

Aplicación de una metodología de eficiencia energética de un edificio escolar de nivel superior: Caso de estudio centro de información del TecNM / IT de Acapulco

Franco Ernesto Tapia Guillen

tapiafranco@uhipocrates.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6927-1579>

Universidad Hipócrates

Facultad de Ciencias Exactas, Ingenierías y Tecnologías

Licenciatura en Arquitectura Urbanista

Acapulco de Juárez Guerrero- México

Jazmin Carbajal Avila

jazmin.ca@acapulco.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0001-9654-5264>

Tecnológico Nacional de México / IT de Acapulco

Departamento de ciencias de la tierra

Acapulco de Juárez de Guerrero – México

Javier Gutiérrez Ávila

javier.ga@acapulco.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0004-0792-8933>

Tecnológico Nacional de México / IT de Acapulco

Departamento de metalmecánica

Acapulco de Juárez de Guerrero – México

Carmelo Castellanos Meza

carmelo.cm@acapulco.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-3327-3342>

Tecnológico Nacional de México / IT de Acapulco

Departamento de ciencias de la tierra

Acapulco de Juárez de Guerrero – México

Correspondencia: tapiafranco@uhipocrates.edu.mx

Artículo recibido 05 enero 2023 Aceptado para publicación: 26 enero 2023

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: Tapia Guillen, F. E., Carbajal Avila, J., & Castellanos Meza, C. (2023). Aplicación de una metodología de eficiencia energética de un edificio escolar de nivel superior: caso de estudio centro de información del TecNM / IT de Acapulco. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 5129-5149.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4820

RESUMEN

La metodología propuesta está basada en las recomendaciones de la NMX-R-021-SCFI-2013 Escuelas, calidad de la infraestructura física educativa, la NOM-008-ENER-2001 Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales. Así como la metodología de balance energético de TRNSYS. Se basa en varios pasos, 1) analizar las características físicas del inmueble para conocer sus dimensiones, sistemas constructivos y cantidad de usuarios. 2) Los requerimientos técnicos del inmueble para conocer los indicadores de confort de los espacios de acuerdo con las normas de INIFED y la NMX-R-021-SCFI-2013. 3) El consumo de energía por los equipos de iluminación, aire acondicionado y teleféricos para conocer esta demanda de energía y la ganancia de calor en el interior. 4) El cálculo de emisiones de CO₂ equivalente por la demanda de energía de los equipos. 5) Condiciones ambientales actuales del inmueble. 6) Cálculo energético de la envolvente arquitectónica utilizando la herramienta de la NOM-008-ENER-2001. 7) Con base a lo anterior se seleccionan las estrategias bioclimáticas para mejorar las condiciones de confort. 8) Selección de las estrategias de eficiencia energética de acuerdo con el consumo de los equipos actuales. 9) Gestión de la energía para identificar las acciones preventivas, correctivas y de mejoramiento.

Palabras clave: *metodología; eficiencia energética; envolvente arquitectónica.*

Application of an energy efficiency methodology of a higher level school building: case study information center of the TecNM / IT of Acapulco

ABSTRACT

The proposed methodology is based on the recommendations of NMX-R-021-SCFI-2013 Schools, quality of educational physical infrastructure, NOM-008-ENER-2001 Energy efficiency in buildings, envelope of non-residential buildings. As well as the TRNSYS energy balance methodology. It is based on several steps, 1) analyze the physical characteristics of the property to know its dimensions, construction systems and number of users. 2) The technical requirements of the property to know the comfort indicators of the spaces in accordance with the INIFED standards and the NMX-R-021-SCFI-2013. 3) The energy consumption by the lighting equipment, air conditioning and cable cars to know this energy demand and the heat gain inside. 4) The calculation of equivalent CO2 emissions for the energy demand of the equipment. 5) Current environmental conditions of the property. 6) Energy calculation of the architectural envelope using the NOM-008-ENER-2001 tool. 7) Based on the above, bioclimatic strategies are selected to improve comfort conditions. 8) Selection of energy efficiency strategies according to the consumption of current equipment. 9) Energy management to identify preventive, corrective and improvement actions.

Keywords: *methodology; energy efficiency; architectural envelope.*

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se basó en la aplicación de una metodología de análisis de eficiencia energética en edificios no residenciales, el caso de estudio fue el Centro de información del Tecnológico Nacional de México Campus Acapulco.

El proceso de análisis consistió en el desarrollo de varias fases, la primera fase fue el análisis de las características físicas del inmueble, tipología, dimensiones, estructura y materiales, posteriormente el análisis exegético de la normatividad aplicable, para esta segunda fase se escudriñó las Normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones.

Actualmente en México sigue vigente el programa de escuelas de calidad con base en lo que se señala en la Ley General de Educación, en el artículo 99 párrafo 2, en donde se menciona lo siguiente: “Dichos muebles e inmuebles deberán cumplir con los requisitos de calidad, seguridad, funcionalidad, oportunidad, equidad, sustentabilidad, resiliencia, pertinencia, integralidad, accesibilidad, inclusividad e higiene, incorporando los beneficios del desarrollo de la ciencia y la innovación tecnológica, para proporcionar educación de excelencia, con equidad e inclusión, conforme a los lineamientos que para tal efecto emita la Secretaría” en este sentido la sustentabilidad se ha dejado al final como un requisito no prioritario, que posteriormente trae como consecuencias altos consumos energéticos, elevados costos de mantenimiento, baja sostenibilidad del inmueble y una importante huella carbono.

“El dióxido de carbono (CO₂) es un gas de efecto invernadero (GEI) que se encuentra de forma natural en la atmósfera” (Ramos, 2020) las emisiones en su conjunto suelen denominarse como CO₂ equivalentes, ya que el final de su proceso se dirige a conformarse como moléculas de dicho gas (ídem)

La mejora de la calidad de la infraestructura física educativa, no solo debe analizarse desde el punto de vista del número de inmuebles y cantidad de usuarios a beneficiar, dicha calidad implica desarrollar proyectos con enfoques de sostenibilidad, confort fuera y dentro de los inmuebles, manejo adecuado de los recursos energéticos y económicos, que se verá reflejado a través de un bajo costo de mantenimiento.

