

EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE CASETA DE PLATAFORMA DE PRUEBAS SOLARES

Brenda I. Ávila-Lira

Arquitectura, Instituto Tecnológico de Durango, Felipe Pescador 1830 Ote., Durango, Durango, 34080, México,
+52 (618) 829 0900, 11040034@itdurango.edu.mx.

Norma A. Rodríguez-Muñoz

Cátedras CONACYT en Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Insurgentes Sur 1582, Ciudad de México, 03940, México,
+52 (618) 8110774, norma.rodriguez@cimav.edu.mx.

Ignacio R. Martín-Domínguez

Unidad Durango, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Victoria 147, Durango, Durango, 34000, México,
+52 (618) 8110774, ignacio.martin@cimav.edu.mx.

RESUMEN

Se evaluó el comportamiento térmico del edificio de laboratorios de las plataformas de pruebas solares a construirse en el Centro de Investigación de Materiales Avanzados (CIMAV-Durango). En la planeación de las instalaciones se contempló la construcción de plataformas de pruebas para dispositivos solares. Cada plataforma de pruebas cuenta con un edificio de tres plantas, el cual por su localización y orientación se prevé que tendrá ganancias de calor importantes. En este trabajo se muestra la evaluación del comportamiento térmico y consumo energético del edificio, el cual comprende tres plantas y un hangar de armado de prototipos, mediante el uso de un software de simulaciones dinámicas. Para el cálculo se utilizaron las condiciones climáticas de la localidad de El Pueblito en el estado de Durango. La edificación se evaluó en un año típico con combinaciones de diversos sistemas constructivos enfocados a la disminución del consumo de energía por climatización. Se delimitaron las zonas térmicas, se establecieron las temperaturas de operación del sistema de climatización, rango de confort deseado, así como los horarios de ocupación del inmueble. Como resultados se obtuvieron las temperaturas horarias y la demanda energética anual incurrida por concepto de calefacción y refrigeración.

ABSTRACT

The thermal behavior of a laboratory building at Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV-Durango) was investigated. The construction of solar testing platforms intended for solar device experimentation are planned and are to be built on the Durango campus of CIMAV. Each solar test platform comprises a three storey building and a prototype mounting shed; which due its position and orientation will have important heat gains. For the simulation, the climatic conditions of El Pueblito in the state of Durango were used. In this work, the evaluation of the thermal behavior and energy consumption of the building by means of dynamic simulation is presented. The building was evaluated through a typical year with a combination of several building systems and materials; the study focused on the decrease of the energy consumption due the use of heating and cooling systems. Thermal zones, operative temperatures of the conditioning systems, comfort range and occupation schedules were set. The results show the hourly mean temperatures and the energy demand needed to remain within the comfort range.

Palabras claves: consumo energético, climatización, edificación, simulación dinámica, transferencia de calor, TRNSYS.

INTRODUCCIÓN

El mejorar la eficiencia energética de los sistemas y edificaciones es una meta que muchos gobiernos comparten alrededor del mundo. Existen beneficios que incentivan el uso eficiente de la energía, tales como reducción de inversión en infraestructura, disminución de la dependencia de combustibles fósiles y aumento de la competitividad. Un reporte de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2008), menciona que después de analizar los indicadores mundiales del consumo de energía, la tasa de mejoramiento de la eficiencia energética no es suficiente para superar otros factores que acrecientan el consumo de energía. Como resultado, se avanza hacia un futuro energético poco sustentable, por lo que se debe trabajar en desacoplar el uso de energía y la generación de emisiones de CO₂ para la continuidad del crecimiento económico. La IEA presentó una lista de recomendaciones para mejorar la eficiencia energética en edificaciones, electrodomésticos, iluminación, transporte, industria, etc., por lo que se evidencia que una de las vías para la disminución de emisiones de CO₂ y por consecuente el cambio climático, es la implementación de tareas que lleven a la disminución del uso de energía.

Las edificaciones utilizan recursos valiosos, tales como agua, materiales y energía; además de ser generadores de residuos y contaminación. La industria de la construcción junto con las tecnologías que ayudan a la operación de una edificación, ocupan un segundo lugar en el consumo de energía primaria, teniéndose variaciones del 26 al 39% del consumo de energía dependiendo del país evaluado (Dimitrov, 2016).

La envolvente de una edificación es una parte importante en el diseño arquitectónico. Una de las funciones de la envolvente que es importante resaltar es su función con respecto al uso de energía, ya que ésta debe ser considerada como una parte de los sistemas energéticos de la edificación. Con el paso del tiempo, las ideas respecto a la función energética de la envolvente han evolucionado y las podemos resumir en dos etapas: 1) minimización del consumo energético disminuyendo la transferencia de calor a través de la envolvente manteniendo el confort interior y 2) alentar la incorporación de energías renovables a la matriz energética de la edificación. De acuerdo a lo anterior, no sólo se debe enfocar a crear edificios funcionales con toques estéticos sino que es de gran importancia la elección de los materiales para crear una envolvente térmica de alta calidad, brindándose confort a sus ocupantes; de lo contrario se generarían ganancias térmicas en verano y grandes pérdidas en invierno.

El consumo de energía en edificaciones por concepto de calefacción y refrigeración, puede llegar al 27% en construcciones comerciales y un 43% en las residenciales (U.S. Department of Energy, 2011). De forma breve, se puede mencionar que los factores que impactan en el consumo de energía en una edificación son el clima de la región, la orientación, la elección de materiales y sistemas constructivos, el área de acristalado y los sistemas de climatización artificial seleccionados. Por lo que es necesario realizar análisis cuidadoso de la selección de materiales para la envolvente de la edificación desde el momento de su planeación.

La evaluación del comportamiento térmico de una edificación permite obtener un diagnóstico del uso de energía para posteriormente analizar los resultados y proponer mejoras en el diseño o la elección de materiales y sistemas constructivos que contribuyan a reducir el consumo de energía. El diagnóstico se puede realizar tomando en cuenta las características de la envolvente térmica como la forma y propiedades de los materiales, aunado a la consideración del clima de la región, ubicación y orientación del edificio. Actualmente, existe una gran cantidad de software de simulación energética de edificaciones; herramientas que han sido ampliamente estudiadas, validadas y que pueden aportar resultados confiables. El analizar una edificación de forma dinámica, es decir considerando el paso del tiempo, hace posible probar gran cantidad de arreglos de sistemas constructivos, de forma tan detallada como se desee. Crawley y colaboradores (Crawley, 2008) elaboraron una comparación de las características de los 20 principales programas de simulación energética en edificaciones, entre ellos programas como: DOE-2.1E, ECOTECT, EnergyPlus y TRNSYS, concluyendo que aunque existen diferencias marcadas en los alcances de cada herramienta se alienta a que cada usuario encuentre la herramienta que se ajuste a sus requerimientos específicos.

Objetivo de este estudio es el de evaluar el comportamiento térmico, así como calcular la demanda energética del edificio *caseta* de las plataformas de pruebas solares. Se calculó la demanda energética anual correspondiente al uso de sistemas de climatización (refrigeración y calefacción). Este es el primer paso para posteriormente proponer una combinación de materiales para el establecimiento de los sistemas constructivos y de ser necesario una modificación en el diseño de la edificación.

MODELO FÍSICO Y UBICACIÓN

La caseta corresponde a un edificio de 399 m² de construcción, 133 m² por planta y un total de 219 m² sin incluir el hangar de armado de prototipos. En este primer estudio se analiza el comportamiento térmico de la envolvente del edificio para posteriormente calcular la demanda energética anual por concepto de climatización artificial. En la Figura 1a se observa la caseta en 3D, mientras que en las Figuras 1a, 1b y 1c, se muestra la distribución de las zonas térmicas de cada planta del edificio de caseta. Las zonas térmicas comprenden las siguientes regiones, primera planta: monitoreo, almacén, sanitarios y hangar; segunda planta: laboratorio y tercera planta: oficinas y centro de cómputo. Las zonas de sanitarios (WC) y hangar, no se incluyen en el cálculo de demanda energética. Cada edificio de caseta va acompañado de una plataforma de pruebas solares, donde se realizarán experimentos en exteriores. En el edificio caseta se realizarán actividades desde la conceptualización, construcción y monitoreo de uno o varios sistemas experimentales, por lo que se hará uso de las instalaciones de tiempo completo. El horario de ocupación se estableció de forma corrida desde las 07:00 hasta las 19:00 horas de lunes a viernes, sin tomar en cuenta días festivos ni vacaciones.

La ubicación del edificio es en la localidad de El Pueblito en Municipio de Durango, localizado en la región centro sur del Estado de Durango, con coordenadas geográficas extremas: al norte 242° 26'; al sur 232° 29', al este 104° 06' y al oeste 105° 34'. El clima del Municipio de Durango está determinado principalmente por la altitud y el relieve, afectando la temperatura y la precipitación. El clima corresponde a una región dentro de la clasificación BS de acuerdo al catálogo de Köppen (Rohli y Vega, 2015). De esta manera, el municipio de Durango, queda influenciado por los factores externos del clima semiseco templado con lluvias en verano con temperaturas fluctuantes de 16 a 18 °C y precipitaciones de 500 milímetros con lluvias, con una mezcla de vegetación tipo desértica con predominación de bosques templados.

METODOLOGÍA

Se realizaron una primera serie de 32 corridas, realizando las posibles combinaciones entre cuatro sistemas de muro, dos tipos de cubierta y cuatro de ventana. En la Tabla 1, 2 y 3, se muestra la combinación de los sistemas constructivos analizados, las propiedades de las aberturas (ventanas y puertas) y de los sistemas constructivos respectivamente. La simulación se realizó de forma horaria durante un año típico mediante el programa Design Builder que utiliza como motor de cálculo a Energy Plus. Parámetros climáticos como: radiación solar, temperaturas horarias promedio, humedad y velocidad del viento fueron suministradas por el software Meteonorm, los cuales fueron generados cada 15 minutos e incorporados al software de simulación de forma horaria

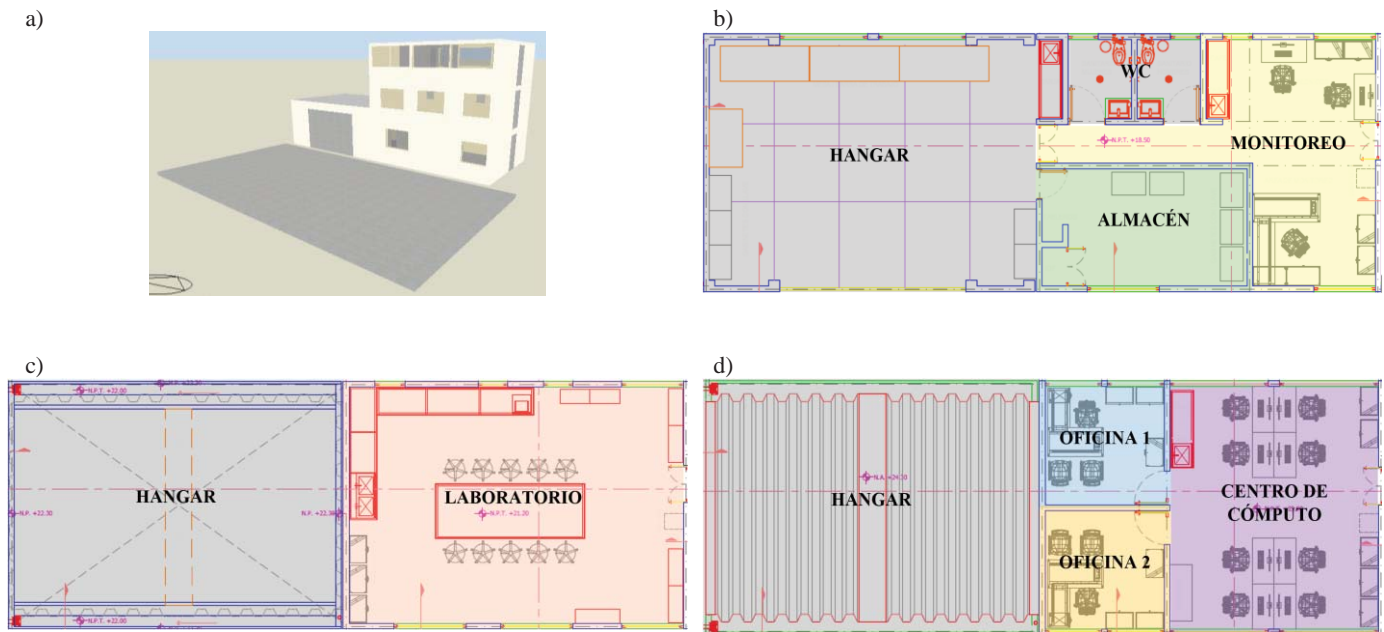


Figura 1. a) Visualización de caseta en 3D, Cortes en planta con las zonas térmicas del edificio: b) Primera planta, c) Segunda planta y d) Tercera planta.

Tabla 1. Combinación de sistemas constructivos analizados.

Caso	Muro	Ventana	Cubierta	Caso	Muro	Ventana	Cubierta
1	Muro 1	Ventana 1	Cubierta 1	17	Muro 1	Ventana 1	Cubierta 2
2		Ventana 2		18		Ventana 2	
3		Ventana 3		19		Ventana 3	
4		Ventana 4		20		Ventana 4	
5	Muro 2	Ventana 1		21	Muro 2	Ventana 1	
6		Ventana 2		22		Ventana 2	
7		Ventana 3		23		Ventana 3	
8		Ventana 4		24		Ventana 4	
9	Muro 3	Ventana 1		25	Muro 3	Ventana 1	
10		Ventana 2		26		Ventana 2	
11		Ventana 3		27		Ventana 3	
12		Ventana 4		28		Ventana 4	
13	Muro 4	Ventana 1		29	Muro 4	Ventana 1	
14		Ventana 2		30		Ventana 2	
15		Ventana 3		31		Ventana 3	
16		Ventana 4		32		Ventana 4	

Tabla 2. Propiedades de las aberturas.

Nombre	Espesor (m)	Conductividad térmica k(W/m K)	SHGC	Valor U (W/m ² K)	Propiedades ópticas		
					ϵ	α	ρ
Ventana 1 - Cristal claro sencillo	0.006	1.0	0.828	5.801	0.84	0.04	0.16
Ventana 2 - Cristal entintado sencillo	0.006	1.0	0.749	5.801	0.84	0.34	0.11
Ventana 3 - Cristal doble claro	Cristal (0.0060) Aire (0.013)	1.0	0.716	2.675	0.84	0.04	0.16
Ventana 4 - Cristal doble entintado	Cristal (0.0060) Aire (0.013)	1.0	0.616	2.675	0.84	0.34	0.11
Puerta de metal	Metal (0.0015) Aire (0.10)	50.0	-	3.124	0.30	0.30	0.70

Tabla 3. Propiedades de los sistemas constructivos.

Nombre	Material	Espesor (m)	Conductividad térmica k(W/m K)	Valor U W/m ² K	Propiedades ópticas		
					ϵ	α	ρ
Muro-1	Mortero	0.025	0.70	2.390	0.90	0.60	0.40
	Bloque de concreto	0.13	1.11		-	-	-
	Yeso	0.013	0.40		0.90	0.50	0.50
Muro-2	Mortero	0.025	0.70	0.949	0.90	0.60	0.40
	Poliestireno	0.0254	0.04		-	-	-
	Bloque de concreto	0.20	1.11		-	-	-
Muro-3	Yeso	0.013	0.40	2.636	0.90	0.50	0.50
	Mortero	0.025	0.70		0.90	0.60	0.40
	Ladrillo	0.12	0.85		-	-	-
Muro-4	Yeso	0.013	0.40	1.122	0.90	0.50	0.50
	Mortero	0.025	0.70		0.90	0.60	0.40
	Poliestireno	0.0254	0.04		-	-	-
Muro interior	Ladrillo	0.12	0.85	1.175	-	-	-
	Yeso	0.013	0.40		0.90	0.50	0.50
	Bloque	0.13	0.19		0.90	0.50	0.50
Cubierta 1	Yeso	0.013	0.40	2.007	0.90	0.50	0.50
	Metal	0.01	45.28		-	-	-
	Concreto	0.10	1.40		-	-	-
Cubierta 2	Impermeabilizante Terracota	0.0254	0.40	0.881	0.35	0.60	0.40
	Yeso	0.013	0.40		0.90	0.50	0.50
	Metal	0.01	45.28		-	-	-
Cubierta 2	Poliestireno	0.0254	0.04	0.881	-	-	-
	Concreto	0.10	1.40		-	-	-
	Impermeabilizante Terracota	0.0254	0.10		0.35	0.60	0.40

RESULTADOS

Se realizó un análisis del comportamiento térmico del diseño arquitectónico propuesto del edificio de caseta. Se obtuvieron resultados de la cantidad de energía necesaria para climatizar al edificio en un año de operación. Se analizaron 32 combinaciones de materiales (cuatro sistemas de muro, dos tipos de cubierta y cuatro de ventana), en la Figura 2 se grafican la demanda energética por refrigeración y calefacción de cada caseta y las temperaturas promedio horarias. El objetivo de realizar este análisis de materiales en la envolvente de la edificación es el de seleccionar los casos idóneos para la posterior implementación de otras estrategias o modificar el diseño arquitectónico inicial.

Análisis de demanda energética anual.

De la Figura 2a se puede observar que el caso con menor requerimiento de energía por refrigeración es el 20, 4989 kWh (muro 1, ventana 4 y cubierta 2), mientras que el caso que demanda menos energía para calefacción es el 23, 2458 kWh (muro 2, ventana 3 y cubierta 2). En ambos casos se observa que la cubierta 2, que es la que contiene aislamiento, incurriría en gastos menores por climatización. Sin embargo al considerar el consumo total anual, el caso 24 (muro 2, ventana 4, cubierta 2) es el que demandaría menor cantidad de energía: 7865 kWh, 5237 y 2638 kWh para refrigeración y calefacción, respectivamente. De la demanda energética total de este edificio, el 66.6% de la necesidad de climatización es por concepto de refrigerar, es decir disminuir la temperatura promedio de la caseta; por lo que es necesario enfocarse en esta temporada del año. Analizando el caso 8, que se encuentra constituido de igual forma que el 24, con excepción de la cubierta (sin aislamiento) observamos que consumiría un 10% más energía que el caso 24. Estos casos serán estudiados con mayor profundidad en un siguiente estudio de los autores. Cabe destacar que de análisis de edificaciones comerciales, oficinas y vivienda previamente estudiados, se obtuvo que para el clima actualmente analizado; la cubierta color terracota es la que se desempeña de mejor manera, teniendo consumo energético anual menor que si se considerara color blanco y/o blanco con propiedades reflectivas.

Por otro lado, los casos que tendrán peor comportamiento, con los mayores requerimientos de energía, son los casos 13 (muro 4, ventana 1 y cubierta 1) con un consumo de 7958 kWh) y 10 (muro 3, ventana 2 y cubierta 1) con un gasto de 5178 kWh por concepto de refrigeración y calefacción, respectivamente. El peor caso considerando el consumo total anual es el caso 13. Al comparar los casos con menor y mayor consumo energético anual, se obtiene que el caso 24, lograría un ahorro de hasta el 36%.

Análisis de temperaturas promedio.

En la Figura 2b, se grafican las temperaturas horarias del año analizado para los casos con el mayor y menor consumo energético anual, casos 13 y 24, respectivamente. Se observan el comportamiento horario de ambos casos sobre el comportamiento de la temperatura exterior, correspondiente a la del ambiente. De forma cualitativa se muestra que el caso 24 (muro de bloque aislado, ventanas entintadas dobles y cubierta color terracota con aislamiento) tiene mejor comportamiento que el caso 13 (muro de bloque aislado, ventana cristal sencillo y cubierta color terracota sin aislamiento) y como consecuencia menor consumo energético.

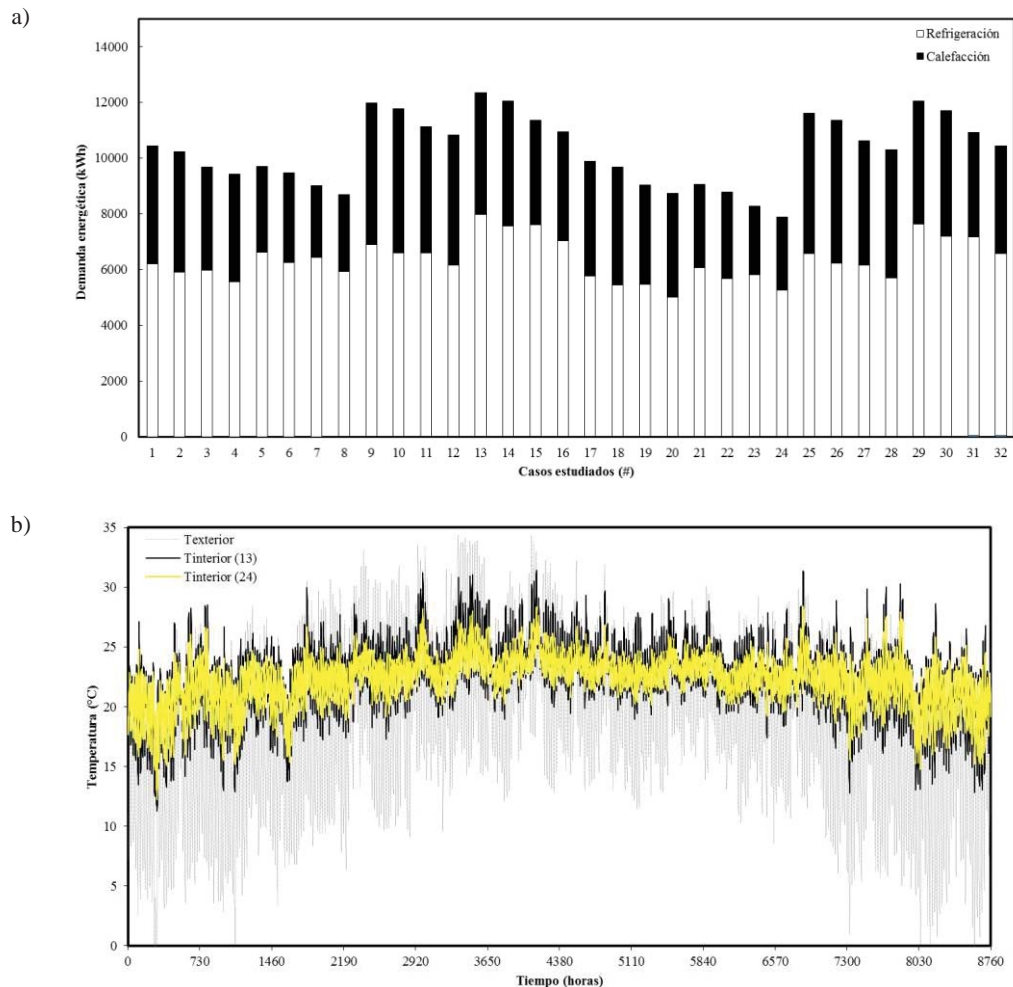


Figura 2. Resultados: a) Demanda energética anual por refrigeración y calefacción b) Temperaturas promedio.

CONCLUSIONES

Se realizó un análisis térmico del edificio *caseta*, el cual comprende de una edificación de tres plantas y una plataforma de pruebas. Mediante el uso del software de simulación dinámica TRNSYS se analizaron 32 combinaciones de materiales y sistemas constructivos a través de un año típico. Se cuantificó la demanda energética requerida por el uso de sistemas de calefacción y refrigeración de un año de operación del edificio.

Se logró reducir el consumo energético por refrigeración hasta en un 37.4% (caso 20) y de calefacción por un 52.5% (caso 23), comparando los casos que requieren menor y mayor energía. Estas disminuciones de consumo energético serían efectivas cuando se seleccione el sistema constructivo ideal para la reducción de consumo energético por refrigeración o por calefacción. Sin embargo, en este caso es necesario considerar que se pretende reducir al máximo la demanda energética anual, considerándose que se tiene que climatizar todo el año. Al realizarse el balance anual, el caso 24 es el que consumiría hasta un 36% menos energía por concepto de operación de ambos sistemas de climatización (refrigeración y calefacción). Este caso es el que se compone de muro aislado, cubierta color terracota aislada y ventana con doble cristal entintado.

Estas reducciones de consumo energético anual son estrictamente debido al análisis de los sistemas constructivos propuestos y no contempla la modificación del diseño arquitectónico, ni la incorporación de estrategias pasivas adecuadas a la climatología del lugar.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo económico recibido por parte del: Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CeMIE-Sol), A través del Proyecto: P13 “Laboratorios de pruebas para baja y media temperatura, laboratorio para el diseño e integración de sistemas termo solares asistido por computadora” Perteneciente a la Convocatoria 2013-02, del: FONDO SECTORIAL CONACYT - SENER - SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA, para el desarrollo y presentación de éste trabajo. Asimismo agradecer al proyecto FOMIX - Durango: DGO-2014-01-229107: “Creación del Centro de Innovación y Competitividad en Energías Renovables y Medio Ambiente de Durango”.

REFERENCIAS

- IEA, International Energy Agency. (2008). Worldwide trends in energy use and efficiency: Key insights from IEA indicator analysis. OECD/IEA Paris, France.
- Dimitrov, A. V. (2016). Energy modeling and computations in the building envelope. CRC Press, Taylor & Francis Group, Florida, USA.
- U.S. Department of Energy. (2011). Buildings Energy Data Book. D&R International, Ltd., Maryland, USA. <http://buildingsdatabook.eere.energy.gov/>
- Crawley, D.B. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs, Building and Environment, Vol. 43, No. 4, p. 661-673.
- Rohli R. y Vega A.J.. (2015). Climatology. Jones & Bartlet Learning.