiencia Energética de los edificios. Esta norma proporciona métodos de cálculo para la evaluación de la energía necesaria para calefacción y refrigeración en edificios residenciales o no residenciales o para una parte de los mismos.
- ISO 5149:2014 Sistemas de refrigeración mecánicos utilizados para enfriamiento y calefacción – Requisitos de seguridad.

NORMAS EN

A nivel de Europa, existen las normas europeas (EN) que se proponen, desarrollan y elaboran por expertos de los diferentes Estados Miembros, sectores industriales o tecnológicos implicados, reguladores, etc. dentro de la estructura de normalización del Comité Europeo de Normalización (CEN) y tras la oportuna tramitación son finalmente editadas como normas EN.

UNA NORMA ESPAÑOLA – UNE

Las normas UNE (Una Norma Española) son un conjunto unificado de normas tecnológicas creadas por los Comités Técnicos de Normalización (CTN). Por regla general, estos comités suelen estar formados por AENOR, fabricantes, consumidores y usuarios, administración, laboratorios y centros de investigación, asociaciones y colegios profesionales y agentes sociales. Una norma UNE es una especificación técnica de aplicación repetitiva o continuada cuya observancia no es obligatoria.

Las Normas UNE EN son la versión oficial en español de las normas europeas, que son adoptadas tras la aprobación de un órgano específico dentro de la estructura de normalización nacional de AENOR.

- UNE-EN 16247-2:2014: Auditorías energéticas. Parte 2: Edificios.
- UNE 12464-1:2012 Norma Europea sobre Iluminación para Interiores.

Comisión Electrotécnica Internacional

- IEC 60335-1:2010 Aparatos electrodomésticos y análogos – Seguridad y requisitos generales

Comité Europeo de Normalización

- CEN: EN 378:2008 Sistemas de refrigeración y bombas de calor – Requisitos de seguridad y medioambientales

CEI y Comité Europeo de Normalización Electrotécnica

- CENELEC: EN 60335-1:2012 Aparatos electrodomésticos y análogos – Seguridad y requisitos generales

ANSI/ASHRAE Instituto Nacional de Normalización de los Estados Unidos / Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado

- ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2016, Norma de eficiencia energética para edificios

Underwriters Laboratories

- UL 207 Componentes y accesorios no eléctricos que contienen refrigerantes
- UL 250 Refrigeradores y congeladores para uso doméstico
- UL 471 Refrigeradores y congeladores comerciales
- UL 474 Deshumificadores UL 484 Sistemas de aire acondicionado para habitaciones
- UL 984 Motocompresores herméticos para refrigerante
- UL 1995 Equipos de calefacción y refrigeración
- UL 60335-2-40 Seguridad de aparatos electrodomésticos y similares, Parte 2-40: Requisitos particulares para bombas de calor, acondicionadores de aire y deshumidificadores eléctricos

Generalmente, cada organismo de normalización dispone de un «catálogo» o «repertorio», que se puede consultar en sus respectivas páginas web, donde figuran las normas y otras publicaciones elaboradas por dicho organismo.

- Catálogo de Normas ISO: http://www.iso.org/iso/fr/home/store/catalogue_ics.htm
- Repertorio en línea del CEI: <http://webstore.iec.ch/?ref=menu>
- Base de datos de Normas
- CEN: <http://esearch.cen.eu/esearch/> Repertorio de Normas ANSI: <http://webstore.ansi.org/default.aspx>

LISTADO DE TODAS LAS NORMAS MEXICANAS EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

- NOM-001-ENER-2014 Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y método de prueba.
- NOM-002-SEDE/ENER-2014 Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución.
- NOM-003-ENER-2011 Eficiencia térmica de calentadores de agua para uso doméstico y comercial. Límites, método de prueba y etiquetado.
- NOM-004-ENER-2014 Eficiencia energética para el conjunto motor-bomba, para bombeo de agua limpia de uso doméstico, en potencias de 0,180 kW (¼ HP) hasta 0,750 kW (1 HP).- Límites, métodos de prueba y etiquetado.
- NOM-005-ENER-2012 Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, método de prueba y etiquetado.
- NOM-006-ENER-2015 Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación.- Límites y método de prueba.
- NOM-007-ENER-2014 Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.
- NOM-008-ENER-2001 Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.
- NOM-009-ENER-2014 Eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos industriales.
- NOM-010-ENER-2004 Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo. Límites y método de prueba.
- NOM-011-ENER-2006 Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