La Comisión nacional para el uso eficiente de la energía (CONUEE) (2019), informa que; “El consumo de electricidad en el sector de edificios no residenciales, que incluye los comerciales y los públicos, es menos entendido. El Sistema de Información Energética

(SIE) estima que el consumo de electricidad de este sector fue de 22.6 TWh en el 2017, o bien el 9% de la demanda de electricidad total en México en dicho año”

“El uso intensivo de la energía basada en la quema de combustibles de origen fósil -como el petróleo, carbón y gas- ha sido uno de los principales insumos del crecimiento económico durante varias décadas, tanto en países desarrollados como en desarrollo” (Catalán, 2021)

“La eficiencia energética cobra una elevada prioridad en la agenda política. De hecho, existen muy pocos países que no tengan el objetivo de ser menos energointensivos, consumir menos energía y disminuir sus emisiones de dióxido de carbono” (International Energy Agency, 2016).

La eficiencia energética (EE) se define como el cociente entre la energía requerida para desarrollar una actividad específica, y la cantidad de energía primaria usada para el proceso. El concepto de EE ha tomado auge ya que se ve como una solución a dos temas críticos de la agenda del sector industrial actual: el consumo energético y la generación de gases de efecto invernadero (Sánchez & Fuquen, 2014).

“La EE puede generar autonomía energética para la industria y la liberalización de recursos monetarios que podrían ser canalizados a la optimización de conocimientos tecnológicos al interior de los propios procesos productivos” (Luyando, Zabaloy, Guzowski, & Alvarado, 2021, p.28)

“El principal problema en el estudio de la relevancia de la eficiencia energética frente a otros tributos arquitectónicos es que resulta poco evidente dado su carácter multidimensional y la necesidad de tener cierto conocimiento técnico” (Marmolejo, 2021, p.91)

La evaluación energética de edificios suele cuantificar consumos, ahorros energéticos y económicos, amortizaciones, emisiones de CO₂, etc.; sin embargo, existen otros factores, habitualmente no considerados, que pueden ser determinantes en la elección de soluciones para el mejor comportamiento y la eficiencia energética de los edificios y en el bienestar y la calidad de vida de sus usuarios, especialmente en las viviendas. Estos elementos, que conducen a una contabilidad energética no habitual, suelen estar más relacionados con el comportamiento de los habitantes,

con aspectos sociales y con cuestiones ajenas al sector residencial, que con el comportamiento energético de los edificios (García de Diego & Román, 2015)

A nivel internacional existe diversa literatura en torno a la medición de la EE en el sector industrial con enfoques muy variados. Sin embargo, a grandes rasgos se podría afirmar que existen dos tipos de análisis: los estudios cuantitativos, que estiman el grado de EE alcanzado, y los estudios cualitativos, donde se estima de manera exploratoria cuáles son las principales medidas de EE implementadas en el sector y cuáles son las barreras específicas que explican el bajo nivel de implementación de la EE (Luyando, Zabaloy, Guzowski, & Alvarado, 2021).

“La industria y las edificaciones demandan actualmente más del 90% de la electricidad global y se espera que continúe su crecimiento exponencial sobre todo para el enfriamiento de los espacios y por la demanda de electrodomésticos” (Figueroa & Fuentes, 2021)

En México existen políticas para abordar la problemática del calentamiento global y de la conciencia de uso adecuado de la energía eléctrica. La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) en el 2018 informa que en México, la inserción de políticas de eficiencia energética en la planeación nacional y del sector energía se inició en 1981, con la publicación del Programa de Energía. Metas a 1990 y proyecciones al año 2000, en el que se incluyó como segundo objetivo específico “racionalizar la producción y uso de la energía”

En el año 2015 la Secretaría de Energía (SENER) en México realizó un estudio del consumo energético en las escuelas públicas, se conformó por 844 escuelas primarias y secundarias. Se obtuvo información de tres fuentes, por un lado, de los resultados de los diagnósticos energéticos, en segundo término, de las visitas de verificación y por último, de las encuestas aplicadas. Respecto a las secundarias, 83% presenta una tarifa T2 (general de baja tensión igual o superior a 10 kW) ; 13%, tarifa OM (ordinaria media tensión); el resto del porcentaje se distribuye entre las tarifas T3 (general baja tensión igual o superior a los 50 kW) y HM (media tensión de 100 kW o más). De acuerdo con el balance estimado, los

principales consumidores de energía son los sistemas de acondicionamiento de aire con 34%, seguido de los sistemas de iluminación con 33% y los sistemas de cómputo con 21% (Tapia, Carbajal, Rodríguez, Olea, & Morales, 2022)

“Las escuelas se presentan como una oportunidad de revertir el problema ambiental del uso de la energía, si se considera a los edificios como redes en lugar de entidades independientes” (Boutet, M.L.; Hernández, A.; Jacobo, G. 2020, como se citó en Ré & Filippín, 2021).

Se han realizado estudios que indican que no se ve la energía como un elemento estratégico en los procesos de producción, probablemente porque su costo en el proceso no alcanza muchas veces al 5% del valor total del producto. Sin embargo, el desarrollo de buenas prácticas que permitan al sector productivo hacer eficiente el consumo de este recurso, puede abrir puertas a nuevos mercados y consolidar la oferta de las compañías en mercados existentes, haciéndolas más competitivas (Sánchez & Fuquen, 2014, p.12).

Descrito lo anterior surgió la siguiente interrogante ¿Cómo aplicar una metodología bioclimática experimental, para la mejora de la eficiencia energética y el confort en la infraestructura física educativa del TecNM, tomando como caso de estudio en Centro de Información del Instituto Tecnológico de Acapulco, mediante la aplicación de diseño bioclimático y la normatividad vigente, para evaluar la propuesta de manera económica, ambiental y social?, la interrogante se convirtió en el objetivo general de la presente investigación aplicada, concibiendo como objetivos específicos los siguientes:

1. Analizar el edificio a nivel arquitectónico y constructivo por medio de un estudio de campo y planimétrico; considerando las normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones del Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa.
2. Cuantificar el consumo energético promedio del edificio, mediante el análisis estadístico, para describir los impactos económicos y ambientales del inmueble.
3. Aplicar una metodología de diseño bioclimático, para determinar las condiciones óptimas de confort higrotérmico, incorporando los elementos exógenos y los factores endógenos.

4. Realizar un balance térmico de la ganancia de calor por radiación y usuarios; así como ganancias o pérdidas de calor por conducción y convección.
5. Evaluar la eficiencia energética de la envolvente arquitectónica mediante la aplicación de la herramienta de cálculo de la NOM 008 ENER 2001, eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales. Con base en los resultados se determinan las estrategias de mejora.

METODOLOGÍA

La presente metodología fue apoyada de una investigación aplicada con enfoque mixto. Aplicando una investigación de campo realizó lo siguiente:

IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE. Son los datos necesarios para conocer las características del inmueble como son la ubicación, el tipo de clima, orientación. Las dimensiones de los espacios y elementos arquitectónicos como son ventanas, puertas, muros, cubierta y superficies inferiores. Especificaciones de los materiales y sistemas constructivos de la envolvente arquitectónica, espesores y conductividad térmica. La cantidad máxima de personas y las actividades que se realizan en los espacios.

Mediante la aplicación de un método exegético se realizó lo siguiente:

REQUERIMIENTOS TÉCNICOS. Comprende, la revisión de las normas de INIFED y de la NMX-R-021-SCFI-2013, para conocer los indicadores de confort de los espacios, limitar la ganancia de calor a través de la envolvente arquitectónica y optimizar el consumo de energía. Confort térmico: rango de temperatura en °C, humedad relativa en %, movimiento de aire en m/s, volumen de aire por estudiante en m³, ventilación natural %, índice de reflectancia y transmitancia solar de las superficies exteriores, dimensiones de elementos de protección solar, requisitos por tipo de clima. Confort lumínico: Iluminación natural en cociente diurno mínimo, área de iluminación natural %. Iluminación artificial en luxes, densidad de potencia eléctrica para alumbrado, reducción del consumo energético %.

Mediante el método estadístico se realizó lo siguiente:

Consumo de energía por equipos. Se identifica y analiza el consumo energético de los equipos de iluminación, aire acondicionado, ventilación, cómputo y teleféricos en Wh/m², se obtienen los porcentajes de cada sistema. Se estima el consumo anual de energía por sistema. Se identifican los mayores consumos para determinar las estrategias de eficiencia energética por equipos.

Emisiones de CO2 por consumo de energía. Se determinan las emisiones de CO2 equivalente, utilizando el factor de emisión del sistema eléctrico nacional en tCO2e/Mwh), se estiman las toneladas de CO2 que se emiten a la atmósfera, por la generación de energía eléctrica consumida en el edificio.

CONDICIONES AMBIENTALES DEL INMUEBLE. Se miden las condiciones actuales de: temperatura interior °C, temperatura de las superficies exteriores °C, humedad relativa %, movimiento de aire m/s, ventilación natural %, área de iluminación natural%, iluminación artificial en luxes, luz reflejada en muros y techos %.

Calculo energético de la envolvente arquitectónica (NOM 008 ENER 2001). Se analiza el diseño de la envolvente arquitectónica y las propiedades térmicas de los materiales con los que está construida, para identificar las estrategias de ahorro de energía de la envolvente.

Selección de las estrategias bioclimáticas. Con base al cálculo, se seleccionan las estrategias de diseño bioclimático para mejorar los niveles de confort térmico y lumínico.

Selección de las estrategias de eficiencia energética. Con base al consumo energético, se seleccionan las estrategias de eficiencia energética en equipos y dispositivos, para reducir el consumo de energía por medios activos de climatización e iluminación.

GESTIÓN DE LA ENERGÍA. Se definen las responsabilidades, los procedimientos de uso, la capacitación, la verificación y lectura de los equipos, acciones preventivas, correctivas y de mejoramiento.

Determinación del costo anual equivalente.

Se realiza una propuesta de costos por alternativa, aplicando la metodología del costo anual equivalente. Se valoran las bondades por alternativa a 20 años, aplicando las herramientas: valor presente neto VPN, tasa interna de retorno TIR, relación beneficio costo B/C y período de recuperación PR.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la primera fase se realizó un levantamiento arquitectónico en 2D del edificio utilizando el software Autocad así como su modelado arquitectónico en 3D. Obteniendo planos arquitectónicos en formato 90cmx60cm, 2 Plantas arquitectónicas, 2 cortes y 3 fachadas. Se realizó una cuantificación del consumo energético del edificio Centro de Información mediante un levantamiento de los equipos y luminarias, así como el sistema de climatización, obteniendo un consumo energético promedio anual de 40,000 Kw/h

“La situación actual consiste en el inventario, mediciones eléctricas, físicas, determinación de horas de operación, cálculo de consumos y costos de estos” (López, y otros, 2022)

Con los datos obtenidos del consumo promedio de energía, se calcularon las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero equivalente de CO₂ Mediante el factor de emisión del sistema eléctrico nacional dado por la Comisión reguladora de energía la CRE 0.423 tCO₂e/MWh Obteniendo 1,692 KgCO₂ anuales.

Es importante considerar que las acciones enfocadas a mejorar la eficiencia energética frecuentemente son llamadas estrategias ganar-ganar, porque implican diferentes formas de beneficios, por ejemplo, la reducción del uso de energía implica disminuciones en las emisiones de GEI, en el gasto de la cuenta de electricidad, e incluso, mejora en la imagen institucional (Livas, Bassam, Gamboa, & Odóñez, 2019)

Se revisaron las normas y especificaciones para estudios del INIFED Volumen 5 instalaciones de servicio tomo 1 instalaciones eléctricas y tomo 3 instalaciones de aire acondicionado. Volumen 3 habitabilidad y funcionamiento tomo 1 diseño arquitectónico. Donde se determinó que el edificio tiene áreas de oportunidad para la mejora de la eficiencia energética y confort.

En la segunda fase se utilizó la herramienta de la norma EFICIENCIA ENERGETICA EN EDIFICACIONES, ENVOLVENTE DE EDIFICIOS NO RESIDENCIALES. Uno de los propósitos de la norma NOM-008-ENER-2001 es analizar el diseño de la envolvente arquitectónica y las propiedades térmicas de los materiales con los que está construida, para determinar la eficiencia energética de la envolvente del edificio. Busca reducir las ganancias de calor a través de la envolvente y así, disminuir la cantidad de energía necesaria para refrigeración.

A partir del cálculo y los resultados se diseñarán las estrategias de eficiencia energética necesarias para cumplir con la NOM-008, reducir los gastos en energía para enfriamiento en el edificio y mejora el confort térmico de los usuarios. Adicionalmente, generar ahorros para el gobierno en subsidios a la electricidad.

Una vez que se obtuvo el levantamiento en 2D y 3D del edificio, se ingresaron en la herramienta de cálculo los siguientes datos: las superficies de muros y superficies de ventanas de la envolvente arquitectónica por orientación (norte, sur, este y oeste), así

como la superficie de techo. Especificando de cada componente el sistema constructivo y sus dimensiones. En el caso de las ventanas se especifica si son remetidas, con volado o partesoles.

El Centro de información es un edificio de dos niveles, orientado norte-sur respecto al acceso principal. Con un frente de 41.15 m x un lado de 41.87, un área total de construcción de 1722.95 m². Tiene un sistema constructivo compuesto por marcos rígidos de concreto armado, losa de concreto maciza de 15 cm de espesor, impermeabilizante de manto pré-fabricado APP de 4mm de espesor, acabado gravilla color rojo. muros de tabicón de concreto de 15x20x40 cm. Un recubrimiento de mortero con gravilla fina color arena en todo el exterior del edificio. Vidrio tipo polarizado en todas las ventanas de la envolvente. Partesoles y aleros en las ventanas orientadas al este y oeste, ventanas remetidas y aleros en las fachadas norte y sur.

Figura 1.

Modelado de la Fachada sur del Centro de Información (CI)



Cuenta con una iluminación natural y artificial, siendo la iluminación artificial usada la mayor parte del tiempo. Para regular la temperatura del mismo, la climatización artificial mediante aire acondicionado tipo Split.

En la **planta baja** se encuentran las siguientes áreas:

Las cuales son las siguientes:

- Acceso principal
- Vestíbulo
- Baños P/Hombres
- Baños P/Mujeres
- Oficinas
- Cubículos
- Biblioteca I
- Escaleras a planta alta
- Sala magna de conferencias

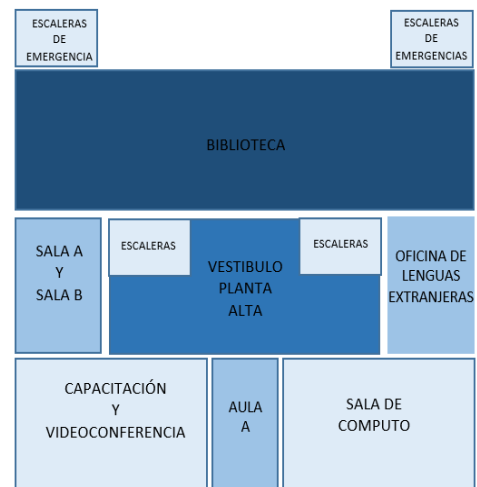
Figura 2.



Segundo nivel

- Acceso principal
- Vestíbulo
- Baños P/Hombres
- Baños P/Mujeres
- Oficinas
- Cubículos
- Biblioteca I
- Escaleras a planta alta
- Sala magna de conferencias

Figura 3.



Aplicando la herramienta de la NOM-008, se observa la transferencia de calor por conducción y radiación del edificio de referencia (edificio convencional con las mismas dimensiones del Centro de información) 97,123.15W y el proyectado (Centro de Información) 141,800W, por lo que NO cumple con la Norma en un 46%, esto se puede ver en la figura 5.

Figura 4. Resumen del cálculo de la NOM-008-ENER-2001

NOM-008 Calculation tool

Muros	Techo/superficie inferior	Ventanas	Puertas
Agregar otro	Agregar otro	Agregar otra	Agregar otra
1 Muro sur área 341.85 m2 Masivo Block de concreto hueco 12cm Editar Borrar	1 Techo área 1654.8 m2 Concreto armado 15cm ☒ Techo ☐ Superficie inferior Editar Borrar	1 Ventana Sur 1 área 17.25 m2 colocada en: Muro sur Tintex 3mm Editar Borrar	Sin Puertas
2 Muro Norte área 356 m2 Masivo Block de concreto hueco 12cm Editar Borrar		2 Ventana sur 2 área 12.67 m2 colocada en: Muro sur Tintex 3mm Editar Borrar	
3 Muro Este área 350.88 m2 Masivo Block de concreto hueco 12cm Editar Borrar		3 Ventana sur 3 área 12.25 m2 colocada en: Muro sur Tintex 3mm Editar Borrar	
4 Muro Oeste área 350.88 m2 Masivo			

Calcular

SENER CONUEE

Fuente: Herramienta de la NOM-008-ENER-2001

Figura 5. Resultado de la Herramienta de cálculo de la NOM-008-ENER-2001

NOM-008 Calculation tool

Resultados

	Conducción (W)	Radiación (W)	Total (W)
Edificio de referencia	27007.49	70115.66	97123.15
Edificio proyectado	131310.39	10490.14	141800.53

Cumple con la norma Si ☐ No ☒ -46.0%

Guardar datos Mejorar este diseño Imprimir formatos

SENER CONUEE

Fuente: Herramienta de la NOM-008-ENER-2001

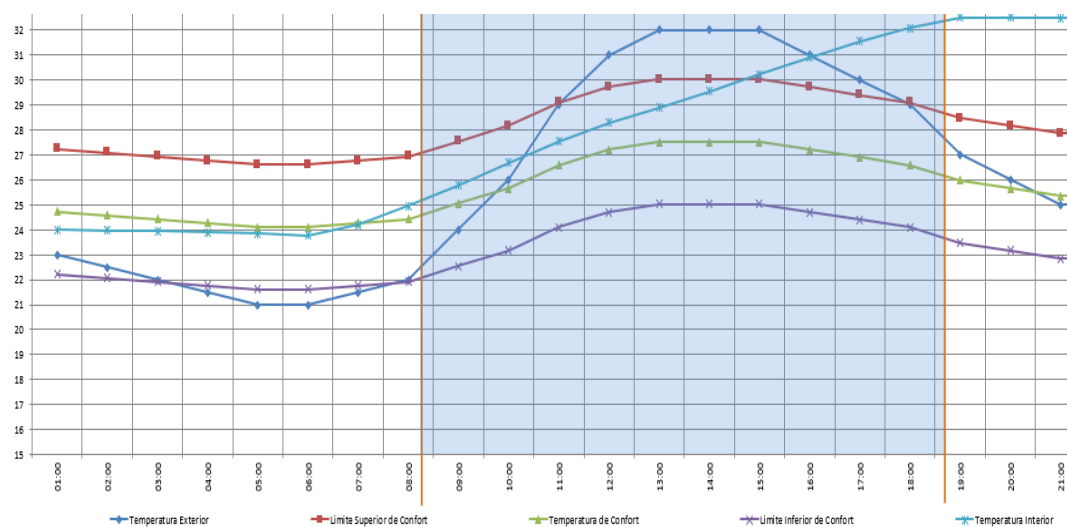
Desde hace décadas se visualizaba la importancia que tiene la elección del acristalado en una edificación, en donde algunos retos que se concebían eran: el mejoramiento de calidad de la iluminación y aislamiento al ruido, la prevención de la fluctuación de la temperatura en las superficies interiores y la reducción de pérdidas y ganancias de calor a través del cristal, entre otros (Rodríguez, Nájera, & Martín, 2018)

En la tercera fase se realizó un balance térmico de la envolvente arquitectónica basado en el modelo matemático TRNSYS, en el cual se obtienen ganancias y pérdidas de calor por radiación, conducción, infiltración, personas, iluminación y equipos. Se seleccionó es espacio más crítico del edificio (Centro de Información), el cual es la sala de capacitación, debido a que las paredes están orientadas al sur y oeste.

El cálculo arrojó las ganancias de calor en W y la temperatura interior a cada hora. En la gráfica 1 se muestra el comportamiento de las temperaturas: exterior, interior, temperatura de confort, límite máximo de confort, límite mínimo de confort y la temperatura interior.

La gráfica 1 muestra el comportamiento de la temperatura interior comparada con la temperatura de confort y la temperatura exterior. Se precisaron las temperaturas en el horario de uso a cada hora.

Gráfica 1. Comportamiento de las temperaturas en el interior y exterior del (CI) sin estrategias de eficiencia energética



Fuente: Basado en el modelo matemático TRNSYS

En la tabla 1, se puede ver que la temperatura incrementa en promedio 0.60 grados a cada hora. La temperatura interior alcanza el límite superior de confort a las 15:00 y alcanza la temperatura máxima interior a las 19:00.

Tabla 1. Resumen del balance térmico del (CI) sin estrategias de eficiencia energética

		09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Ganancia o pérdida por radiación solar	Muro sur					369.44	691.35	922.76	1028.18	976.85	703.65
	Muro oeste					322.93	604.32	806.60	898.76	853.88	615.07
	Ventana sur	8457.38	6336.42	3386.01							
	Azotea	5407.91	5729.97	5915.21	5975.81	5915.21	5729.97	5407.91	4920.01	4190.91	2915.95
Ganancia o pérdida por conducción	Muro sur	-126.98	-49.11	105.50	195.24	223.64	177.31	130.44	12.45	-101.83	-210.49
	Muro oeste	-111.00	-42.93	92.22	170.66	195.49	154.99	114.02	10.88	-89.01	-183.99
	Ventana sur	-174.06	-67.32	144.61	267.61	306.55	243.04	178.80	17.07	-139.58	-288.52
	Azotea	-344.83	-133.37	286.48	530.18	607.32	481.49	354.23	33.81	-276.53	-571.59
Ganancia por infiltración											
Ganancia por personas		2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450
Ganancias por iluminación y equipos		2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016
Total		17574.43	16239.67	14396.02	11605.50	12406.60	12548.48	12380.77	11387.15	9880.68	7446.08
Temperatura interior °C		26.68	27.53	28.28	28.88	29.53	30.18	30.83	31.42	31.93	32.32

Fuente: Basado en el modelo matemático TRNSYS

Las mayores ganancias de calor son por radiación solar, principalmente en la azotea y en la ventana sur, seguido de las ganancias por personas, iluminación y equipos, por último, por conducción.

La temperatura máxima interior en el horario de uso oscila de 29°C a 32°C de las 12:00 a las 18:00, la temperatura mínima interior es de 26.68°C a las 9:00 a.m.

En la cuarta fase se capturaron fotografías termográficas de la envolvente Arquitectónica figura 6 y 7, utilizando una cámara termográfica, en el horario de las 9:00 a las 16:00, los resultados fueron los siguientes: las temperaturas más altas se registraron en la superficie de la azotea con 40.6°C en promedio y la superficie de la fachada este con 41.6°C en promedio, seguido de la fachada oeste con 36.5°C, la fachada norte y sur con 35°C. La temperatura de la fachada oeste fue favorecida por la vegetación adyacente que incluye un árbol frondoso que da sombra a una parte de la fachada. La fachada sur está remetida e incluye aleros que dan sombra a todas las puertas y ventanas. La fachada este, a pesar que sus ventanas están protegidas por partesoles y alerones, la superficie está expuesta completamente a la radiación solar. La azotea que es la de mayor absorción de calor.

Figura 6. Temperaturas de la superficie de la azotea a las 15:00 en el (CI)

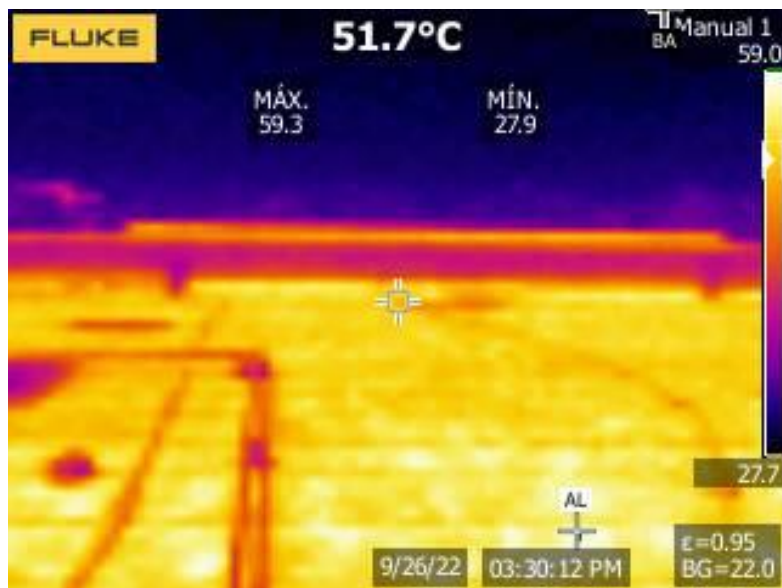
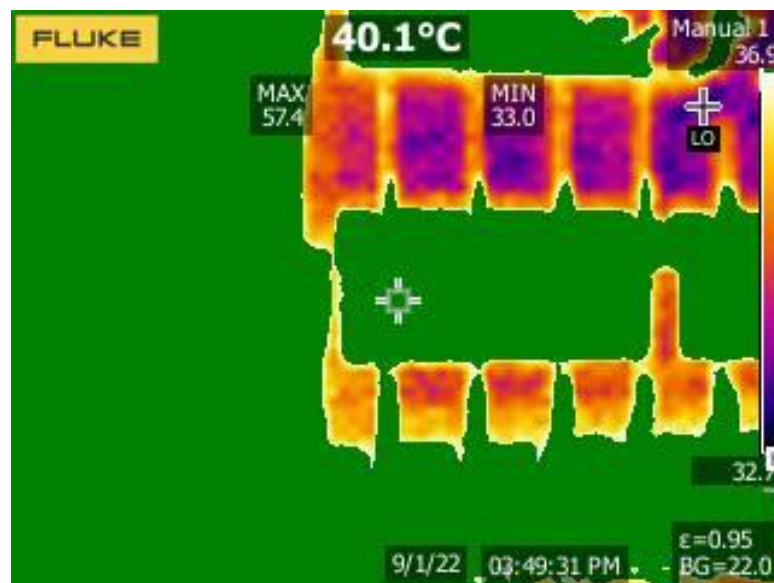


Figura 7. Temperaturas de la fachada oeste a las 15:00 en el (CI)



Nota: Las imagenes fueron capturadas con una cámara termográfica em diferentes horarios de funcionamiento del CI.

“Los software de simulación se han convertido en una herramienta útil para evaluar el desempeño energético de edificios con diversos fines” (Lucero-Alvarez, Hernández Quiroz, & Estrada Ayub)

“Para la optimización del confort térmico y la eficiencia energética es necesario que el modelo admita la variabilidad en el tiempo, teniendo en cuenta la evolución de las condiciones ambientales interiores y exteriores que afectan al edificio” (Arballo, Kuchen, & Chuk, 2019)

Con base en el análisis energético de la NOM-008-ENER-2001, el balance energético basado en TRNSYS y el análisis termográfico de la envolvente, las estrategias de mejora para el edificio se observan en la tabla 2.

Tabla 2. Estrategias de eficiencia energéticas para el (CI)

Estrategias en la envolvente arquitectónica:	Estrategias en equipos:
Losa: Espacio de aire de 0.40m de la losa al plafond de yeso. Aislamiento térmico con placa de poliuretano de 1 pulgada de espesor. Sustitución de impermeabilizante prefabricado APP de 3.5mm, color rojo por Impermeabilizante prefabricado SBS color blanco.	Sustitución de lámparas tipo fluorescente T8 por lámparas tipo Led de 32W
Muros: Pintura exterior de color gris claro.	Estrategia adicional que no se considera el cálculo del balance térmico: Sustitución de equipos de aire acondicionado mini splid convencionales por sistema inverter
Ventanas sustitución de vidrios polarizados en ventanas por vidrio de control solar con un factor de ganancia de 0.40	

Goia, Perino, Serra, & Zanghirella, (2010) mencionan que:

La lección aprendida tanto de experiencias de primera mano como de la revisión de la literatura permite evaluar la influencia de cada subsistema y el papel de las estrategias de integración entre la piel del edificio y los servicios del edificio, con el fin de lograr el mejor rendimiento tanto en términos de eficiencia energética y confort ambiental interior (p.84).

“Las envolventes de los edificios se han ido perfeccionando para lograr defenderse – aislarse– de condiciones ambientales adversas; también para poder captar energía ambiental o disipar energía en el ambiente” (Baixas, 2012)

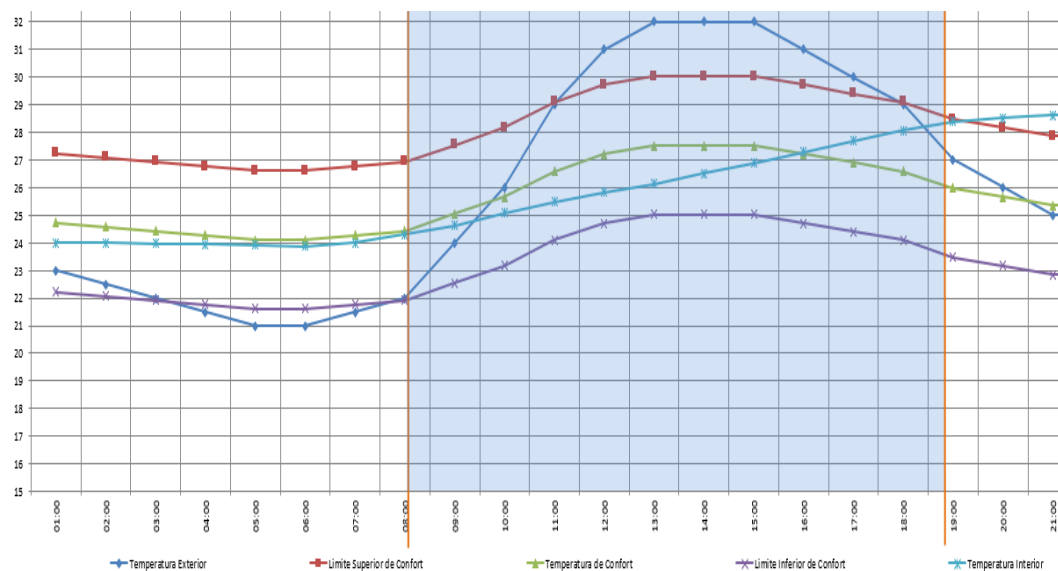
“Las medidas de cambios, sustituciones y actualizaciones tecnológicas, resulta una medida viable en esta evaluación, considerando que esta medida debe ser aplicada únicamente en ciertos espacios, sin embargo, es necesario analizar la factibilidad de cada medida en base a términos económicos de inversión” (Holguín, Llosas, & Pérez, 2021)

Resultados del balance térmico simulando las estrategias de ahorro de energía

En la gráfica 2 se puede ver que la temperatura incrementa en promedio 0.37 grados a cada hora. La temperatura interior alcanza el límite superior de confort a las 19:00 y alcanza la temperatura máxima interior a las 21:00.

La temperatura máxima interior en el horario de uso oscila de 26.14°C a 28.39°C de las 12:00 a las 18:00, la temperatura mínima interior es de 25.07°C a las 9:00 a.m.

Gráfica 2. Comportamiento de las temperaturas en el interior y exterior del (CI) con estrategias de eficiencia energética



Fuente: Basado en el modelo matemático TRNSYS

En la tabla 3 se observa que las mayores ganancias de calor se dan de las 9:00 a las 11:00 a través de la ventana sur; a partir de las 12:00, las ganancias se obtienen principalmente por personas y equipos, seguido de las ganancias por radiación solar en el muro sur y muro oeste, por último, las ganancias son por conducción en la ventana y el muro sur.

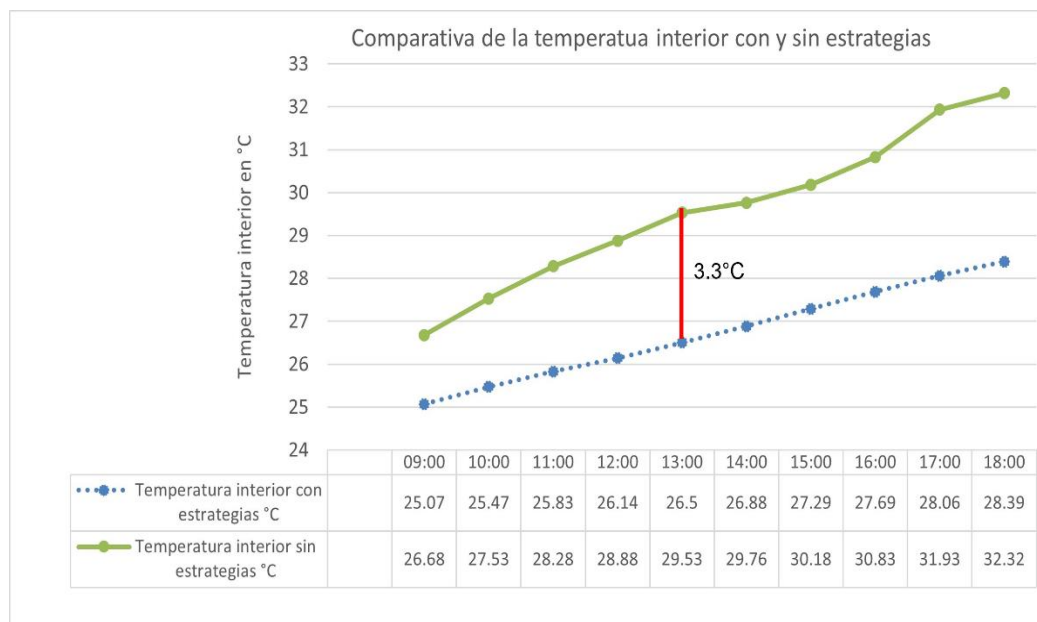
Tabla 3. Resumen del balance térmico del (CI) con estrategias de eficiencia energética

		09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Ganancia o pérdida por radiación solar	Muro sur	0.00	0.00	0.00	0.00	406.38	760.48	1015.04	1131.00	1074.53	774.01
	Muro oeste	0.00	0.00	0.00	0.00	355.23	664.75	887.26	988.63	939.27	676.58
	Ventana sur	3758.84	2816.19	1504.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Azotea	44.69	47.35	48.88	49.38	48.88	47.35	44.69	40.66	34.63	24.10
Ganancia o pérdida por conducción	Muro sur	-45.50	66.95	253.33	370.61	420.42	394.93	367.23	266.32	165.86	67.10
	Muro oeste	-39.77	58.52	221.44	323.96	367.49	345.22	321.01	232.79	144.98	58.65
	Ventana sur	-62.37	91.77	347.24	508.00	576.27	541.34	503.37	365.05	227.35	91.97
	Azotea	-2.38	3.51	13.26	19.40	22.01	20.68	19.23	13.94	8.68	3.51
Ganancia por infiltración		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ganancia por personas		2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450
Ganancias por iluminación y equipos		2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016
Total		8119.50	7550.27	6855.03	5737.35	6662.68	7240.75	7623.83	7504.39	7061.31	6161.92
Temperatura interior °C		25.07	25.47	25.83	26.14	26.50	26.88	27.29	27.69	28.06	28.39

Fuente: Basado en el modelo matemático TRNSYS

En la gráfica 3 se muestra la simulación de la temperatura interior, obtenida del balance térmico, en la zona crítica del edificio (sala de capacitación), con y sin estrategias de eficiencia energética. La mayor diferencia de la temperatura se da a las 13:00 con 3.3°C.

Gráfica 3. Comparativa de la temperatura interior del (CI) con y sin estrategias de eficiencia energética



Fuente: Basado en el modelo matemático TRNSYS

Necesariamente numeradas en forma correlativa que permitan su referencia inmediata en el texto. Con cabeceras apropiadas con sus títulos correspondientes. Leyendas

explicativas que aclaren símbolos, abreviaturas, etc. así, también guías de datos, imágenes, estadísticas, etc. Al tratarse de las tablas, éstas determinarán claramente en cada columna un encabezamiento, precisando el tipo de datos que se registran en ella y las unidades de medida que se hubieren utilizado.

CONCLUSIONES

Aplicando la metodología propuesta en el caso de estudio Centro de Información, con las condiciones actuales, se observó que la azotea y las ventanas son los elementos de la envolvente arquitectónica que tienen mayor ganancia de calor. Aplicando la herramienta de la NOM-ENER-2001 los resultados arrojan que el CI no cumple actualmente con la norma. Una vez seleccionadas las estrategias de eficiencia energética, el balance térmico de la envolvente arquitectónica mostró que las ganancias de calor se obtienen principalmente por los usuarios y los equipos. La simulación térmica con las estrategias de eficiencia energética también mostró que la temperatura interior se mantiene estable, dentro de la zona de confort en todo el horario de uso del edificio CI.

La metodología propuesta puede coadyuvar a la toma de decisiones a las administraciones en la mejora de la envolvente arquitectónica, así como en la adquisición de equipos de los edificios destinados al uso educativo, tanto de la infraestructura existente como de los nuevos prototipos.

Agradecimientos:

La elaboración del presente artículo fue posible gracias al financiamiento del Tecnológico Nacional de México (TecNM), el manuscrito emana de la realización del Proyecto de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2022, Titulado: Propuesta de una metodología bioclimática experimental, para la mejora de la eficiencia energética y la envolvente en la infraestructura física educativa, como parte de las metas de productos entregables. Así mismo al Instituto Tecnológico de Acapulco por el compromiso institucional de manera administrativa, académica y económica.

El agradecimiento se extiende al Instituto Nacional de Infraestructura Física Educativa (INIFED) y a la Academia Nacional de Arquitectura Capítulo Acapulco A.C., quienes mostraron interés en los resultados del proyecto de investigación.

A la Universidad Hipócrates (UH) por el apoyo a nuestro colaborador Franco Ernesto Tapia Guillen, ya que de inició fue colaborador con adscripción al TecNM y posteriormente de manera externa con la UH.

Al Colegio Zumárraga A.C., quienes permitieron aplicar de manera experimental y publicar parte del avance de la propuesta metodológica.

LISTA DE REFERENCIAS

- Arballo, B. D., Kuchen, E., & Chuk, D. (2019). Optimización de la eficiencia energética aplicando confort térmico adaptativo en un edificio de oficinas público en San Juan-Argentina. *Hábitat Sustentable*, 9(1). doi: <https://doi.org/10.22320/07190700.2019.09.01.05>
- Baixas, J. (2012). ENVOLVENTES: LA PIEL DE LOS EDIFICIOS. *ARQ (Santiago)*(82), 98-101. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-69962012000300016>.
- Catalán, H. (2021). Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México. *Problemas del desarrollo*, 52(204), 59-83. doi:<https://doi.org/10.22201/iiiec.20078951e.2021.204.69611>
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). (2018). *Informe Nacional de monitoreo de la eficiencia energética en México*. Ciudad de México: Naciones Unidas/Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía (CONUEE). (2019). *Consumo de electricidad de edificios no residenciales en México: La importancia del sector de servicios*. CONUEE.
- Figuerola, A., & Fuentes, V. (2021). *Arquitectura Bioclimática y Geodiseño; nuevos paradigmas*. C.D México: Universidad Autónoma Metropolitana, ISBN 978-607-28-2199-6.
- García de Diego, M. G., & Román, E. (2015). Cuentas energéticas no habituales en edificación residencial. *Informes de la Construcción*, 67(Extra 1). doi:<https://doi.org/10.3989/ic.14.059>
- Goia, F., Perino, M., Serra, V., & Zanghirella, F. (2010). Towards an active, responsive and solar building envelope. *Journal of Green Building* 5(4), 121-136. doi:10.3992/jgb.5.4.121
- Holguín, G., Llosas, Y., & Pérez, J. (2021). Evaluación del sistema eléctrico de edificios de propósito educativo con respecto al uso racional y eficiente de la energía eléctrica. *Polo del Conocimiento*, 6(5), 1169-1196. doi: 10.23857/pc.v6i5.2738
- International Energy Agency. (2016). *Indicadores de Eficiencia Energética: Fundamentos Estadísticos*. Paris: OECD/IEA.

- Livas, A., Bassam, A., Gamboa, M., & Odóñez, E. E. (2019). Evaluación del ahorro de energía eléctrica y análisis del rendimiento energético de la Facultad de Ingeniería de la UADY del 2008 al 2018. (U. A. Yucatán, Ed.) *Ingeniería*, 23(1), 58-74.
- López, L., Aguilar, K., Macías, E., Hernández, I., López, L., & López, S. (2022). AHORRO DE ENERGÍA Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA ZONA DE LA CULTURA DE LA UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO. (U. J. Tabasco, Ed.) *Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability*, 6(1). doi:<https://doi.org/10.19136/jeeos.a6n1.4846>
- Lucero-Alvarez, J., Hernández Quiroz, N. S., & Estrada Ayub, J. A. (s.f.). Aplicaciones de la modelación energética de edificaciones: revisión y casos de estudio en México. *Vivienda Y Comunidades Sustentables*(12), 55-80. doi:<https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i12.213>
- Luyando, J., Zabaloy, M., Guzowski, C., & Alvarado, E. (2021). Estudio exploratorio sobre eficiencia energética a empresas del Área Metropolitana de Monterrey. *Secuencia* (111). doi:<https://doi.org/10.18234/secuencia.v0i111.1863>
- Marmolejo, C. (2021). La relevancia de la eficiencia energética entre los atributos arquitectónicos residenciales. *Arquitectura Revista*, 17(1), 91-110. doi:10.4013/arq.2021.171.06
- Ramos, S. (2020). Determinación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en una matriz energética sustentable mediante análisis de energía sustentable mediante análisis de escenarios. *Revista de Arquitectura*, 22(2), 114-125. doi:10.14718/REVARQ.2020.2752
- Ré, G., & Filippín, C. (2021). Evaluación energética y rehabilitación de la envolvente edilicia de una escuela en zona bioambiental templada cálida, Argentina. *Informes de la Construcción*, 73(563), 2-11. doi:<https://doi.org/10.3989/ic.79374>
- Rodríguez, N., Nájera, M., & Martín, I. (2018). Análisis del desempeño térmico de los sistemas constructivos de un edificio de oficinas mediante simulaciones dinámicas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, XIX(3), 279 -289. doi:<http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.2018.19n3.024>
- Sánchez, C., & Fuquen, H. (2014). Eficiencia Energética. *Desarrollo Tecnológico e Innovación Empresarial Edición 2, Volumen 1, ISSN 2322-8725*, 9-13.

Tapia, F., Carbajal, J., Rodríguez, J., Olea, M., & Morales, A. (2022). Diseño metodológico para determinar estrategias de ahorro de energía en la infraestructura física educativa. En INUDI, *Actas del Congreso Internacional de Innovación, Ciencia y Tecnología (INUDI-UH 2022)* (Vols. CAPÍTULO DE LIBRO – XXII , págs. 305-320). Lima : Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. doi:<https://doi.org/10.35622/inudi.c.01.22>