- NOM-013-ENER-2013 Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades.
- NOTA Aclaratoria a la Norma Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2013 Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades.
- NOM-014-ENER-2004 Eficiencia energética de motores de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0,180 a 1,500 kW. Límites, método de prueba y marcado.
- NOM-015-ENER-2012 Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
- NOM-016-ENER-2010 Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0,746 a 373 kW. Límites, método de prueba y marcado.
- NOM-017-ENER/SCFI-2012 Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastadas. Límites y métodos de prueba.
- NOM-018-ENER-2011 (PDF) Aislantes térmicos para edificaciones. Características, límites y métodos de prueba.
- NOM-019-ENER-2009 Eficiencia térmica y eléctrica de máquinas tortilladoras mecanizadas. Límites, método de prueba y marcado.
- NOM-020-ENER-2011 Eficiencia energética en edificaciones, Envoltente de edificios para uso habitacional.
- NOM-021-ENER/SCFI-2008 Eficiencia energética, requisitos de seguridad al usuario en acondicionadores de aire tipo cuarto. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
- NOM-022-ENER/SCFI-2014 Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario para aparatos de refrigeración comercial autocontenidos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
- NOM-023-ENER-2010 Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido, descarga libre y sin conductos de aire. Límites, método de prueba y etiquetado.
- NOM-024-ENER-2012 Características térmicas y ópticas del vidrio y sistemas vidriados para edificaciones. Etiquetado y métodos de prueba.
- NOM-025-ENER-2013 Eficiencia térmica de aparatos domésticos para cocción de alimentos que usan gas L.P. o gas natural. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
- NOM-026-ENER-2015 Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo dividido (Inverter) con flujo de refrigerante variable, descarga libre y sin ductos de aire. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
- NOM-028-ENER-2010 Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba.
- RESOLUCIÓN por la que se modifica el numeral 5.1 de la Norma Oficial Mexicana NOM-028-ENER-2010. Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba.
- NOM-030-ENER-2012 Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba.
- NOM-031-ENER-2012 Eficiencia energética para luminarios con diodos emisores de luz (leds) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas. Especificaciones y métodos de prueba.
- NOM-032-ENER-2013 Límites máximos de potencia eléctrica para equipos y aparatos que demandan energía en espera. Métodos de prueba y etiquetado.
- NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 Emisiones de bióxido de carbono (CO₂) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3 857 kilogramos.
- NOM-017-ENER/SCFI-2012 Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastadas. Límites y métodos de prueba.
- NOM-028-ENER-2010 Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba.

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

- NOM-030-ENER-2012 Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (LED) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba.

México- Productos con sello FIDE (fideicomiso para el ahorro de energía eléctrica). Certificación de producto.

El Sello FIDE es un distintivo que se otorga a productos que inciden directa o indirectamente en el ahorro de energía eléctrica. Esta distinción se orienta a empresas interesadas en fabricar productos que ostenten una etiqueta que los haga sobresalir como ahorradores de energía eléctrica o como coadyuvantes en el mismo; El Sello FIDE es un programa voluntario desde junio de 1992,

http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=292&Itemid=234

Tipo 1

1. Acondicionadores de Aire y Refrigeración Comercial
2. Electrodomésticos
3. Equipos para Bombeo de Agua
4. Máquinas Tortilladoras
5. Iluminación Luminarios
6. Iluminación Lámparas
7. Iluminación Balastos
8. Motores
9. Sistemas Fotovoltaicos

Tipo 2

1. Controladores de Tensión
2. Productos para Edificaciones: Concreto, Bloques huecos, Espumas y Fibras
3. Productos para Edificaciones: Películas y Poliestireno
4. Productos para Edificaciones: Puertas, Recubrimientos, Losas, Ventanas y Vidrios

http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=292&Itemid=234

Paneles fotovoltaicos (algunas de las más importantes certificaciones de producto)

Normas de la comisión electrotécnica internacional (CEI)

- **Norma de la comisión electrotécnica internacional (CEI) NORMA CEI 61215:2005** Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para uso terrestre. Cualificación del diseño y homologación.
- **Norma de la comisión electrotécnica internacional (CEI) NORMA CEI 61646:2008 UNE-EN 61646:2009** (en España) Módulos fotovoltaicos (FV) de lámina delgada para uso terrestre. Cualificación del diseño y homologación.

Desarrollo de indicadores de desempeño energético para optimizar la eficiencia en instituciones educativas. Caso de estudio: Instituto para el Fomento Científico de Monterrey (FOCIM), México.

Laboratorios destacados

- PV+Test, test independiente realizado por la certificadora alemana TÜV
- Ensayo de Degradación por Potencial Inducido (PID) en paneles solares realizado complementariamente los ensayos de las normas CEI 61215:2005 y CEI 61646:2008 por el Centro Fraunhofer de silicio Fotovoltaico (CSP) dentro del Instituto Fraunhofer para sistemas de energía solar ISE (el mayor centro de investigación de energía solar en Europa)
<https://www.ise.fraunhofer.de/>
<https://www.sfe-solar.com/degradacion-paneles-solares-efecto-pid/>
<https://www.ise.fraunhofer.de/en/service-units/testlab-pv-modules/leistungen/spezielle-zuverlaessigkeitstests-zur-risikoreduzierung>
- Certificación del Centro de energía Solar de Florida (Florida Solar Energy Center).
http://www.fsec.ucf.edu/en/certification-testing/pv/PVmodules/registered_modules/index.php

CERTIFICACIONES PARA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

UK- BREAM

ALEMANIA -PASSIVHAUS

USA – LEED

ESPAÑA - Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC)