



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura
Tecnología

DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE ESPACIOS EXPERIMENTALES MÓDULO DE EXPERIMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

Tesis que para optar por el grado de:
Maestro en Arquitectura

Presenta:
Arq. Ricardo Sánchez Benítez

Director de Tesis:
M. en Arq. Leonardo Bernardo. Zeevaert Alcántara.
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura.

Comité tutor:
M. en Arq. Ernesto Ocampo Ruiz
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura
M. en Arq. Arturo Valeriano Flores
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura
Dr. en Arq. José Luis Bermúdez Alcocer.
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura
Dra. Sabarinah Sheikh. Ahmad
Universiti Teknologi Mara, Malasia

Ciudad de México, Febrero de 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Agradecimientos

A Dios, a mis hijos, mi esposa y a toda mi familia

Quienes siempre, invariablemente y bajo toda circunstancia estuvieron conmigo en éste camino

Al Mtro. Leonardo B. Zeevaert Alcántara

Quien con sus enseñanzas y consejos me permite continuar evolucionando en éste, el oficio de la Arquitectura

A la Dra. Sabarinah Sheikh. Ahmad

Por su amistad, y por la confianza demostrada en éste proyecto

A mi sínodo: Mtro. en Arq. Arturo Valeriano Flores,

Mtro. en Arq. Ernesto Ocampo Ruiz,

Dr. en Arq. José Luis Bermúdez Alcocer

Por sus sabios consejos, por el tiempo dedicado, y sobre todo por su amistad

A todos mis amigos y hermanos Gamos

Todos siempre cerca, siempre en mi mente, Never Quit !!

Al Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura

Por confiar en mí para la ejecución de ésta importante empresa

A Corev de México, USG México y Soluciones 101

Por su aportación física y técnica para la conformación de éste proyecto

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

Por financiar económicamente parte de ésta investigación

Resumen

El Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), requiere de un espacio experimental fijo, versátil y confiable, en el cual se puedan desarrollar investigaciones y experimentos en cuestiones Térmicas, Lumínicas, Acústicas y de Calidad del Aire, en condiciones conocidas y controladas.

Se proyectó, construyó y caracterizó una plataforma de experimentación, conformada por dos Módulos de Experimentación. Se determinó el comportamiento Térmico de uno de los módulos, el cual será utilizado como referencia. Se instalaron sensores para registrar variables climatológicas al exterior. Al interior de los módulos se instalaron sensores de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, temperatura media radiante y humedad relativa, con la finalidad de caracterizar el comportamiento térmico de la Plataforma de Experimentación y concluir con un Manual de Operación de la Plataforma.

Cada módulo es capaz de girar 360°, razón por la cual cada una de sus fachadas puede observar cualquier orientación. Este detalle permite facilitar el proceso de experimentación durante cualquier época del año.

En la Cara de Experimentación, se podrán analizar diversas configuraciones de envolvente de doble capa así como materiales emergentes. La Cara de Experimentación puede ser modificada e instrumentada de manera sencilla.

Diseño y caracterización de espacios experimentales.

Design and Characterization of full scale testing module.

Contenido:

Índice.

Introducción.

Capítulo 1.- Fundamentos de la Investigación.

Capítulo 2.- Desarrollo Conceptual del Módulo de Experimentación.

Capítulo 3.- Validación del Módulo de Experimentación.

Conclusiones y Prospectiva.

Glosario.

Referencias.

Anexos.

Diseño y caracterización de espacios experimentales.

Design and Characterization of full scale testing module.

Indice General.

Introducción.....	i
Hipótesis de investigación	v
Objetivo Principal.....	vii
1. Fundamentos de la Investigación.....	3
1.1. Espacios experimentales.	3
1.2. Cálculo térmico.....	4
1.3. Sistema de envolvente.....	10
1.3.1. Historia de las Envolventes de Doble capa.	10
1.3.2. Envolventes de doble capa.....	12
1.3.3. Ventajas y desventajas de la envolvente de doble capa.	15
1.3.4. Aislamiento térmico	16
1.4. Normalización y Métodos de Prueba nacionales e internacionales.	18
1.5. Laboratorios dentro de la UNAM.	26
1.6. Laboratorios Internacionales.	28
1.7. Investigaciones recientes.....	31
2. Desarrollo conceptual del Módulo de Experimentación. (ME)	39
2.1. Descripción del ME.	40
2.1.1. Ubicación.....	42
2.1.2. Componentes.....	43
2.1.2.1. Estructura metálica.	44
2.1.2.2. Sistema de envolvente.....	48
2.1.2.3. Cara de Experimentación.....	52
2.2. Funcionamiento del ME.	54

2.3. Comprobación analítica del sistema de envolvente del ME.....	56
3. Validación del Módulo de Experimentación.....	61
3.1. Generalidades.....	61
3.2. Plataforma de Observación.....	61
3.3. Módulo de Experimentación.....	62
3.4. Definición del experimento.....	62
3.4.1. Primera fase experimental.....	63
3.4.1.1. Montaje Experimento.....	64
3.4.1.2. Resultados día nublado.....	66
3.4.1.3. Resultados día despejado.....	69
3.4.1.4. Conclusiones.....	71
3.4.2. Segunda fase experimental.....	73
3.4.2.1. Montaje Experimento.....	73
3.4.2.2. Resultados.....	76
3.4.2.3. Conclusiones.....	78
3.4.3. Tercera fase experimental:.....	80
3.4.3.1. Montaje Experimento.....	81
3.4.3.2. Resultados.....	84
3.4.3.3. Conclusiones.....	114
Conclusiones Generales y Prospectiva.....	115
Glosario.....	121
Anexos.....	127
A. Programa de Experimentación.....	
B. Artículo Fase Uno de Experimentación. (CSSR 2015).....	
C. Artículo Fase Tres de Experimentación. (CSSR 2016).....	
D. Simulación en Autodesk Revit 2017.....	

Diseño y caracterización de espacios experimentales.

Design and Characterization of full scale testing module.

- E. Manual de Manejo y Mantenimiento de la Plataforma de Experimentación del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la UNAM.
- F. Fichas técnicas y calibración de Equipos e Instrumentos de Medición.
- G. Convenio de Colaboración Corev de México

Diseño y caracterización de espacios experimentales.

Design and Characterization of full scale testing module.

Índice de Imágenes.

Imagen 1. Edificio Kubik by Tecnalia. Fuente: www.tecnalia.com Fecha de consulta: 16/01/17.	29
Imagen 2. DOE's FLEXLAB. Berkeley University. Fuente: https://flexlab.lbl.gov/ Fecha de consulta: 29/02/16.	31
Imagen 3. Estructura base de los Módulos de Experimentación.	40
Imagen 4. Proceso de fabricación del bastidor para la envolvente.....	41
Imagen 5. Sustrato base de la envolvente exterior.....	42
Imagen 6. Localización Módulos de Experimentación. Fuente Google Earth.....	43
Imagen 7. Llegada de la estructura metálica a la Unidad de Posgrados.....	44
Imagen 8. Trazo y ubicación de la base en la azotea.....	45
Imagen 9. Elevación de la base.	45
Imagen 10. Nivelación de la base.....	46
Imagen 11. Elevación estructura superior.	46
Imagen 12. Acoplamiento Estructura superior y base.....	47
Imagen 13. Estructura y base montadas.....	47
Imagen 14. Estructura pintada con anticorrosivo.....	48
Imagen 15. Fabricación del bastidor para la envolvente.....	49
Imagen 16. Colocación de barrera de vapor.....	50
Imagen 17. Fabricación de la envolvente externa. (USG Durock) Vano de la Cara de Experimentación.....	50
Imagen 18. Colocación del Sistema de aislamiento térmico en la envolvente. (PRECOR® de Corev)	51
Imagen 19. Envolvente exterior terminada.....	51
Imagen 20. Proyecto Cara de Experimentación.	53
Imagen 21. Termistor de Superficie Campbell Scientific modelo 110 PV.....	54
Imagen 22. Probeta sensible a la temperatura, Campbell Scientific modelo 107.	54
Imagen 23. Hobo U12.....	55
Imagen 24. Datos de Temperatura de Diseño Mensual. Simulación Revit 2017.....	56
Imagen 25. Comportamiento Anual de la Temperatura, número de horas por rango de Temperatura. Simulación Revit 2017.....	57
Imagen 26. Promedios Diurnos de Temperatura Mensual. Simulación Revit 2017.....	58
Imagen 27. Estación meteorológica HOBO U30.	61
Imagen 28. Probeta sensible a la temperatura.....	65
Imagen 29. Montaje de la unidad Hobo U12.....	66

Diseño y caracterización de espacios experimentales.

Design and Characterization of full scale testing module.

Imagen 30. Sistema de piso, interior del ME.	74
Imagen 31. Vista interior ME.	75
Imagen 32. Construcción y cierre vano de experimentación.....	76
Imagen 33. Proceso de colocación del sensor Campbell Scientific 110 PV, al interior del muro.	81
Imagen 34. Fijación mecánica del sensor al bastidor del muro.	81
Imagen 35. Probeta Campbel Scientific modelo 107. Temperatura de Bulbo Seco.....	82
Imagen 36. Sensor de Temperatura Media Radiante. (Diferentes vistas).....	83
Imagen 37. Campbell CR1000, Multiplexor AM16/30.	84
Imagen 38. Conexión de los sensores al Adquisidor de Datos.	84
Imagen 39. Vista Actual del Módulo de Experimentación. Arq. Viridiana Pansza configurando su experimento.	119

Índice de Gráficas.

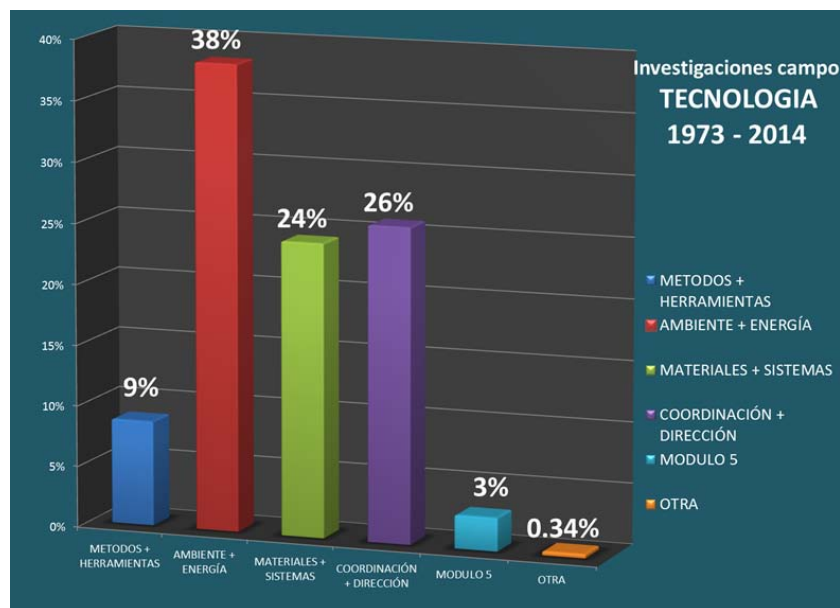
Gráfica 1 Distribución de Investigaciones en el Campo de Tecnología dentro del Programa de Maestría en Arquitectura.....	i
Gráfica 2. Radiación Global 28 de Marzo 2015.....	67
Gráfica 3. Correlación Temperatura Probeta y Radiación Global.....	68
Gráfica 4. Radiación Global 30 de Marzo 2015.....	69
Gráfica 5. Correlación Temperatura envolvente, Radiación Global día despejado.	70
Gráfica 6. Correlación Temperatura Interior del ME, Temperatura cara interior envolvente.....	71
Gráfica 7. Estratificación de la Temperatura Interior para el día 25 de Julio de 2015.....	77
Gráfica 8. Radiación Global observada el día 25 de Julio de 2015.....	78
Gráfica 9. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 20 al 31 de Mayo de 2016.....	87
Gráfica 10. Día Más Cálido, periodo del 24 al 26 de Mayo de 2016.	88
Gráfica 11. Día Menos Cálido, periodo del 28 al 30 de Mayo de 2016.	89
Gráfica 12. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 1 al 15 de Junio de 2016.....	90
Gráfica 13. Día Más Cálido, periodo del 13 al 15 de Junio de 2016.	91
Gráfica 14. Día Menos Cálido, periodo del 4 al 6 de Junio de 2016.....	92
Gráfica 15. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 16 al 30 de Junio de 2016.....	93
Gráfica 16. Día Más Cálido, periodo del 16 al 18 de Junio de 2016.	94
Gráfica 17. Día Menos Cálido, periodo del 20 al 22 de Junio de 2016.	95
Gráfica 18. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 1 al 15 de Julio de 2016.....	96
Gráfica 19. Día Más Cálido, periodo del 2 al 4 de Julio de 2016.	97
Gráfica 20. Día Menos Cálido, periodo del 10 al 12 de Julio de 2016.....	98
Gráfica 21. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 16 al 31 de Julio de 2016.	99
Gráfica 22. Día Más Cálido, periodo del 28 al 30 de Julio de 2016.....	100
Gráfica 23. Día Menos Cálido, periodo del 18 al 20 de Julio de 2016.....	101
Gráfica 24. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 1 al 15 de Agosto de 2016.	102
Gráfica 25. Día Más Cálido, periodo del 11 al 13 de Agosto de 2016.....	103

Gráfica 26. Día Menos Cálido, periodo del 4 al 6 de Agosto de 2016.....	104
Gráfica 27. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 16 al 31 de Agosto de 2016.....	105
Gráfica 28. Día Más Cálido, periodo del 18 al 20 de Agosto de 2016.....	106
Gráfica 29. Día Menos Cálido, periodo del 16 al 18 de Agosto de 2016.....	107
Gráfica 30. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 1 al 15 de Septiembre de 2016.....	108
Gráfica 31. Día Más Cálido, periodo del 8 al 10 de Septiembre de 2016.....	109
Gráfica 32. Día Menos Cálido, periodo del 4 al 6 de Septiembre de 2016.	110
Gráfica 33. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 16 al 30 de Septiembre de 2016.	111
Gráfica 34. Día Más Cálido, periodo del 16 al 18 de Septiembre de 2016.....	112
Gráfica 35. Día Menos Cálido, periodo del 26 al 28 de Septiembre de 2016.....	113
Gráfica 36. Comportamiento Térmico del ME durante la Tercera Fase de Experimentación. 20 de Mayo al 30 de Septiembre de 2016.....	116

Introducción.

Es requisito indispensable para el desarrollo tecnológico y la generación de nuevos conocimientos, comprobar las hipótesis planteadas y de ser posible mejorar los modelos existentes a través de la experimentación. La disponibilidad de espacios experimentales para desarrollar, y someter a prueba estos argumentos está en función de varios factores que modifican o limitan los resultados de la investigación.

Hasta Diciembre de 2014, de las 290 investigaciones que desde 1973 se han llevado a cabo en el campo de Tecnología del programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México, el 62.42% (181 tesis) han sido enfocadas a temas de Ambiente y Energía, así como a Desarrollo de Materiales y Sistemas (2015-2, 2015).¹



Gráfica 1 Distribución de Investigaciones en el Campo de Tecnología dentro del Programa de Maestría en Arquitectura.

¹ Informe final Práctica Complementaria Sem. 2015-2. PMDA. Ciudad de México: Programa de Maestría en Arquitectura, UNAM

Gran parte de estas investigaciones han requerido de comprobar sus hipótesis mediante la utilización de un espacio experimental, diseñado éste por cada investigador acorde a las necesidades específicas de su proyecto.

Este programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, requiere del establecimiento de un espacio experimental fijo, versátil y disponible para el desarrollo de nuevas investigaciones. Resulta clave dar continuidad dentro del Programa a las líneas de investigación abiertas con anterioridad, en aspectos Térmicos, Lumínicos y Acústicos. La necesidad de un espacio experimental que permita realizar ejercicios experimentales en éstos ámbitos, da origen y fundamento a esta investigación.

Con el paso del tiempo sólo a algunas de las líneas de investigación mencionadas se les ha dado continuidad, factores como la obsolescencia del tema, la falta de interés de los investigadores, o la dificultad de replicar el espacio experimental para así continuar con la línea de investigación abierta, han limitado la continuidad de las investigaciones.

Hablando del espacio experimental, normalmente dentro de los reportes de investigación no se especifican a detalle las condiciones de éste, solo se describen a grandes rasgos su ubicación y elementos que lo conforman. Éste fenómeno limita la continuidad en la investigación, ya que existe una nula posibilidad de replicar al pie de la letra las condiciones en las cuales se realizaron los trabajos de experimentación.

Debido a ésta situación, los investigadores, se ven forzados a implementar modificaciones al espacio experimental bajo su criterio. Estas modificaciones definitivamente presentan otras condiciones de experimentación, las cuales modificaban los resultados.

En ésta investigación se diseñó y caracterizó² una plataforma de experimentación escala 1:1 (Full Scale Testing Module)³, conformada desde el proyecto por **dos** módulos o cabinas de experimentación. Uno de los módulos funcionará siempre como referencia al otro, que será en el que se realicen y monten los experimentos.

La finalidad de ésta plataforma es ejecutar en ella pruebas térmicas, lumínicas y acústicas a nuevos materiales así como a sistemas constructivos en condiciones controladas y conocidas. Estas pruebas al material, se realizarán en condiciones normales de uso, es decir, los elementos probados en esta plataforma son instalados según la especificación del investigador o fabricante, emulando una situación real de construcción. Esto permite analizar el comportamiento del elemento desde la instalación, hasta el uso final del mismo.

Ambos módulos son idénticos tanto en dimensiones como en el sistema constructivo empleado. Incluso están instalados en el mismo sitio y nivel. El emplazamiento en el que se encuentran no tiene afectaciones externas importantes que pudieran modificar las pruebas ahí realizadas (por ejemplo: no tiene edificios cercanos que hagan sombra a ninguna hora y en ninguna época del año) recibe cada una de las fachadas todas las horas posibles de insolación que nuestra latitud permite. (Ciudad de México)

Cada módulo tienen una estructura de soporte que les permite girar 360°, el objetivo es que cada una de sus fachadas pueda observar

² **Caracterizar:** Del lat. mediev. *characterizare*, y este del gr. χαρακτηρίζειν charaktērízein 'designar con una marca característica'. Determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás. Fuente: Diccionario de la Lengua Española en línea. (<http://dle.rae.es/?id=7OpEEFy>), Fecha de consulta: Marzo 23 de 2016.

³ **Full Scale Testing Module.** Módulo de prueba escala real, o escala 1:1.

cualquier orientación durante todo el año. Tres de sus cuatro envolventes verticales son totalmente ciegas, es decir no tienen ningún tipo de apertura o vano al exterior. En la cuarta envolvente vertical, se aloja la "Cara de Experimentación". Este elemento se conforma por 15 nichos en los cuales se instalarán las muestras de cada material o sistema constructivo a evaluar.

Las dimensiones del Módulo de Experimentación son las siguientes: el área interior es de 6.76m², el volumen al interior del módulo es de 21.58 m³.

En ésta investigación nos avocamos a la caracterización térmica de uno de los módulos, el cual funcionará como referencia. Durante el proceso de construcción realizamos diversos ejercicios de medición para verificar el comportamiento de la envolvente. Al completar la construcción de la envolvente, medimos variables térmicas tanto al interior como al exterior durante 5 meses, dichos resultados son reportados en la Fase Tres de experimentación como conclusión a ésta investigación.

Hipótesis de investigación

- Al utilizar una configuración con diferentes capas de aislamiento térmico en la envolvente arquitectónica de los módulos de experimentación, será posible establecer un gradiente térmico al interior igual o menor a 4°C durante las 24 horas del día.

Objetivo Principal

- *Caracterizar el comportamiento térmico de la Plataforma de Experimentación, conformada por ambos Módulos de Experimentación.*

Objetivos Secundarios.

- Proveer al Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de un espacio experimental válido, versátil y estable para la realización de futuras investigaciones.
- Comparar los resultados teóricos obtenidos mediante el Cálculo Térmico y la simulación por computadora, con las mediciones al interior de los Módulos de Experimentación.
- Consolidar la Base de Datos de la Plataforma de Observación del Laboratorio de Interacción con el Medio del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la UNAM.
- Manual de Manejo y Mantenimiento de la Plataforma de Experimentación del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la UNAM.

An abstract geometric pattern composed of overlapping shapes in shades of blue, teal, and black. The shapes are angular and interlocking, creating a complex, layered visual effect. The colors range from a deep, dark blue to a bright, vibrant teal, with black used as a background and for sharp outlines.

1

Fundamentos de la Investigación

1. Fundamentos de la Investigación.

Esta investigación surge por la necesidad de crear un espacio experimental caracterizado, confiable, fijo y disponible. De las 290 investigaciones que desde 1973 hasta Diciembre de 2014 se han realizado en el campo de Tecnología, el 62.42% han requerido del diseño y construcción de su propio espacio experimental. El objetivo de éste proyecto es solventar esa necesidad y proveer el espacio experimental adecuado para el desarrollo de las investigaciones dentro del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura. Las líneas de investigación que se pueden abordar en la Plataforma de Experimentación son las siguientes:

- Aspectos Térmicos.
- Aspectos Lumínicos.
- Aspectos Acústicos.
- Calidad del Aire.

En esta investigación nos avocamos a la caracterización térmica de la Plataforma de Experimentación, las otras líneas de investigación propuestas se mencionan debido a que es posible realizar estudios de éste tipo utilizando ésta plataforma.

1.1. Espacios experimentales.

Un espacio experimental es el sitio en el cual se somete a prueba la hipótesis de investigación. A lo largo de la historia han existido diversos métodos y modelos de prueba, el espacio experimental está creado en función de las necesidades del investigador. Diversos factores determinan las condiciones del espacio experimental:

- Tipo de pruebas a realizar.

- Disponibilidad de equipos para verificar el comportamiento del modelo.
- Disponibilidad de espacio físico para su realización.
- Presupuesto.
- Habilidad del investigador.
- Tiempo de la investigación.

En cuanto al tipo de pruebas a realizar es importante determinar qué es lo que se va a probar, es decir cuál es el objetivo de la prueba a realizar. Si el enfoque del experimento se refiere a aspectos térmicos, lumínicos, acústicos, de consumo de energía, de las condiciones de instalación y operación de algún sistema constructivo, etc. Sin duda se necesita saber qué es lo que se busca para acercarse al resultado esperado,

Por otra parte deben tomarse en cuenta las limitantes inherentes a cualquier etapa de experimentación como son: la disponibilidad del espacio experimental, las condiciones en las que se realizará la prueba, de los equipos e instrumentos de medición disponibles, del tiempo de ejecución del experimento, de la veracidad de los datos de referencia, sobre las herramientas y el procesamiento de los datos. Estos factores influyen en la programación del experimento.

1.2. Cálculo térmico

A continuación se enumeran las fórmulas que se utilizaron para éste cálculo con la finalidad de obtener el Flujo de Calor Total (QLoad), a través de la envolvente arquitectónica. Según el **ASHRAE**⁴ para determinar la

⁴ **ASHRAE** (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Sociedad Americana de Ingenieros en Aire Acondicionamiento, Calefacción y Refrigeración. Organismo Internacional fundado en 1894, con más de 50,000 miembros, en 132 países.

temperatura interior de una habitación es necesario analizar a detalle todas y cada uno de las cargas térmicas que inciden en este. La fórmula general de la Transferencia de Calor toma en cuenta todas las cargas que modifican la temperatura de la habitación. (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2014)

- *Fórmula General de la Transferencia de Calor*

$$Q_{load} = Q_{cond} + Q_{shg} + Q_{vent} + Q_{inf} + Q_{met} + Q_{light}$$

Dónde:

QCond = Flujo de calor por conducción

Qshg= Flujo de calor por radiación directa

Qvent= Flujo de calor por ventilación

Qinf= Flujo de calor por infiltración

Qmet=Flujo de calor por las personas

Qlight= Flujo de calor por equipos eléctricos

- *Flujo de calor por conducción (Q Cond) –calor conducido a través de la envolvente-*

$$Q_{Cond} = U * A * (T_{s/a} - T_{int})$$

Dónde:

U= Coeficiente Global de transferencia de calor

A= Área del muro, techo y ventana del mismo tipo

T s/a= Temperatura sol aire

Tint= Temperatura interior del cuarto

- *Coeficiente Global de transferencia de calor* --conocido como "valor U" está determinado por los coeficientes de conductividad térmica de cada material y su espesor-

$$U = \frac{1}{1/h_e + ((e_n/K_n) + 1/h_c + (e_n/K_n)...)+ 1/h_i}$$

Dónde:

hi = Coeficiente de convección del aire interior 9.36 w/hm²°C en techos y muros 9.08 w/hm²°C para ventanas

he= Coeficiente de convección del aire exterior (34.06 w/hm²°C) 17.03 w/hm²°C para superficies horizontales

e= Espesor del material (por capa)

K= Coeficiente de conductividad térmica (w/hm²°C)

hc=Coeficiente de convección del aire interior entre dos muros

- Cálculo de temperatura sol-aire.

$$T_{s/a} = T_{amb} + (HT * a)/h_o - (DR * \epsilon)/h_o$$

Dónde:

Ts/a = Temperatura sol-aire

Tamb= Temperatura ambiente exterior

HT= Radiación solar global (W/m²)

a = Absortancia de las superficies (%)

ε= Emitancia de las superficies (%)

DR=Emisión infrarrojo de onda larga de la superficie. Para superficies verticales DR=0

ho= Coeficiente de convección + coeficiente de radiación.

- *Diferencia de radiación de onda corta y onda larga.*

$$DR = \frac{\partial(1 + \cos SLP)(T_{sky}^4 - T_{amb}^4)}{2} + \frac{(1 + \cos SLP)(T_{surr}^4 - T_{amb}^4)}{2}$$

Dónde:

∂ = Constante de Stefan Boltzman (5.669*10⁻⁸ w/hr m² K⁴)

SLP = Inclinación de la superficie, techos horizontales SLP=0

Tsky = Temperatura de cielo = Tamb 1.5 * 0.0552(°K)

Tamb = Temperatura ambiente

Tsurr = Temperatura alrededores = Tamb + 10°K, Si hay superficies naturales

Tsurr=0

- *Coeficiente de convección + Coeficiente de radiación.*

$$h_o = h_w + h_{ir} \quad h_w = 32.7 + 13.7 * w \quad h_{ir} = 4\partial\epsilon T^3$$

Dónde:

∂ = Constante de Stefan Boltzman (5.669*10⁻⁸ w/hrm²K⁴)

h_o = Coeficiente de convección + coeficiente de radiación

h_w = Coeficiente de convección

h_{ir} = Coeficiente de radiación

T = Tamb + Temperatura pared exterior

- *Cálculo de temperatura de la superficie.*

$$T_{se} = Q / A * 1/h_e + T_e \quad T_{si} = Q / A * e/K + T_{se}$$

Dónde:

T_{se} = Temperatura superficie exterior

T_{si} = Temperatura superficie interior

A = Área del componente (muro, techo superficie)

h_e = Coeficiente de convección del aire exterior

t_e = Temperatura exterior.

- *Flujo de calor por radiación directa (Q_{shg}).*

$$Q_{shg} = A_v * f_c * HT$$

Dónde:

A_v : Área de la ventana

f_c = Fracción de radiación solar que pasa por la ventana (0.25 por ventana sombreada * Transmitancia)

HT = Radiación solar global (w/m²)

- *Flujo de calor por ventilación (Q_{vent}). –determinado por la ventilación natural–*

$$Q_{ventS} = 0.278 * p * C_{pa} * G (T_{amb} - T_{int})$$

$$Q_{ventL} = 0.278 * p * H_{vap} * G (W_{amb} - W_{int})$$

Dónde:

0.278 = Factor de conversión de KJ a Watts

p = Densidad del aire (1.18 Kg/m³)

C_{pa} = Calor específico del aire (1.0065 KJ/Kg°C)

H_{vap} = Calor latente de vaporización (2.468 KJ/Kg°C)

G = Flujo de aire (m³/m)

W_{amb} =humedad específica ambiente (gr. agua/ gr. aire seco)

W_{int} = humedad específica interior (gr. agua/ gr. aire seco)

- *Flujo de calor por infiltración (Q_{inf}). –determinado por el volumen de aire que se filtra a través de los vanos–*

$$Q_{infS} = 0.278 * c_{amb} * vol * p * C_{pa} * (T_{amb} - T_{int})$$

$$Q_{infL} = 0.278 * c_{amb} * vol * p * H_{vap} * (W_{amb} - W_{int})$$

Dónde:

0.278 = Factor de conversión de KJ a Watts

ρ = Densidad del aire (1.18 Kg/m³)

C_{pa} = Calor específico del aire (1.0065 KJ/Kg°C)

H_{vap} = Calor latente de vaporización (2.468 KJ/Kg°C)

- *Flujo de calor por personas (Q_{Met}) --determinado por el número de ocupantes al interior del espacio-*

$$Q_{metS} = w / personas * No. personas$$

$$Q_{metL} = w / personas * No. Personas$$

- *Flujo de calor por equipos eléctricos (Q_{Light}) -determinado por la iluminación artificial instalada y los equipos eléctricos en el espacio-*

$$Q_{Light} = Pot * No. Aparatos$$

$$Pot = Potencia en Watts del equipo.$$

- *Cálculo de la temperatura interior a la hora siguiente.*

$$T_{cuarto\ 8:00} = T_{cuarto\ 7:00} + Q_{Load} / Capacitancia$$

Dónde:

Capacitancia = masa * Calor específico W/°C

Con esta batería de ecuaciones y fórmulas se realizó un ejercicio de cálculo térmico para el Módulo de Experimentación. Los resultados que arrojaron se compararon con los obtenidos en las Fases de Experimentación.

1.3. Sistema de envolvente.

La envolvente de un edificio es la superficie que está en contacto con el ambiente exterior. Es mediante ésta que el edificio intercambia calor con el ambiente, es su protección y barrera con el exterior.

Analógicamente la envolvente arquitectónica funciona como la piel en el ser humano, es la superficie con la cual interactuamos con el medio ambiente. Cuando la temperatura del ser humano se eleva, los poros en la superficie de la piel se dilatan, la persona suda y de ésta manera regula la temperatura en el interior. Por otra parte, cuando la persona siente que la temperatura es baja, los poros se cierran y es necesario cubrir la piel expuesta para evitar pérdidas de calor.

Del mismo modo funciona la envolvente en un edificio, cada uno de los materiales con los que está construido determina su capacidad de aislamiento. Una envolvente eficiente es capaz de conservar condiciones de habitabilidad al interior durante todo el año. En el diseño de la envolvente es determinante la consideración de factores físicos como: la ubicación del objeto arquitectónico -latitud, longitud-, orientación de la fachada, superficie, objetivo de la cara expuesta -captar o aislar-, actividades a desarrollar en el interior, etc.)

1.3.1. Historia de las Envolventes de Doble capa.

La historia de las envolventes de doble capa es descrita en varios libros, informes y artículos. (Saelens, 2002) Menciona que en 1849, Jean-Baptiste Jobard, en aquel momento director del Museo industrial de Bruselas, describe una versión ventilada mecánicamente de una envolvente de

múltiples capas. Menciona cómo en invierno el aire caliente fluye entre dos vidrios, mientras que en verano debe ser aire frío el que recorre la envolvente.

Ana María León Crespo (Crespo, 2004), afirma que, la primera instancia de una envolvente de doble capa aparece en 1903 en la fábrica *Steiff en Giengen, Alemania*. Según ella, *"las prioridades eran maximizar la iluminación natural teniendo en cuenta el frío y los fuertes vientos de la región. La solución fue una estructura de tres pisos con una planta baja de espacio de almacenamiento y dos pisos superiores destinados a áreas de trabajo. El edificio fue un éxito y dos adiciones fueron construidos en 1904 y 1908 con el mismo sistema de doble piel, pero usando madera en lugar de acero en la estructura por razones de presupuesto. Todos los edificios todavía están en uso"*.

En 1903 Otto Wagner ganó el concurso para el Banco de ahorros de la oficina de correos de Viena en Austria. El edificio, construido en dos fases a partir de 1904 a 1912 tiene un tragaluz de doble fachada en la sala principal.

A finales de la década de 1920 se estaban desarrollando envolventes de doble capa con otras prioridades.

Dos casos pueden ser claramente identificados. En Rusia, Moisei Ginzburg experimentó con franjas de doble envolvente en el Centro Comunitario del edificio Narkomfin (1928). Le Corbusier estaba diseñando el Centrosoyus, también en Moscú. Un año más tarde comenzaría el diseño para el *"Cite de Refuge"* (1929) y el *"Immeuble Clarte"* (1930) en París.

El progreso y la construcción de envolventes de doble piel en cristal no avanzan sino hasta finales de los 70 y principios de los 80. La mayoría de estas fachadas se diseña con preocupaciones ambientales como argumento, como las oficinas de Leslie y Godwin. En otros casos el efecto estético de las múltiples capas de vidrio es la principal preocupación. En los años 90 dos factores influyen fuertemente en la proliferación de las envolventes de doble capa, la creciente preocupación por el medio ambiente y la influencia de la arquitectura desde un punto de vista técnico así como político, haciendo de los "edificios verdes"⁵ una buena imagen corporativa de la arquitectura. (Crespo, 2004)

1.3.2. Envolventes de doble capa.

Según el **Belgian Building Research Institute** (2002) define a un sistema de envolvente de doble capa de la siguiente manera: *“Una fachada activa cubre uno o varios niveles, construida con múltiples capas de vidrio, las capas pueden ser ventiladas o no. En este tipo de envolventes, la cavidad de aire entre las capas puede ser ventilada, natural o mecánicamente. La estrategia de ventilación de la cavidad puede variar con el tiempo. Son integrados dispositivos y sistemas (activos y pasivos) para mejorar el clima interior. La mayor parte del tiempo estos sistemas son controlados y gestionados de una manera semi-automatizada”*. (Boake, 2003)

La envolvente de doble capa es un sistema definido en mayor medida por los siguientes puntos:

⁵ Definición de **“Edificio Verde”**: Un edificio verde es una construcción sostenible que utiliza materiales naturales, rechaza el uso de sustancias tóxicas en la fabricación de los materiales de construcción, limita los impactos negativos del hábitat humano en el medio ambiente y reduce el consumo de energía.

(Stephanie Roblin. Fuente: <https://fundacionrenovables.org/que-es-un-edificio-verde/> Fecha de Consulta: 18/01/17)

- La tendencia estética de lograr una fachada transparente.
- La necesidad de mejorar el ambiente interior en una edificación.
- La necesidad de mejorar acústicamente el interior de la edificación en áreas contaminadas
- La reducción en el consumo de energía durante el tiempo de ocupación de la edificación.

Aunque el concepto de envolvente de doble capa no es nuevo, hay una tendencia creciente en su utilización actualmente. Diversas investigaciones se han hecho, con diferentes enfoques y objetivos, en las cuales se ha analizado su funcionamiento.

- Arquitectura:
 - Fachadas arquitectónicas en general.
 - Fachadas acristaladas.
 - Mejor aprovechamiento del perímetro en una planta de oficinas.
 - Mejoramiento del perfil medioambiental de la edificación.
- Clima interior
 - Confort térmico.
 - Utilización del control solar durante todo el año.
 - Evitar el sobrecalentamiento en espacios de oficinas.
 - Temperatura aceptable en las superficies internas durante el invierno y el verano.
- Confort visual.
 - Posibilidad de utilizar el control solar durante todo el año.
 - Mejoramiento del confort visual (evitando el deslumbramiento)

- Confort acústico.
 - Mejorar el desempeño acústico de la envolvente.
- Ventilación.
 - Uso de la ventilación natural en lugar de la mecánica mientras sea posible.
 - Aprovechando la cavidad de la doble fachada.
- Desempeño energético.
 - Reducción de la demanda de calefacción durante invierno.
 - Reducción de la demanda de refrigeración durante el verano.
 - Reducción de “picos” en las cargas de enfriamiento / calentamiento.
 - Aprovechamiento de la luz natural en lugar de la artificial tanto como sea posible.
- Otros.
 - Análisis de costos de construcción.
 - Regulaciones contra incendio.
 - Mantenimiento de la fachada.

El concepto de envolvente de doble capa es complicado, ya que su uso y funcionamiento, afecta diferentes parámetros en el interior del espacio. (Boake, 2003) Muchos de estos parámetros interactúan entre sí, como por ejemplo, la luz natural, la ventilación, la calidad del aire interior, acústica, confort térmico y visual, el uso de la energía, etc. utiliza diferentes parámetros.⁶

⁶ (Boake, 2003)

1.3.3. Ventajas y desventajas de la envolvente de doble capa.

La utilización de este tipo de envolventes permite mejorar el desempeño térmico y energético del objeto arquitectónico. La utilización de ésta tecnología permite aprovechar al máximo las capacidades de enfriamiento / calentamiento que brinda la climatización pasiva. Se le acreditan a su vez ventajas estéticas, de funcionamiento y aprovechamiento del espacio, así como de mejoras en el mantenimiento de los elementos, ya que al estar comúnmente separados permite el acceso a cada uno de sus componentes.

Alguna de las desventajas que podemos observar al momento de especificar este tipo de envolventes es el aspecto económico. En algún momento puede resultar encarecido el proyecto al utilizar éste sistema. Desventaja es también en algunos casos, el área en planta que llega a ocupar todo el sistema, por ejemplo un sistema de envolvente activa, necesita una franja de circulación vertical importante en la cual fluya aire para regular la temperatura interior; ésta "franja" requiere de una superficie que bien son metros cuadrados de construcción no habitables.

Es importante mencionar que la ponderación acerca de la utilización del sistema debe analizarse integralmente. No debe ser limitante el costo inicial del sistema, deben analizarse las ventajas tanto económicas como de funcionamiento, consumo energético y mantenimiento que genera el sistema de envolvente proyectado.

1.3.4. Aislamiento térmico

Según el libro *The Ecology of Building Materials* de Björn Berg, (Berg, 2009) los materiales que regulan las condiciones climáticas hacia el interior de un espacio se pueden clasificar de la siguiente manera.

- Materiales que regulan la Temperatura interior. (aislamiento térmico)
- Materiales que regulan el Aire. (Flujo de aire hacia el interior)
- Materiales que regulan la Humedad Interior. (impermeables o hidrófugos)
- Materiales que regulan la acústica interior. (aislamiento acústico)

El aislamiento térmico en muros y cubiertas tiene como objetivo regular la temperatura interior e incrementar el confort térmico, reduciendo el consumo energético del edificio. (Berg, 2009) Existen dos tipos de aislamiento térmico:

- Estático: Material poroso cuyo aire debe estar contenido en espacios muy pequeños y que no pueda moverse.
- Dinámico: Sistema en el cual se regula el movimiento de aire a través de la envolvente. (Berg, 2009)

Además de los factores físicos que determinan la elección del aislamiento térmico (valores de conductividad térmica, disponibilidad, costo del producto), existen factores importantes a considerar en el aislamiento térmico. La edad del aislamiento, se ha comprobado que éste con el tiempo se degrada, la densidad y la humedad del material cambia. (Berg, 2009) El aislamiento térmico representa un 2% de la masa del edificio. (Berg,

2009) En cuestiones de conservación del ambiente, hay que considerar que en su mayoría son derivados del petróleo y producen grandes cantidades de gases de efecto invernadero durante su fabricación. Muchos compuestos tienen adicionalmente pegamentos sintéticos, retardantes de fuego y fungicidas que añaden desventajas medioambientales. Por último existen pocas opciones para su reciclaje y reutilización. (Berg, 2009)

Los materiales pesados almacenan calor (masa térmica) posteriormente desprenden ese calor hacia lugares con temperaturas más bajas. En épocas de calor, su masa evita el sobrecalentamiento mediante la ventilación nocturna. El concepto "time lag" de un material nos indica el tiempo en el cual la onda de calor pasa a través de su masa y es irradiado hacia el interior.⁷

La estabilidad térmica del aislamiento, y en general de cualquier material, depende de su peso específico (kg/m^3), el calor específico y la conductividad térmica del elemento (k). (Berg, 2009) Se han utilizado materiales para incrementar la capacidad térmica de las envolventes, se les conoce como materiales de "cambio de fase". Son sales hidratadas que reaccionan rápidamente a los cambios de temperatura.

Otro tipo de aislamiento térmico, son los materiales que "reflejan" la onda de calor y evitan su ingreso al interior. Existen películas para cristales que evitan ganancias térmicas por radiación directa en vanos y envolventes acristaladas.

⁷ **Time lag.** *an interval of time between two related phenomena (as a cause and its effect).* "Intervalo de tiempo entre dos fenómenos relacionados (causa y efecto). Fuente: Diccionario Merriam Webster. <http://www.merriam-webster.com/dictionary/time%20lag> Fecha de consulta 6 de Abril de 2016.

Por último mencionaremos el “foil de aluminio” que se utiliza como una barrera radiativa. Este material refleja la onda de calor (radiación de onda larga) y evita el sobrecalentamiento interno. Se utiliza regularmente en cubiertas y envolventes. (Berg, 2009)

1.4. Normalización y Métodos de Prueba nacionales e internacionales.

Para lograr el objetivo es necesario observar la normatividad aplicable tanto al espacio experimental, como a las pruebas que en él se puedan llegar a realizar. A continuación se enlistan las normas que revisamos, tanto nacionales como internacionales.

	Nomenclatura	Contenido	Descripción.
1	ISO/TC 12	Cantidades y Unidades.	Estandarización de unidades y símbolos para cantidades y unidades (y símbolos matemáticos) utilizados en los diferentes campos de la ciencia y la tecnología, dando, cuando sea necesario, definiciones de estas cantidades y unidades. Factores de conversión estándar entre las distintas unidades.
2	ISO/TC 29	Herramientas pequeñas.	Estandarización de cualquier tipo de herramienta para ser utilizada en máquinas, y cualquier tipo de herramienta manual.
3	ISO/TC 43	Acústica.	Estandarización en el campo de la acústica, incluyendo métodos de medición de fenómenos acústicos, su generación, transmisión y recepción, y todos los aspectos de sus efectos sobre el hombre y su entorno.
4	ISO/TC 48	Equipo de laboratorio.	Normalización de dispositivos y aparatos para fines de laboratorio, con respecto a principios y a materiales de construcción, rendimiento, dimensiones y ensayos, así como los términos y definiciones utilizados en relación con los mismos. La importancia relativa que debe hacerse en los estándares de rendimiento y en las normas dimensionales debe ser decidida por el comité, de manera general o por separado para cada objeto. Los aparatos y dispositivos construidos para los aspectos de seguridad personal están excluidos del alcance de TC 48.

<p>5</p> <p>ISO/TC 59</p>	<p>Edificios y trabajos de ingeniería civil.</p>	<p>Normalización en el ámbito de los edificios y obras de ingeniería civil, de:</p> <p>Terminología general;</p> <p>Organización de la información en los procesos de diseño, fabricación y construcción;</p> <p>Requisitos geométricos generales de los edificios, elementos de construcción y componentes, incluida la coordinación modular y sus principios básicos, normas generales para las juntas, tolerancias y ajustes, normas de rendimiento y de ensayo de los selladores;</p> <p>Reglas generales para otros requisitos de desempeño, incluyendo requisitos funcionales y de usuario relacionados con la vida útil, sostenibilidad, accesibilidad y usabilidad;</p> <p>Normas y directrices generales para abordar los impactos económicos, ambientales y sociales y los aspectos relacionados con el desarrollo sostenible;</p> <p>Requisitos geométricos y de rendimiento de los componentes que no están comprendidos en los comités técnicos separados de la ISO;</p> <p>Procesos de adquisición, métodos y procedimientos.</p>
<p>6</p> <p>ISO/TC 98</p>	<p>Bases para el diseño de estructuras.</p>	<p>Estandarización de las bases para el diseño de estructuras independientemente del material de construcción incluyendo especialmente terminología y símbolos, carga, fuerzas y otras acciones y limitaciones de deformaciones. Consideración y coordinación de los requisitos básicos de fiabilidad relativos a las estructuras en su conjunto, incluida la consideración de estructuras hechas de materiales concretos (acero, piedra, hormigón, madera, etc.) en la medida en que sea necesario para la elaboración de un enfoque común de fiabilidad en el enlace Con los comités técnicos pertinentes.</p>
<p>7</p> <p>ISO/TC 135</p>	<p>Pruebas no destructivas.</p>	<p>Normalización que abarca los ensayos no destructivos aplicados en general a los materiales de construcción, componentes y ensambles, mediante:</p> <p>Glosario de términos;</p> <p>Métodos de prueba;</p> <p>Especificaciones de rendimiento para equipos de prueba y aparatos auxiliares.</p> <p>Excluido:</p> <p>Niveles de calidad;</p> <p>Especificaciones para equipos y aparatos eléctricos, que están dentro del rango de Comités de IEC.</p>

<p>8</p> <p>ISO/TC 146</p>	<p>Calidad del aire.</p>	<p>Normalización de herramientas para la caracterización de la calidad del aire de las emisiones, aire del espacio de trabajo, aire ambiente, aire interior, en particular métodos de medición de contaminantes del aire (partículas, gases, olores, microorganismos) y parámetros meteorológicos, Control de Calidad (QA / QC) y métodos para la evaluación de resultados incluyendo la determinación de incertidumbre.</p> <p>Excluido: El establecimiento de valores límite para los contaminantes atmosféricos; La calidad del aire en habitaciones limpias; sustancias radioactivas.</p>
<p>9</p> <p>ISO/TC 160</p>	<p>Cristal en edificios.</p>	<p>Normalización en el campo del vidrio en la construcción, incluyendo terminología, requisitos de rendimiento y métodos de cálculo y normas de ensayo, diseño y construcción, clasificación y especificación de los materiales, incluidas las propiedades dimensionales.</p>
<p>10</p> <p>ISO/TC 162</p>	<p>Puertas y ventanas.</p>	<p>Normalización en el ámbito de puertas, puertas, ventanas y muros cortina incluyendo herrajes, fabricados con cualquier material adecuado que cubra los requisitos específicos de rendimiento, terminología, tamaños y dimensiones de fabricación y métodos de prueba.</p> <p>Excluido: La responsabilidad de la coordinación dimensional con otras partes de los edificios y las prescripciones generales de funcionamiento derivadas de los edificios en su conjunto, que depende de la norma ISO / TC 59.</p>
<p>11</p> <p>ISO/TC 163</p>	<p>Rendimiento térmico y el uso de energía en el entorno construido.</p>	<p>Normalización en el ámbito de las obras de construcción y de ingeniería civil</p> <p>De rendimiento térmico e higrotérmico de materiales, productos, componentes, elementos y sistemas, incluidos edificios completos, nuevos y existentes, y su interacción con los sistemas técnicos de construcción;</p> <p>De materiales, productos y sistemas de aislamiento térmico para aplicaciones industriales y de construcción, incluido el aislamiento de equipos instalados en edificios;</p> <p>Cubriendo e incluyendo:</p> <p>Métodos de prueba y cálculo para la transferencia de calor y humedad, temperatura y condiciones de humedad;</p> <p>Métodos de ensayo y cálculo para el uso de energía en edificios, incluido el entorno industrial construido;</p> <p>Métodos de ensayo y cálculo para cargas de calefacción y refrigeración en edificios;</p> <p>Métodos de ensayo y cálculo para la iluminación natural, la ventilación y la infiltración de aire;</p> <p>Métodos de ensayo in situ para el rendimiento térmico, higrotérmico y energético de edificios y componentes de edificios, datos de entrada para cálculos, incluidos datos</p>

		<p>climáticos; Especificaciones para materiales, productos y sistemas de aislamiento térmico con métodos de ensayo y criterios de conformidad relacionados; Terminología; y Revisión general y coordinación del trabajo sobre el desempeño térmico e higrotérmico dentro de ISO.</p> <p>Excluido: Diseño del entorno del edificio (ISO / TC 205); Métodos de ensayo y clasificación del rendimiento del equipo ambiental del edificio para su aplicación en el diseño de nuevos edificios y ensamblajes (ISO / TC 205); y Métodos de diseño y criterios para la iluminación natural, la ventilación y la infiltración de aire (ISO / TC 205)</p> <p>Cubriendo también: Normalización de la evaluación holística del rendimiento energético de los edificios nuevos y existentes, así como la modernización de edificios, en estrecha colaboración con la ISO / TC 205 mediante el grupo de trabajo conjunto TC163 / TC4 ISO / TC163.</p> <p>Incluyendo: Términos y definiciones; Límites del sistema para edificios y sistemas técnicos; Evaluación del rendimiento energético global de los edificios, teniendo en cuenta: El rendimiento energético de los elementos de construcción; Sistemas relacionados con la construcción (calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, ventilación, iluminación, sistemas de control, transporte y otros sistemas relacionados con la energía);</p> <p>Condiciones interiores y exteriores; Producción de energía local (en el lugar y en el distrito); (Uso de) fuentes de energía (incluidas las renovables); Puesta en marcha de edificios; Evaluación de la eficiencia energética global; y Expresar el rendimiento energético y la certificación de rendimiento energético de los edificios.</p>
<p>12 ISO/TC 165</p>	<p>Estructuras de madera.</p>	<p>Estandarización relativa a las aplicaciones estructurales de madera, paneles a base de madera, otros productos a base de madera y materiales fibrosos lignocelulósicos relacionados, incluyendo: Requisitos para el diseño; Propiedades estructurales, rendimiento y valores de diseño de materiales, productos, componentes y ensamblajes y; Métodos de prueba y requisitos para establecer las propiedades estructurales, mecánicas y físicas relacionadas y el rendimiento.</p>

13	ISO/TC 180	Energía solar.	Standardization in the field of solar energy utilization in space and water heating, cooling, industrial process heating and air conditioning.
14	ISO/TC 195	Maquinaria y equipo de construcción.	Normalización en el ámbito de las máquinas y equipos utilizados en obras, incluido el procesamiento de agregados, la construcción de carreteras y los equipos de mantenimiento relativos a la nomenclatura, aplicación, clasificación, clasificaciones, requisitos técnicos y métodos de ensayo, requisitos de seguridad,
15	ISO/TC 205	Diseño del entorno de la edificación.	<p>Estandarización en el diseño de nuevos edificios y modernización de edificios existentes para un ambiente interior aceptable y conservación y eficiencia de la energía. El diseño del entorno del edificio aborda los sistemas técnicos de construcción y los aspectos arquitectónicos relacionados, e incluye los procesos de diseño relacionados, los métodos de diseño, los resultados del diseño y la puesta en marcha del edificio de la fase de diseño. El ambiente interior incluye la calidad del aire y los factores térmicos, acústicos y visuales.</p> <p>Cubriendo e incluyendo: Aspectos de la sostenibilidad relacionados con la calidad ambiental interior y la energía que se pueden abordar en el diseño de edificios y el diseño de retroadaptaciones de edificios existentes; Principios generales del diseño del entorno del edificio; Diseño de edificios energéticamente eficientes; Sistemas de automatización y control de edificios en el diseño de edificios y retrofit; Calidad del aire interior en el diseño de edificios y retrofit; Ambiente térmico interior en el diseño de edificios y retrofit; Ambiente acústico interior en el diseño de edificios y retrofit; Entorno visual interior en el diseño de edificios y reformas; Diseño de sistemas de calefacción y refrigeración incluyendo radiante; y La aplicación de métodos de ensayo y calificación del rendimiento del equipo ambiental de construcción en el diseño de nuevos edificios y modernizaciones.</p> <p>Excluido: Otros factores ergonómicos; Métodos de medición de contaminantes atmosféricos y de propiedades térmicas, acústicas y de iluminación; Rendimiento térmico y uso de energía en el entorno construido (ISO TC 163); Métodos de prueba para el funcionamiento y la clasificación del equipo ambiental del edificio en edificios existentes; Inspeccionar o calificar edificios existentes; y, construcción.</p> <p>Cubriendo también: Normalización de la evaluación holística del rendimiento</p>

		<p>energético de los edificios nuevos y existentes, así como la modernización de edificios, en estrecha colaboración con el ISO / TC 163 mediante el grupo de trabajo conjunto TC163 / TC4 de la ISO / TC163. , Incluyendo:</p> <p>Términos y definiciones; Límites del sistema para edificios y sistemas técnicos; Evaluación del rendimiento energético global de los edificios, teniendo en cuenta El rendimiento energético de los elementos de construcción; Sistemas relacionados con la construcción (calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, ventilación, iluminación, sistemas de control, transporte y otros sistemas relacionados con la energía); Condiciones interiores y exteriores; Producción de energía local (en el lugar y en el distrito); (Uso de) fuentes de energía (incluidas las renovables); Puesta en marcha de edificios; Evaluación de la eficiencia energética global; y Expresar el rendimiento energético y la certificación de rendimiento energético de los edificios.</p>
16	ISO/TC 213	<p>Especificación y verificación de las dimensiones y geometría del producto.</p> <p>Normalización en el ámbito de las especificaciones geométricas de los productos (GPS), es decir, las especificaciones de macro y microgeometría que abarcan el tolerancia dimensional y geométrica, las propiedades superficiales y los principios de verificación conexos, los equipos de medida y los requisitos de calibración, incluida la incertidumbre de las medidas dimensionales y geométricas. La estandarización incluye la disposición básica y la explicación de las indicaciones de dibujo (símbolos).</p> <p>Excluido: La definición de las proporciones y dimensiones específicas de las indicaciones de dibujo (símbolos) y su ejecución.</p>
17	ISO/TC 242	<p>Gestión de la Energía.</p> <p>Los factores específicos que llevaron a la selección de ISO / TC 242 como ganador del Premio LDE 2012 son los siguientes: El uso de enfoques innovadores ha asegurado la relevancia mundial y la producción oportuna de la norma Un liderazgo efectivo y un verdadero deseo de promover la participación de los países en desarrollo ha sido primordial. La ISO / TC 242 se ha beneficiado del establecimiento de un enfoque único de liderazgo en cuatro países El programa de Fondos Fiduciarios ISO DEVCO permitió a representantes de países en desarrollo participar en reuniones La rotación de reuniones en diferentes regiones del mundo y el uso de reuniones en la Web para coincidir con diferentes husos horarios internacionales también ha facilitado la participación de los países en desarrollo ISO 50001 se ha beneficiado de una gestión proactiva del proyecto y de una coordinación eficaz de toda la estructura del comité, incluido un excelente apoyo para las reuniones.</p>

18	ISO/TC 257	Evaluación del ahorro de energía.	En proceso de construcción desde 2011.
19	ISO/TC 274	La luz y la iluminación.	La normalización en el campo de la iluminación en casos específicos complementarios a los temas de trabajo de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) y la coordinación de los proyectos de la CIE, de conformidad con la Resolución 19/1984 del Consejo y la Resolución 10/1989 del Consejo relativa a Visión, fotometría y colorimetría, que involucran radiación natural y artificial sobre las regiones UV, visible e IR del espectro, y temas de aplicación que abarcan todo el uso de luz, interior y exterior, rendimiento energético, incluyendo el medio ambiente, la biología no visual Y efectos sobre la salud.
20	CIE	International Commission on Illumination.	<p>La CIE es una organización sin fines de lucro técnica, científica y cultural cuyos objetivos son:</p> <p>Proporcionar un foro internacional para la discusión de todas las cuestiones relacionadas con la ciencia, la tecnología y el arte en los campos de la iluminación y la iluminación y para el intercambio de información entre países en estos ámbitos.</p> <p>Desarrollar estándares y procedimientos básicos de metrología en los campos de luz e iluminación.</p> <p>Proporcionar orientación en la aplicación de principios y procedimientos en el desarrollo de normas internacionales y nacionales en los ámbitos de la luz y la iluminación.</p> <p>Elaborar y publicar normas, informes y otras publicaciones relacionadas con todos los asuntos relacionados con la ciencia, la tecnología y el arte en los campos de la luz y la iluminación.</p> <p>Mantener el enlace y la interacción técnica con otras organizaciones internacionales que se ocupan de cuestiones relacionadas con la ciencia, la tecnología, la normalización y el arte en los campos de la luz y la iluminación.</p>

21	WMO	World Meteorological Organization.	<p>Como organismo especializado de las Naciones Unidas, la WMO se dedica a la cooperación y la coordinación internacionales sobre el estado y el comportamiento de la atmósfera terrestre, su interacción con las tierras y los océanos, el clima y el clima que produce y la consiguiente distribución de los recursos hídricos.</p> <p>Los programas de la OMM facilitan y promueven: El establecimiento de redes de estaciones de observación para proporcionar datos meteorológicos, climáticos y relacionados con el agua; El establecimiento y mantenimiento de centros de gestión de datos y sistemas de telecomunicaciones para la provisión y el intercambio rápido de datos meteorológicos, climáticos y relacionados con el agua; La creación de estándares de observación y monitoreo para asegurar una uniformidad adecuada en las prácticas y procedimientos empleados en todo el mundo y, por lo tanto, verificar la homogeneidad de los datos y estadísticas; La aplicación de la ciencia y la tecnología en la meteorología operativa y la hidrología a la aviación, el transporte (aéreo, terrestre y marítimo), la gestión de los recursos hídricos, la agricultura y otras esferas prioritarias; Actividades en hidrología operativa, así como una cooperación más estrecha entre los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales en los estados y territorios donde están separados; y La coordinación de la investigación y la formación en meteorología y campos afines.</p>
----	-----	------------------------------------	--

Tabla 1. Cuadro comparativo de Normatividad y Aspectos Generales.⁸

⁸ **ISO/TC 12.** Fuente: http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=46202. Fecha de consulta: 25/01/17

ISO/TC 29. Fuente: http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/other_bodies/iso_technical_committee.htm?commid=47464. Fecha de consulta: 25/01/17.

ISO/TC 43. Fuente: http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=48458. Fecha de consulta: 25/01/17.

ISO/TC 48. Fuente: http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/other_bodies/iso_technical_committee.htm?commid=48908. Fecha de consulta: 25/01/17.

ISO/TC 59. Fuente: http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee%3Fcommid%3D49070. Fecha de consulta 25/01/17.

ISO/TC 98. Fuente: http://www.iso.org/iso/home/standards_development/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=50930. Fecha de consulta 25/01/17.

ISO/TC 135. Fuente: http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/other_bodies/iso_technical_committee.htm?commid=52398. Fecha de consulta 25/01/17.

ISO/TC 146 Fuente: http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee%3Fcommid%3D52702. Fecha de consulta 25/01/17.

ISO/TC 160. Fuente: http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee%3Fcommid%3D53408. Fecha de consulta 25/01/17.

ISO/TC 162. Fuente: http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/other_bodies/iso_technical_committee.htm?commid=53444. Fecha de consulta 25/01/17.

ISO/TC 163. Fuente: http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/other_bodies/iso_technical_committee.htm?commid=53476. Fecha de consulta: 25/01/17.

ISO/TC 165. Fuente: http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=53584. Fecha de consulta: 25/01/17.

ISO/TC 180. Fuente: http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=54018. Fecha de consulta: 25/01/17.

ISO/TC 195. Fuente: http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee%3Fcommid%3D54540. Fecha de consulta: 25/01/17.

ISO/TC 205. Fuente: http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=54740. Fecha de consulta: 25/01/17.

ISO/TC 213. Fuente: http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=54924. Fecha de consulta: 25/01/17.

ISO/TC 274. Fuente: http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee?commid=4418564. Fecha de consulta: 25/01/17.

1.5. Laboratorios dentro de la UNAM.

La Universidad cuenta con laboratorios en los cuales es posible llevar a cabo análisis y pruebas de diversa índole. Es posible llegar a la caracterización tanto de materiales innovadores como de elementos constructivos a partir del análisis de sus componentes. Todos disponibles y funcionando activamente para la comunidad universitaria como para la industria del país.

El **Instituto de Ingeniería**,⁹ cuenta con diversos laboratorios en los cuales se realizan pruebas para nuevos materiales y sistemas, mencionaremos algunos de ellos.

El laboratorio de Estructuras y materiales inició sus actividades en 1956, en él se pueden evaluar diversos sistemas estructurales, su seguridad y durabilidad, así como su comportamiento y diseño de estructuras expuestas a diversas acciones estáticas, dinámicas y de deterioro. Los estudios que han realizado principalmente han sido con acero, mampostería y concreto reforzado. El equipo instalado permite el manejo y prueba de elementos escala 1:1, pueden determinarse propiedades mecánicas, deformaciones, pruebas de fatiga, velocidades y aceleraciones.

En el **Laboratorio de Energía Renovable y Diseño Bioclimático**,¹⁰ se realizan pruebas para medir la conductividad térmica de los materiales de construcción, evaluación de la transmitancia de diferentes materiales,

CIE International Commission on Illumination. <http://www.cie.co.at/index.php/LEFTMENU/About+us/?service=restart>. Fecha de consulta: 23/01/17.

WMO World Meteorological Organization. <https://public.wmo.int/en>. Fecha de consulta: 23/01/17

⁹ <http://www.iingen.unam.mx/es-mx/Paginas/default.aspx> Fecha de consulta: 20/10/16.

¹⁰ <http://www.iingen.unam.mx/es-mx/Investigacion/Laboratorios/Paginas/EnergiaRenovableyDisenoBioclimatico.aspx> Fecha de consulta: 25/10/16.

también cuentan con un simulador solar que permite determinar y evaluar la eficiencia de los dispositivos de sombreado en los edificios. Sus mayores cooperaciones han sido con dependencias gubernamentales como CFE¹¹, CONUEE¹², INFONAVIT¹³, CONAVI¹⁴, CONACULTA¹⁵, y CONACYT¹⁶. El equipo con que cuenta este laboratorio va desde sensores y lámparas de luz Ultravioleta hasta un equipo para la evaluación de la conductividad térmica de los materiales.

El **Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET)**¹⁷ es una entidad académica perteneciente a la Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM que se caracteriza por el perfil multidisciplinario de sus académicos. Este centro define cuatro campos de conocimiento en los cuales se enfocan todos sus investigadores, independientemente de su especialidad, éstos son:

- Instrumentación científica
- Micro y nanotecnologías
- Tecnologías de la información
- Enseñanza de la ciencia y la tecnología

Entre otros servicios, cuenta con Medición de Aislamiento y Absorción sonora (acústica), manufactura de materiales y tecnologías, moldeo por vacío, pruebas no destructivas en materiales (tomografía 3D), estudios de

¹¹ Comisión Federal de Electricidad (**CFE**) <http://www.cfe.gob.mx/paginas/Home.aspx>

¹² Comisión Nacional para el uso Eficiente de la Energía (**CONUEE**) <https://www.gob.mx/conuee>

¹³ Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (**INFONAVIT**)
<http://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/infonavit/inicio>

¹⁴ Comisión Nacional de Vivienda (**CONAVI**) <https://www.gob.mx/conavi>

¹⁵ Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (**CONACULTA**) <http://www.gob.mx/cultura>

¹⁶ Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) <http://www.conacyt.gob.mx/>

¹⁷ <http://www.ccadet.unam.mx/> Fecha de consulta: 10/12/16.

materiales nano-estructurados y biomateriales, entre otros. Cuenta con equipo de vanguardia para la investigación, da servicio a toda la Universidad y a la industria en general.

1.6. Laboratorios Internacionales.

Para la conformación del estado de arte de ésta investigación hemos revisado dos ejemplos de laboratorios Experimentales a gran escala en los cuales se desarrolla Investigación de Vanguardia, se prueban materiales comerciales, criterios de diseño, criterios de ahorro energético, todos en condiciones de uso normal.

KUBIK by Tecnalía.¹⁸

Con sede en España, El instituto Tecnalía, se dedica a la Investigación, Innovación y desarrollo tecnológico. Con apoyo del Gobierno español, La Unión Europea y la iniciativa privada forman equipos multidisciplinarios que trabajan conjuntamente en la investigación de diversos temas como la medicina, transporte, servicios para la industria, energía y medio ambiente,. Cuentan con varias sedes de investigación distribuidas por todo el país (Barcelona, Madrid, San Sebastián, Vizcaya), incluso cuentan con oficinas en Italia, Francia, Serbia y México en la ciudad de Monterrey.

Uno de los principios fundamentales de éste instituto es la vinculación con la industria. Comúnmente reciben peticiones de empresas dedicadas a la fabricación de materiales o insumos para la construcción con la finalidad de realizar pruebas a nuevos materiales o de validar el comportamiento de los existentes. Esta necesidad de comprobar y censar el desempeño de

¹⁸ <http://www.tecnalia.com/en/sustainable-construction/infrastructure-a-equipment/infrastructure-a-equipment.htm> Fecha de consulta 29/02/2016.

sistemas constructivos en condiciones reales de uso generó el proyecto KUBIK que a continuación describimos.

KUBIK es un concepto innovador de pruebas escala 1:1, inaugurado en el año 2010, consiste en un edificio de tres niveles con un sótano que alberga instalaciones. La superficie de desplante es de 100 m² el cubo observa las cuatro orientaciones, la particularidad es que esta modulado de tal manera que se pueden modificar las cuatro fachadas, así como los interiores de manera sencilla. Esta instrumentado con más de 800 sensores de última generación que le permiten monitorear el comportamiento total del proyecto. La azotea está desarrollada como una azotea verde y tiene instalado una estación meteorológica que le permite medir las condiciones externas y compararlas con el interior. La línea principal del objeto es el uso eficiente de la energía, pero también se prueba comportamiento lumínico, acústico y de calidad del ambiente interior.



Imagen 1. Edificio Kubik by TecNALIA. Fuente: www.tecnalia.com Fecha de consulta: 16/01/17.

FLEXLAB ® Berkeley University. US Department of Energy (DOE) ¹⁹

En la opinión de algunos investigadores éste es el edificio más importante de los Estados Unidos de América, consiste en una plataforma de pruebas enfocada principalmente a la eficiencia energética. La conforman cuatro edificios, uno de los cuales gira 360°, están completamente instrumentados.

En él se someten a prueba diversos sistemas de ahorro de energía y se pueden comprobar criterios de diseño y ahorros potenciales a gran escala. Al medir el consumo de energía de un edificio en condiciones normales de uso y en una escala significativa, FLEXLAB proporciona una evaluación en tiempo real del manejo de energía de la construcción. Esta plataforma ofrece una manera sistemática de evaluación energética test-drive, identifica problemas y permite hacer cambios antes de iniciar la excavación del nuevo proyecto. En ésta plataforma se pueden obtener los siguientes beneficios:

- ✓ Optimizar los sistemas integrados para maximizar el ahorro de energía.
- ✓ Asegurar el confort de los ocupantes y facilidad de uso.
- ✓ Verificar económicamente los valores de costo-beneficio.
- ✓ Entrenar y capacitar a los operadores del edificio.
- ✓ Construir la confianza en las nuevas tecnologías.

¹⁹ <https://flexlab.lbl.gov/> Fecha de consulta 29/02/2016



Imagen 2. DOE's FLEXLAB. Berkeley University. Fuente: <https://flexlab.lbl.gov/> Fecha de consulta: 29/02/16.

1.7 Investigaciones recientes.

Hemos analizado diversas investigaciones realizadas tanto en el extranjero como dentro del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, en las cuales se han utilizado módulos de prueba, con diferentes escalas y dimensiones, en espacios habitados, inclusive contrastan simulaciones por computadora con modelos físicos a escala. En éstas investigaciones se miden variables físicas y climatológicas con equipo especializado. En todos lo casos se reportan y contrastan los resultados.

González-Cruz y González-García (2013) en la ciudad de Maracaibo, Venezuela analizaron el enfriamiento pasivo en clima húmedo a través de la utilización de un techo estanque, aplicando el principio del enfriamiento evaporativo indirecto. Los módulos de prueba y control observan las mismas característica y dimensiones, miden 80 cm de ancho por 80 cm de largo por

47 cm de altura, fabricados con triplay de 15mm, pintados de color blanco al exterior y con aislamiento interno en muros a base de poliestireno expandido de 4.5 cm de espesor, para minimizar la ganancia de calor en a través del techo, le fueron colocados 15 cm del mismo aislamiento térmico. El tanque colocado en el techo fue construido con lámina calibre 18 con las siguientes medidas 68 cm de ancho por 68 cm de largo por 6.5 cm de altura, con un volumen de 30 lts. Las mediciones internas de cada módulo las realizaron con equipos HOBO U12 (idénticos a los que cuenta el LIM) los investigadores realizaron su experimento durante la época de mayor temperatura y mayor humedad en esa región (Septiembre – Octubre). Las observaciones y experimentos efectuados arrojaron como resultado que el techo estanque con agua ventilado y sombreado resultó ser el de mayor eficiencia con un valor de PEM (Potencial de enfriamiento Medio) de 319.2 Wh/m² día. (González Cruz, 2013)

Valeriano, Arturo (2010) (Valeriano Flores, 2010) (Espacio experimental a escala, ubicación Centro Histórico de la Ciudad de México, ejercicio sobre Luz Natural) En esta disertación se evaluaron diferentes métodos de cálculo de iluminación natural en espacios arquitectónicos. Utilizando los datos obtenidos en el Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la UNAM, se validaron los modelos de eficacia luminosa para cielo despejado y cielo medio nublado. Uno de sus experimentos implementa a escala el salón de una casa del Centro Histórico "...utilizó un modelo a escala 1:5 compuesto por paneles de madera pintados en color blanco mate. La fachada se construyó con dos capas de cartón corrugado formando una -caja- para obtener el espesor del muro. Para representar las ventanas se utilizaron vidrios claros de 4mm, montados sobre marcos de

plástico y ángulos de acero.” (Valeriano Flores, 2010). Concluye en ésta etapa que los valores obtenidos a través del cálculo y la simulación mediante software son mayores a los verificados con los instrumentos.

García, Miriam (García Alcántara, 2012) (Espacio experimental escala 1:1, ubicación Centro Histórico de la Ciudad de México, ejercicio sobre Luz Natural, transmisión a través de lumiducto). Fragmento tomado del documento original *“El objetivo principal de esta tesis fue dar a conocer estrategias de iluminación natural, especialmente investigar sobre una propuesta para aportar luz solar en aquellos espacios ya construidos en los que no es posible tener acceso a ventanas o tragaluces, o aquellos en los cuales estas estrategias no son suficientes para proveer los niveles de iluminación adecuados a las actividades a realizar. El uso de Sistemas de Transmisión de Luz Natural (STLN) general tal alternativa y se comprueba en la investigación la hipótesis en la cual se afirma que es posible satisfacer las necesidades lumínicas por medio de luz natural a través de la tecnología, reduciendo la demanda eléctrica en los espacios arquitectónicos de la Ciudad de México, sin embargo como se comprobó en la fase experimental, estos sistemas en la estación de invierno en la latitud de estudio son capaces de mantener niveles de iluminación adecuados durante seis horas al día, por lo que se requerirá de iluminación complementaria en las horas adicionales para el uso de oficina, pero aún en esos casos se está contribuyendo al ahorro energético al tratarse de consumos menores por ser únicamente complemento y no fuente primaria de iluminación. Además del bienestar físico y psicológico de las personas que la luz natural conlleva.*

Se concluye que los sistemas pasivos, a base de ductos con paredes internas altamente reflectantes que se distribuyen de manera comercial en nuestro país, son viables en la latitud de estudio, en cuanto a rendimiento o desempeño. Con la prolongación del ducto de 1.20m a 4.20m se comprobó un descenso en los niveles

de iluminación, especialmente después del mediodía, sin embargo estas pérdidas no representaron una ineficiencia del sistema para una longitud de 4.20 metros. En el invierno la captación a 45° respecto de la horizontal y orientado al sur presentó mejores resultados, excepto en el mediodía solar que funcionó mejor la captación a 0°.” (García Alcántara, 2012)

Pazos, Priscilia (2014) (Módulo de experimentación a escala. Ubicación Unidad de Posgrados, ejercicio Térmico, enfriamiento utilizando celdas Peltier) Fragmento tomado del documento original. *“Al utilizar una placa tipo Peltier (dispositivo termoeléctrico que al hacer circular una corriente induce frío por una de sus caras y por la otra calor) y aprovechar su cara fría en épocas de calor, se puede lograr un equilibrio térmico en el interior de un espacio que difícilmente pueda ser modificado físicamente y no pueda lograrse de forma pasiva. Se desarrollará un prototipo de climatización termoeléctrico, cuya fuente de energía será una placa Seebeck (genera corriente eléctrica a partir del calentamiento de ésta con radiación solar, efecto inverso al Peltier), que producirá el efecto frío-calor en la placa Peltier necesario para enfriar el viento del exterior, logrando enfriarlo y enviarlo al interior de espacio con el objetivo general de reducir la temperatura de un espacio en épocas de calor, evitando o reduciendo el uso de equipos de aire acondicionado y a su vez, reducir el gasto energético en un espacio.*

El prototipo, se ubicará en un módulo de experimentación, cuyas paredes serán aisladas térmicamente. Una vez colocado, se realizarán las mediciones de radiación (fuente de energía), temperatura y humedad (interior, exterior y de la envolvente), con el fin de conocer el grado de mejora en el espacio con la introducción del prototipo”. (Pazos Pérez, 2014)

Alvarado Castañeda, Alejandra (2014). (Espacio experimental a escala, Ubicación Unidad de Posgrados, ejercicio Térmico, panel de ferrocemento con aislamiento térmico). Fragmento tomado del documento original. *“El ferrocemento es un material para la construcción de poco espesor, de 2 a 6 cm dependiendo la actividad destinada a cumplir, con varias mallas de alambre de acero de pequeño diámetro (de 2 a 6 mallas totales) distribuidas uniformemente en dos direcciones, mortero y arena. Se puede emplear tanto para construir espacios y elementos ortogonales así como espacios orgánicos, es decir, de formas libres, cuya resistencia estructural está dada por la geometría de las piezas.*

El tema nace de la preocupación por el inconveniente que presenta el ferrocemento por su escaso espesor y gran cantidad de acero transfiriendo rápidamente el clima exterior. Actualmente esta problemática se resuelve de manera poco satisfactoria con una capa de 2” de espuma de poliuretano y poliuria o con una cubierta verde adicional. Pero ésta espuma es altamente contaminante, difícilmente reciclable y cancerígena. (Reglamento (CE) n° 842/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo. (2006). Es por eso que se exploran otras opciones de aislamiento”. (Alvarado Castañeda, 2014)

Padilla, Alejandra (2014) (Espacio experimental Escala 1:1, ubicación Unidad de Posgrados; transmisión de luz natural a través de fibra óptica) En ésta investigación se estudió el recurso lumínico y su transmisión a través de la fibra óptica para iluminar un espacio interior. Se ponderó la eficiencia del dispositivo de captación y transmisión de luz natural llamado “Parans”. Se logró establecer un algoritmo el cual intenta reflejar el funcionamiento del sistema y su eficiencia al momento de iluminar un espacio interior con luz natural. El espacio experimental utilizado fue una bodega de

aproximadamente 5.00 m² de área libre, con una altura de 3.00 m. El dispositivo se instaló en la azotea de la Unidad de Posgrados justo en la parte superior de la bodega mencionada. (Padilla Quiñones, 2014)

The image shows a 3D CAD model of a mechanical assembly, possibly a bracket or a support structure, rendered in a dark gray color. The model is set against a bright yellow background. The assembly consists of several interconnected parts, including a central horizontal beam and various angled supports. A large, white, stylized number '2' is positioned in the lower right quadrant of the image. The overall appearance is that of a technical drawing or a digital rendering of a mechanical component.

2

Desarrollo conceptual del Módulo
de Experimentación. (ME)

2. Desarrollo conceptual del Módulo de Experimentación. (ME)

Como se ha mencionado la plataforma de experimentación tiene como objetivo solventar las necesidades de espacio experimental en el Programa. Las premisas que se observaron fueron principalmente:

- El aprovechamiento del módulo de diseño que observan los materiales comerciales.
- Aprovechar al máximo la capacidad de carga de la estructura metálica que da soporte a cada módulo.
- Conceptualizar un módulo de experimentación versátil y funcional para las investigaciones en el campo de Tecnología.

La plataforma de experimentación está concebida para que en ella se realicen experimentos, se comprueben hipótesis y se ejecuten pruebas tanto térmicas, como lumínicas y acústicas.

Durante la fase conceptual nos acercamos con las empresas USG de México²⁰, COREV de México²¹ y Soluciones 101²², con la finalidad de generar un convenio de colaboración para que las empresas participaran en el proyecto donando materiales de construcción así como cursos y asesorías para la correcta instalación de sus productos. Planteamos desde el inicio la colaboración con éstas empresas, ya que son líderes en su ramo y conocemos sus productos. La intención siempre fue definir las condiciones constructivas de la envolvente de doble capa para alcanzar la especificación pretendida.

²⁰ <https://www.usg.com/content/usgcom/spanish.html>

²¹ <http://corev.mx/HOME>

²² <http://www.soluciones101.com.mx/>

2.1. Descripción del ME.

La Plataforma de Experimentación está conformada por dos módulos independientes soportados cada uno sobre una estructura metálica. Las dimensiones de la estructura fueron diseñadas para que dentro de éste se pudiera alojar la habitación mínima que permite el *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico*.

Además se pensó en aprovechar los materiales al máximo, por lo que cada módulo es un cubo de 3.00 m de lado por 3.00 m de altura, que puede girar 360° sobre su propio eje. La superficie interior del módulo es de 6.76 m², un volumen interior total de 21.58m³.

Esta estructura está recubierta verticalmente con una envolvente ligera de doble capa, con aislamiento tanto al exterior como al interior.



Imagen 3. Estructura base de los Módulos de Experimentación.

Para la envolvente horizontal, el sistema de cubierta, cuenta con aislamiento externo y un sistema de impermeabilización prefabricado. Para el piso y la parte baja de la estructura, al exterior la envolvente y en la parte central de la estructura se cuenta con aislamiento, al interior el piso es de madera.

En las Imágenes 4 y 5 podemos apreciar la construcción del sustrato base de la envolvente exterior, que funcionó como soporte a todas las distintas capas de aislamiento de la cual se conforma.



Imagen 4. Proceso de fabricación del bastidor para la envolvente.



Imagen 5. Sustrato base de la envolvente exterior.

2.1.1. Ubicación.

El **ME** se localiza en la Azotea del edificio “J” de la nueva Unidad de Posgrados, dentro del perímetro de Ciudad Universitaria, en la Ciudad de México. Sus coordenadas geográficas son 19°18'33.23" Norte, 99°11'6.82" Oeste. Su posición según coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) es: Zona 14 Q, coordenada Este 480541.14 m E, coordenada Norte 2135054.19 m N.

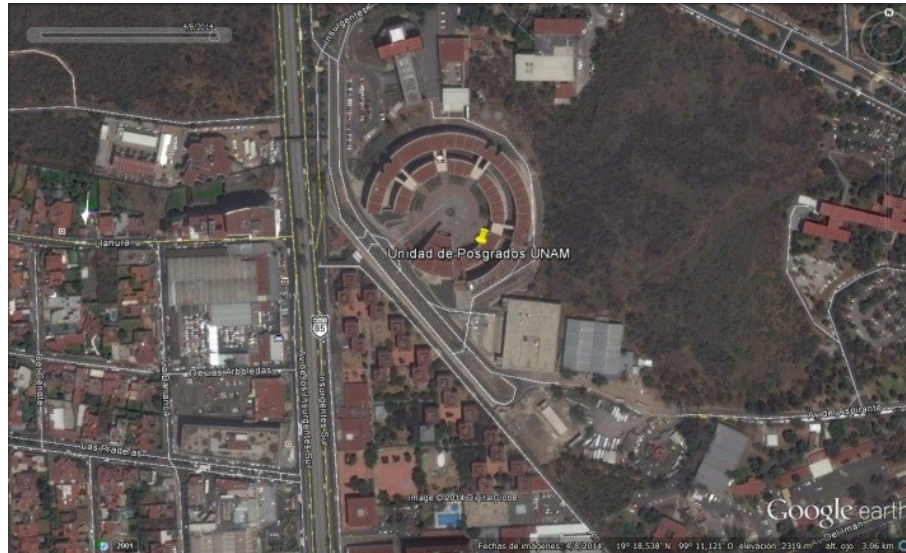


Imagen 6. Localización Módulos de Experimentación. Fuente Google Earth.

2.1.2. Componentes.

La unión de tres subsistemas básicos permite el funcionamiento de la plataforma de experimentación. Podemos clasificarlos de la siguiente manera.

1. *Estructura metálica.* Da soporte y estabilidad a cada uno de los módulos. Permite a su vez su rotación independiente.
2. *Sistema de envolvente.* Brinda aislamiento del exterior. Sus características físicas permiten la estabilidad térmica interna.
3. *Cara de experimentación.* Es el lugar donde se ubican los experimentos, su configuración permite el intercambio de muestras tanto de materiales como de sistemas constructivos, para su posterior evaluación en el interior del **ME**.

2.1.2.1. Estructura metálica.

La estructura que da soporte a cada uno de los módulos está conformada por perfiles de acero de 4" x 2", formando dos bastidores. El bastidor inferior soporta cuatro columnas sobre las cuales se monta el bastidor superior. La base que soporta esta estructura está construida con vigas IPR de 8" de peralte.

Esta base tiene 5 patas de placa que permite nivelarla sobre la superficie de desplante. En el centro de la base se localiza el dispositivo que permite el giro de 360° de todo el sistema. La estructura está calculada para soportar una carga máxima de 4 toneladas, éste es límite de carga de cada módulo. Fue fabricada en taller y posteriormente transportada a la Unidad de Posgrado. La elevación se realizó por medio de una grúa tipo "Titán" la mañana del día 6 de Febrero de 2014.



Imagen 7. Llegada de la estructura metálica a la Unidad de Posgrados.



Imagen 8. Trazo y ubicación de la base en la azotea.



Imagen 9. Elevación de la base.



Imagen 10. Nivelación de la base.



Imagen 11. Elevación estructura superior.



Imagen 12. Acoplamiento Estructura superior y base.



Imagen 13. Estructura y base montadas.



Imagen 14. Estructura pintada con anticorrosivo.

2.1.2.2. Sistema de envolvente.

La envolvente es un sistema de doble capa conformada por distintos materiales con espesores y características térmicas específicas.

La envolvente vertical está construida con diferentes capas de aislamiento, el valor "U"²³ de éste estrato es de 0.11916 W/m² °K. La envolvente horizontal inferior, establecida como el piso del módulo tiene un valor "U" de 0.16328 W/m² °K.

La cubierta observa a su vez diferentes capas de aislamiento y el sistema de impermeabilización, el valor "U" que presenta es de 0.09331 W/m² °K. La Cara de Experimentación tiene un valor "U" de 0.10578 W/m² °K.

²³ **Valor "U"**. Transmitancia térmica, cantidad de calor que fluye por un elemento en una unidad de superficie y tiempo.

El objetivo de esta configuración de envolvente es alcanzar la estabilidad térmica interior durante las 24 horas del día. En la Tabla 2 se muestran los diferentes componentes de la envolvente tanto horizontal como vertical, así como sus espesores, características físicas (Densidad, Coeficiente de Conductividad térmica, Resistencia térmica y Valor “U”).

ELEMENTO	ESPESOR	DENSIDAD PROMEDIO	VALOR “K” PROMEDIO	RESISTENCIA TÉRMICA	VALOR “U”
	(m)	(Kg/m3)	(W/m2 °K)	(espesor/ “K”)	(1 / Σ T. R.)
Envolvente Vertical. Área = 10.24 m² cada fachada.	0.3044	662.85	0.19	8.256	0.11916
Fachada de Experimentación. Área = 5.56 m²	0.32	661.34	0.25	9.317	0.10578
Sistema Piso. Área = 9.00 m²	0.22	444.70	0.13	6.037	0.16328
Sistema Cubierta Área = 10.24 m²	0.36	568.12	0.17	10.629	0.09331

Tabla 2. Espesor, valores y propiedades físicas de la envolvente.



Imagen 15. Fabricación del bastidor para la envolvente.



Imagen 16. Colocación de barrera de vapor.



Imagen 17. Fabricación de la envolvente externa. (USG Durock) Vano de la Cara de Experimentación.



Imagen 18. Colocación del Sistema de aislamiento térmico en la envolvente. (PRECOR® de Corev)



Imagen 19. Envolvente exterior terminada.

2.1.2.3. Cara de Experimentación.

La *Cara de Experimentación* es la superficie donde se realiza el experimento. Esta superficie está conformada por un bastidor de madera con el cual se forman 15 nichos. Para efectos de ésta investigación, y con la finalidad de cumplir con el objetivo de establecer la línea base de comportamiento térmico, cada uno de los nichos está recubierto con el sistema de envolvente vertical original descrito con anterioridad.

A futuro en cada uno de los nichos se podrá intercambiar el material original, por otro, el cual se pretende someter a prueba dentro del módulo de experimentación. La *Cara de Experimentación* cubre una superficie total 5.55 m², con respecto a la superficie interior en planta (7.95 m²). El vano puede llegar hasta el 69.8% de apertura con respecto a la superficie en planta.

La *Cara de experimentación* tiene como objetivo permitir el intercambio sencillo de cada módulo, inclusive de secciones completas de la misma cara, con el objetivo de ser flexible y adoptar cualquier configuración posible previendo la utilización de ésta para futuras investigaciones.

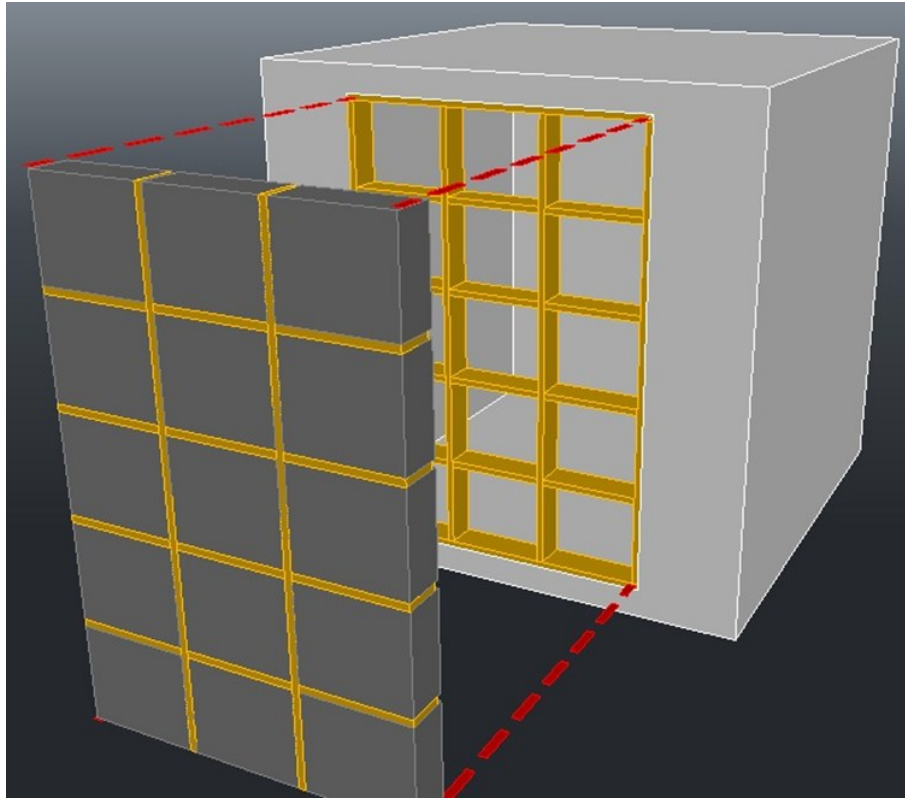


Imagen 20. Proyecto Cara de Experimentación.

2.2. Funcionamiento del ME.

La plataforma está conformada por dos módulos, uno de ellos sirve de referencia y otro se establece como el de experimentación. Ambos están instrumentados con termistores de superficie Campbell Scientific modelo 110 PV (ver imagen 21) colocados en la cara interior de la cavidad de la envolvente vertical y la cubierta. A su vez se registra la temperatura de bulbo seco utilizando una Probeta marca Campbell Scientific modelo 107 (ver imagen 22).



Imagen 21. Termistor de Superficie Campbell Scientific modelo 110 PV.



Imagen 22. Probeta sensible a la temperatura, Campbell Scientific modelo 107.

La temperatura media Radiante ²⁴ del interior se mide utilizando una esfera de cobre de 6" de diámetro pintada de color negro mate, a la cual se le instaló en el interior un termopar tipo E marca Campbell Scientific modelo FW1.

La temperatura de bulbo húmedo y la Humedad Relativa del interior del módulo se miden utilizando un sensor HOBO U12 de la marca Onset.



Imagen 23. Hobo U12.

Todos y cada uno de los sensores son programados para tomar registros cada minuto durante las 24 horas del día. La orientación de la cara de Experimentación durante la etapa de calibración del módulo siempre fue hacia el Norte.

²⁴ **Temperatura Media Radiante.** Representa el calor emitido por los cuerpos que rodean el entorno, es representativa de la sensación térmica al interior de un espacio.

2.3. Comprobación analítica del sistema de envolvente del ME

Como parte del desarrollo de proyecto, se realizó una simulación del comportamiento térmico del ME. Inicialmente desarrollamos un modelo utilizando Autodesk Revit Architecture 2017, en él fue posible configurar todas las componentes de la envolvente y modificar las propiedades físicas y térmicas de cada uno de los materiales.

La simulación térmica y energética ejecutada, arroja los siguientes resultados:

- La Imagen 24 nos muestra los **Datos Mensuales de Temperatura de Diseño**, el promedio de Temperatura de diseño para el interior del cuarto varía de 14°C en Diciembre y Enero (Invierno) hasta los 19°C en Abril y Mayo (Primavera). Se observa que entre los meses de Mayo y Septiembre (correspondientes a la Tercera Fase de Experimentación) el promedio de Temperatura de Bulbo seco varía de los 17 °C y hasta los 19°C, resultados similares a los que arroja la Tercer Fase de Experimentación.

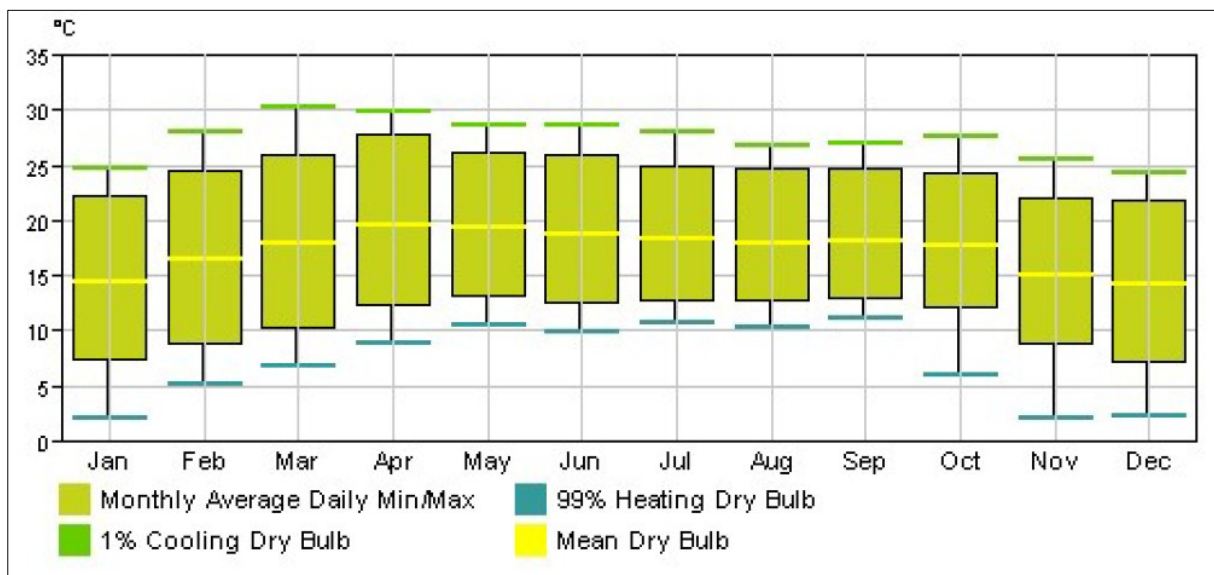


Imagen 24. Datos de Temperatura de Diseño Mensual. Simulación Revit 2017.

- La Imagen 25 nos muestra el **Comportamiento anual de la Temperatura**, nos muestra el número de horas en las cuales se repite una temperatura similar durante el año. La escala está definida por rangos de temperatura, divididos a cada 3°C (0°C, 3°C, 6°C, 9°C, 12°C, 15°C, 18°C, 21°C, 24°C, 27°C y superiores). Podemos apreciar que referente a la Temperatura de bulbo Seco, el rango con mayor incidencia es el de 15°C, seguido por el rango de 12°C y posteriormente el de 18°C. Esta información sirve como referencia para visualizar el comportamiento interno del ME, durante la Fase Tres de Experimentación comprobamos la cercanía que tienen estos datos con el comportamiento censado al interior del ME.

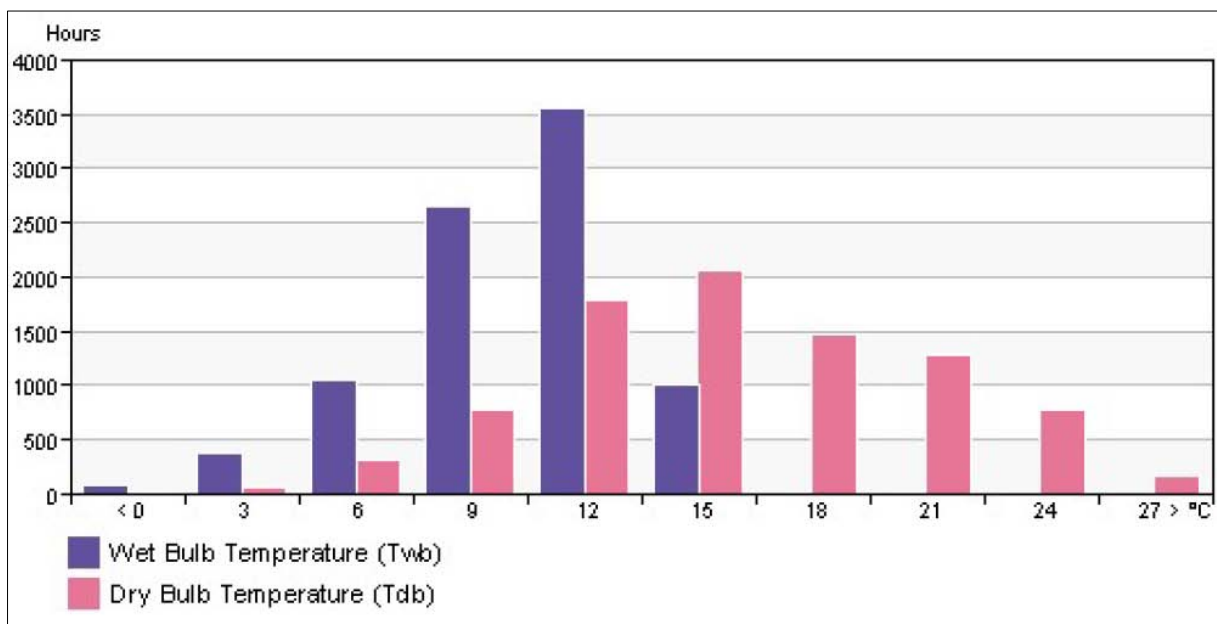


Imagen 25. Comportamiento Anual de la Temperatura, número de horas por rango de Temperatura. Simulación Revit 2017.

- La imagen 26 nos muestra los **Promedios Diurnos Mensuales de Temperatura**, en ella se muestran los datos de Radiación Global y Radiación Difusa, los cuales se pueden utilizar como referencia para el

cálculo de una envolvente. También se muestran los datos mensuales de Temperatura de Bulbo Seco y la Temperatura de Bulbo Húmedo, los datos máximos que maneja la simulación varían desde los 22°C y hasta los 28°C. Estos datos son menores a los registrados en la Temperatura Exterior.

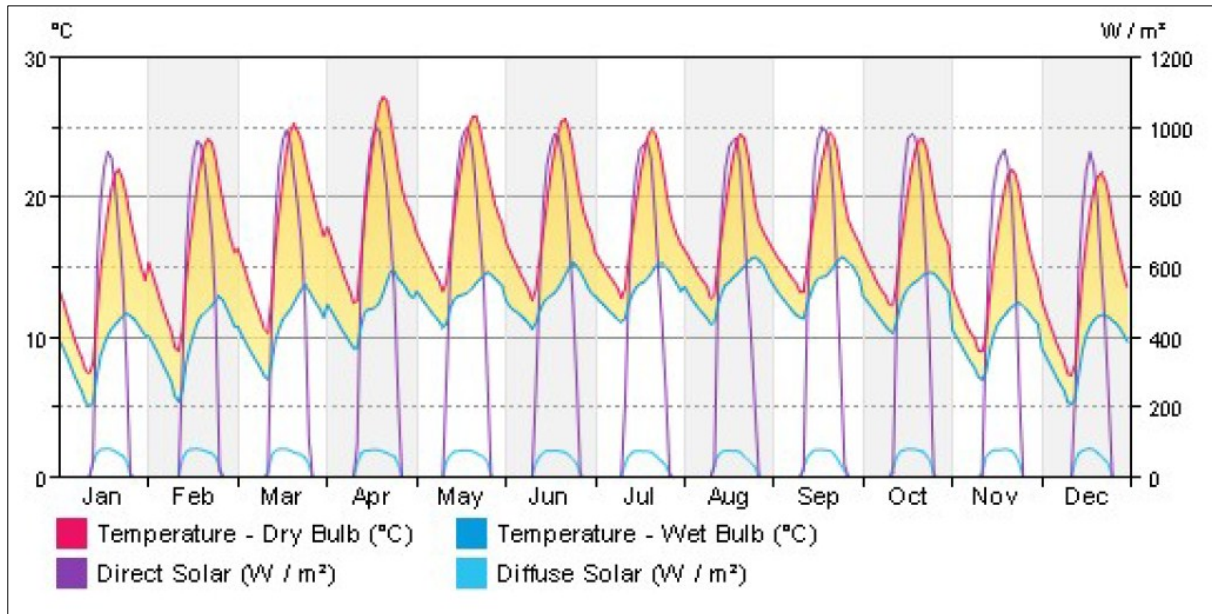


Imagen 26. Promedios Diurnos de Temperatura Mensual. Simulación Revit 2017.

El informe completo sobre la Simulación Energética realizada en Autodesk Revit 2017, se encuentra en los Anexos de éste documento.

The background features a complex, abstract geometric design. It consists of several overlapping, angular shapes in various shades of green and purple. The colors range from bright, vibrant greens to deep, dark purples. The shapes are layered, creating a sense of depth and movement. The overall composition is dynamic and modern.

3

Validación del Módulo de
Experimentación. (ME)

3. Validación del Módulo de Experimentación.

El objetivo de ésta investigación es caracterizar el comportamiento térmico del ME. Para lograrlo es necesario censar su comportamiento y compararlo con las variables meteorológicas que lo afectan directamente (Radiación Global, Temperatura y Humedad Relativa.)

3.1. Generalidades.

Una vez terminada la construcción de la cara exterior de la envolvente de los ME, se colocaron instrumentos, los cuales se especifican más adelante, con la intención de comenzar a conocer el comportamiento interno de los módulos.

3.2. Plataforma de Observación.

Se instaló en la azotea del edificio “J” de la Unidad de Posgrado una estación meteorológica marca HOBO U30, distribuida por la empresa ONSET, la cual nos permite censar las siguientes magnitudes: velocidad del viento (m/s), dirección (N, S, E, W), precipitación pluvial (mm), presión barométrica (mm Hg), temperatura (°C), humedad relativa (%), irradiancia (W/m²), iluminancia (luxes). Los registros se toman cada minuto durante las 24 horas del día, éstos son guardados en un Adquisidor de datos (Datalogger) marca HOBO, integrada a la estación. La descarga de los datos se



Imagen 27. Estación meteorológica HOBO U30.

realiza por medio del Software HOBOWare, utilizando una interfaz USB hacia el equipo de cómputo.

Adicionalmente en el mismo sitio, se instalaron dos piranómetros marca Kipp & Zonen modelo CMP-21 con los cuales se mide irradiancia global. A su vez se instalaron un par de fotómetros marca Licor modelo 210-LS con los cuales se mide iluminancia directa y difusa. Ambos bloques de instrumentos se conectarán a un adquisidor de datos marca Campbell Scientific modelo CR1000 y se tomaron registros cada minuto. La descarga de los datos se realiza una vez por semana a través de la interfaz USB conectando directamente el adquisidor al equipo de cómputo.

3.3. Módulo de Experimentación.

Se configuró la envolvente para alcanzar un coeficiente de conductividad térmica suficiente como para reducir al máximo posible las pérdidas y ganancias de calor que afecten las condiciones internas de los módulos de experimentación.

3.4. Definición del experimento.

El objetivo de esta investigación es caracterizar ambos Módulos de Experimentación, establecer la línea base de comportamiento térmico. Para ello resulta indispensable la medición de las variables tanto externas como al interior del elemento. Las mediciones al interior del módulo las dividiremos en tres fases, la primera es la medición del comportamiento interno de la envolvente sin la Cara de Experimentación, la segunda está conformada por la medición de la estratificación de la temperatura interior con el vano de la Cara de Experimentación cubierto con un panel de cemento.

Por último la tercera fase es la medición de la temperatura al interior y comparar con la temperatura exterior, para así obtener el funcionamiento térmico de la Plataforma de Experimentación.

3.4.1. Primera fase experimental.

Medición del comportamiento interno de la envolvente, sin colocación de la Cara de Experimentación.

Iniciamos con el censo del comportamiento interno de la envolvente, durante ésta fase no se ha colocado aún la Cara de Experimentación de los módulos, por lo que se consideran abiertos al exterior. El vano correspondiente a esta cara se orientó al Norte. El objetivo de ésta fase es comprobar el comportamiento térmico de las diferentes capas de la envolvente propuesta, la instrumentación de esta fase se realizó de la siguiente manera:

- 1) Al paño interno de la envolvente, se colocó una probeta sensible a la temperatura protegida y aislada del exterior para evitar el sobrecalentamiento interno previendo que sólo se registre la temperatura del paño interior del elemento, se toman registros cada cinco minutos.
- 2) Dentro del bastidor del muro, entre el aislamiento y la placa interna de la envolvente (panel de yeso) colocamos otra probeta suspendida entre estos dos componentes con la finalidad de censar la temperatura del aire de la cavidad interna del muro, se toman registros cada cinco minutos.
- 3) Al paño interior de la envolvente, se colocó una probeta sensible a la temperatura protegida del exterior y aislada del ambiente, con la

finalidad de que sólo se registre la temperatura del paño interior del elemento, se toman registros cada cinco minutos.

- 4) Al interior del módulo colocamos una unidad HOB0 U12 para censar la temperatura y humedad relativa del ambiente interno. Se colocó a 1.50 m sobre el nivel de piso terminado del módulo y al centro del espacio, se programa para tomar registros cada cinco minutos.

El periodo de medición para ésta fase fue del 24 de Marzo de 2015 y hasta el 16 de Junio de 2015. Un total de once semanas.

- Con los resultados obtenidos en ésta fase de experimentación, redactamos un artículo el cual fue aceptado para ponencia oral en el “2nd International Conference on Science and Social Research (**CSSR 2015**)” organizado por la **Universiti Teknologi Mara (UiTM)**²⁵ llevado a cabo los días 5 y 6 de Octubre de 2015 en la ciudad de **Shah Alam, Malasia**. Éste artículo fué publicado en la revista indexada “*Journal of Mechanical Engeneering (JMeche)*” en Junio de 2016”²⁶

3.4.1.1. Montaje Experimento.

Para instalar la probeta se utilizó un capuchón de EPS como aislamiento, éste se fijó mecánicamente utilizando la estructura de soporte de la envolvente, una vez fijo se selló el perímetro del capuchón para evitar que el aire del exterior interfiriera con los registros.

²⁵ <http://www.uitm.edu.my/index.php/en/>

²⁶ “Analysis of the Thermal Behavior of the Double Skin Envelope in the Full Scale Testing Modules of the Postgraduate Unit for a Cloudy and a Clear Day” <https://jmeche.uitm.edu.my/index.php/journal/volume-13-no-1>. Fecha de consulta 16 de Enero de 2017.

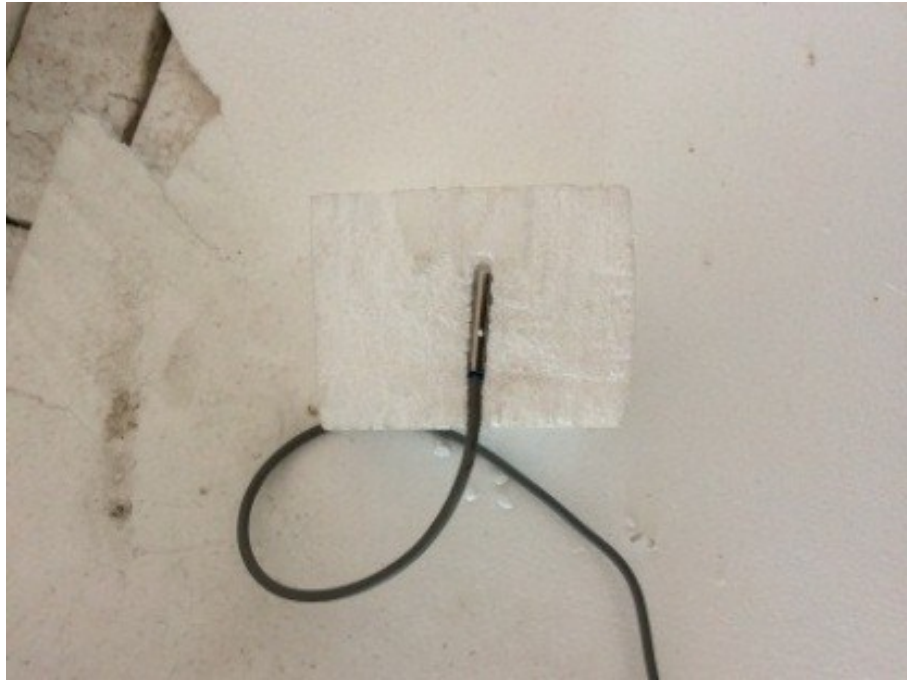


Imagen 28. Probeta sensible a la temperatura.

Tensamos una línea para sostener la unidad HOBO U12 al centro tanto vertical como horizontalmente del espacio. Este dispositivo mide temperatura y humedad relativa del aire interior. A ésta unidad se conectó la probeta del punto no. 1, en ambos dispositivos se tomaron registros cada cinco minutos.



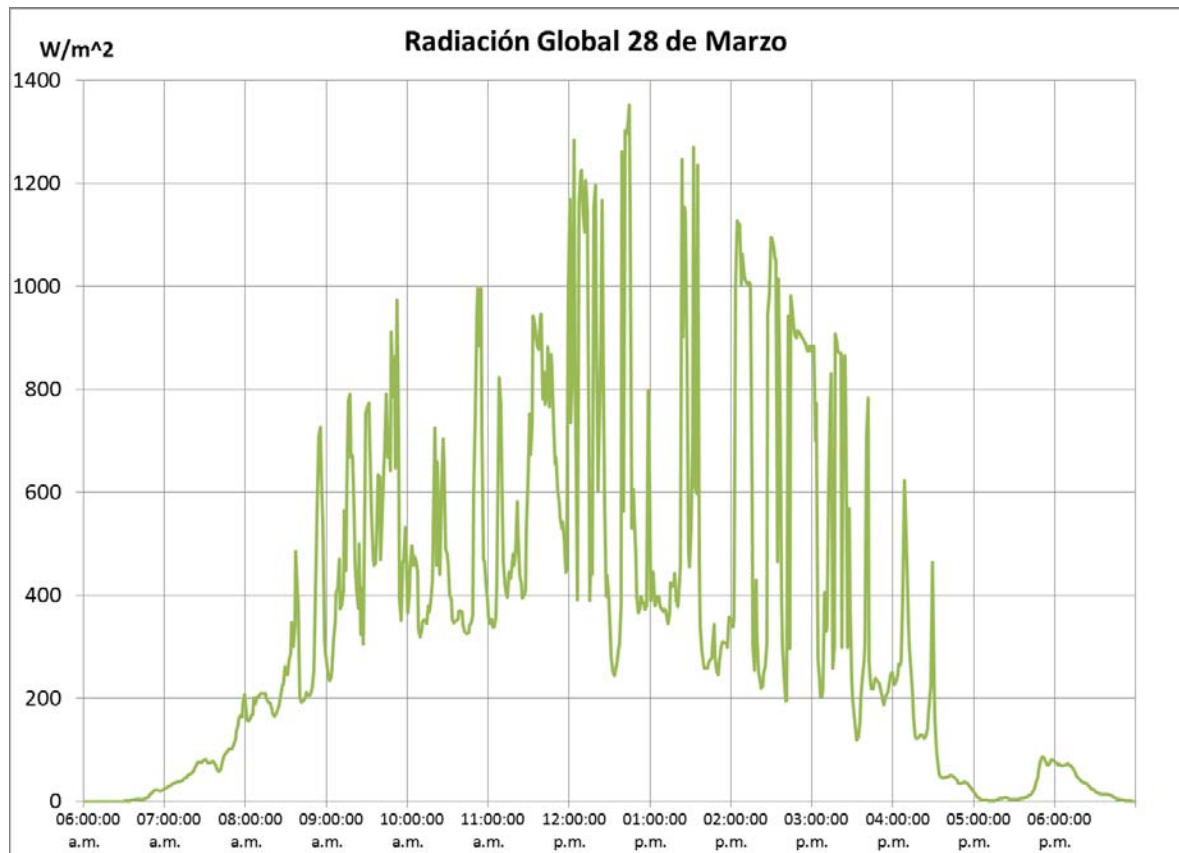
Imagen 29. Montaje de la unidad Hobo U12.

3.4.1.2. Resultados día nublado.

En esta sección presentamos los resultados que encontramos al evaluar las distintas mediciones obtenidas en la Plataforma de Observación, así como al interior de los módulos de experimentación. Evaluamos el comportamiento térmico de la primer cara exterior de la envolvente, verificamos la incidencia de la radiación global en la fachada Sur de los módulos de Experimentación. Se estableció el 28 de Marzo de 2015 como el día que presentaba las condiciones de nubosidad representativa para ésta primera etapa del estudio.

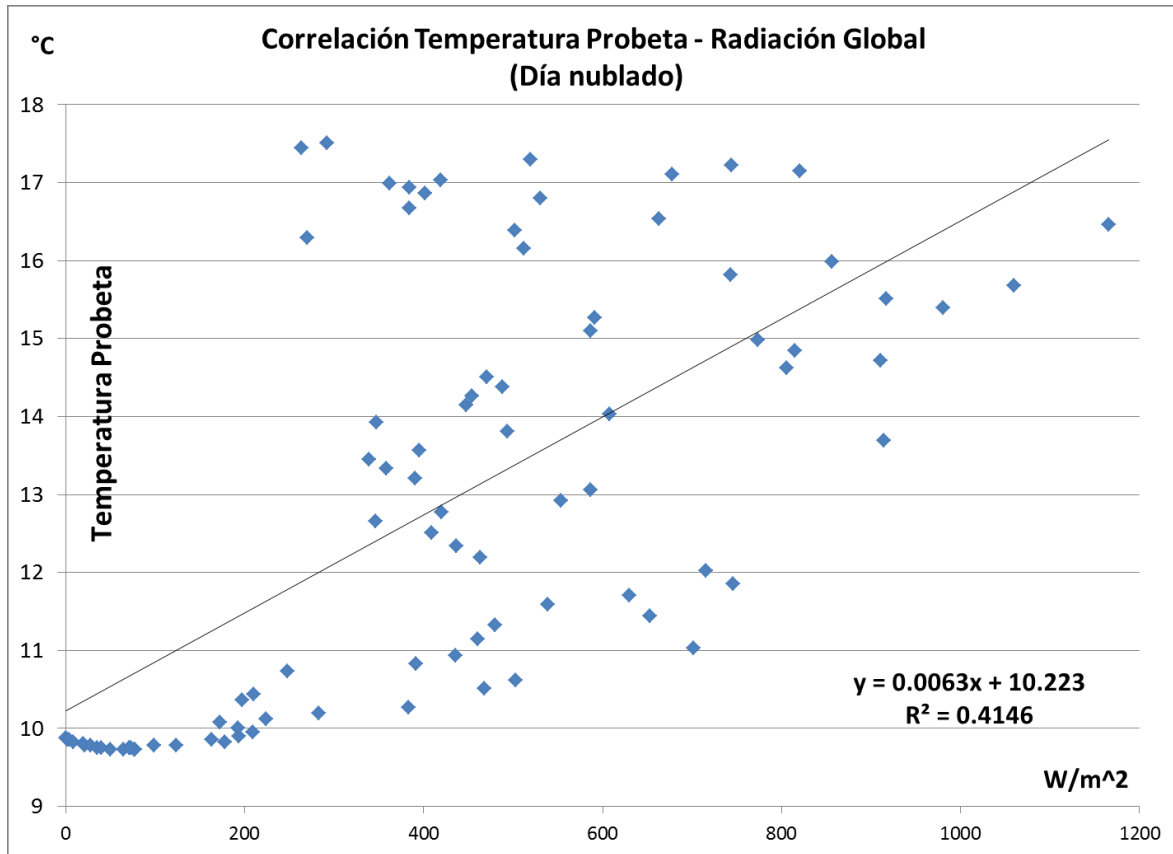
En la Gráfica 2 se muestra el comportamiento de la Radiación Global, los picos y valles indican la presencia de nubosidad y aerosoles en la atmósfera. El valor máximo obtenido por los instrumentos fue de $1,165 \text{ W/m}^2$, a las 12:40 horas, el valor promedio desde el amanecer y hasta el ocaso fue de 358.11 W/m^2 . Correlacionamos los valores obtenidos de Radiación Global *(sólo desde el amanecer y hasta el mediodía. Tomamos sólo estos valores debido*

a que observamos que después de mediodía los valores de Radiación bajaban, pero la temperatura exterior seguía en aumento. Por ésta razón tomamos los valores hasta el cenit, considerando que la envolvente había recibido hasta ese punto la mayor carga energética directa del Sol.), con los registros de temperatura censados por la probeta.



Gráfica 2. Radiación Global 28 de Marzo 2015.

Obtuvimos una correlación baja ($R^2=0.4146$) la cual se muestra en la Gráfica 3, razón por la cual concluimos que la incidencia de la Radiación Global en el muro con orientación Sur no es significativa para el aumento de su temperatura en la cara interior.

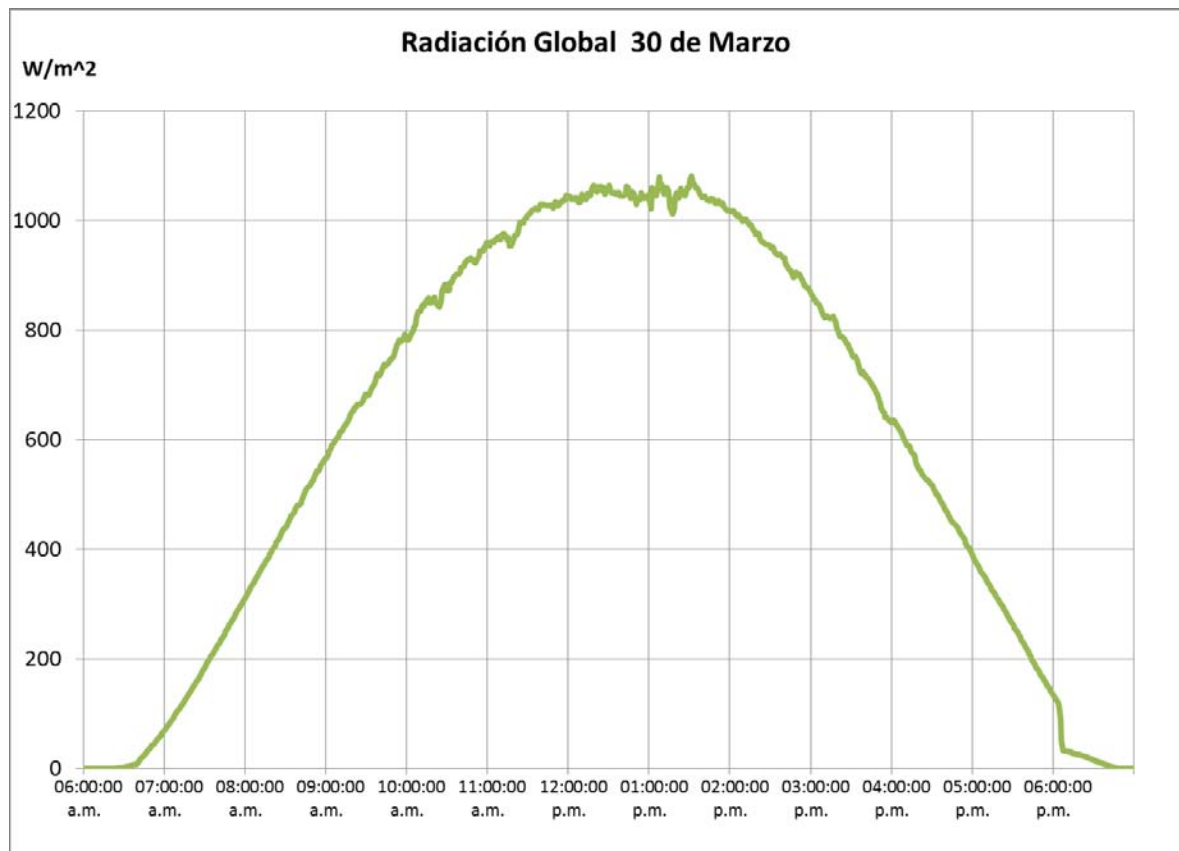


Gráfica 3. Correlación Temperatura Probeta y Radiación Global.

3.4.1.3. Resultados día despejado.

Comparamos los resultados obtenidos al interior observando condiciones de día despejado al exterior. Analizamos el comportamiento de la envolvente en el escenario y obtuvimos los siguientes resultados.

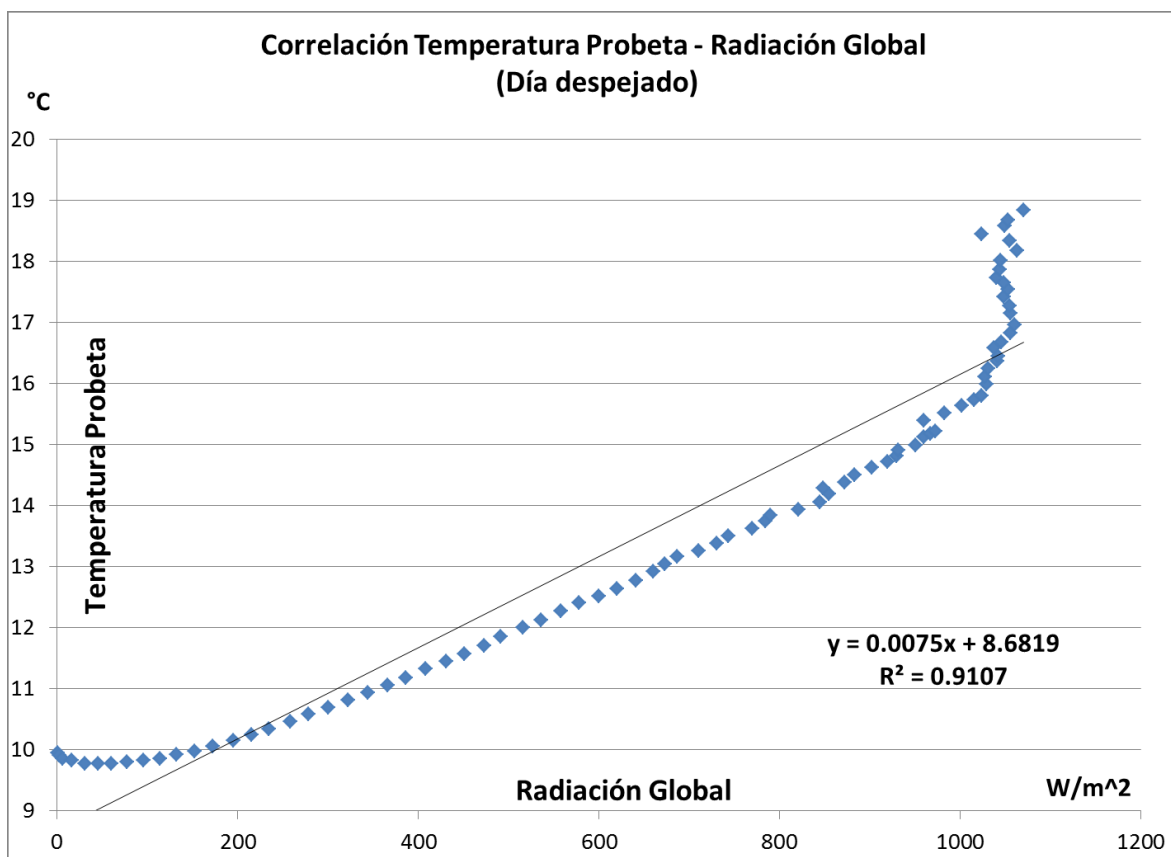
En la Gráfica 4 se muestra el comportamiento de la Radiación Global, notamos una curva estable lo cual muestra condiciones de día despejado. El valor máximo obtenido por los instrumentos el día 30 de Marzo de 2015 fue de 1,082 W/m², a las 13:31 horas, el valor promedio desde el amanecer y hasta el ocaso fue de 325.14 W/m².



Gráfica 4. Radiación Global 30 de Marzo 2015

A partir de ésta observación determinamos utilizar los datos de éste día para realizar la comparación con las temperaturas censadas en el interior del módulo, así como en la cara interior de la envolvente.

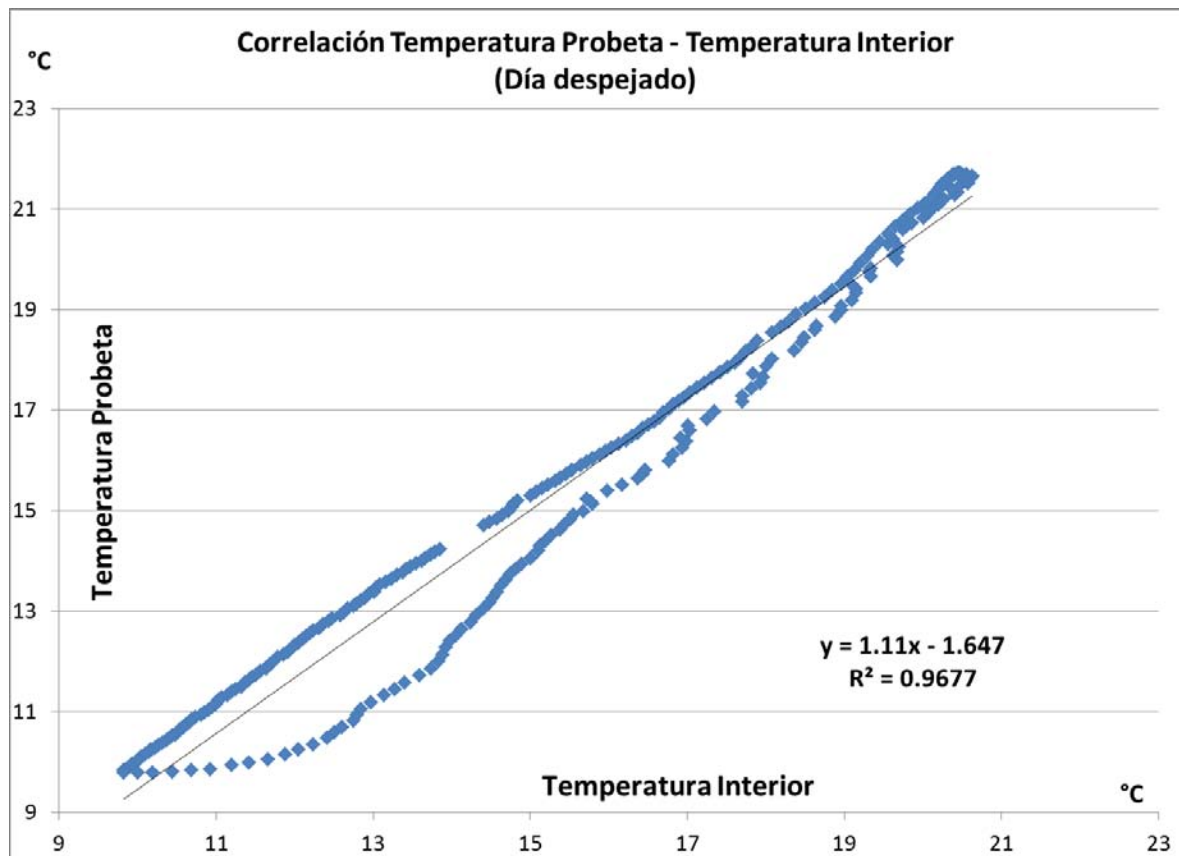
Al correlacionar los valores de temperatura de la envolvente con los de Radiación Global encontramos una valor de $R^2=0.9107$. Esto nos indica que existe una relación directa entre la temperatura que observa la envolvente y la energía que recibe del exterior. Ver Gráfica 5.



Gráfica 5. Correlación Temperatura envolvente, Radiación Global día despejado.

Sin embargo la correlación más fuerte encontrada en este grupo de datos fue la establecida entre la temperatura de la cara interior de la

envolvente y la temperatura del interior del ME. La correlación de mediciones arroja un valor de $R^2=0.9677$, lo cual indica que la temperatura de la cara interna de la envolvente observa una relación más directa con la temperatura interna de la habitación. Ver Gráfica 6.



Gráfica 6. Correlación Temperatura Interior del ME, Temperatura cara interior envolvente.

3.4.1.4. Conclusiones.

El objetivo de esta primera fase de experimentación es entender el comportamiento de la envolvente en su cara exterior.

En ambos escenarios (día nublado y día despejado) el comportamiento de la envolvente fue el esperado. Podemos concluir en

ésta fase que la temperatura de la envolvente está más fuertemente ligada a la temperatura interior del ME que a la energía en forma de calor que recibe del Sol.

3.4.2. Segunda fase experimental

Medición del comportamiento interno del con la Cara de Experimentación parcialmente conformada -.

Durante esta etapa cerramos el vano de la Cara de Experimentación con un panel de cemento de ½" de espesor y posteriormente lo cubrimos con una lona hacia el exterior. El objetivo durante esta fase fue censar el comportamiento del interior reduciendo el flujo de aire a través del vano. Censamos el fenómeno de la estratificación de la temperatura en cada una de las caras internas del ME.

Las condiciones internas del módulo fueron modificadas, para ésta fase se colocó el sistema de piso, además de cubrir el Vano de Experimentación. Los instrumentos instalados en la primera fase conservan su posición y funcionamiento, añadiéndose los sensores que a continuación se describen.

El periodo de medición para ésta fase fue del 4 de Julio de 2015 hasta el día 26 de Agosto de 2015. Un total de ocho semanas.

3.4.2.1. Montaje Experimento.

Durante esta fase cerramos el vano de la Cara de Experimentación. Instalamos un panel de cemento de ½" de espesor, asegurándonos de sellar todo el perímetro de fijación con silicón para evitar ganancias por infiltración. Al interior colocamos el sistema definitivo de piso, compuesto por paneles de triplay de madera de pino de ¾" de espesor, una barrera radiativa y aislamiento en los huecos que forman los peraltes de los perfiles estructurales.

El objetivo de esta fase de experimentación es verificar el funcionamiento de la envolvente, ahora sin carga térmica debido a infiltraciones. Si bien para ésta etapa aún no está terminada la envolvente del ME ni la Cara de Experimentación, decidimos seguir evaluando el comportamiento con los elementos constructivos instalados hasta este momento. En la siguiente imagen se muestra la construcción del sistema de piso del ME, podemos observar las diferentes capas de las cuales se compone.



Imagen 30. Sistema de piso, interior del ME.

En la imagen 31 observamos la colocación de los sensores HOBO U12 a diferentes alturas. Esta posición se conservó en las 4 caras internas del ME. La altura del primer estrato de medición fue 40 centímetros sobre el nivel de piso interior. El segundo se colocó a 150 centímetros y el último estrato se midió a 260 centímetros del nivel de piso interno.

En total colocamos 13 dispositivos HOBO U12, registrando datos a cada minuto.

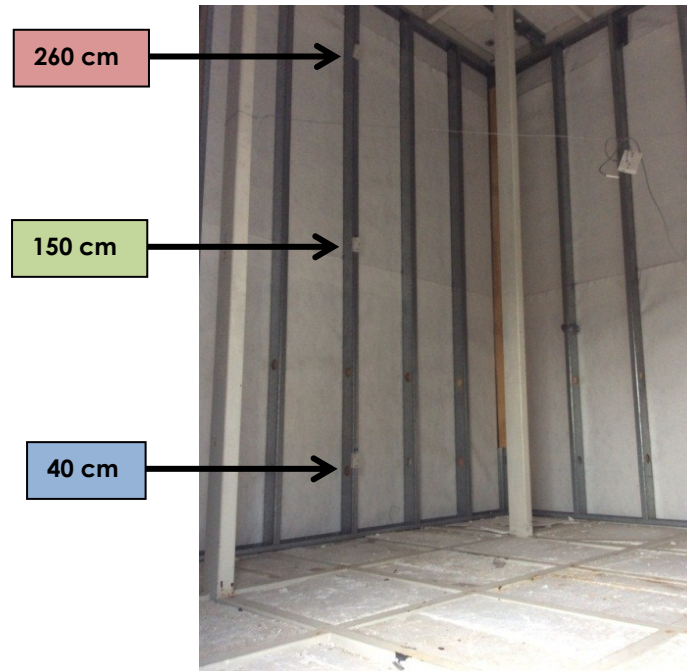


Imagen 31. Vista interior ME.

El la Imagen 32 se muestra el proceso de construcción para cerrar el vano de la Cara de Experimentación. Este muro es provisional mientras concluimos con la instalación de la Cara de Experimentación.

Inicialmente se protegió perimetralmente la boquilla del vano con una tira de triplay de 19 mm. Posteriormente se colocó un bastidor de perfiles galvanizados, sobre éste se atornilló una placa de Tablamiento Durock (USG). Se sellaron las juntas con sellador acrílico y se protegió superficialmente el muro con una lona.



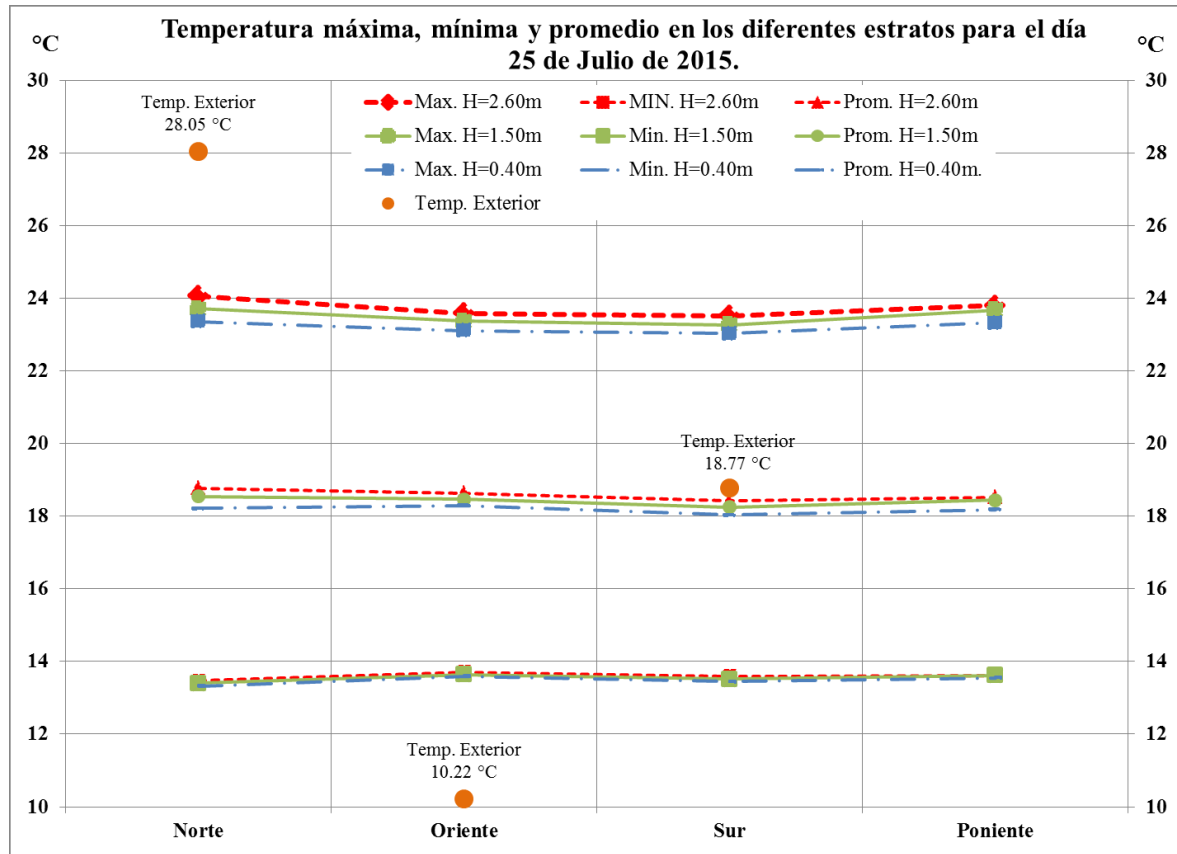
Imagen 32. Construcción y cierre vano de experimentación.

3.4.2.2. Resultados.

En ésta etapa observamos el comportamiento de la temperatura interior en los diferentes estratos. En la Gráfica 7 se muestran los datos obtenidos para el día 25 de Julio de 2015. Tomamos los datos de éste día, ya que durante todo el periodo de medición observamos que el comportamiento del ME fue constante.

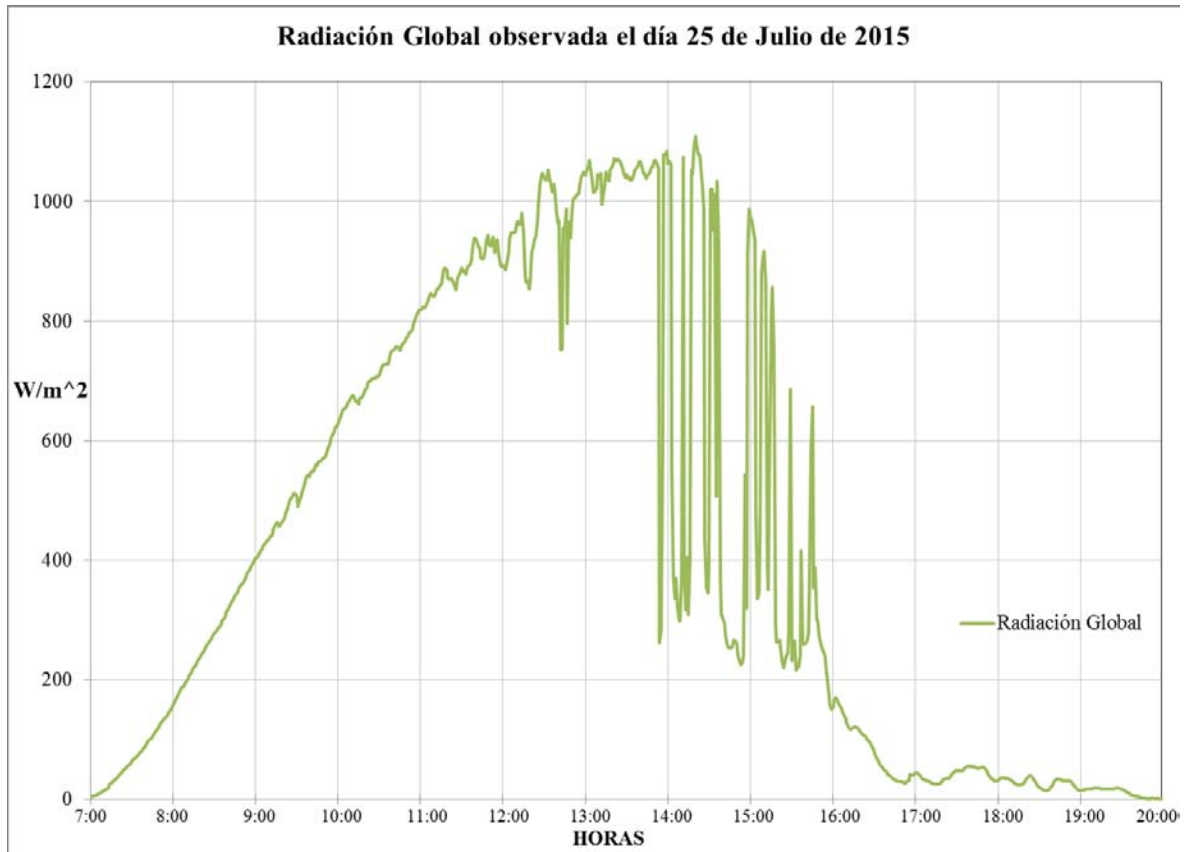
Observamos en los sensores ubicados a 260 cm de altura un diferencial de temperaturas en las cuatro fachadas de máximo 1.5°C . En las temperaturas promedio pudimos censar un diferencial máximo de 1°C en las cuatro fachadas, cabe mencionar que el promedio de la temperatura al exterior se encuentra 0.27°C por arriba de la del interior del ME.

Por último en las temperaturas mínimas registradas al interior se observaron diferenciales menores a 0.50°C en las cuatro fachadas. La temperatura máxima en el exterior fue de 25.05°C , y la mínima registrada fue de 10.22°C .



Gráfica 7. Estratificación de la Temperatura Interior para el día 25 de Julio de 2015.

Por otra parte en la Gráfica 8 presentamos la Radiación Global observada el mismo día. Podemos apreciar que desde el amanecer y hasta poco después del medio día fue un día prácticamente despejado y que por la tarde las variaciones que presenta la gráfica nos indican la presencia de nubosidad en el ambiente.



Gráfica 8. Radiación Global observada el día 25 de Julio de 2015.

3.4.2.3. Conclusiones.

Durante ésta fase de experimentación planeamos observar el comportamiento térmico interno a diferentes alturas. Posicionamos sensores a 3 alturas distintas, en la cara interna de cada una de las fachadas. Los datos observados en ésta etapa nos permitieron verificar diferenciales de 0.5°C y hasta 1.5°C entre los estratos y las diferentes fachadas.

Podemos concluir que a los 260 cm de altura, se observan diferenciales de temperatura más altos (alrededor de 1.5°C) que con respecto a los registrados a 40 cm de altura (alrededor de 0.5°C).

Bajo las condiciones constructivas en las cuales se encuentra el ME podemos apreciar que el promedio de temperatura exterior se encuentra muy cercano, pero por arriba ($>1^{\circ}\text{C}$ de diferencia) del promedio de la temperatura registrada al interior.

No existen diferenciales significativos en la temperatura interna de los diferentes estratos. En la siguiente Fase de experimentación se concluirá la construcción de la envolvente para así lograr la caracterización térmica del ME.

3.4.3. Tercera fase experimental:

Medición del comportamiento interno con la envolvente conformada y el vano de la Cara de Experimentación aislada.

En esta última fase colocamos aislamiento en la cavidad interna de la envolvente de doble capa. Instalamos una “barrera radiativa”²⁷ en la cara interna del bastidor metálico, utilizando calzas de madera agregamos una cavidad de aire de 19 mm de espesor. Posteriormente colocamos el panel de yeso atornillado a las calzas. En el paño interior colocamos 4” de aislamiento. Esta misma configuración la utilizamos en la Cara de Experimentación, por lo que al final obtuvimos un cubo sellado con las cuatro envolventes verticales en igualdad de condiciones. En la cubierta del módulo colocamos el mismo sistema de aislamiento al interior junto con la barrera radiativa.

El periodo de medición de ésta fase experimental inicia el día 20 de Mayo de 2016 y concluye el 30 de Septiembre de 2016.

- Cabe mencionar que con los resultados obtenidos en los meses de Mayo y Junio de 2016, redactamos un artículo el cual fue aceptado y asistí como ponente oral en el “*3rd International Conference on Science and Social Research (CSSR 2016)*” organizado por la **Universiti Teknologi Mara (UiTM)**²⁸ y llevado a cabo los días 5 y 6 de Diciembre de 2016 en la ciudad de **Putrajaya, Malasia**.²⁹ Dicho artículo está en proceso de ser publicado en la revista indexada “*Pertanika Journal of Science & Technology (JST)*”

²⁷ La Barrera radiativa es un laminado, compuesto por la extrusión de 6 capas de diferentes materiales unidas entre sí y adheridas por ambas caras utilizando una película de aluminio puro que actúa como un aislante térmico de alta eficiencia.

²⁸ <http://www.uitm.edu.my/index.php/en/> Fecha de consulta 16/01/2017

²⁹ **CSSR 2016.** <http://cssr.uitm.edu.my/2016/> Fecha de consulta 16/01/2017

3.4.3.1. Montaje Experimento.

Para ésta fase añadimos el siguiente equipo de medición al interior:

- 1) Al interior de cada una de las fachadas verticales y de la cubierta, colocamos un sensor de temperatura de superficie marca Campbell Scientific, modelo 110 PV. Aislamos este sensor con una cubierta de madera, con el objeto de sólo registrar la temperatura superficial del paño interior de la envolvente. Este sensor fue colocado antes de la capa de aislamiento dentro del bastidor. Este proceso se muestra en las imágenes 33 y 34.



Imagen 33. Proceso de colocación del sensor Campbell Scientific 110 PV, al interior del muro.



Imagen 34. Fijación mecánica del sensor al bastidor del muro.

- 2) En el centro del espacio colocamos una probeta sensible a la temperatura marca Campbell Scientific modelos 107 con la finalidad de censar la temperatura de bulbo seco y corroborar los datos obtenidos con los del sensor Hobo U12 colocado en el mismo sitio. Ver imagen 35.



Imagen 35. Probeta Campbell Scientific modelo 107. Temperatura de Bulbo Seco.

- 3) Al centro del espacio colocamos un sensor de Temperatura Media Radiante. Los componentes que forman este sensor son: Un Termistor tipo E marca Campbell Scientific y una esfera de cobre de 6" de diámetro. La esfera está pintada color negro mate y está montada sobre una base de madera de 20 x 20 cm. Este sensor nos permite registrar la sensación térmica la interior del ME, es decir la temperatura que todos sus componentes transmiten por radiación hacia el balón de cobre. Ver imagen 36.



Imagen 36. Sensor de Temperatura Media Radiante. (Diferentes vistas)

- 4) En total se añadieron 7 sensores, los cuales conectamos al adquisidor de datos marca Campbell Scientific, modelo CR1000 y a un Multiplexor modelo AM 16/32, los cuales se muestran en la imagen 34. Este adquisidor fue instalado dentro de una caja para intemperie, y ésta colocada al exterior del ME, por lo que todo el cableado de los sensores salió del interior del módulo a través de un ducto el cual fue totalmente aislado para conservar la hermeticidad interior. En la sección de Anexos de ésta investigación se presenta el diagrama de cableado para ambos dispositivos. Ver imágenes 37 y 38.

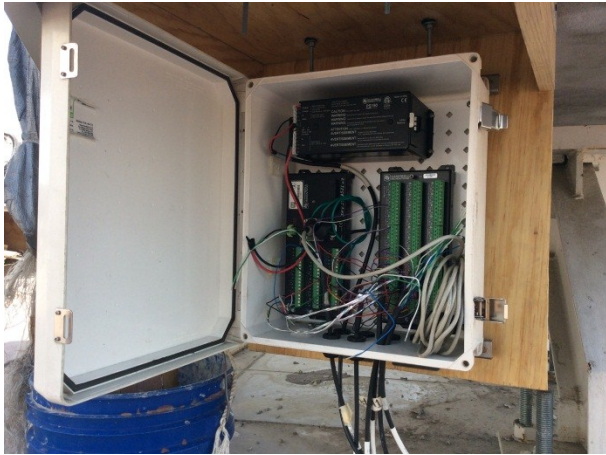


Imagen 37. Campbell CR1000, Multiplexor AM16/30.



Imagen 38. Conexión de los sensores al Adquisidor de Datos.

- 5) Programamos el Adquisidor de Datos para registrar muestras a cada minuto de cada uno de los sensores instalados. En total obtenemos de los sensores Campbell (Un Termistor tipo "E", Un sensor modelo 107 y cinco sensores modelo 110 PV) más la unidad HOBO U12 (Un sensor de temperatura de bulbo húmedo, un sensor de Humedad Relativa) En total **9 variables censadas, 60 registros por hora por dispositivo, en total 540 datos por hora, 12,960 registros cada 24 horas.**

3.4.3.2. Resultados.

Se analizaron datos a partir del día 20 de Mayo de 2016 y hasta el día 30 de Septiembre de 2016. Las variables analizadas en ésta fase de experimentación son:

- Temperatura Exterior.

- Temperatura de Bulbo Seco.
- Temperatura Media Radiante. (T.M.R.)

Decidimos agrupar los datos en dos periodos mensuales, cada uno integrado por 15 días de mediciones.

Con esta segregación de datos analizamos periodos de tres días, determinados por el registro de temperatura diurna más alto (día cálido), y el otro periodo definido por la temperatura diurna más baja (día menos cálido). Cada periodo contempla el día previo y el día posterior al registro seleccionado.

En la Tabla 3 mostramos la definición de cada periodo. Para el artículo presentado en el congreso CSSR 2016 nuestras mediciones fueron del día 20 de Mayo al 21 de Junio. La Fase Tres de Experimentación se compone de nueve periodos de medición, cada uno seccionado cada quince días.

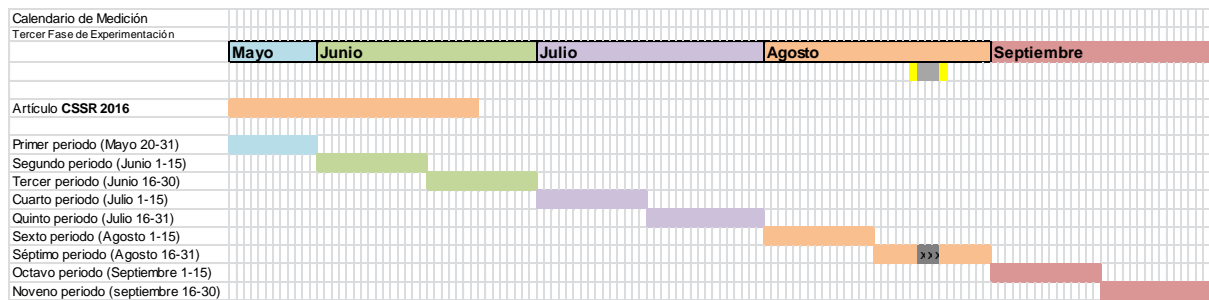


Tabla 3. Calendario de medición. Tercera Fase de Experimentación.

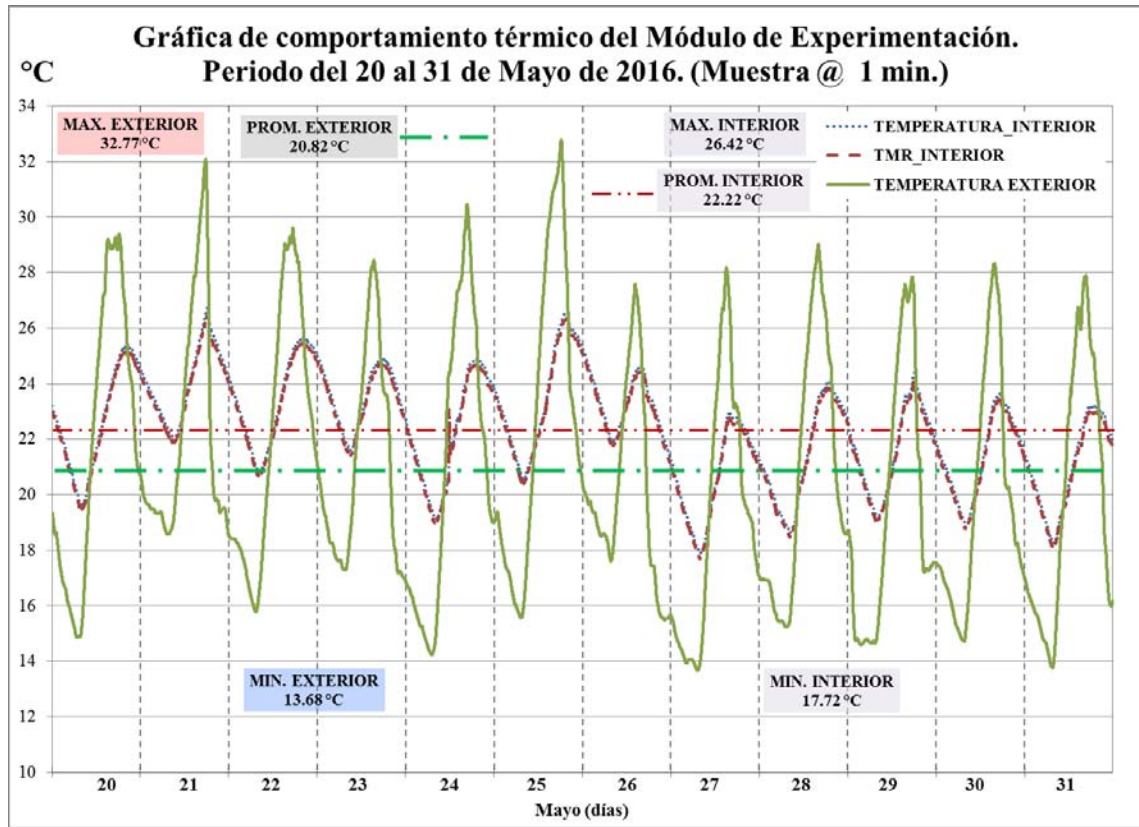
- **Primer periodo de medición Mayo 20 a 31 de 2016.**

En la Gráfica 9 mostramos el comportamiento censado durante el primer periodo de medición. Podemos apreciar en color verde, la Temperatura Exterior (**TE**) registrada. Al centro de la gráfica, la línea azul representa la Temperatura de Bulbo seco (**TBS**) y la línea de color rojo muestra los datos de la Temperatura Media Radiante (**TMR**).

Lo primero que podemos observar es que los datos de la TBS y la TMR registrados al interior son muy cercanos entre sí, la diferencia entre ellos va de 0.05°C a 0.7°C . Para ésta Fase de Experimentación hemos tomado los registros de TMR para identificar el comportamiento interno del ME.

La temperatura exterior observada en el periodo varía de 33.77°C como máxima hasta 12.3°C como mínima, el diferencial observado al exterior es de 21.47°C , el promedio al exterior fue de 20.88°C .

En el caso de la TMR los registros van desde 26.42°C como máxima y 17.72°C como mínima, el diferencial observado al interior es de 8.7°C . A partir de estos datos, determinamos analizar el día 25 de Mayo como el día Más Cálido, y el día 29 de Mayo como el día Menos Cálido. Con cada uno de los días seleccionados, tomamos en cuenta el día previo y el día posterior, para generar una mejor referencia del comportamiento previo y posterior al evento.

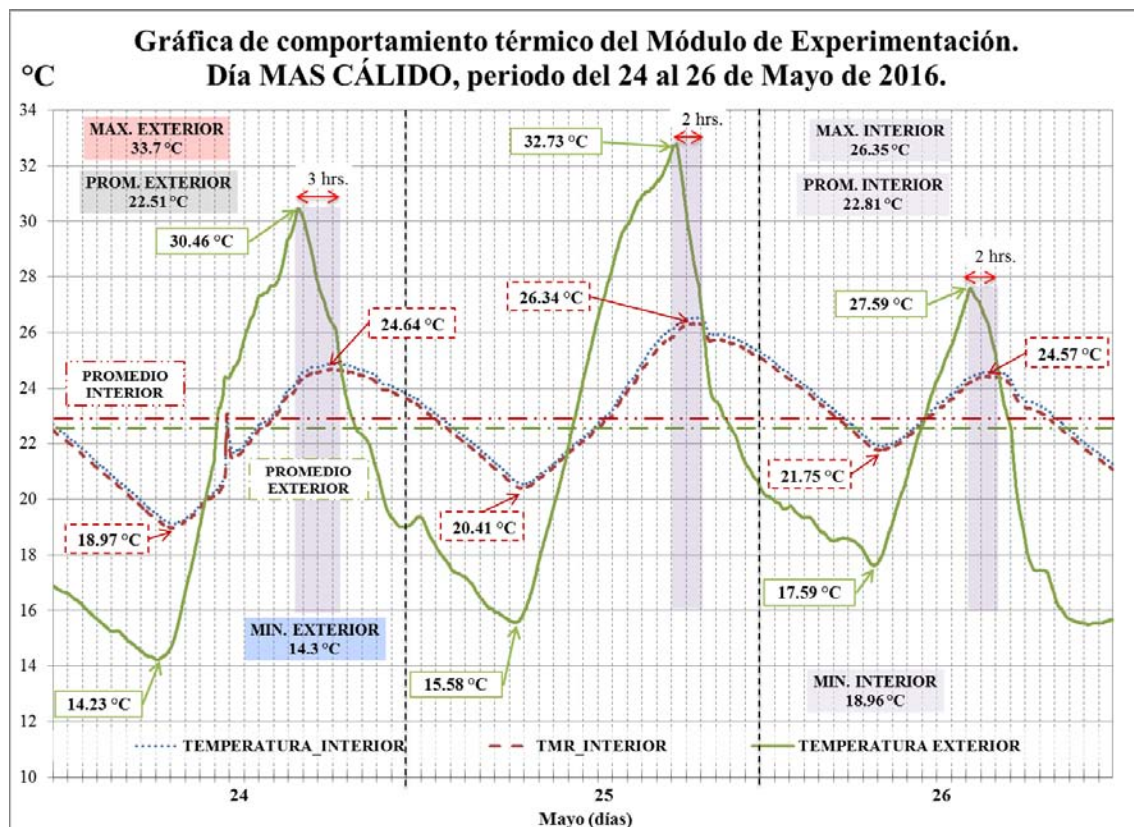


Gráfica 9. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 20 al 31 de Mayo de 2016.

Análisis del día Más Cálido. 24 al 26 de Mayo de 2016.

La Gráfica 10 nos muestra los datos observados durante el periodo del día Más Cálido. Las temperaturas registradas al Exterior fueron las siguientes: la máxima fue de 33.7°C, la mínima fue de 14.3°C, el diferencial en éste periodo fue de 19.4°C. El comportamiento de la TMR fue el siguiente, la máxima fue de 26.35°C, la mínima 18.96°C. El diferencial registrado al interior fue de 7.39°C. El promedio observado fue de 22.81°C.

En el periodo, día con día, analizamos el desfase en horas que existe entre la máxima de la TE registrada y el dato máximo registrado en la TMR (*time lag*). Durante éste periodo el *time lag* varía entre 2 y 3 horas.



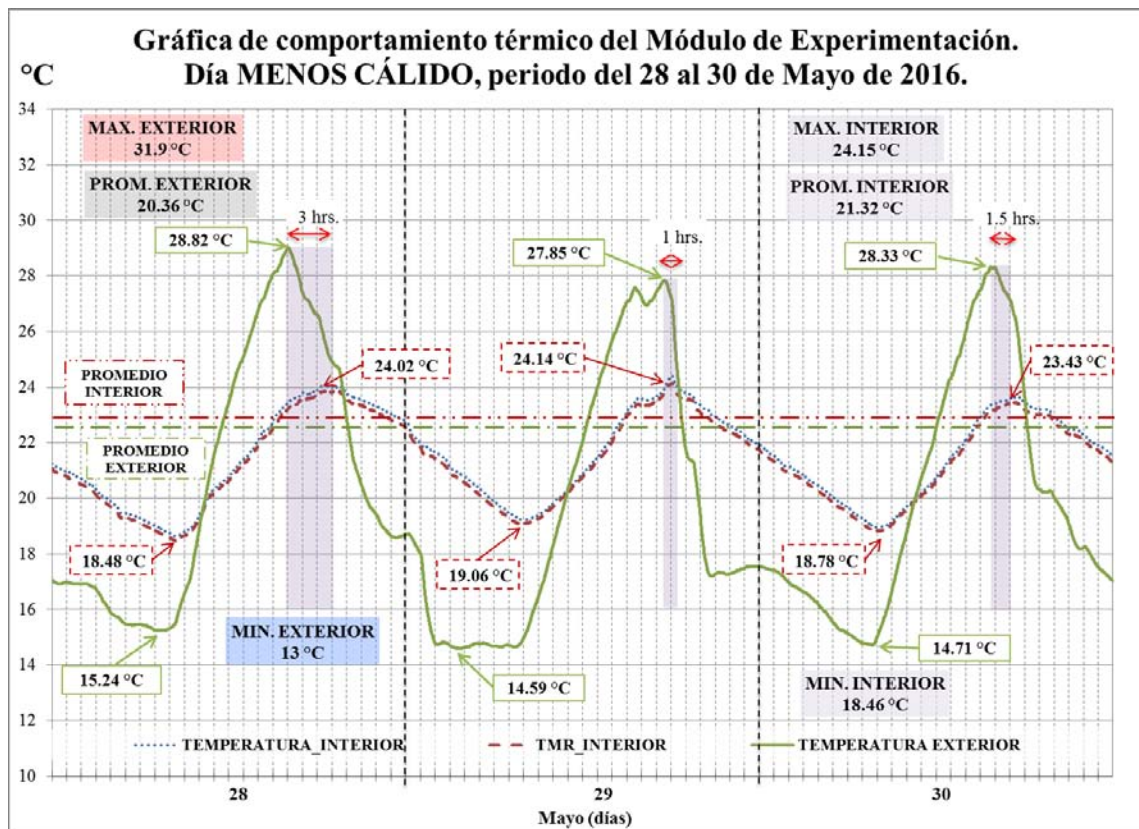
Gráfica 10. Día Más Cálido, periodo del 24 al 26 de Mayo de 2016.

Análisis del día Menos Cálido. 28 al 30 de Mayo de 2016.

La Gráfica 11 nos muestra los datos observados para el día Menos Cálido. La TE máxima registrada fue de 31.9°C, la mínima 13°C el diferencial al exterior fue de 18.9°C. El promedio de TE fue de 20.36°C.

La TMR tuvo como máxima 24.15°C, la mínima fue 18.46°C presentando un diferencial de El comportamiento de la TMR fue el siguiente, la máxima fue de 26.35°C, la mínima 18.96°C. El diferencial registrado al interior fue de 5.69°C El promedio observado fue de 21.32°C.

Para éste periodo el *time lag* observado va desde una y hasta 3 horas.

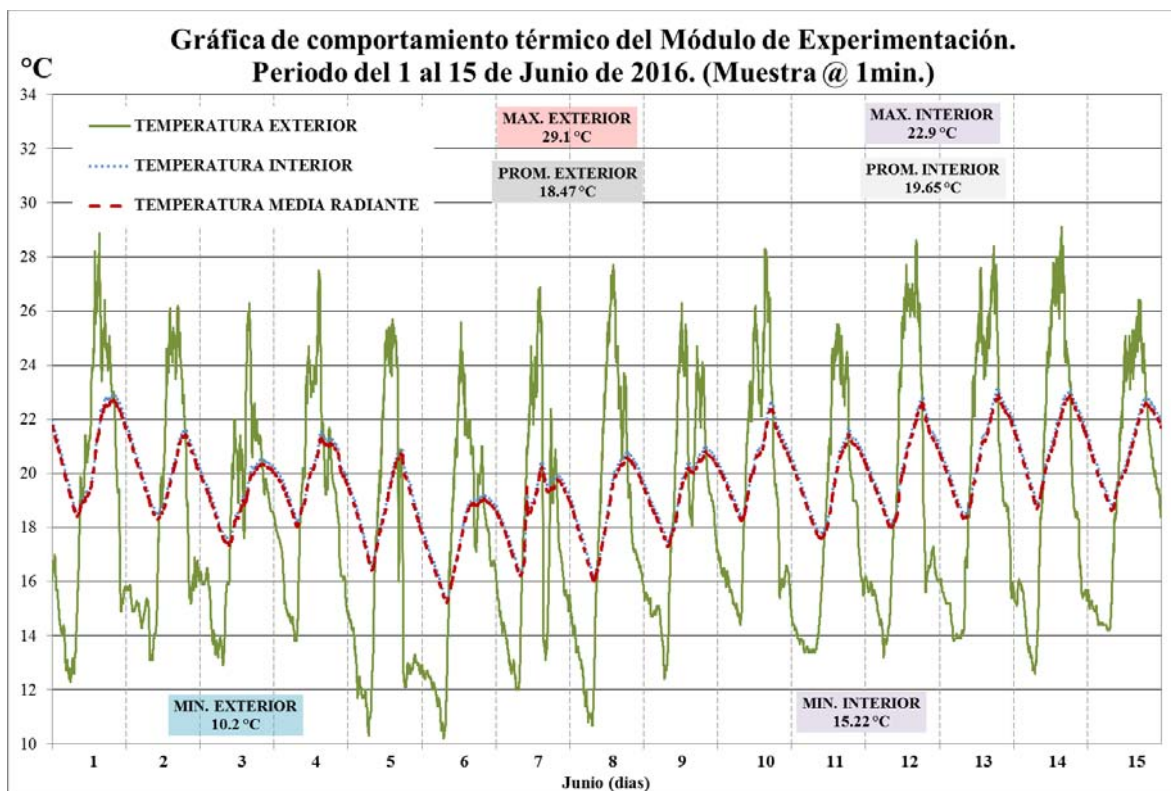


Gráfica 11. Día Menos Cálido, periodo del 28 al 30 de Mayo de 2016.

- **Segundo periodo de medición 1 al 15 de Junio de 2016.**

En la Gráfica 12 mostramos el comportamiento del experimento durante el segundo periodo de medición, comprendido entre el 1 y el 15 de Junio de 2016. Observamos que la TE varía de 29.1°C como máxima, hasta 10.2°C como mínima, presentando un diferencial de 18.9°C. En el caso de la TMR la máxima al interior fue de 22.9°C y la mínima de 15.22°C, el diferencial entre estos registros es de 7.68°C, el promedio fue de 19.65°C

A partir de estas observaciones, determinamos el día 14 de Junio como el día Más Cálido, y el día 5 de Junio como el día Menos Cálido.

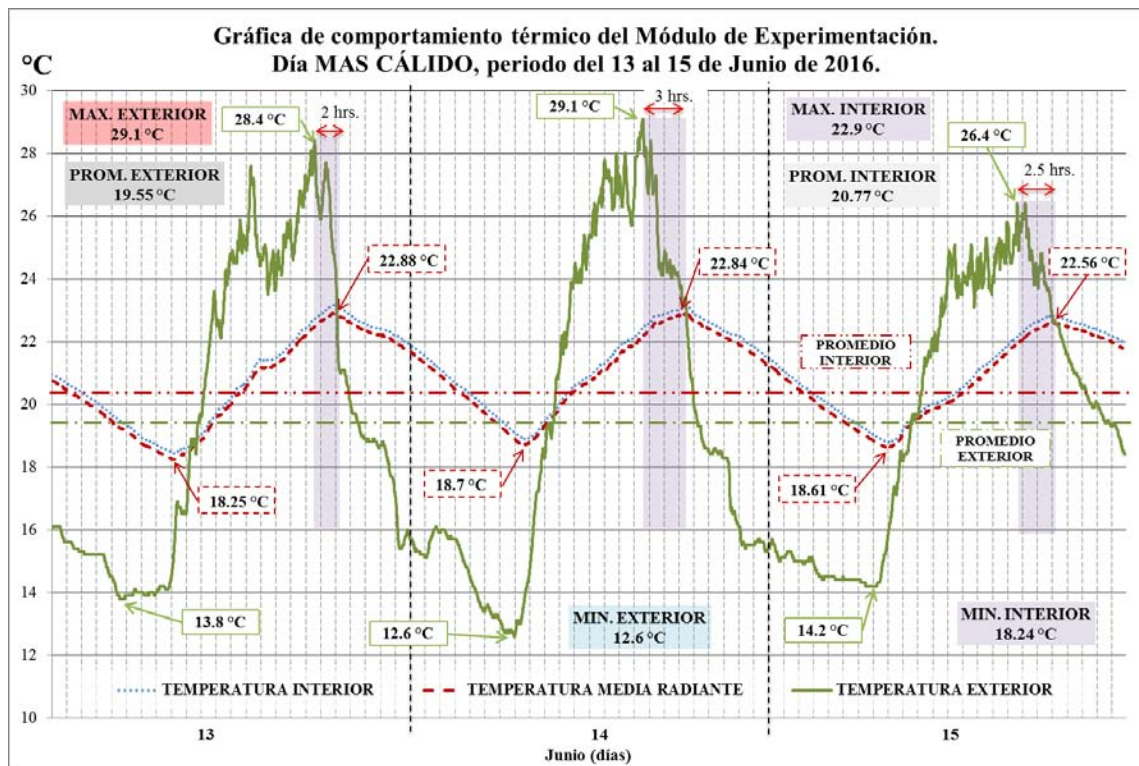


Gráfica 12. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 1 al 15 de Junio de 2016.

Análisis del día Más Cálido. 13 al 15 de Junio de 2016.

La Gráfica 13 nos muestra los datos observados durante el periodo del día Más Cálido. Las mediciones de TE registradas fueron las siguientes: la máxima fue de 29.1°C, la mínima fue de 12.6°C, el diferencial en éste periodo fue de 16.5°C. El comportamiento de la TMR fue el siguiente, la máxima fue de 22.9°C, la mínima 18.24°C. El diferencial registrado al interior fue de 4.66°C. El promedio observado fue de 20.77°C.

Durante éste periodo el *time lag* varía entre 2 y 3 horas.



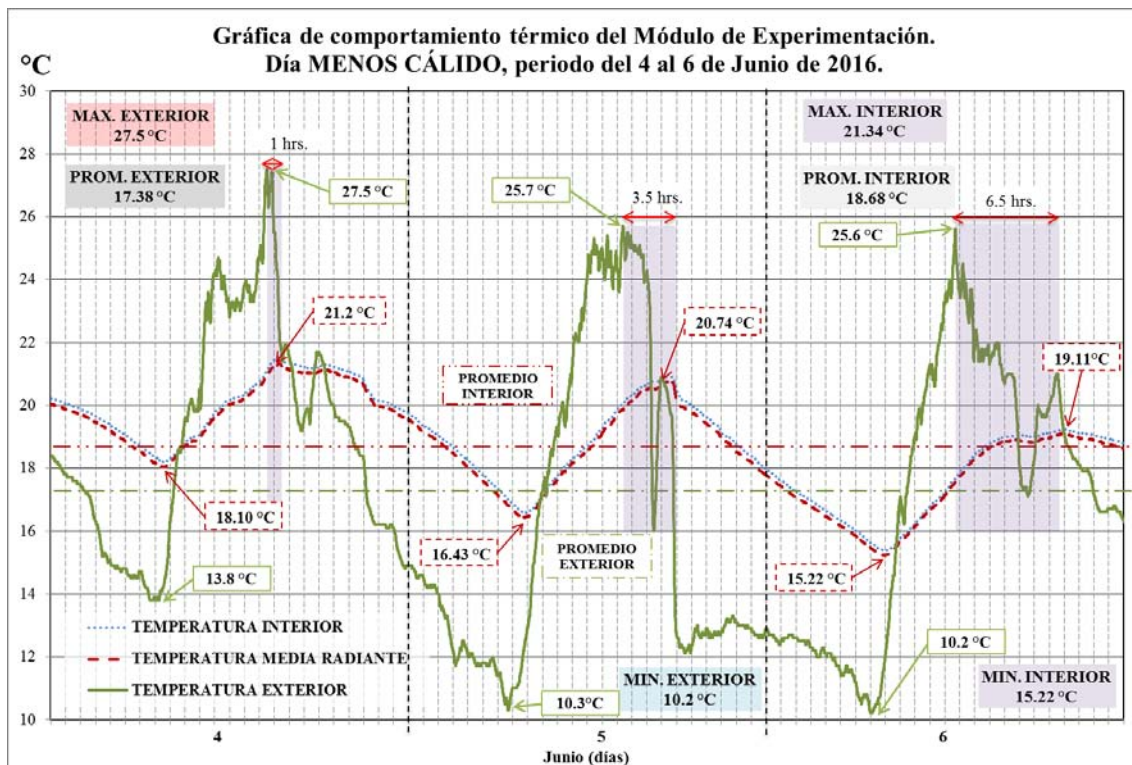
Gráfica 13. Día Más Cálido, periodo del 13 al 15 de Junio de 2016.

Análisis del día Menos Cálido. 04 al 06 de Junio de 2016.

La Gráfica 14 nos muestra los datos observados para el día Menos Cálido. La TE máxima registrada fue de 27.5°C, la mínima 10.2°C el diferencial al exterior fue de 17.3°C. El promedio de TE fue de 17.38°C.

La TMR tuvo como máxima 21.34°C, la mínima fue 18.68°C presentando un diferencial de 2.66°C. El promedio registrado durante el periodo fue de 18.68°C.

Para éste periodo el *time lag* observado va desde una y hasta 6.5 horas.

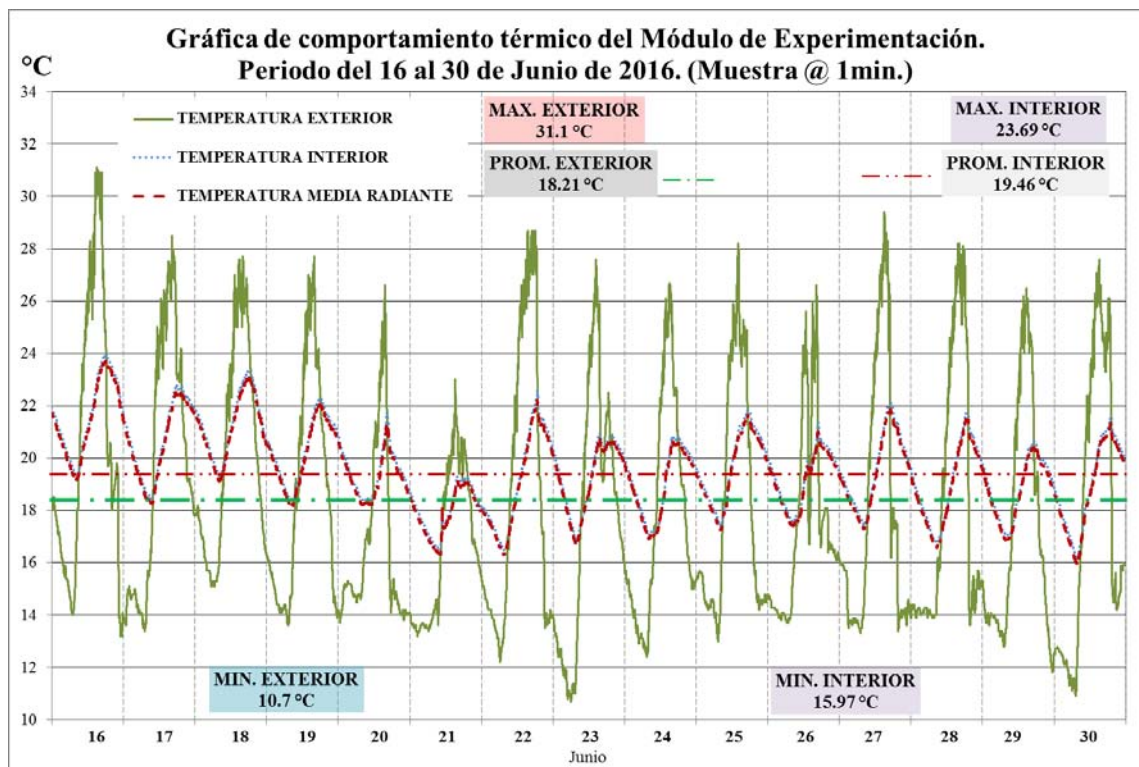


Gráfica 14. Día Menos Cálido, periodo del 4 al 6 de Junio de 2016.

▪ **Tercer periodo de medición 16 al 30 de Junio de 2016.**

La Gráfica 15 muestra el comportamiento del Módulo de Experimentación durante el tercer periodo de medición, comprendido entre el día 16 y el 30 de Junio de 2016. Obtuvimos registros en los cuales se observa que la TE varía de 31.1°C como máxima, hasta 10.7°C como mínima, presentando un diferencial de 20.4°C y una temperatura promedio de 20.14°C. En el caso de la TMR la máxima al interior fue de 23.69°C y la mínima de 15.97°C, el diferencial entre estos registros es de 7.72°C, el promedio obtenido fue de 19.46°C

A partir de estas observaciones, determinamos el día 17 de Junio como el día Más Cálido, y el día 21 de Junio como el día Menos Cálido.

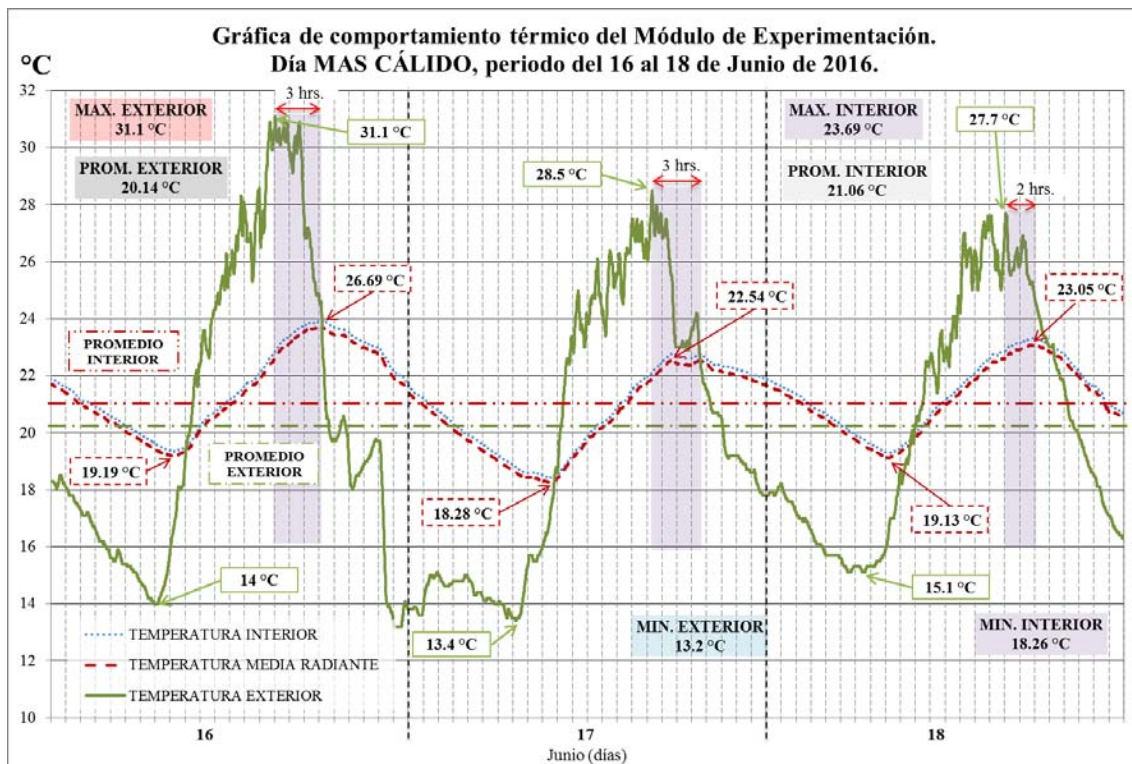


Gráfica 15. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 16 al 30 de Junio de 2016.

Análisis del día Más Cálido. 16 al 18 de Junio de 2016.

La Gráfica 16 nos muestra los datos observados durante el periodo del día Más Cálido. La TE registró los siguiente resultados: la máxima fue de 31.1°C, la mínima fue de 13.2°C, el diferencial en éste periodo fue de 17.9°C, con un promedio de 20.14°C. El comportamiento de la TMR fue el siguiente, la máxima fue de 23.69°C, la mínima 18.26°C. El diferencial registrado al interior fue de 5.43°C. El promedio observado fue de 21.06°C.

Durante éste periodo el *time lag* varía entre 2 y 3 horas.

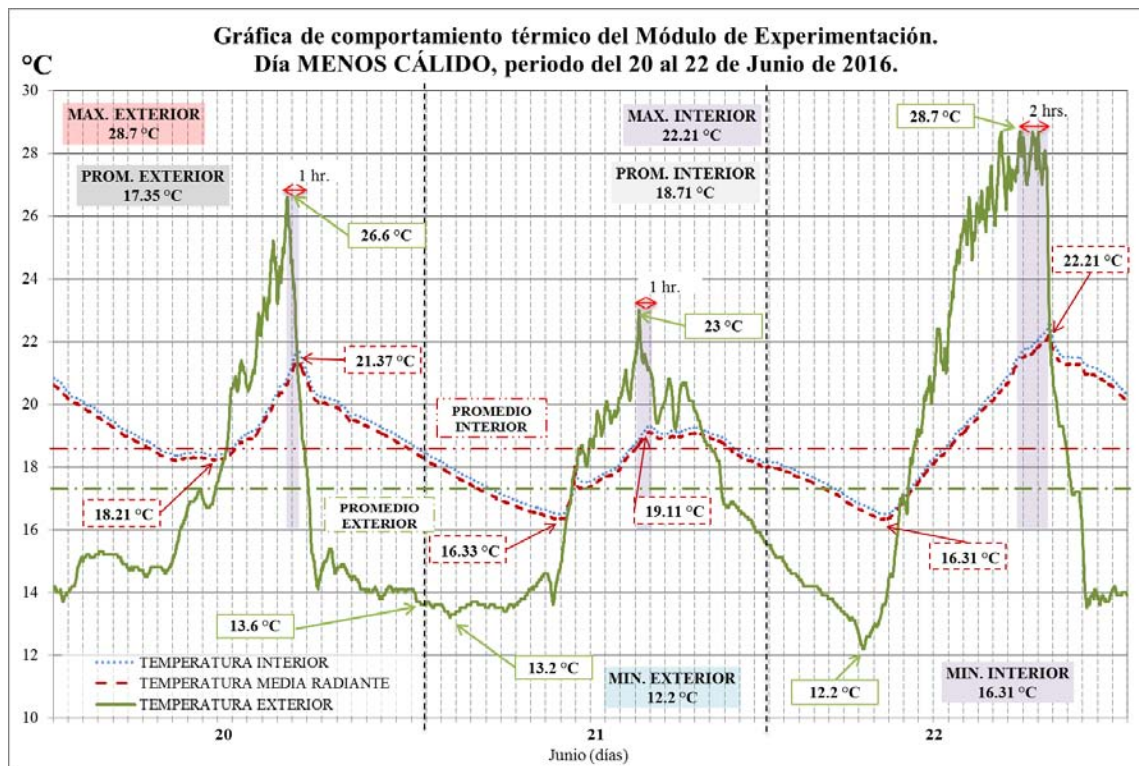


Gráfica 16. Día Más Cálido, periodo del 16 al 18 de Junio de 2016.

Análisis del día Menos Cálido. 20 al 22 de Junio de 2016.

La Gráfica 17 presenta los registros de temperatura observados para el día Menos Cálido. La TE máxima registrada fue de 28.7°C, la mínima 12.2°C el diferencial al exterior fue de 16.5°C. El promedio de TE fue de 17.35°C.

La TMR tuvo como máxima 22.21°C, la mínima fue 16.31°C presentando un diferencial de 5.9°C. El promedio registrado durante el periodo fue de 18.71°C. Para éste periodo el *time lag* observado va desde una y hasta dos horas.

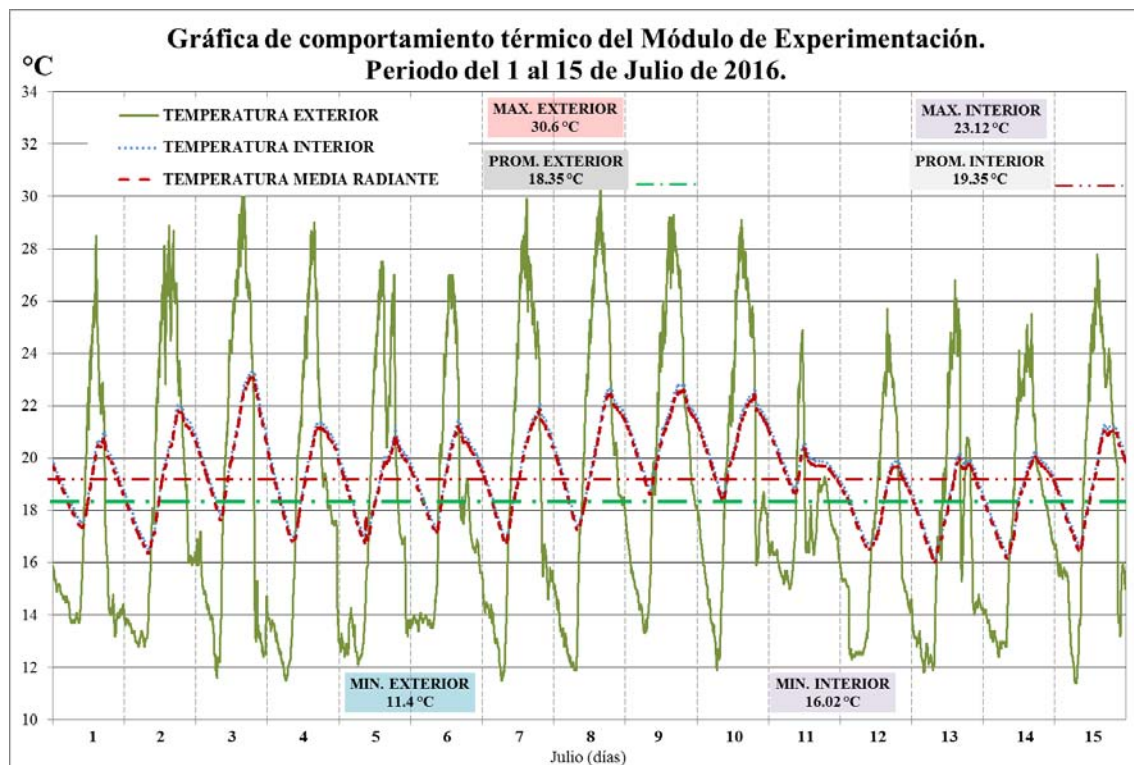


Gráfica 17. Día Menos Cálido, periodo del 20 al 22 de Junio de 2016.

- **Cuarto periodo de medición 1 al 15 de Julio de 2016.**

La Gráfica 18 muestra el comportamiento del Módulo de Experimentación durante el cuarto periodo de medición, comprendido entre el 1 y 15 de Julio de 2016. Obtuvimos registros en los cuales se observa que la TE varía de 30.6°C como máxima, hasta 11.4°C como mínima, presentando un diferencial de 19.2°C y una temperatura promedio de 18.35°C. En el caso de la TMR la máxima al interior fue de 23.12°C y la mínima de 16.02°C, el diferencial entre estos registros es de 7.01°C, el promedio obtenido fue de 19.35°C

A partir de estas observaciones, determinamos el día 3 de Julio como el día Más Cálido, y el día 11 de Julio como el día Menos Cálido.

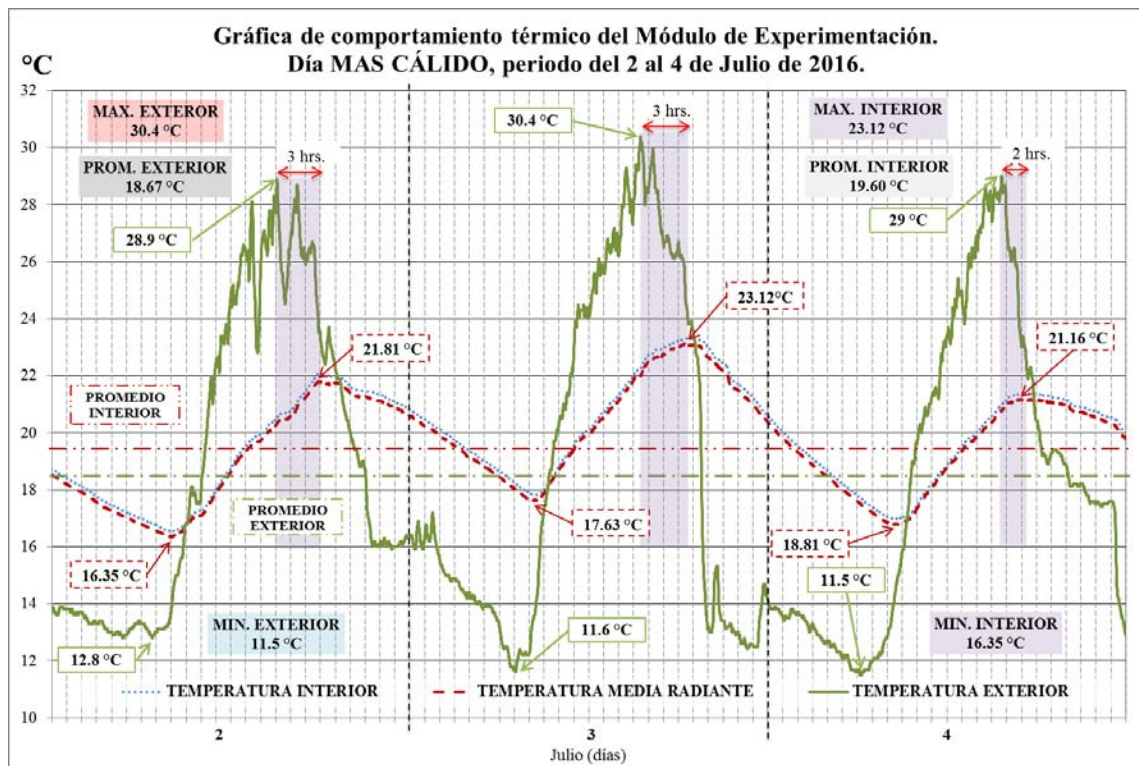


Gráfica 18. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 1 al 15 de Julio de 2016.

Análisis del día Más Cálido. 2 al 4 de Julio de 2016.

La Gráfica 19 nos muestra los datos observados durante el periodo del día Más Cálido. La TE registró como máxima 30.4°C, la mínima de 11.5°C, con un diferencial en éste periodo de 18.9°C, el promedio obtenido en la TE fue de 18.67°C. El comportamiento de la TMR fue el siguiente, la máxima registrada fue de 23.12°C, la mínima de 16.35°C. El diferencial registrado al interior fue de 6.77°C. El promedio observado fue de 19.6°C.

Durante éste periodo el *time lag* varía entre 2 y 3 horas.

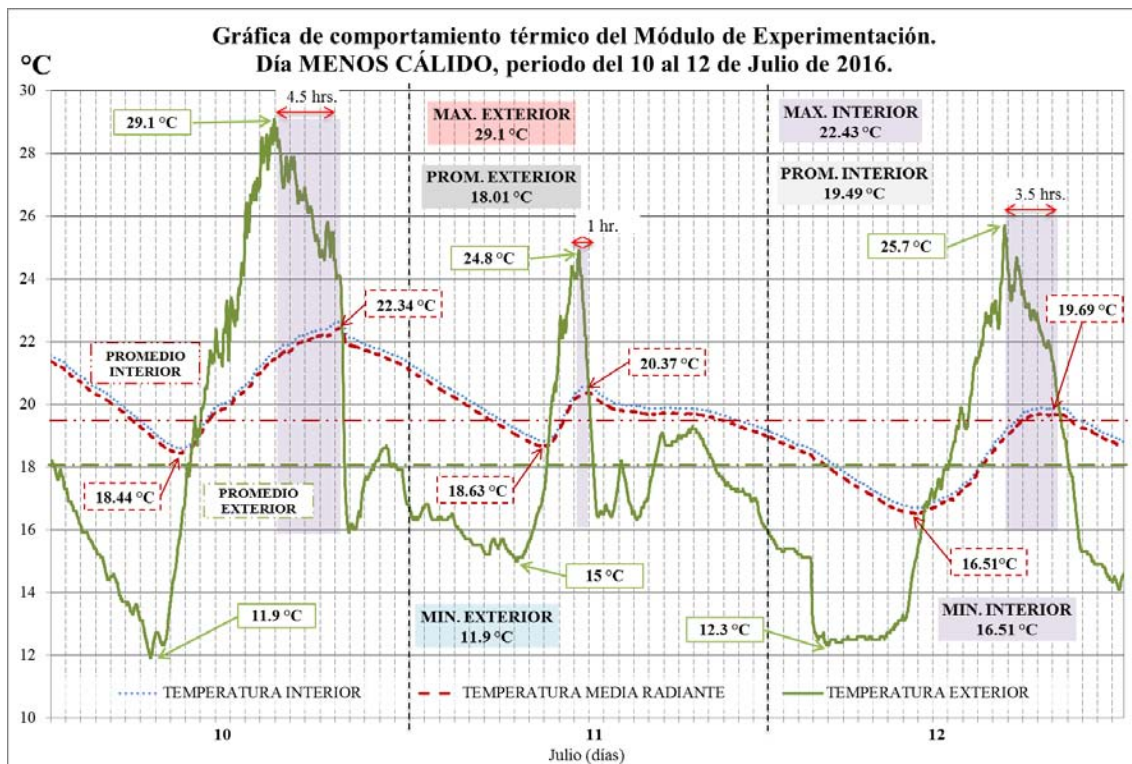


Gráfica 19. Día Más Cálido, periodo del 2 al 4 de Julio de 2016.

Análisis del día Menos Cálido. 10 al 12 de Julio de 2016.

La Gráfica 20 presenta los registros de temperatura observados para el día Menos Cálido. La TE máxima registrada fue de 29.1°C, la mínima 11.9°C el diferencial al exterior fue de 17.2°C. El promedio de TE fue de 18.01°C.

La TMR tuvo como máxima 22.43°C, la mínima fue 16.51°C presentando un diferencial de 5.92°C. El promedio registrado durante el periodo fue de 19.49°C. Para éste periodo el *time lag* observado va desde una y hasta cuatro y media horas.

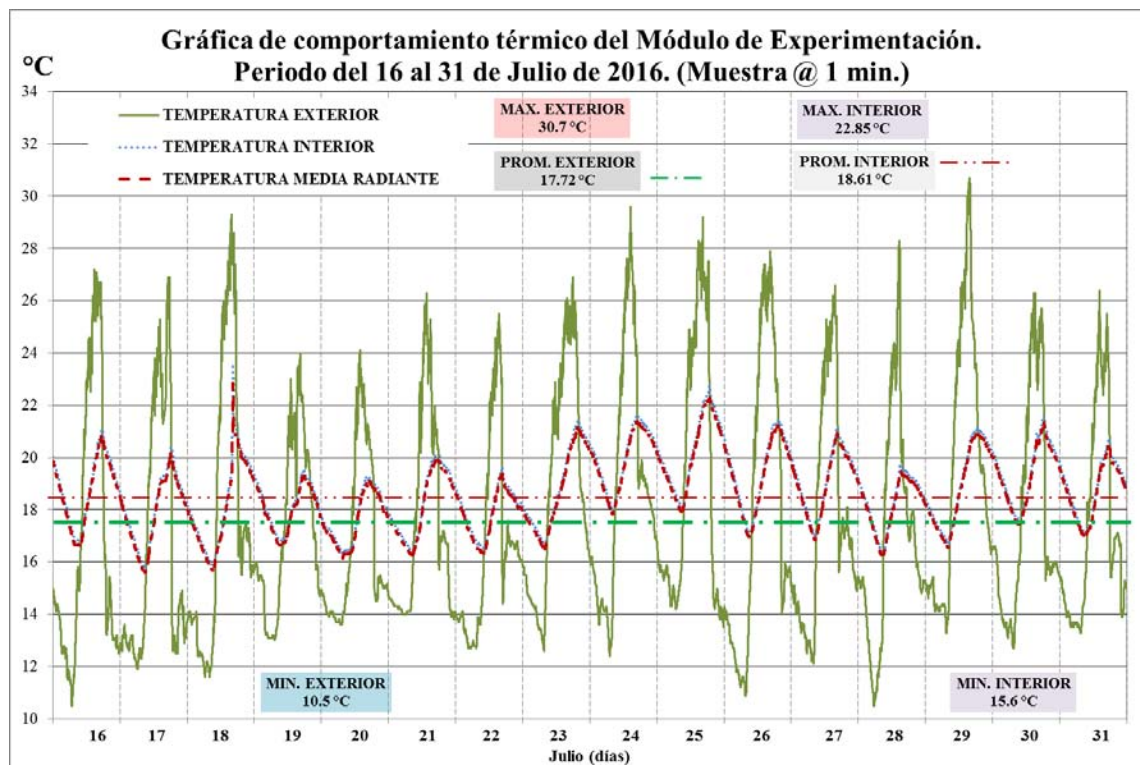


Gráfica 20. Día Menos Cálido, periodo del 10 al 12 de Julio de 2016.

- **Quinto periodo de medición 16 al 31 de Julio de 2016.**

La Gráfica 21 muestra el comportamiento del Módulo de Experimentación durante el quinto periodo de medición, comprendido entre el 16 y el 31 de Julio de 2016. Obtuvimos registros en los cuales se observa que la TE varía de 30.7°C como máxima, hasta 10.5°C como mínima, presentando un diferencial de 20.2°C y una temperatura promedio de 17.72°C. En el caso de la TMR la máxima al interior fue de 22.85°C y la mínima de 15.6°C, el diferencial entre estos registros es de 7.25°C, el promedio obtenido fue de 18.61°C

A partir de estas observaciones, determinamos el día 29 de Julio como el día Más Cálido, y el día 19 de Julio como el día Menos Cálido.

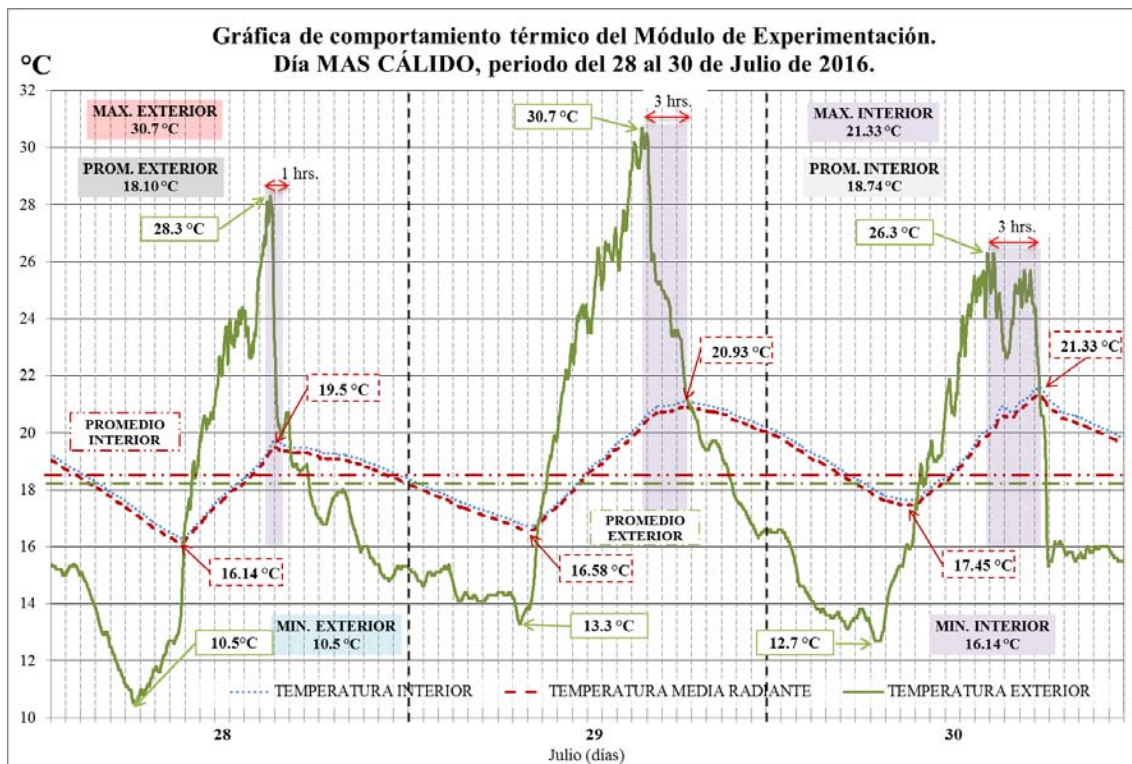


Gráfica 21. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 16 al 31 de Julio de 2016.

Análisis del día Más Cálido. 28 al 30 de Julio de 2016.

La Gráfica 22 nos muestra los datos observados durante el periodo del día Más Cálido. La TE registró como máxima 30.7°C, la mínima de 10.5°C, con un diferencial en éste periodo de 20.2°C, el promedio obtenido en la TE fue de 18.10°C. El comportamiento de la TMR fue el siguiente, la máxima registrada fue de 21.33°C, la mínima de 16.14°C. El diferencial registrado al interior fue de 5.19°C. El promedio observado fue de 18.74°C.

Durante éste periodo el *time lag* varía entre una y tres horas.



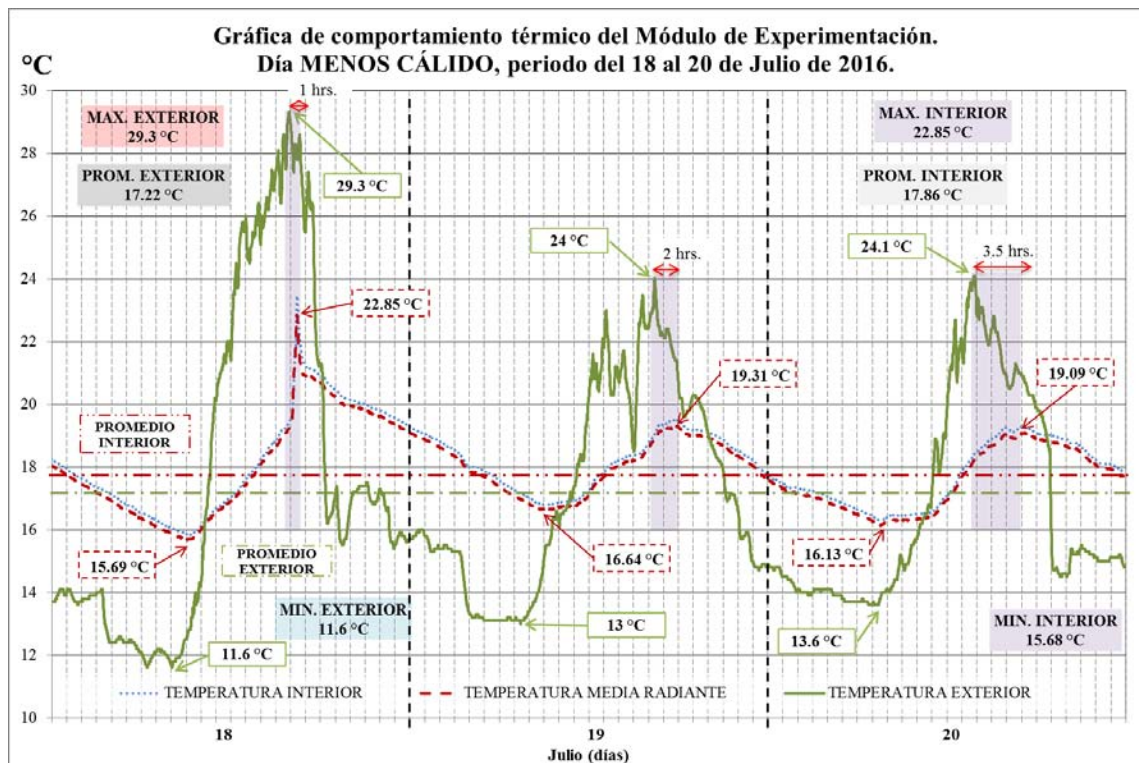
Gráfica 22. Día Más Cálido, periodo del 28 al 30 de Julio de 2016.

Análisis del día Menos Cálido. 18 al 20 de Julio de 2016.

La Gráfica 23 presenta los registros de temperatura observados para el día Menos Cálido. La TE máxima registrada fue de 29.3°C, la mínima 11.6°C el diferencial al exterior fue de 17.7°C. El promedio de TE fue de 17.22°C.

La TMR tuvo como máxima 22.85°C, la mínima fue 15.68°C presentando un diferencial de 7.17°C. El promedio registrado durante el periodo fue de 17.86°C.

Para éste periodo el *time lag* observado va desde una y hasta tres y media horas.

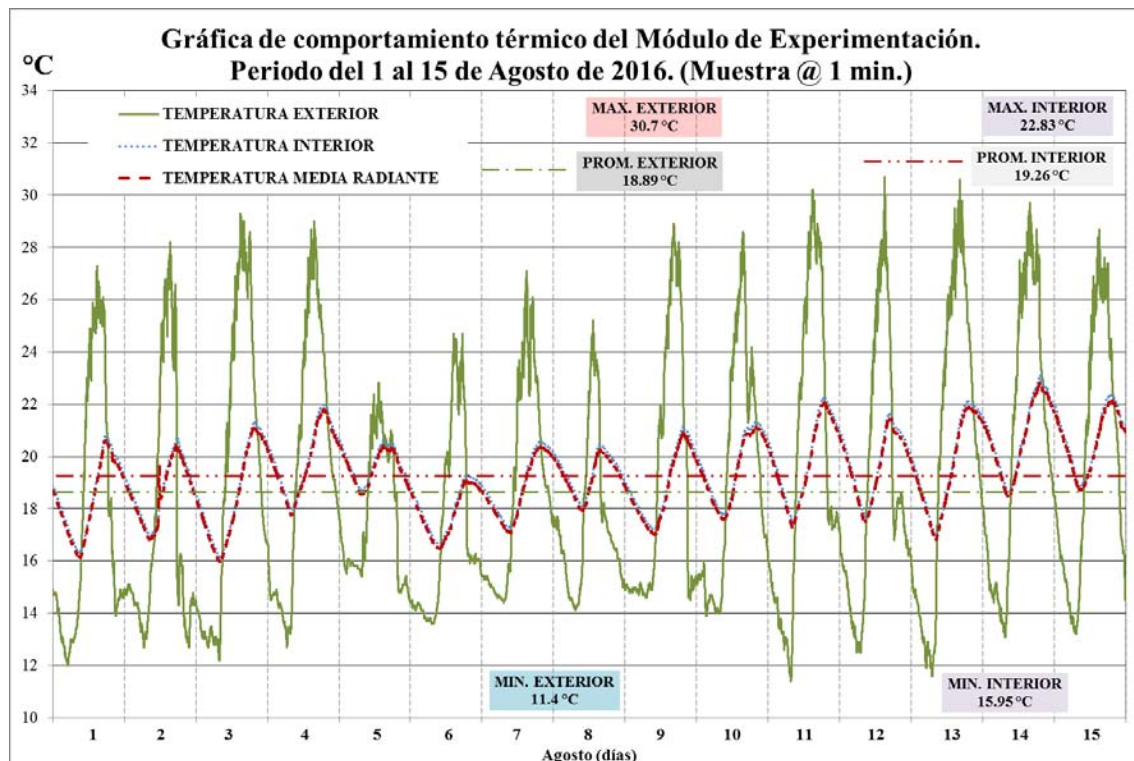


Gráfica 23. Día Menos Cálido, periodo del 18 al 20 de Julio de 2016.

- **Sexto periodo de medición 1 al 15 de Agosto de 2016.**

La Gráfica 24 muestra el comportamiento del Módulo de Experimentación durante el sexto periodo de medición, comprendido entre el 1 y el 15 de Agosto de 2016. La TE registrada varía de los 30.7 °C como máxima, hasta 11.4°C como mínima, presentando un diferencial de 19.3°C, el promedio de temperatura fue 18.89°C. La TMR máxima al interior fue de 22.83°C y la mínima de 15.95°C, el diferencial entre estos registros es de 6.88°C, el promedio obtenido fue de 19.26°C

A partir de estas observaciones, determinamos el día 12 de Agosto como el día Más Cálido, y el día 5 de Agosto como el día Menos Cálido.

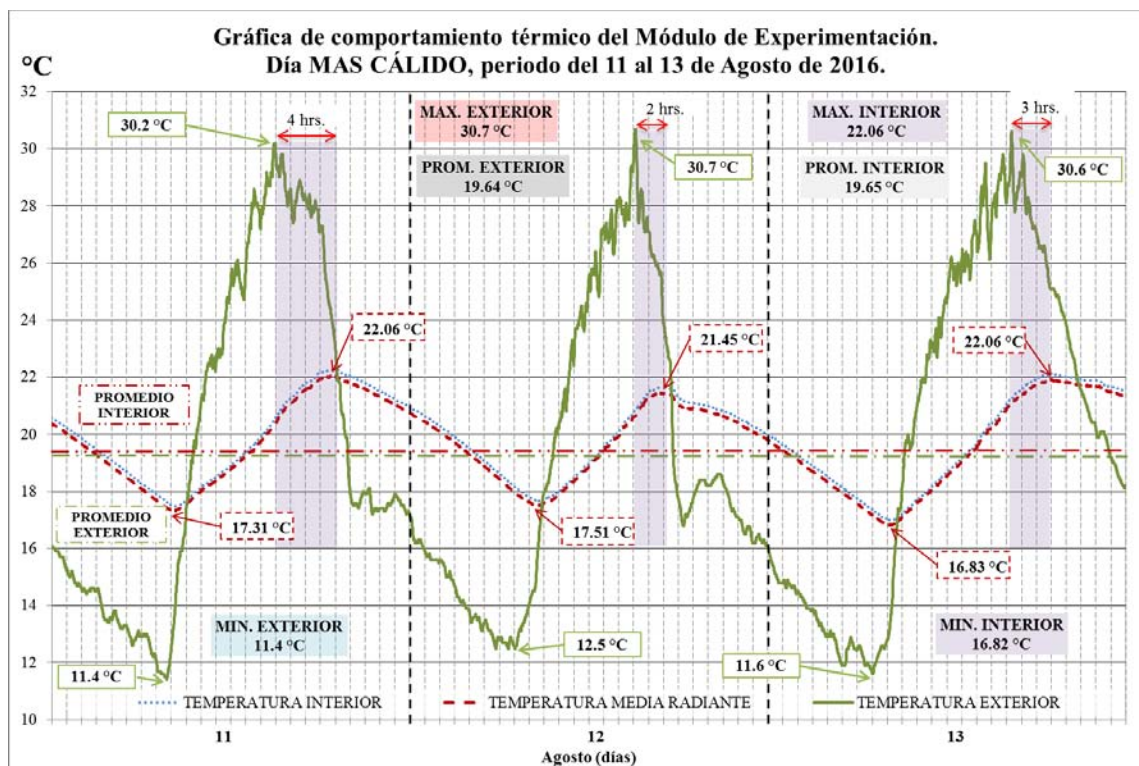


Gráfica 24. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 1 al 15 de Agosto de 2016.

Análisis del día Más Cálido. 11 al 13 de Agosto de 2016.

La Gráfica 25 nos muestra los datos observados durante el periodo del día Más Cálido. La TE registró como máxima 30.7°C, la mínima de 11.4°C, con un diferencial en éste periodo de 19.3°C, el promedio obtenido en la TE fue de 19.64°C. El comportamiento de la TMR registró como máxima 22.06°C, la mínima fue de 16.82°C. El diferencial registrado al interior fue de 5.24°C. El promedio registrado para la TMR durante éste periodo fue de 19.65°C.

Durante éste periodo el *time lag* varía entre dos y cuatro horas.



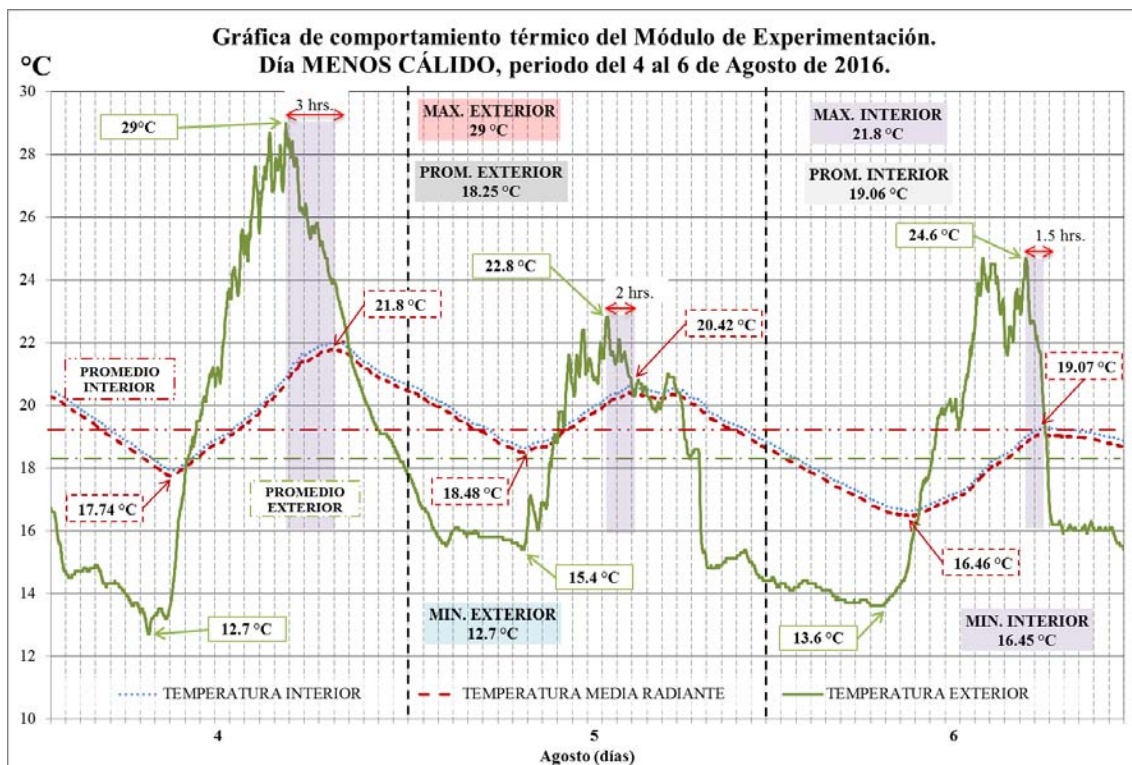
Gráfica 25. Día Más Cálido, periodo del 11 al 13 de Agosto de 2016.

Análisis del día Menos Cálido. 4 al 6 de Agosto de 2016.

La Gráfica 26 presenta los registros de temperatura observados para el día Menos Cálido. La TE máxima registrada fue de 29°C, la mínima 12.7°C el diferencial presentado entre los registros fue de 16.3°C. El promedio de TE fue de 18.25°C.

La TMR registró como máxima 21.8°C, la mínima fue 16.45°C presentando un diferencial de 5.35°C. El promedio registrado durante el periodo fue de 19.06°C.

Para éste periodo el *time lag* observado varía desde una y media hasta tres horas.

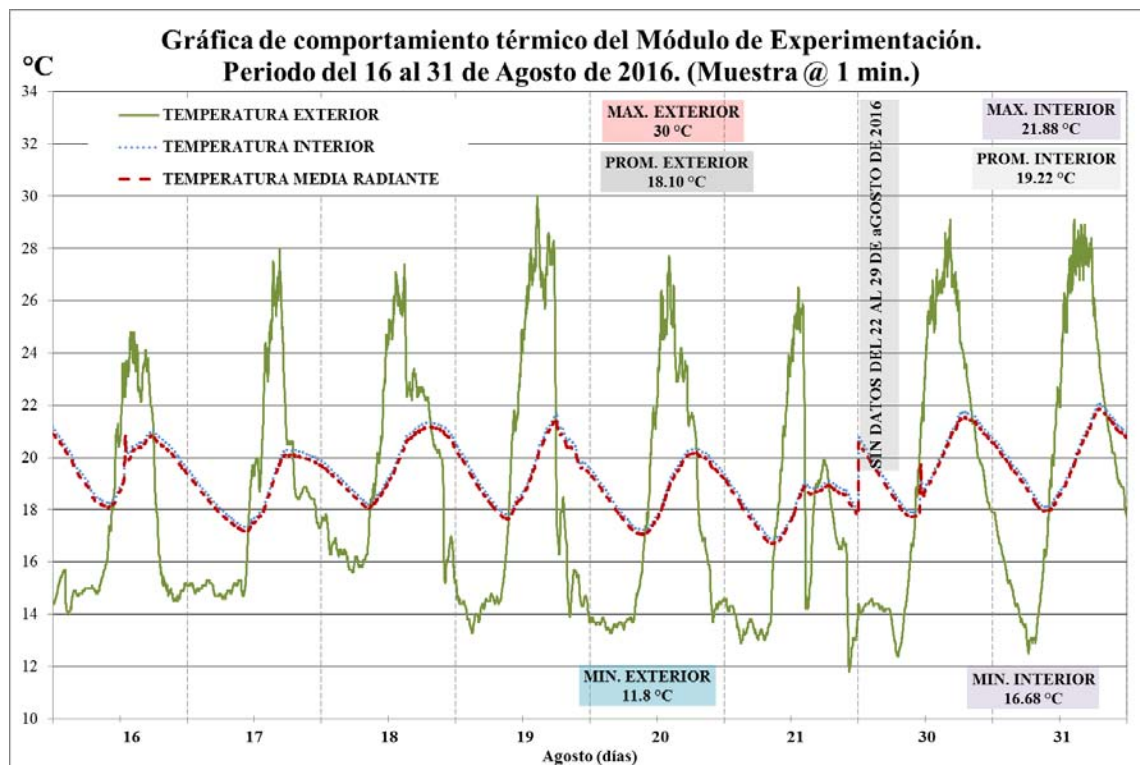


Gráfica 26. Día Menos Cálido, periodo del 4 al 6 de Agosto de 2016.

- **Séptimo periodo de medición 16 al 31 de Agosto de 2016.**

La Gráfica 27 muestra el comportamiento del Módulo de Experimentación durante el séptimo periodo de medición, cabe mencionar que por situaciones ajenas a ésta investigación los registros entre el día 22 y 29 de Agosto de 2016 fueron perdidos. Los valores de TE registraron como máxima 30°C, y la mínima 11.8°C, presentando un diferencial de 18.2°C, el promedio obtenido fue de 18.10°C. La TMR máxima obtenida fue de 21.88°C y la mínima de 16.68°C, el diferencial entre estos registros es de 5.2°C, el promedio obtenido fue de 19.22°C

A partir de estas observaciones, determinamos el día 19 de Agosto como el día Más Cálido, y el día 17 de Agosto como el día Menos Cálido.

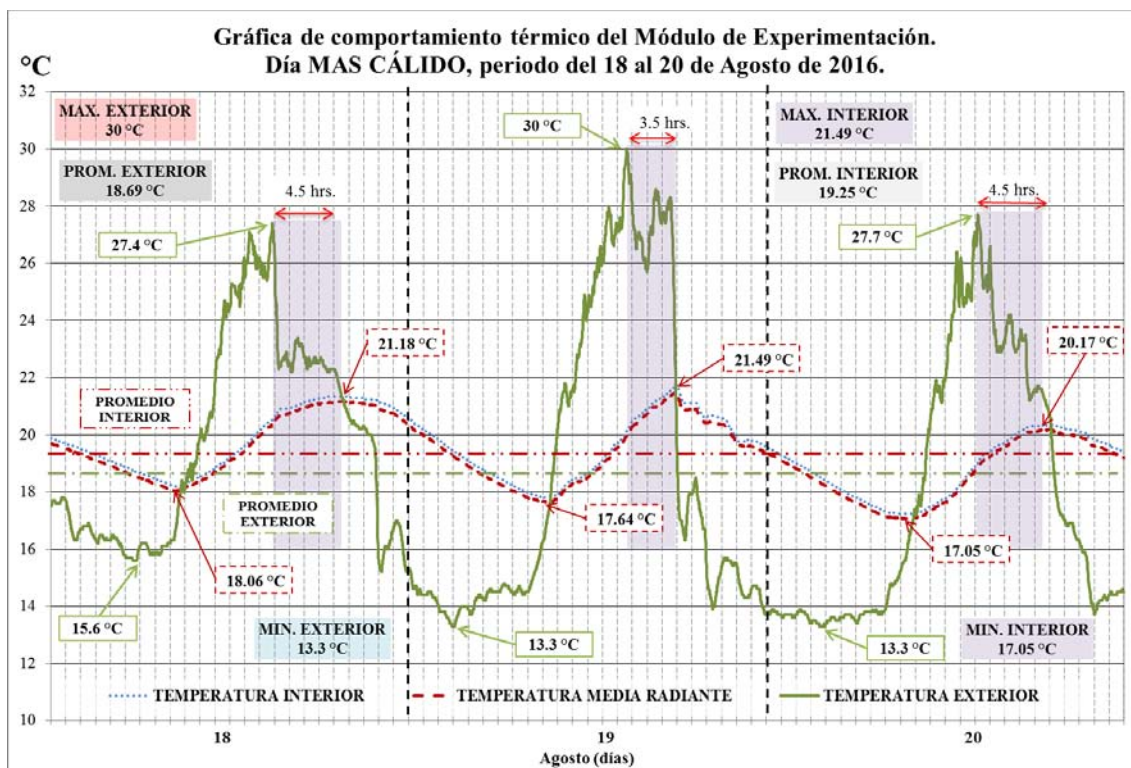


Gráfica 27. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 16 al 31 de Agosto de 2016.

Análisis del día Más Cálido. 18 al 20 de Agosto de 2016.

La Gráfica 28 nos muestra los datos registrados durante el periodo del día Más Cálido. La TE registró como máxima 30°C, la mínima de 13.3°C, con un diferencial en éste periodo de 16.7°C, el promedio obtenido en la TE fue de 18.69°C. El comportamiento de la TMR registró como máxima 21.49°C, la mínima fue de 17.05°C. El diferencial registrado al interior fue de 4.44°C. El promedio registrado para la TMR durante éste periodo fue de 19.25°C.

Durante éste periodo el *time lag* varía entre tres y media y cuatro y media horas.



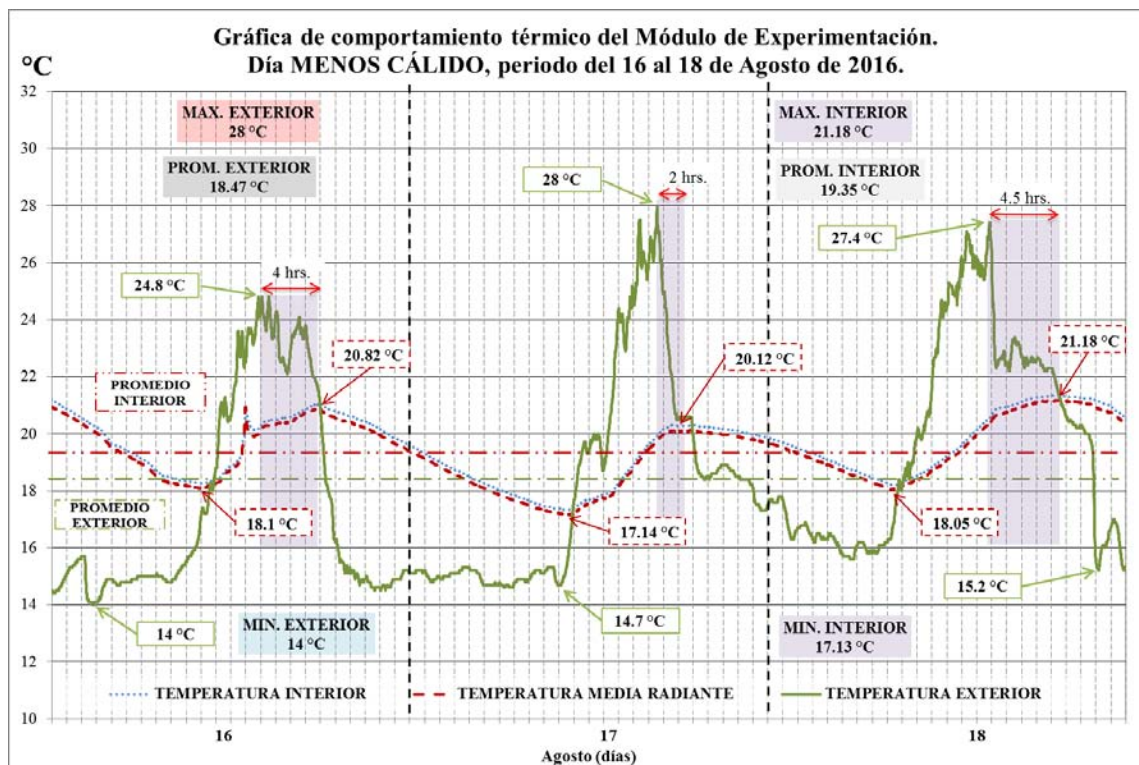
Gráfica 28. Día Más Cálido, periodo del 18 al 20 de Agosto de 2016.

Análisis del día Menos Cálido. 16 al 18 de Agosto de 2016.

La Gráfica 29 presenta los registros de temperatura observados para el día Menos Cálido. La TE máxima registrada fue de 28°C, la mínima 14°C el diferencial presentado entre los registros fue de 14°C. El promedio de TE fue de 18.47°C.

La TMR registró como máxima 21.18°C, la mínima fue 17.13°C presentando un diferencial de 4.05°C. El promedio registrado durante el periodo fue de 19.35°C.

Para éste periodo el *time lag* observado varía desde dos y hasta cuatro y media horas.

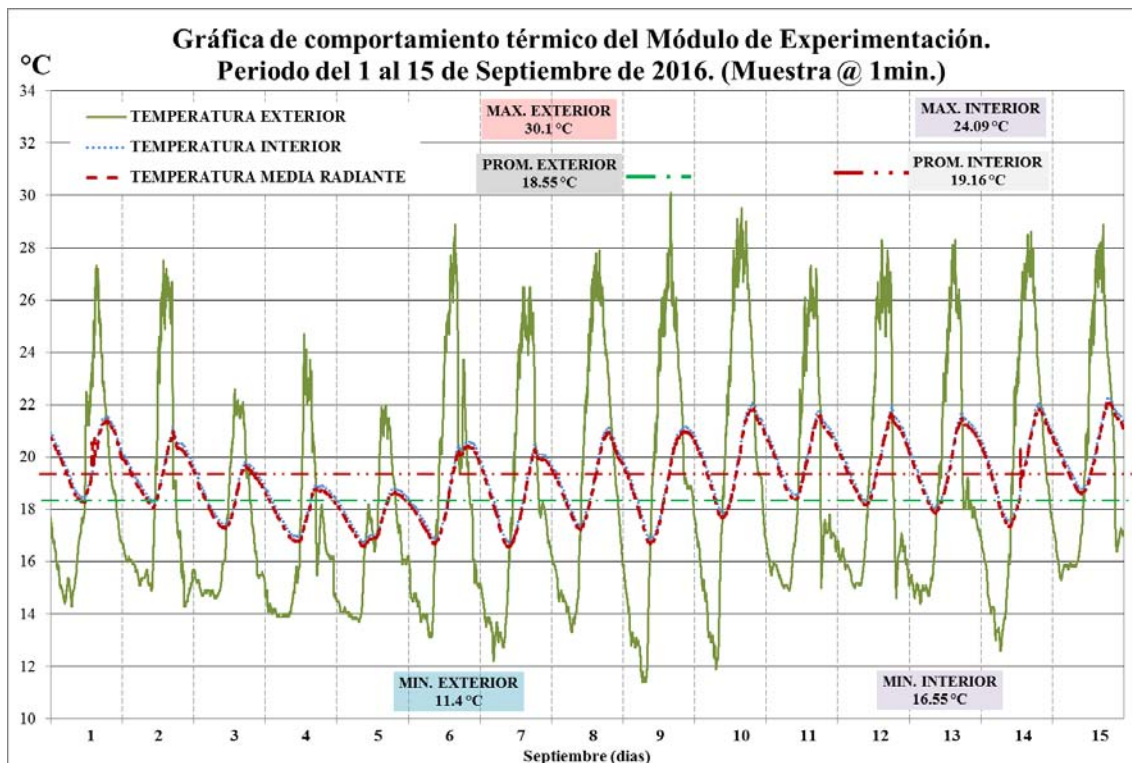


Gráfica 29. Día Menos Cálido, periodo del 16 al 18 de Agosto de 2016.

- **Octavo periodo de medición 1 al 15 de Septiembre de 2016.**

La Gráfica 30 muestra el comportamiento del Módulo de Experimentación durante el octavo periodo de medición comprendido entre el día 1 y el 15 de Septiembre de 2016. Los datos de TE registraron como máxima 30.1°C, y la mínima 11.4°C, presentando un diferencial de 18.7°C, el promedio obtenido fue de 18.55°C. La TMR máxima obtenida fue de 24.09°C y la mínima de 16.55°C, el diferencial entre estos registros es de 7.54°C, el promedio obtenido fue de 19.16°C

A partir de estas observaciones, determinamos el día 9 de Septiembre como el día Más Cálido, y el día 5 de Septiembre como el día Menos Cálido.

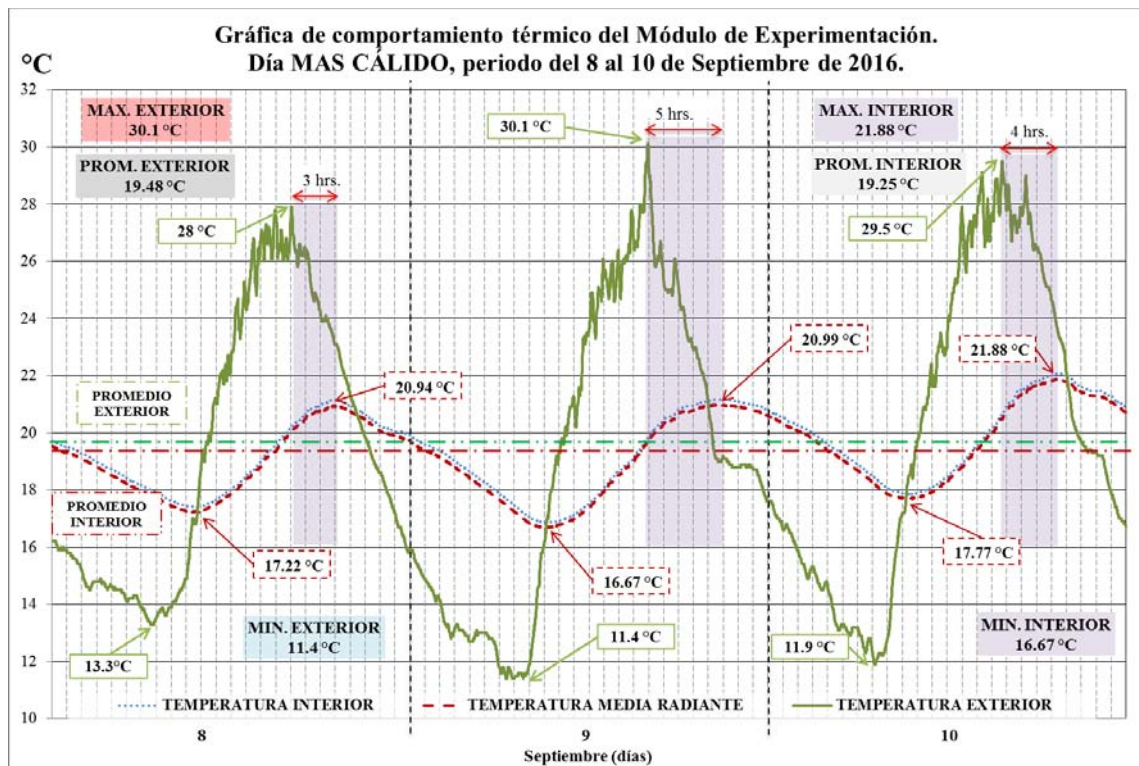


Gráfica 30. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 1 al 15 de Septiembre de 2016.

Análisis del día Más Cálido. 8 al 10 de Septiembre de 2016.

La Gráfica 31 nos muestra los datos registrados durante el periodo del día Más Cálido. La TE registró como máxima 30.1°C, la mínima de 11.4°C, con un diferencial en éste periodo de 18.7°C, el promedio obtenido en la TE fue de 19.48°C. El comportamiento de la TMR registró como máxima 21.88°C, la mínima fue de 16.67°C. El diferencial registrado al interior fue de 5.21°C. El promedio registrado para la TMR durante éste periodo fue de 19.25°C.

Durante éste periodo el *time lag* varía entre tres y cinco horas.



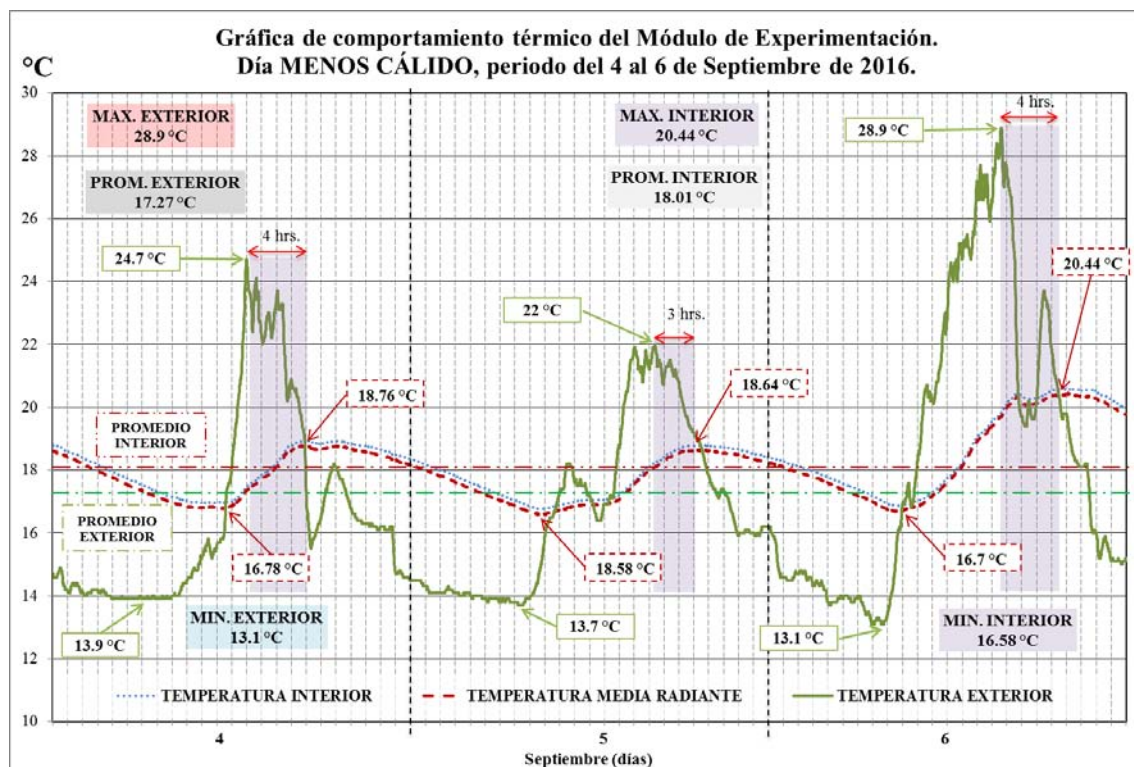
Gráfica 31. Día Más Cálido, periodo del 8 al 10 de Septiembre de 2016.

Análisis del día Menos Cálido. 4 al 6 de Septiembre de 2016.

La Gráfica 32 presenta los registros de temperatura observados para el día Menos Cálido. La TE máxima registrada fue de 28.9°C, la mínima 13.1°C el diferencial presentado entre los registros fue de 15.8°C. El promedio de TE fue de 17.27°C.

La TMR registró como máxima 20.44°C, la mínima fue 16.58°C presentando un diferencial de 3.86°C. El promedio registrado durante el periodo fue de 18.01°C.

Para éste periodo el *time lag* observado varía entre tres y cuatro horas.

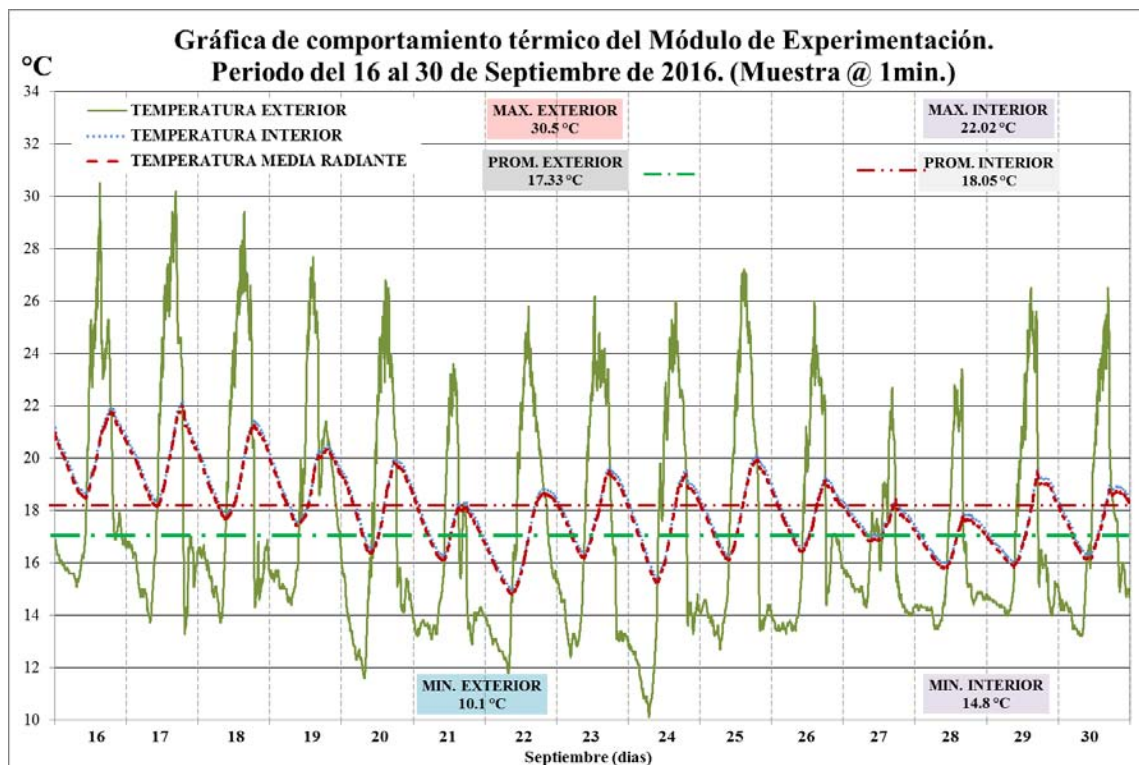


Gráfica 32. Día Menos Cálido, periodo del 4 al 6 de Septiembre de 2016.

- **Noveno periodo de medición 16 al 30 de Septiembre de 2016.**

La Gráfica 33 muestra el comportamiento del Módulo de Experimentación durante el noveno y último periodo de medición comprendido entre el día 16 y el 30 de Septiembre de 2016. Los datos de TE registraron como máxima 30.5°C, y la mínima 10.1°C, presentando un diferencial de 20.4°C, el promedio obtenido fue de 17.33°C. La TMR máxima obtenida fue de 22.02°C y la mínima de 14.8°C, el diferencial entre estos registros es de 7.22°C, el promedio obtenido fue de 18.05°C

A partir de estas observaciones, determinamos el día 17 de Septiembre como el día Más Cálido, y el día 27 de Septiembre como el día Menos Cálido.

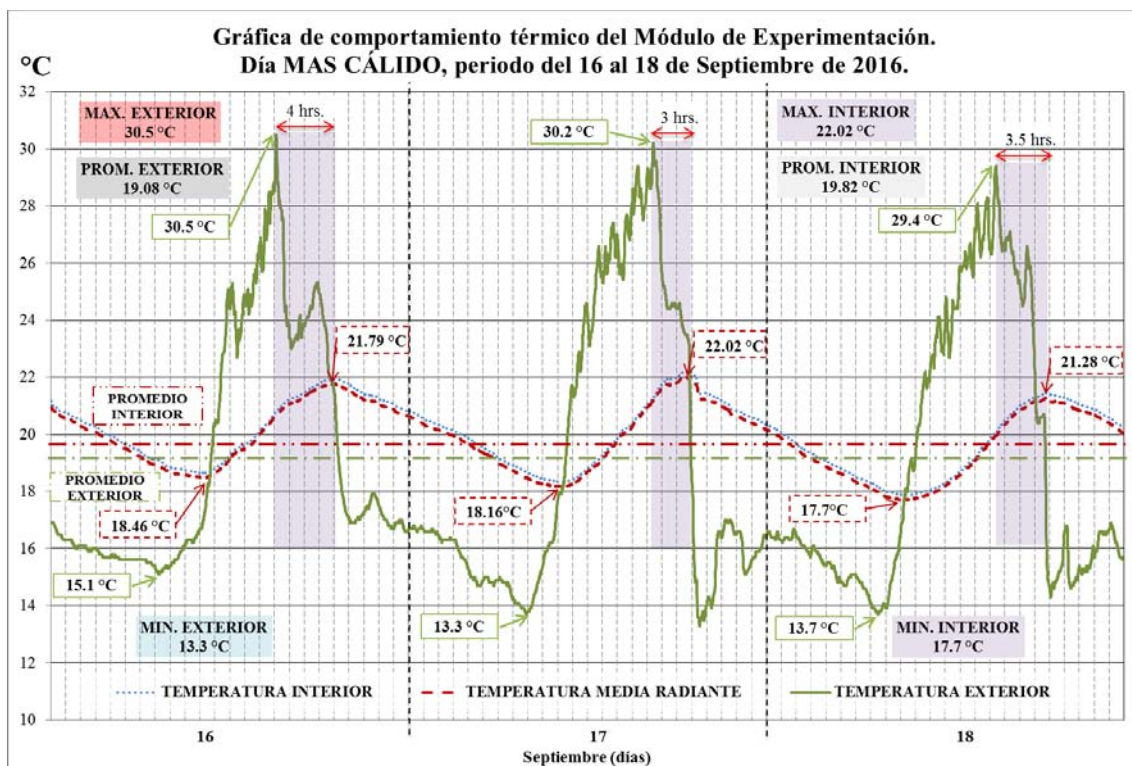


Gráfica 33. Fase Tres. Comportamiento térmico del Módulo de Experimentación del 16 al 30 de Septiembre de 2016.

Análisis del día Más Cálido. 16 al 18 de Septiembre de 2016.

La Gráfica 34 nos muestra los datos registrados durante el periodo del día Más Cálido. La TE registró como máxima 30.5°C, la mínima de 13.3°C, con un diferencial en éste periodo de 17.2°C, el promedio obtenido en la TE fue de 19.08°C. El comportamiento de la TMR registró como máxima 20.02°C, la mínima fue de 17.7°C. El diferencial registrado al interior fue de 2.32°C. El promedio registrado para la TMR durante éste periodo fue de 19.82°C.

Durante éste periodo el *time lag* varía entre tres y cinco horas.



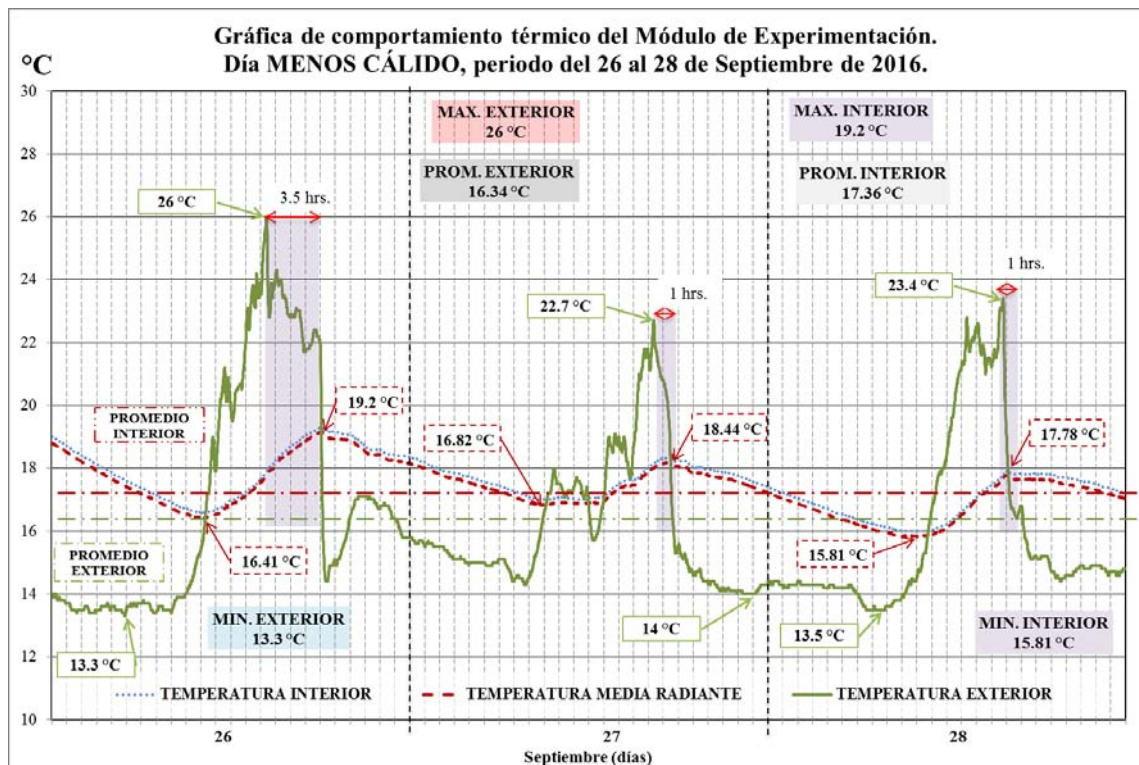
Gráfica 34. Día Más Cálido, periodo del 16 al 18 de Septiembre de 2016.

Análisis del día Menos Cálido. 26 al 28 de Septiembre de 2016.

La Gráfica 35 presenta los registros de temperatura observados para el día Menos Cálido. La TE máxima registrada fue de 26°C, la mínima 13.3°C el diferencial presentado entre los registros fue de 12.7°C. El promedio de TE fue de 16.34°C.

La TMR registró como máxima 19.2°C, la mínima fue 15.81°C presentando un diferencial de 3.39°C. El promedio registrado durante el periodo fue de 17.36°C.

Para éste periodo el *time lag* observado varía entre una y tres y media horas.



Gráfica 35. Día Menos Cálido, periodo del 26 al 28 de Septiembre de 2016.

3.4.3.3. Conclusiones.

Consideramos que en ésta Fase de Experimentación podemos concluir que el sistema de envolvente del ME efectivamente aísla el calor del exterior y mantiene condiciones estables en su interior.

Mediante el análisis de los datos obtenidos en los nueve periodos, alcanzamos un diferencial de 3.39°C entre la TMR máxima y mínima. Observamos también que a medida que la TE máxima disminuye, las condiciones de estabilidad al interior del ME se acercan más al objetivo inicial de la investigación.

Podemos argumentar a su vez que cuando la TE máxima durante el día es menor a los 26°C el sistema de envolvente responde de una mejor manera al controlar la ganancia térmica y proveer condiciones de estabilidad al interior.

Cuando la TE máxima excede los 26°C los diferenciales registrados en la TMR al interior del ME, varían de los 5°C y hasta poco menos de 8°C entre la máxima y mínima registradas.

Conclusiones Generales y Prospectiva.

La configuración de la envolvente permitió conseguir durante la Tercer Fase de Experimentación un diferencial menor a los 4°C planteado en los objetivos de la investigación. Durante el noveno periodo correspondiente a los días del 15 al 30 de Septiembre, el análisis del Día Menos Cálido (26 al 28 de Septiembre) logro un diferencial de 3.39°C para los valores máximos y mínimos de la TMR.

Como mencionamos en las conclusiones del Tercer periodo de Experimentación observamos que cuando la TE máxima registra valores menores a los 26°C el sistema de envolvente responde obteniendo los diferenciales más bajos registrados para la TMR (menores a 4°C) durante las 24 horas del día.

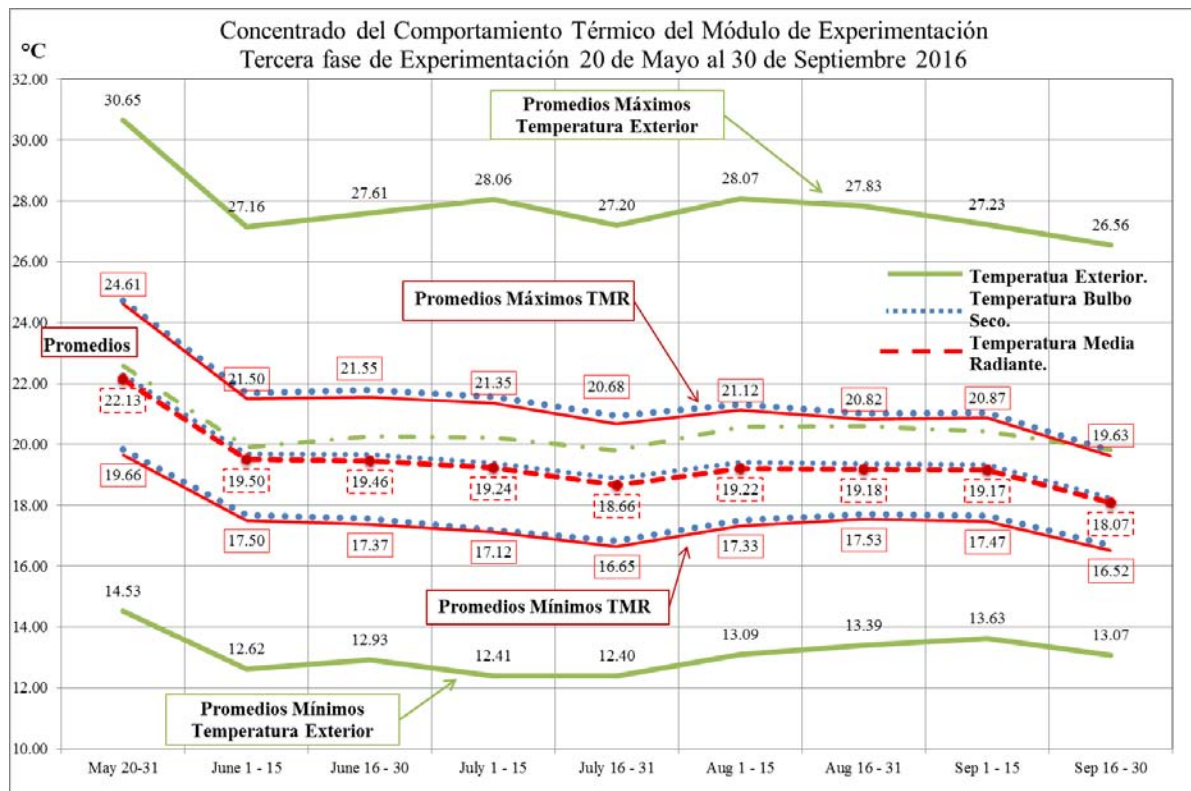
Por otra parte cuando los registros de TE exceden los 26°C como máxima, el diferencial alcanzado para la TMR varía entre los 5°C y poco menos de 8°C durante las 24 horas del día.

Esta Fase de experimentación se llevó a cabo durante los meses más cálidos del año (Mayo a Septiembre - Primavera y Verano) por lo que los valores diferenciales de la TMR reportados son los mayores que podemos observar dentro del ME, a medida que los registros máximos de TE disminuyan (Otoño e Invierno) el gradiente térmico interior será cada vez más cercano a 0°C durante las 24 horas.

La Grafica 36 muestra el comportamiento de los nueve periodos analizados durante la Tercera Fase de Experimentación, para construir ésta gráfica tomamos los valores máximos diarios registrados para cada una de

las variables (TE, TBS, TMR) y obtuvimos el promedio, del mismo modo analizamos los promedios de las temperaturas mínimas registradas. A partir de estos valores fue que obtuvimos los promedios de cada variable, los cuales corresponden con las líneas centrales de la gráfica.

Gracias a ésta gráfica podemos apreciar que a medida que disminuye el promedio de temperatura máxima al exterior, el diferencial de la TMR entre los máximos y los mínimos se va disminuyendo, con lo cual sostenemos el argumento de que la configuración de envolvente utilizada para éste proyecto funciona en las condiciones descritas con anterioridad.



Gráfica 36. Comportamiento Térmico del ME durante la Tercera Fase de Experimentación. 20 de Mayo al 30 de Septiembre de 2016.

Los resultados obtenidos mediante la simulación ejecutada en Autodesk Revit Architecture 2017³⁰, se acercan en un 85% con los resultados obtenidos mediante la medición de las condiciones internas en la Fase Tres de Experimentación. Dichos resultados pueden ser utilizados para conformar el análisis térmico de la envolvente arquitectónica. Cabe señalar que el Software (Revit 2017) limita a 10 capas diferentes la configuración de cada uno de los elementos constructivos (muros, losas, pisos).

En éste caso, la envolvente utilizada en el ME excede en número las 10 capas límite, pero agrupamos elementos similares (cámara de aire, EPS³¹, madera) estableciendo su espesor real, esta agrupación permitió realizar la simulación y obtener los resultados descritos en el índice 2.3 de ésta investigación.

Referente a la consolidación de la Base de Datos de la Plataforma de Observación del Laboratorio de Interacción con el Medio del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, podemos mencionar que se logró el objetivo, ya que tenemos datos confiables tanto de variables exteriores, como al interior del ME desde el mes de Marzo de 2015. Estos datos están disponibles para todos los investigadores del Campo de Tecnología así como para alumnos del Programa no importando su campo de conocimiento.

En los anexos de éste documento se encuentra el "*Manual de Manejo y Mantenimiento de la Plataforma de Experimentación del Programa de Maestría*

³⁰ <http://www.autodesk.com/products/revit-family/overview> Fecha de consulta 29/01/17.

³¹ **EPS.** *Expanded Polystyrene.* Poliestireno Expandido, utilizado como aislamiento térmico, es una polímero que se comercializa en placas de diferentes espesores. Fuente: <http://ww3.owenscorning.com/sciencedoesntlie/> Fecha de consulta: 29/01/17.

y *Doctorado en Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México*" el cual menciona los lineamientos básicos para el manejo y mantenimiento de la Plataforma de Experimentación, así como de los recursos que en ella se encuentran.

Podemos mencionar que el objetivo de proveer al Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de un espacio de experimentación válido, versátil y estable, se cumplió. Aunque no concluimos con la caracterización de ambos Módulos de Experimentación, se caracterizó el Módulo de Referencia, el cual servirá para que a partir de la configuración lograda se dé continuidad y se logre culminar con ambos módulos de la Plataforma de Experimentación.

Actualmente el ME se está utilizando para desarrollar dos tipos de investigaciones. La primera de ellas referente al estudio de la Radiación Global recibida en planos verticales, observando y registrando valores en las cuatro orientaciones posibles. La segunda investigación se avoca al estudio del recurso lumínico y su impacto térmico en el interior del ME, para éste estudio se configuró la Fachada de Experimentación con cristal al 100%, y se están registrando valores de iluminancia en diferentes planos y alturas.



Imagen 39. Vista Actual del Módulo de Experimentación. Arq. Viridiana Pansza configurando su experimento.

Prospectiva.

La versatilidad de la Plataforma de Experimentación permite que en ella se realicen diferentes tipos de experimentos, a continuación enumeramos algunas de las líneas de investigación que consideramos pueden ser profundizadas con la disponibilidad de éste instrumento.

Línea de Investigación en aspectos Térmicos:

- Análisis del comportamiento térmico de materiales observando las cuatro orientaciones posibles.
- Repercusión térmica en el espacio interior en función del vano propuesto y la transparencia de éste.
- Sistema de enfriamiento evaporativo dentro de un espacio con cero ganancias por infiltración.

- Masa térmica como sistema de enfriamiento dentro de un espacio térmicamente estable.
- Aislamiento térmico como solución al sobrecalentamiento del espacio interior observando diferentes orientaciones. Análisis costo – beneficio.
- Comportamiento térmico de materiales desarrollados en el programa.

Línea de Investigación en aspectos Lumínicos:

- Niveles de iluminación interior con el vano mínimo según el RCDF, observando las 4 orientaciones durante las 4 estaciones. (4O+4E)
- Estrategia de diseño para un espacio de trabajo utilizando luz natural. (4O+4E)
- Estudio de sombras, comprobación práctica de la gráfica solar. (4O+4E)
- Análisis cuantitativo y cualitativo de un sistema de transmisión de luz natural (Lumiducto, Fibra óptica, Vano, Tragaluz). (4O+4E)
- Comportamiento lumínico de materiales desarrollados en el programa.

Línea de Investigación en aspectos Acústicos:

- Análisis del comportamiento acústico de la propuesta de envolvente.
- Comportamiento acústico de materiales desarrollados en el programa.

Glosario

Sistema termodinámico. Denominaremos así, a la región del espacio sometida a estudio, separada del medio que le rodea (entorno) por una superficie que lo limita (límites del sistema).

Temperatura. Es una magnitud escalar variable en cada punto del espacio y en cada instante considerado. El conjunto de puntos con las mismas características de temperatura en tiempo y/o espacio se llaman isotermas. Para medir esta magnitud se emplea el grado Kelvin en el Sistema Internacional (siendo 0°K la temperatura correspondiente al “cero absoluto”), pero es habitual el uso de otra escala para su medida, siendo la misma unidad, como el grado Celsius (conocido como centígrado) correspondiente al 0°C, con la temperatura de cambio de estado del agua de líquido a sólido; también existe la escala de Fahrenheit utilizada en los Estados Unidos de Norte América.

Potencia térmica o transmisión de calor. Es la cantidad de energía calorífica que atraviesa una superficie en una unidad de tiempo. Su unidad en el Sistema Internacional es el Watt, pero también son utilizadas las siguientes unidades.

$$1 \text{ kcal} = 4186 \text{ Julios}$$

$$1 \text{ BTU} = 1055 \text{ Julios}$$

$$1 \text{ kcal/h} = 1,162 \text{ W}$$

$$1 \text{ BTU/h} = 0.252 \text{ kcal/h}$$

Resistencia térmica. Es la oposición que tiene un cuerpo al paso de energía. Esta se considera análoga a la resistencia eléctrica, siendo el flujo la intensidad eléctrica y la diferencia de potencia el gradiente de temperatura. Resultando de la siguiente manera:

Conductividad térmica. Inverso de la resistencia térmica.

Difusividad térmica. Es el cociente entre la constante de proporcionalidad “k” con la densidad y la capacidad calorífica.

Capacidad calorífica. Es el cociente entre la cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo o sistema en un proceso cualquiera y el cambio de temperatura que experimenta. En una forma menos formal, es la energía necesaria para aumentar 1°K su temperatura. Indica la mayor o menor dificultad que presenta dicho cuerpo para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor. Puede interpretarse como una medida de inercia térmica. Es una propiedad extensiva, ya que su magnitud depende, no solo de la sustancia, sino también de la cantidad de materia del cuerpo o sistema; por ello, es característica de un cuerpo o sistema particular. Por ejemplo, la capacidad calorífica del agua de una piscina olímpica será mayor que la de un vaso de agua. En general, la capacidad calorífica depende además de la temperatura y de la presión.

La capacidad calorífica no debe ser confundida con la **capacidad calorífica específica o calor específico**, el cual es la propiedad intensiva que se refiere a la capacidad de un cuerpo “para almacenar calor”, y es el cociente entre la capacidad calorífica y la masa del objeto. El calor específico es una propiedad característica de las sustancias y depende

de las mismas variables que la capacidad calorífica. Cabe señalar que la termodinámica clásica no predice la velocidad a la que se produce la transmisión de energía calorífica, la “transferencia de calor” se encarga de ello. La transmisión de calor se produce por tres fenómenos físicos, conducción, convección y radiación.

Gradiente térmico. Aumento o disminución gradual de la temperatura en un espacio durante un periodo de tiempo.

Infiltración de aire. Flujo de aire que penetra en una habitación a través de rendijas u otras aberturas (ventanas, puertas).

Emisividad. Relación entre la energía total emitida por un cuerpo a una temperatura dada y la energía que ese cuerpo emitiría si fuese un cuerpo negro a la misma temperatura.

Referencias.

- 2015-2, P. C. (2015). *Informe final Práctica Complementaria Sem. 2015-2. PMDA*. Ciudad de México: Programa de Maestría en Arquitectura, UNAM.
- Allen, W. (1997). *Envelope Design for Buildings*. London: Architectural Press.
- Alvarado Castañeda, A. (2014). *Sistemas para mejorar térmicamente el ferrocemento empleado en la Arquitectura Orgánica*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (2014). *2013 ASHRAE Handbook - Fundamentals (I-P Edition)*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Baird, D. (1997). *Experimentación, una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos*.
- Berg, B. (2009). *The Ecology of Building Materials*. Oxford, United Kingdom.: Elsevier.
- Boake, T. M. (2003). Understanding the Principles of the Double Façade System. *University of Waterloo*, 18.
- Chiron de la Caseniére, A. (2008). *La radiación solar en el sistema tierra-atmósfera*. Valladolid: Universidad de Valladolid, Secretariado de publicaciones e Intercambio Editorial.
- Crespo, L. A. (2004). History of The Double Skin Facade. *Harvard University*.
- García Alcántara, M. (2012). *Luz natural : sistema de captación, transmisión y distribución*. México.
- González Cruz, E. M. (2013). Estudio experimental sobre el comportamiento térmico de un nuevo tipo de techo-estanco para el enfriamiento pasivo en clima húmedo. *Ambiente Construido, Porto Alegre*, v. 13, n. 4., 149-171.
- Guadarrama Gándara, C. G. (2011). *Luz natural: aportaciones cuantitativas y cualitativas para la precisión en el pronóstico de la luz natural en un inmueble del siglo XXIX del Centro Histórico de la Ciudad de México*. México.
- Hausladen, G. (2008). *ClimateSkin, Building-skin Concepts that Con Do More with Less Energy*. Basel: Birkhäuser.

Maxwell, J. C.-1. (1864). *A treatise on electricity and magnetism*. London: Oxford University Press, 1937-9999.

Meinel Aden, M. M. (1982). *Applied Solar Energy An Introduction*. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

Morales Hesiquio, A. A. (2011). *Impacto térmico de la ventana en la vivienda de México : recomendaciones para el diseño y la orientación*.

Morales Ramirez, J. D. (1989). *Climatizacion natural de edificios en clima calido*. México.

Morales Ramirez, J. D. (1993). *Estudio de techos de edificios construidos para operar en forma pasiva*. México.

Muhlía V., A. (2006). *Notas del curso: solarimetría. 30 Semana Nacional de Energía Solar*. Veracruz, Ver.: ANES.

Padilla Quiñones, A. (2014). *Transmisión de luz natural a través de fibra óptica : potencial de ahorro energético en espacios comerciales*. México.

Pazos Pérez, P. (2014). *Climatización con placas termoeléctricas en espacios térmicamente ineficientes*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Saelens, D. (2002). Energy performance assessment of single storey multiple-skin facades.

Sánchez Pérez, D. E. (2014). *Parametrización del comportamiento térmico de la envolvente de la vivienda para la certificación de edificios sustentables*.

Stix, M. (1939). *The sun: an introduction*. Berlin: Springer Verlag, c2002.

Valeriano Flores, A. (2010). *Iluminación natural en arquitectura : validación de los métodos de cálculo en la Ciudad de México*. México.

Anexos.

- A. Programa de Experimentación.
- B. Artículo Fase Uno de Experimentación. (CSSR 2015)
- C. Artículo Fase Tres de Experimentación. (CSSR 2016)
- D. Simulación en Autodesk Revit 2017.
- E. Manual de Manejo y Mantenimiento de la Plataforma de Experimentación del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la UNAM.
- F. Fichas técnicas y calibración de Equipos e Instrumentos de Medición.
- G. Convenio de Colaboración Corev de México.

Diseño y caracterización de espacios experimentales.

Design and Characterization of full scale testing module.

A. Programa de Experimentación.

**B. Artículo Fase Uno de Experimentación.
(CSSR 2015)**

Analysis of the Thermal Behavior of the Double Skin Envelope in the Full Scale Testing Modules of the Postgraduate Unit for a Cloudy and a Clear Day

*Ricardo Sánchez Benítez
Leonardo B. Zeevaert Alcántara
Master Program in Architecture National,
Autonomous University of Mexico*

ABSTRACT

At the campus of the National Autonomous University of Mexico, on the roof of the “J” building of the Postgraduate Unit (19°18’33.59”N,99°11’5.73”O), an Observation Deck and Experimentation Laboratory of the Master and PhD Program in Architecture are installed. This platform consists of two Full Scale Testing Modules. Each module has 9.00 m² of floor and 3.00 m high. The vertical envelope is formed by a double layer envelope with exterior and interior insulation. The horizontal envelope (cover) has insulation and a water proofing pre-manufactured system. The horizontal envelope (floor) has insulation outside and inside the structure as well as a radiation barrier. Data from each sensor was recorded every minute. The aim of this research is to characterize the thermal behavior of the Full Testing Modules; we are looking for thermal stability 24 hours a day. In order to do that, the first phase was to determine which of the measured variables directly affects the temperature of the inner side of the envelope. The obtained data was compared and showed that on a cloudy day, the global radiation does not interfere directly in the thermal behavior of the inner part. In this stage, the internal temperature of the module is directly related to the temperature inside the envelope. For a clear day we got that, the global radiation does interfere in the temperature of the inner face of the envelope, but is even more direct the relationship of the temperature inside the module with respect to the envelope temperature.

Keywords: *full scale testing module, thermal behavior, double layer envelope, temperature measurement, variable correlation.*

Introduction

Of the 290 investigations that have been conducted on the Technology field of the Master and PhD Program in Architecture since 1973, the 62.42% (181 theses) have been focused on Environment and Energy issues as well as Development of Materials and Systems. Most part of this research required to check its arguments with in an experimental space designed by each researcher according to the specific needs of their projects. This situation greatly complicated the continuity of certain research lines and the testing of hypotheses expressed in the research. The Program needs to create an experimental space that meets the needs of most of the researchers and which can give continuity to the opened research lines.

At the roof of the “J” building of the Postgraduate Unit belonging to the campus of the National Autonomous University of Mexico, we located the Observation Deck and Experimentation Laboratory of LIM. This platform consists of two Modules of Experimentation. Each module has 9.00m² of floor and 3.00m high. The vertical envelope is formed by a double layer envelope with exterior and interior insulation. The horizontal envelope (cover) has insulation and a water proof fingpre-manufactured system. The horizontal envelope (floor) has insulation outside and inside the structure as well as a radiation barrier.

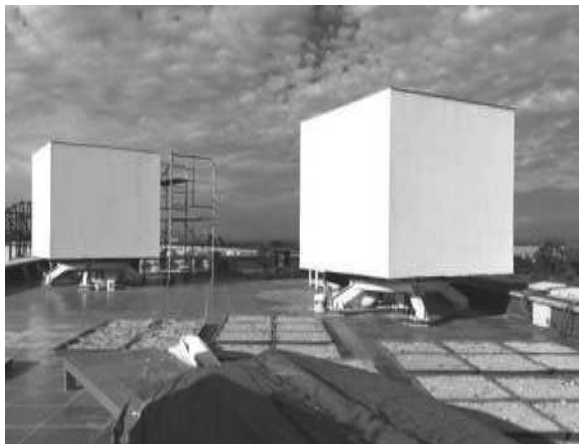


Figure 1: Full Scale Testing Modules

One of the vertical faces has a span in which the Experimental Façade is placed, which is where the experiments were installed. Each module is set on a special structure that allows them to rotate 360 degrees on its axis, which gives the opportunity for each one of its facades to be observed in any orientation.

Outside the Observation Deck there are instruments to measure meteorological variables such as Temperature, Relative Humidity, Irradiance, and illuminance. Data was collected every minute using a data acquisition system. In the Experimentation Modules, data loggers of Temperature and Relative Humidity were installed, which recorded data on the internal conditions of the modules. The measurements obtained on both platforms (internal and external) for a clear day and a cloudy were analysed. Data was processed to validate their correlation.

Aim

To reach temperature stability inside the test module, we analyse and compare the measured meteorological data from the outside, with those obtained within the platform of Experimentation, we can understand the incidence of Solar Radiation on the envelope and the relationship related to the increase or decrease in temperature on the inner face of the outerlayer of this. The Increase of the indoor temperature is a function of outside air temperature and the heat-bound constructive configuration of the envelope.

With this exercise, we intend to evaluate which is the thermal effect of the interior of the module, the radiation incident on the south façade, and behavior of the insulation of the outerlayer of the envelope, both for a cloudy and a clear day.

Measurements

The Observation Deck and Experimentation Laboratory of LIM are located in the roof of building J of the Postgraduate Unit. Its location as UTM coordinates is: QZone 14, Easting 480541.14mE, Northing 2135054.19m N.

For the measurement of the variables outside, measuring instruments were connected to a data acquisition system, records were taken every minute and the data was processed. The measurement period for this exercise was from March 23 to March 31, 2015.

Coming up next, there is a list of the installed equipment, the variables that are recorded and measurement units which we worked with.

Table 1: Equipment list set out side

	Equipment	Trademark	Model	Parameter	Unit
Outside	Pyranometer	Kipp& Zonnen	CMP-21	Global Radiation	W/m ²
	Photometer	Licor	210-LS	Global Illuminance	Klux
	Weather Station	Vaisala	WXT 520	Air Temperature	°C
				Relative Humidity	%
				Atmospheric Pressure	mbar
Data Acquisition System	Campbell	CR-1000	-	-	

To implement the Module of Experimentation, HOBOU12 data recorders were used which measure the temperature and relative humidity and to them was connected a sensitive to temperature test tube that was placed on the innerside of the inner wall of the envelope.

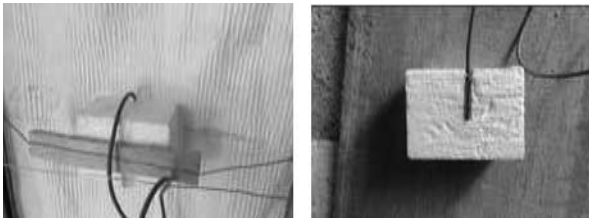


Figure 2: Sensitive to temperature test tube on the inner wall of the envelope

The HOBO data recorder was located at the centre of space both horizontally and vertically, suspended by a fixed wire to the internal posts. The intention is to avoid contact with the constructive elements in order to prevent errors in records.

In both instruments, measurements were taken every minute for 24 hours a day. Initially, readings of every minute of both external as internal variables were taken.



Figure 3: Interior of the Testing Module

We know that through the various layers of insulation it is possible to mitigate the effects of radiation and prevent internal over heating. Using the measurements obtained from both platforms, data was processed and the following results were reached.

Data Analysis

This section presents the correlations found when evaluating the different measurements. We analyse the conditions on both a cloudy and a clear day.

Cloudy Day

Taking into account the period in which data for this study was obtained, it was established that March 28 had an increase in cloudy conditions as presented in the graph of Global Radiation for that day.

In Figure 4, we see the behavior of the Global Radiation during the day. The peaks observed are due both to the presence of clouds and aerosols in the atmosphere.

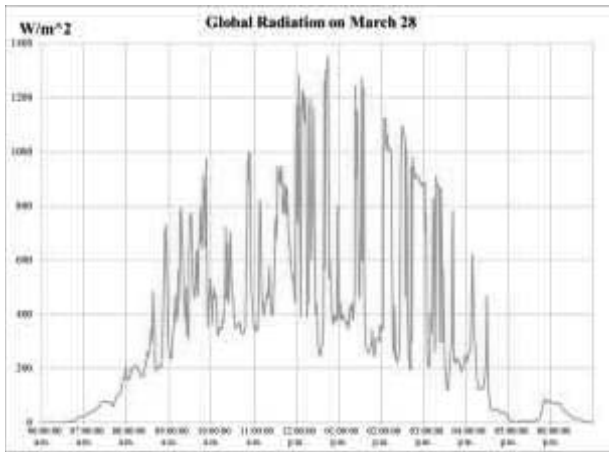


Figure 4: Global Radiation on March 28

We correlated the records of Global Radiation with the ones of the Temperature of the test tube, obtaining the following.

In Figure 5, we see that the correlation between the temperature of the test tube and the Global Radiation is very low (0.4146), it is note worthy that only Global Radiation data was taken from sunrise until solar noon. This was done with the intention that subsequent records at noon do not interfere with the correlation of the temperature, since it logically continuestable and radiation typically tendt of all. This allows us to say that on a cloudy day, radiation is not decisive for the temperature of the innerface of the envelope.

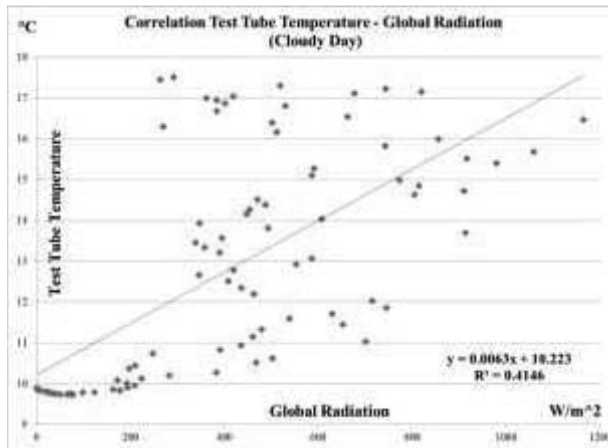


Figure 5: Correlation between the Temperature of the test tube and Global Radiation

In Figure 6, we correlate the records of temperature in the interior of the module, with the ones of the temperature of the test tube; our dependent variable was the temperature of the test tube, which was the temperature of the innerface of the envelope. The independent variable was the temperature inside the Module of Experimentation. The correlation between these two variables was (0.956), indicating that a high percentage depends the wall interior temperature of the temperature inside the module. With this, we can establish that the insulation placed on the facade was serving its purpose, avoiding over heating of the module due to direct radiation on its southern side during a cloudy day.

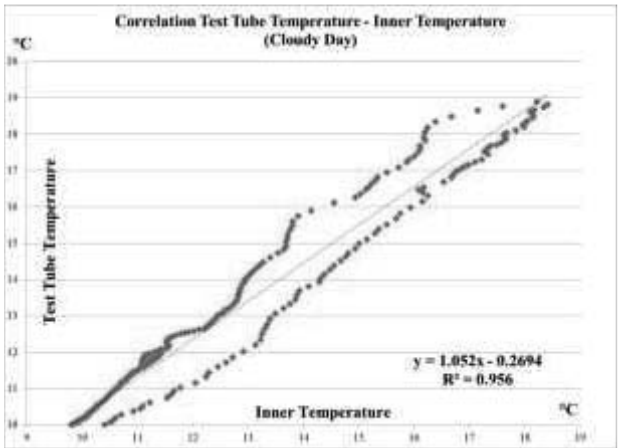


Figure 6: Correlation between the Temperature of the test tube and the interior temperature

Using the model established on Figures 5 and 6, we obtained the Mean Square Error, a series of data were run and compared with records obtained. The results obtained between the recorded and modelled data are listed in the following table.

Table 2: Correlations and mean square error on a cloudy day

	Test tube temperature	Inner temperature	Test tube temperature	Solar Radiation	
	R ²	R.E.M.C.	R ²	R.E.M.C.	
Cloudy Day	0.956	4.35%	0.4146	22.83%	Full Day
				16.76%	Half Day

Clear Day

We analyse the records of the study period, we took March 30 as a clear day since when plotting the Global Radiation curve it appeared more stable.

In Figure 7, we can see that the behavior of the global radiation during the day was stable, even with variations that can be seen during midday we consider this as a clear day.

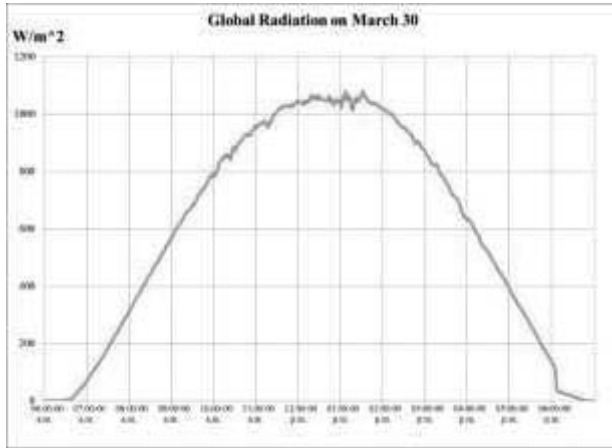


Figure 7: Global Radiation on March 30

We correlated the records of Global Radiation with temperature of the test tube ones, obtaining the following for a clear day.

In Figure 8, the correlation between the values of the test tube temperature and Global Radiation during sunrise until midday is shown. And the established correlation (0.9107) allows us to infer that under these conditions the temperature of the envelope depends largely on the Global Radiation.

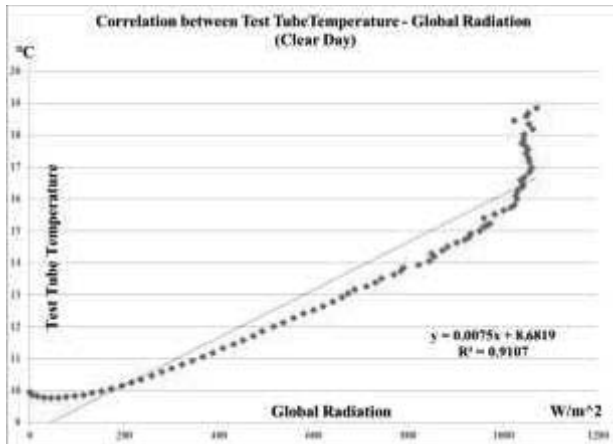


Figure 8: Correlation between test tube Temperature and Global Radiation

In Figure 9, we correlated the temperature inside the Experimentation Modules with Global Radiation from dawn until noon. The observed correlation (0.9402) states that dependency that presents the inner temperature with the Global Radiation that receives each of the modules.

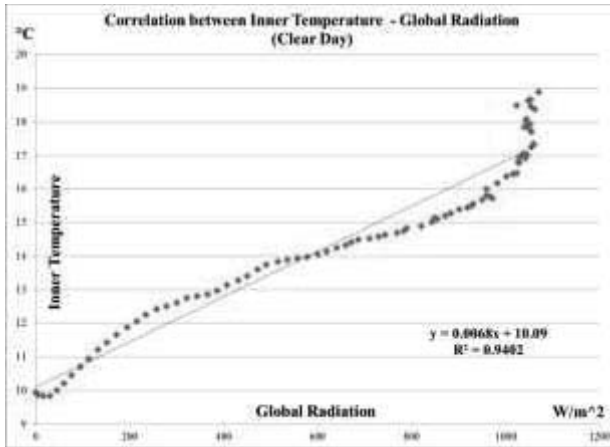


Figure 9: Correlation between Inner Temperature and Global Radiation

Figure 10, allows us to see the correlation (0.9677) between the temperature of the test tube and the temperature inside the module. With these results we can infer that under these conditions, the temperature inside the envelope depends more on the internal temperature of the module, rather than the global radiation received.

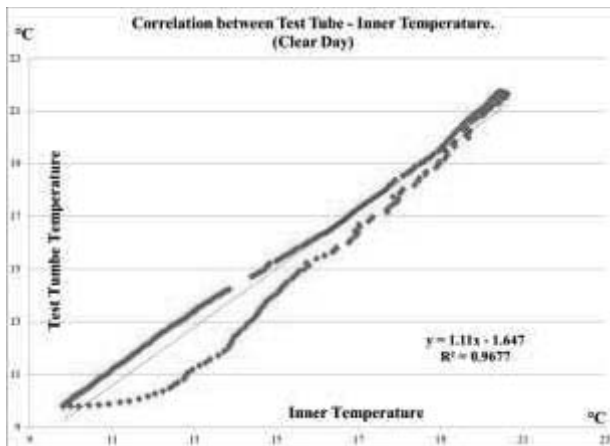


Figure 10: Correlation between the test tube and Inner Temperature

In Table 3, using models that are shown on Figures 8 and 10, we established the Mean Square Error for each of the correlations. We can see that, still strong dependence on the temperature of the test tube with respect to the Global Radiation is greater than with respect to the internal temperature of the module, establishing this correlation as the most successful to model estimated temperatures of the envelope during a clear day.

Table 3: Correlations and mean square error for a clear day

	Test tube temperature	Inner temperature	Test tube temperature	Solar Radiation	
	R ²	R.E.M.C.	R ²	R.E.M.C.	
Clear Day	0.9677	6.57%	0.9107	24.52%	Full Day
				11.88%	Half Day

Conclusion

For a cloudy day, the temperature of the inner face of the envelope is defined by the air temperature inside the module. The correlation that presents the Global Radiation with the test tube temperature located in the envelope is very low. During a clear day we can appreciate certain dependence of temperature of the test tube with respect to Global Radiation. Finally, under clear sky conditions, it depends of the inner temperature of the envelope. Through the model equation obtained with the graphics we saw the relationship between the various factors and scenarios.

It is note worthy that we consider necessary that the Long Wave Radiation will be the subject to another phase of study, analyzing the effect and impact on the thermal behavior of the envelope.

It is important to note that this document represents the first stage of experimentation, in order to obtain and determine the thermal stability of experimental modules, as mentioned in Section 2. This research is on going and results will be reported as well.

Acknowledgement

This project was founded by CONACYT National Council of Science and Technology of Mexico and The National Autonomous University of Mexico (UNAM). We also would like to thank to the Master and Ph.D. Program in Architecture, and the Environmental Interaction Laboratory (LIM) which facilitate the use of the building and equipment to carry out this investigation.

References

- [1] Bitsuamlak, G., Chowdhury, A., Sambare, D., (2009). “*Application of a full-scale testing facility for assessing wind-driven-rain intrusion*”, Laboratory for Wind Engineering Research, International Hurricane Research Center/ Department of Civil and Environmental Engineering, US.
- [2] Garay, R., Uriarte, A., Apraiz, I., (2014). “*Performance assessment of thermal bridge elements into a full scale experimental study of a building façade*”, Tecnalia, Sustainable Construction Division Parque Tecnológico de Bizkaia, Spain.
- [3] Mandilaras, I., Atsonios, I., Zannis, G., Founti M, (2014). “*Thermal performance of a building envelope incorporating ETICS with vacuum insulation panels and EPS*”, National Technical University of Athens, School of Mechanical Engineering, Laboratory of Heterogeneous Mixtures and Combustion Systems, Greece.
- [4] Gloria A. Vargas, Fionn Stevenson, (2014). “*Thermal memory and transition in lobbies spaces*”, 6th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings SEB-14.
- [5] Práctica Complementaria, 2015. “*Informe final Práctica Complementaria, Sem. 2015-2. PMDA*”, Ciudad de México, Programa de Maestría en Arquitectura, UNAM.
- [6] Boake, Terri Meyer, 2003. “*Understanding the Principles of the Double Façade System*”, University of Waterloo.
- [7] Allen, William, 1997. “*Envelope Design for Buildings*”, London: Architectural Press.

**C. Artículo Fase Tres de Experimentación.
(CSSR 2016)**

Thermal Behavior of Double Skin Envelope in Full Scale Testing Module in Mexico City.

**Ricardo Sánchez B.¹, Sabarinah S. Ahmad.² and
Leonardo B. Zeevaert¹**

¹Master Program in Architecture

National Autonomous University of Mexico, Mexico City, Mexico.

*²Department of Architecture, Faculty of Architecture, Planning and Surveying,
UiTM, Shah Alam 40450, Selangor, Malaysia*

E-mail address:

sanchezrick99@comunidad.unam.mx (Ricardo Sánchez)

sabar643@salam.uitm.edu.my (Sabarinah S. Ahmad)

unam.posgrado.zee@gmail.com (Leonardo B. Zeevaert)

*Corresponding Author

ABSTRACT

The study aims to understand the thermal performance behavior of a double skin envelope system in a test cell. A rooftop observation deck and experimentation laboratory is installed at the “J” Building of the Postgraduate Unit, National Autonomous University of Mexico campus (19°18'33.59"N, 99°11'5.73"O). This platform consists of two full-scale testing modules. Each cubic module measures 3m x 3m x 3m. All of its facades have several layers of insulation. This platform was designed to test materials and construction systems under the Mexico City microclimate. It is possible to measure thermal, lighting, acoustic and indoor air quality variables. To be achieved within the thermal stability, observe as close to zero during the 24-hour thermal gradient. This paper reports the results obtained from May 19 to June 21, 2016, in the warmer days, the envelope played a role to decrease the indoor air temperature in the testing module by 7°C. The thermal gradient that has been achieved is 3.87°C for 24 hours a day.

Keywords: Double skin envelope, thermal behavior, Full Scale Testing Module.

INTRODUCTION

Mexico City has a subtropical highland climate with mild winter and warm summer as well as small seasonal variations in temperature. Despite this, efforts towards reducing energy consumption to provide indoor thermal comfort need to be continued especially through passive means. Previous studies have proven that selecting good envelope material is an important strategy to reduce heat gain and heat loss in a building depending on the outdoor conditions. (Garay Roberto, 2014) (Kopp, 2012) (Nassif, 2014) Studies on double skin envelope in the tropics and subtropical areas are numerous but mostly not using testing modules. (Asdrubali, 2014)

A literature review of 290 Master and PhD Architecture theses at the National Autonomous University of Mexico, in the field of technology, between 1973 and 2015 revealed almost two thirds (181 theses) have focused on Environmental and Energy issues, Material Development and ICT (2015-2, 2015). Most of these studies required evidence and verifications of their arguments through experiments conducted in an experimental space (testing module) according to the specific needs of their projects. This situation, that each

researcher has to design and build their own experimental space, becomes difficult to continue the line of research, because in order to reproduce exact research conditions, the experiments and experimental space need to be replicated. Having a defined experimental space saves investigation and design time for the researcher. An experimental space, whose operation and conditions are met, prevented the continuity of open lines of research. These are some of the reasons why building a Full Scale Testing Module, would meet the needs of thermal, lighting, acoustic and indoor air quality studies at the program, and which can give continuity to the opened lines of research.

A full scale testing module is capable of testing construction materials and building systems under normal conditions of use. There are several examples worldwide, such as the DOE's Flexlab in Berkeley, USA (Flexlab, 2016), and KUBIK a building by Tecnia at the Technology Park of Bizkaia, Spain (Tecnia, 2016).

We were trying to reach thermal stability inside, and the testing module is going to be useful to probe new materials and building systems in a full-scale space under normal use conditions. These tests are conducted on the "Experimental façade", composed of 15 slots, which can be interchanged with various wall materials, in order to analyze its performance.

To reach temperature stability inside the test module, we analyzed and compared the measured outdoor meteorological data, with those obtained inside the Full-Scale Testing Module. This study focused on evaluating the behavior of the double skin envelope.

Each module could rotate 360°, so the "Experimental Façade" can observe a different orientation with the aim that this façade or any other could see any orientation for a certain time throughout the year.

This paper presents the results obtained so far about on the thermal behavior of the envelope.



Fig. 1. Full Scale Testing Modules.



Fig. 2. Modules location (source Google Earth, date 16/03/04)

AIM

The aim of the study is to design, build, measure the physical parameters inside, and establish the baseline of the thermal behavior of each of the full scale testing modules. We learned how the heat wave passes through the envelope, how it affected the indoor conditions of the test modules and how the heat is dissipated during the day.

We strived to achieve thermal stability inside the Testing Modules; the maximum differential that we hoped to achieve is 1° Celsius diurnally. The objective is to configure a module that has little variations of temperature inside. We use different layers of insulation, as shown in Table 1, where the different “U” values for every façade are tabled.

TABLE 1: “U” Values of the envelope components for the system.

Description	Thickness	Mean Density	"K" value Mean	Thermal Resistance	"U" Value
	(m)	(Kg/m ³)	(W/m ² °K)	$R = \text{thickness}/k$	$U = 1/\sum R$
Vertical Double Skin Envelope Area (m²)					
<i>10.24</i>	0.3044	662.85	0.19	8.256	0.11916
Experimental Facade Area (m²)					
<i>5.56</i>	0.32	661.34	0.25	9.317	0.10578
Bottom Area (m²)					
<i>9.00</i>	0.22	444.70	0.13	6.037	0.16328
Cover Area (m²)					
<i>10.24</i>	0.36	568.12	0.17	10.629	0.09331

METHOD

Instruments that measure meteorological variables on the outside are installed, which we use as a reference for comparison with measurements, obtained inside. Table 2 shows a list of equipment installed for this research, is separate exterior and interior.

The measurements of the variables were taken every minute, where the outdoor air temperature, relative humidity, barometric pressure, wind, rainfall and Global Radiation were recorded.

Inside the modules, the air temperature, Relative Humidity, Mean Radiant Temperature and surface temperature of internal panels of the envelope were measured.

Fig.3 shows the equipment (Globe Thermometer, Hobo U12, and Campbell 107 Probe) installed inside the testing module. It also shows the inner layer of insulation, as you can see, the surfaces are covered by insulation as to avoid heat gain or losses infiltration. All the panel joints are filled, in order to prevent gain or losses.

TABLE 2: Installed Equipment.

	Equipment	Trademark	Model	Parameter	Unit
Outside	Pyranometer	Kipp Zonnen	& CMP-21	Global Radiation	W/m ²
	Photometer	Licor	210-LS	Global Illuminance	Klux
	Weather Station	Vaisala	WXT 520	Air Temperature	°C
				Relative Humidity	%
				Atmospheric Pressure	mbar
	Weather Station	HOBO	U-30	Air Temperature	°C
				Relative Humidity	%
				Atmospheric Pressure	mbar
				Global Radiation	W/m ²
	Data Acquisition System	Campbell Scientific	CR-1000	-	-

	Equipment	Trademark	Model	Parameter	Unit
Inside	Multisensor	HOBO	U-12	Air Temperature	°C
				Relative Humidity	%
	Temperature Probe	Campbell Scientific	107	Air Temperature	°C
	Surface Mount Thermistor	Campbell Scientific	110 PV	Surface Temperature	°C
	Type Thermistor. Inside Thermometer.	"E" Campbell Scientific	Type E	Mean Radiant Temperature	°C
	Data Acquisition System	Campbell Scientific	CR-1000	-	-



Fig. 3. Equipment inside the Module.

RESULTS AND DISCUSSION

The results field measurements from May 19 to June 21, 2016 are shown. The duration of the measurements was the end of spring, when the outdoor conditions are warming up. Data were recorded every minute, every 5 minutes and mean average every 60 minutes, the graphics produced through these data are virtually identical. Fig.4 show the mean data every 60 minutes, the broadest temperature curves samples are the outdoor air temperatures, and the central curves show the behavior of the air temperature inside the module (temperature probe and mean radiant temperature). The maximum temperature reached outside was 32.04°C, and the average for the period was 19.36°C. In this graph the internal air temperature decrease was evidently due to insulation material installed on the envelope. Furthermore it is important to mention that the thermal gradient is reached within ranges between 3.87°C and 6.01°C during the warmest day.

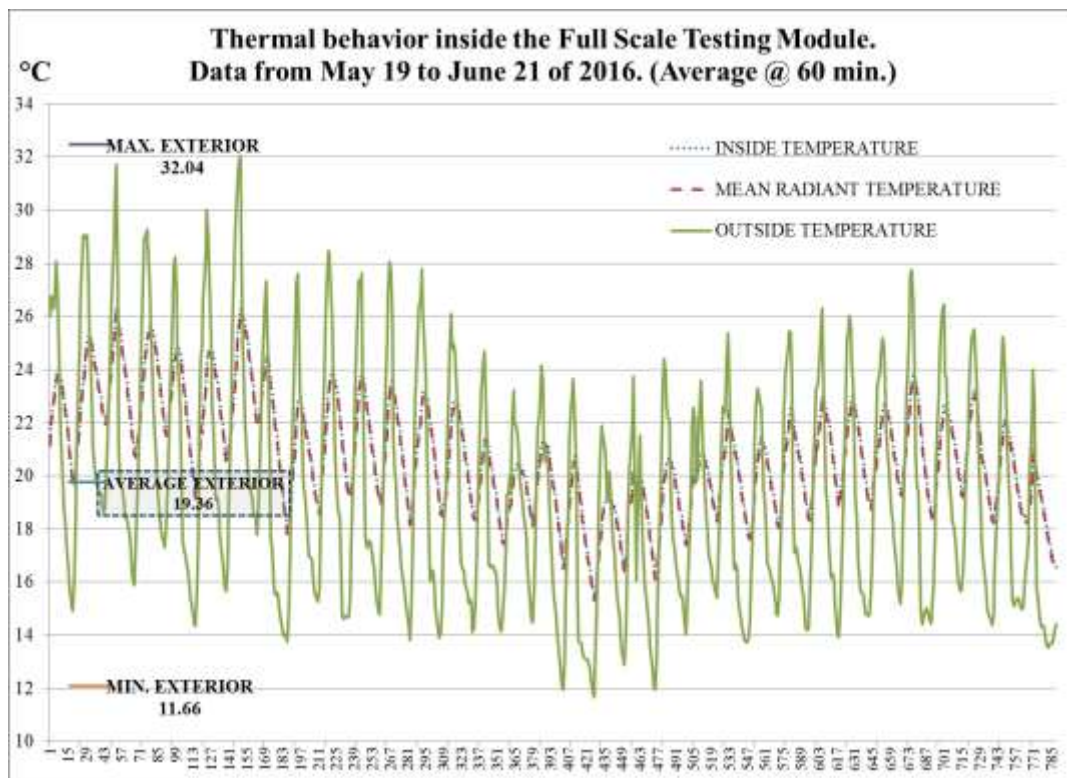


Fig. 4. Thermal behavior outside and inside the Testing Module.

Fig. 5 shows the behavior in the warmest day of the field study on May 25, 2016. The maximum air temperature outside was 32.73°C, and the average of the day was 22.66°C. Inside the module the maximum air temperature was 26.55°C, the average was 23.48°C. The indoor temperature gradient during the day was 6.01°C. It is noteworthy that we also observed a small difference between the temperature measured by the probe and the recorded with the globe thermometer. The differential temperature recorded between these two instruments was 0.21°C average. It is also noted that the time lag or the duration between the peaks, outdoor air temperature to reach a peak indoor air temperature was about 130 minutes.

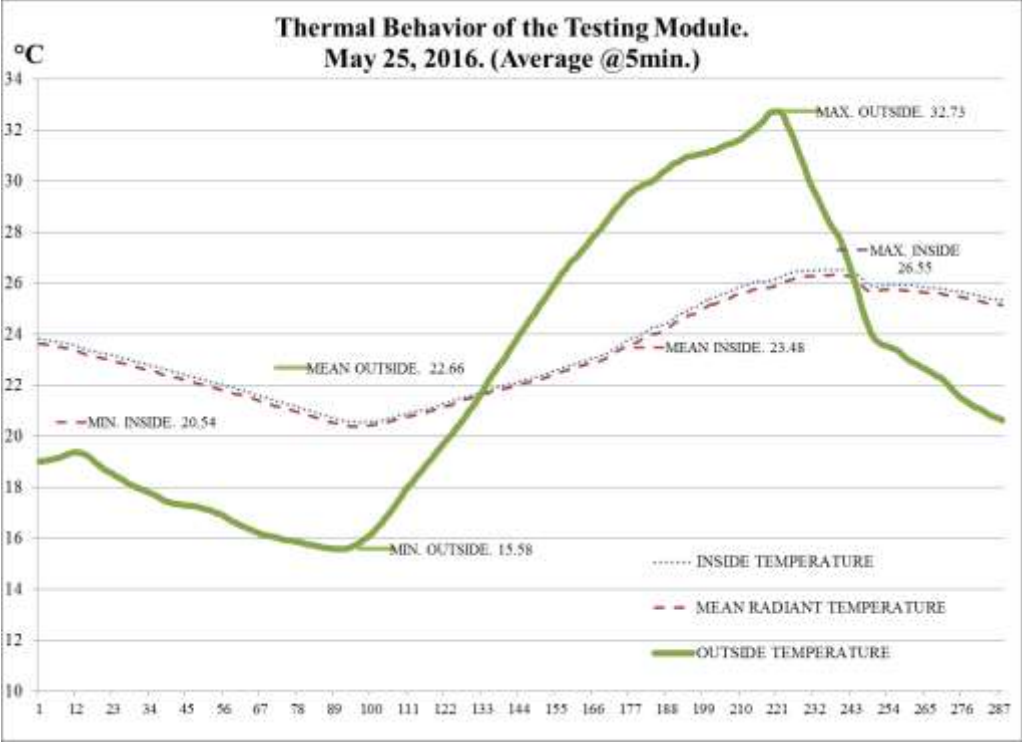


Fig. 5. Thermal behavior outside and inside the Testing Module, May 25, 2016.

Fig. 6 shows the thermal behavior during slightly cooler day of the measurement period on June 6th, 2016. The maximum outside air temperature was 22.11°C, and the average was 16.71°C. Inside the module, the maximum air temperature reached was 19.25°C, and the average was 17.66°C. Thermal gradient achieved was 3.87°C, which was very close to the target of this research. The time lag during this day was approximately 450 minutes (7.5 hours)

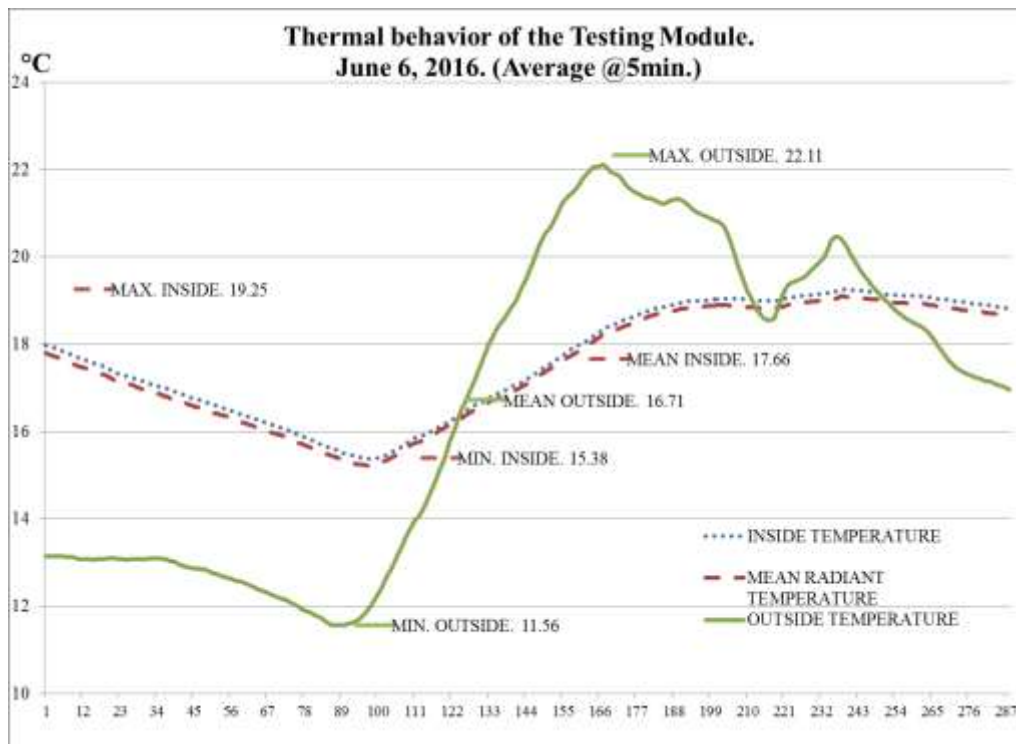


Fig. 6. Thermal behavior outside and inside the Testing Module, June 6, 2016.

CONCLUSION

It is remarkable the air temperature inside the module is a substantial decrease from the outdoor air temperature due to the thermal resistance of the double skin material of the module envelope. The lowest differential was reached when the outside temperature does not exceed 22°C. Records obtained from Globe thermometer and temperature probe were very similar, the differential between the two were less than 0.5°C. Building envelope conditions allow achieving lower thermal gradient of less than 5°C during the day.

May and June are the warmest months in Mexico, so we consider these results important as they are representative of the warmest conditions we could achieve.

The study continues on the formation of the envelope to find the optimum conditions that allow us to achieve the objective of minimum differential outdoor and indoor air temperature.

ACKNOWLEDGEMENTS

This project was founded by CONACYT National Council of Science and Technology of Mexico and The National Autonomous University of Mexico (UNAM). We also would like to thank to the Master and Ph.D. Program in Architecture, and the Environmental Interaction Laboratory (LIM) which facilitate the use of the building and equipment to carry out this research.

REFERENCES

2015-2, P. C. (2015). *Final Document, Complementary Practice. Sem. 2015-2. PMDA.* Mexico City. Master Program in Architecture, UNAM

- Allen, W. (1997). *Envelope Design for Buildings*, Architectural Press, London.
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Baldinelli, G. *Evaluating in situ thermal transmittance of green buildings masonries – A case study*. (2014). *Case Studies in Construction Materials* 1 (2014) 53-59.
- Baird, D. C. (1997). *Experimentation, an introduction to the measurement theory and experiment design*. 3rd edition. Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Berg, B. (2009). *The Ecology of Building Materials*. 2nd edition Routledge, Oxford.
- Boake, T. M. (2003). *Understanding the General Principles of the Double Façade System*. University of Waterloo, 1-18. http://www.tboake.com/pdf/double_facade_general.pdf
- Boake, T. M. (2014). *Hot climate Double Facades: Avoiding Solar Gain*. *Façade Tectonics Journal*. 14. <http://www.tboake.com/bio/facadetectonics2014boake-rev.pdf>
- Crespo, L. A. (2004). *History of The Double Skin Façade*. Harvard University.
- Flexlab (2016). The world's Most Advanced Building Efficiency Test Bed. <https://flexlab.lbl.gov>
- Garay, R., Uriarte, A., Apraiz, I. (2014). *Performance assessment of thermal bridge elements into a full scale experimental study of a building facade*. *Energy and Buildings* 85 (2014) 579-591.
- Kopp, G., Morrison, M., Henderson, D. (2012) *Full-scale testing of low rise, residential buildings with realistic wind loads*. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 104-106 (2012) 25-39.
- Nassif, A., Yoshitake, I., Allam, A. *Full-scale fire testing and numerical modelling of the transient thermos-mechanical behavior of steel-stud gypsum board partition walls*. *Construction and Building Materials* 59 (2014) 51-61.
- Shameri, M. A., Alghoul, M. A., Sopian, K., Zain, M. F. M., & Elayeb, O. (2011). *Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1468-1475.
- Tecnia (2016). Infrastructure and Equipment: Kubic by Tecnia <http://www.tecnia.com/es/construccion-sostenible/infraestructuras-equipamiento/infraestructuras-equipamiento.htm>

D. Simulación en Autodesk Revit 2017



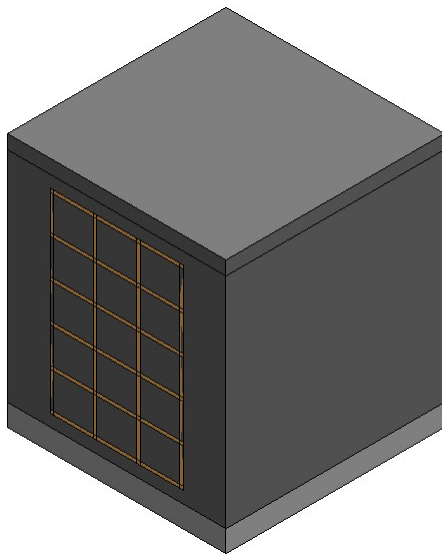
1

modulo_161222 Analysis (6)

Analyzed at 1/10/2017 1:36:35 PM

Version 2016.11.50.10(DOE-2.2-48r)

Energy Analysis Result



Building Performance Factors

Location:	Mexico City, Mexico
Weather Station:	1012724
Outdoor Temperature:	Max: 30°C/Min: 2°C
Floor Area:	8 m ²
Exterior Wall Area:	38 m ²
Average Lighting Power:	6.57 W / m ²
People:	1 people
Exterior Window Ratio:	0.00
Electrical Cost:	\$0.13 / kWh
Fuel Cost:	\$1.09 / Therm

Energy Use Intensity

Electricity EUI:	521 kWh / sm / yr
Fuel EUI:	876 MJ / sm / yr
Total EUI:	2,752 MJ / sm / yr

Life Cycle Energy Use/Cost

Life Cycle Electricity Use:	131,320 kWh
Life Cycle Fuel Use:	220,764 MJ
Life Cycle Energy Cost:	\$8,549

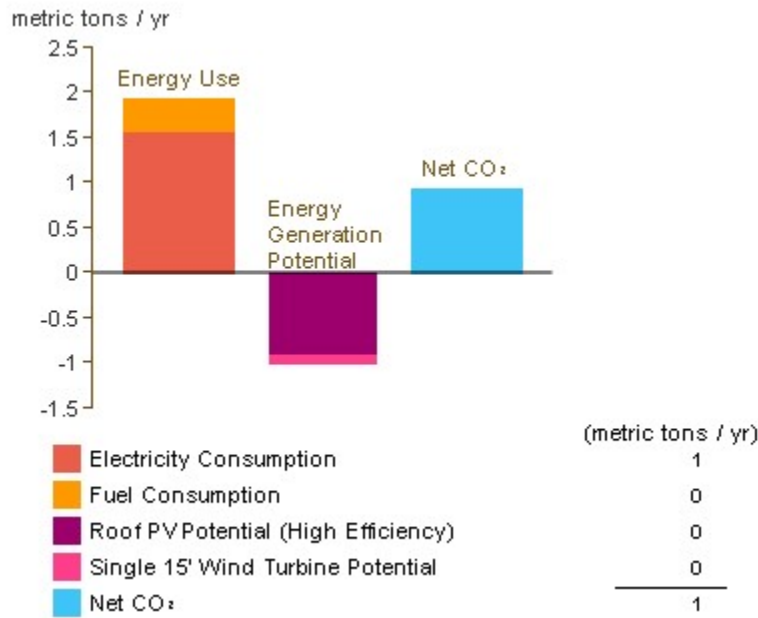
*30-year life and 6.1% discount rate for costs

Renewable Energy Potential

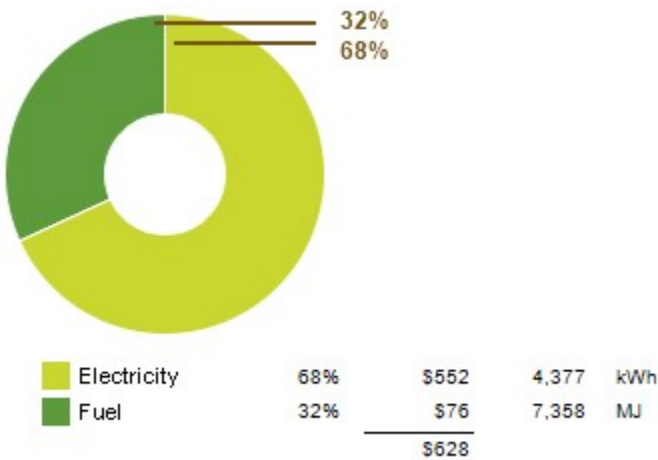
Roof Mounted PV System (Low efficiency):	838 kWh / yr
Roof Mounted PV System (Medium efficiency):	1,677 kWh / yr
Roof Mounted PV System (High efficiency):	2,515 kWh / yr
Single 15' Wind Turbine Potential:	288 kWh / yr

*PV efficiencies are assumed to be 5%, 10% and 15% for low, medium and high efficiency systems

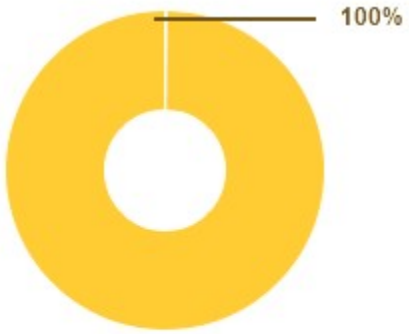
Annual Carbon Emissions



Annual Energy Use/Cost

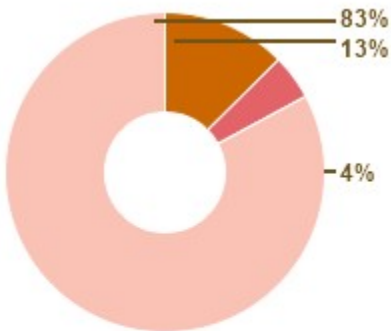


Energy Use: Fuel



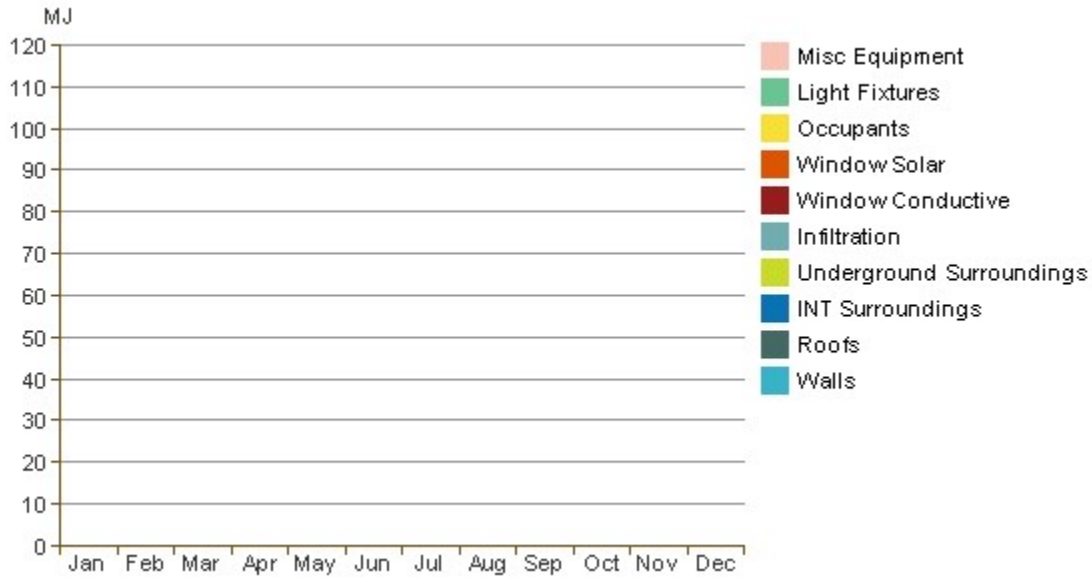
			(MJ)
HVAC	0%	\$0	11
Domestic Hot Water	100%	\$76	7,347
		<u>\$76</u>	<u>7,358</u>

Energy Use: Electricity

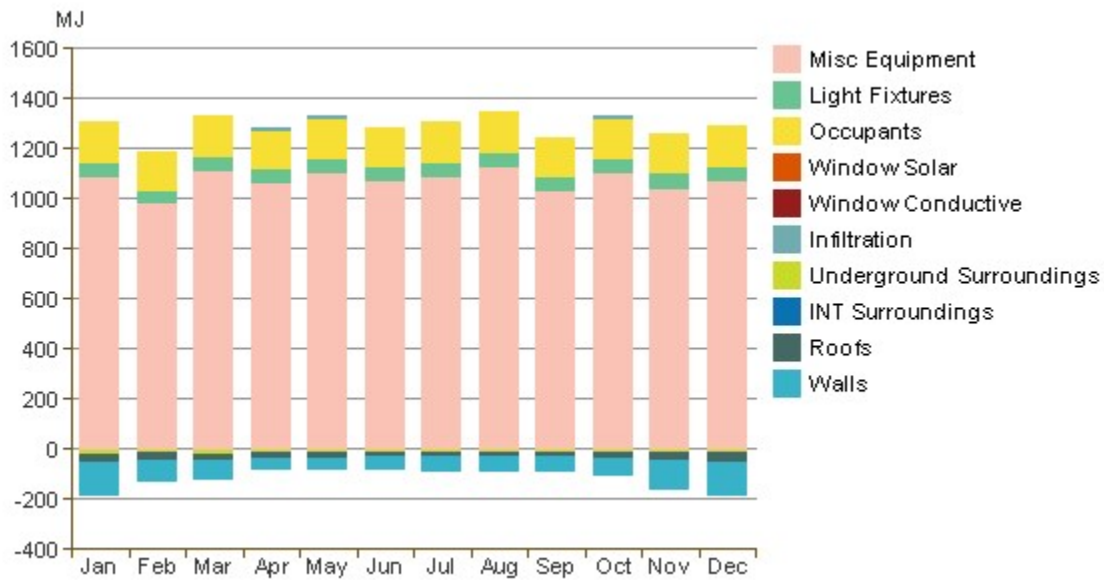


			(kWh)
HVAC	13%	\$69	550
Lighting	4%	\$25	199
Misc Equipment	83%	\$457	3,627
		<u>\$551</u>	<u>4,376</u>

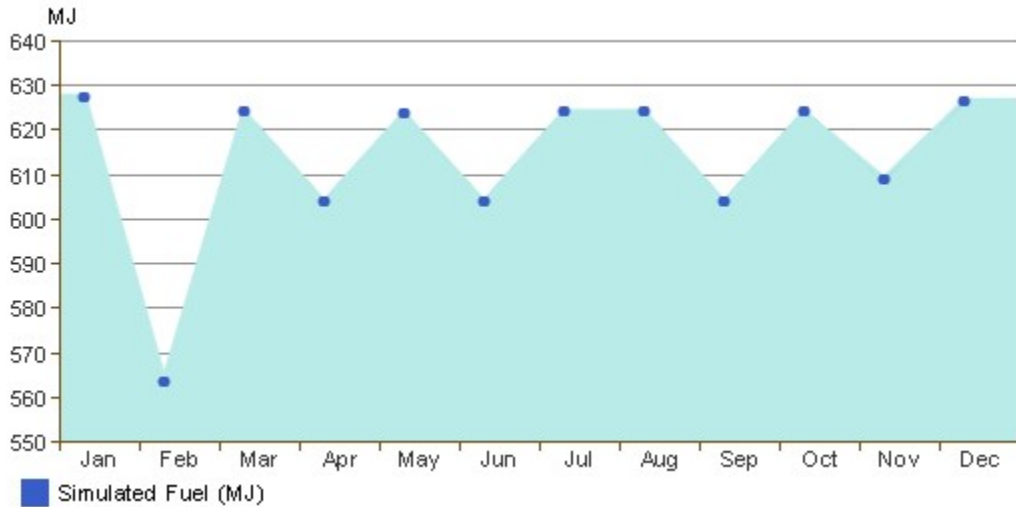
Monthly Heating Load



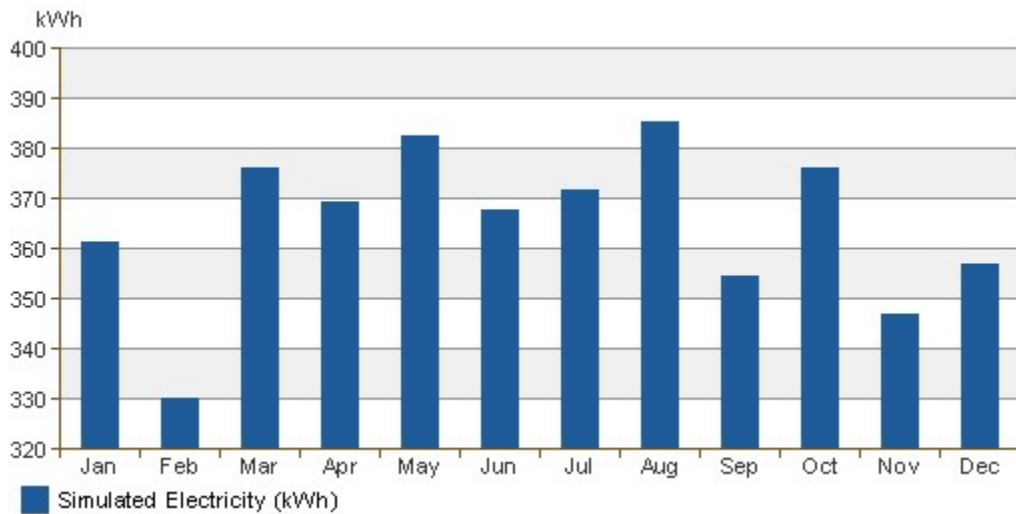
Monthly Cooling Load



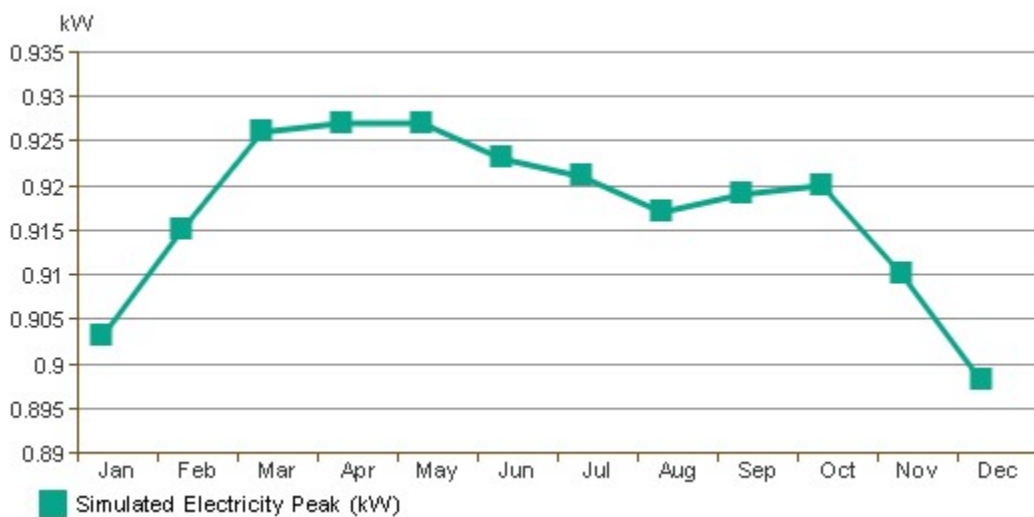
Monthly Fuel Consumption



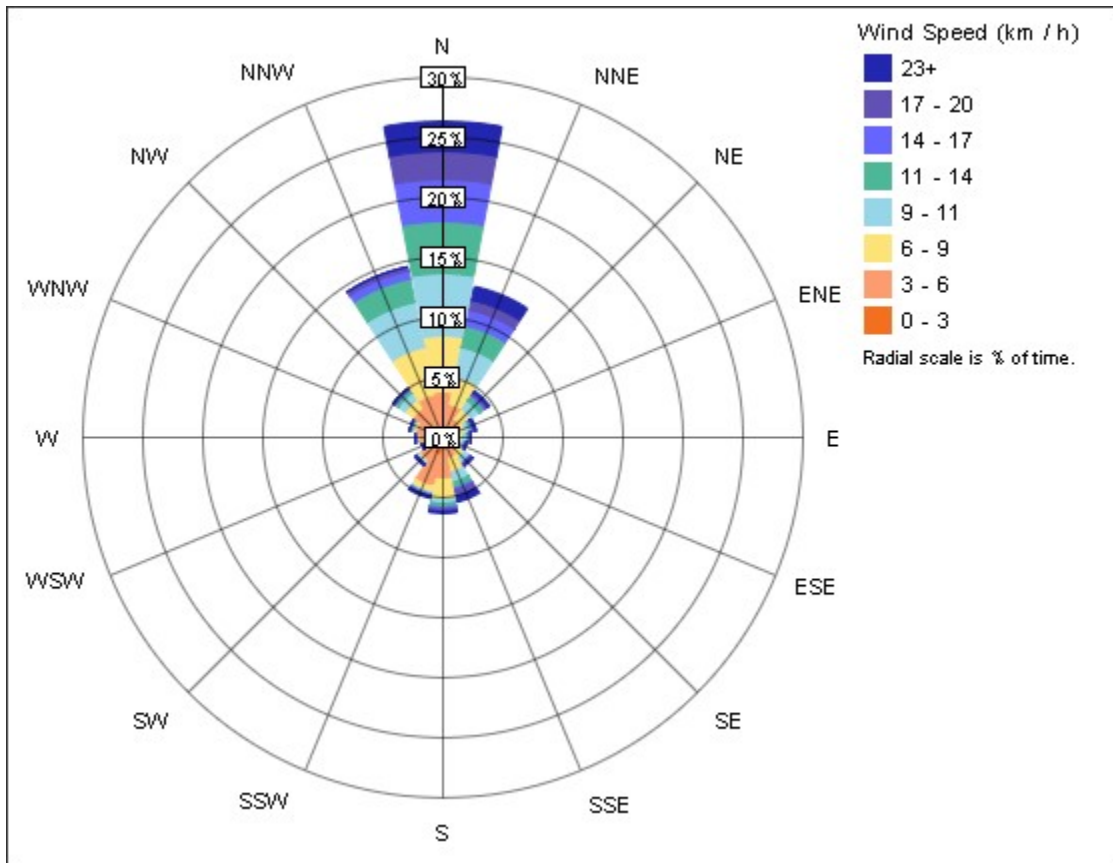
Monthly Electricity Consumption



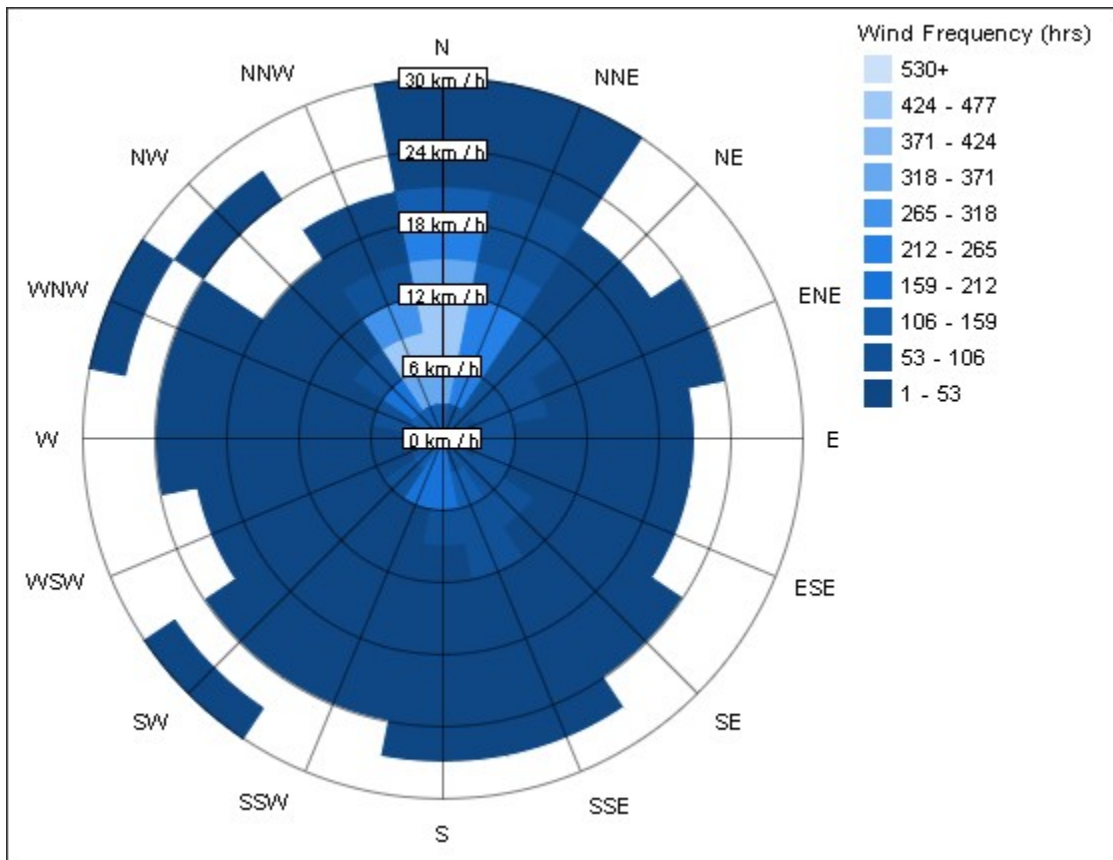
Monthly Peak Demand



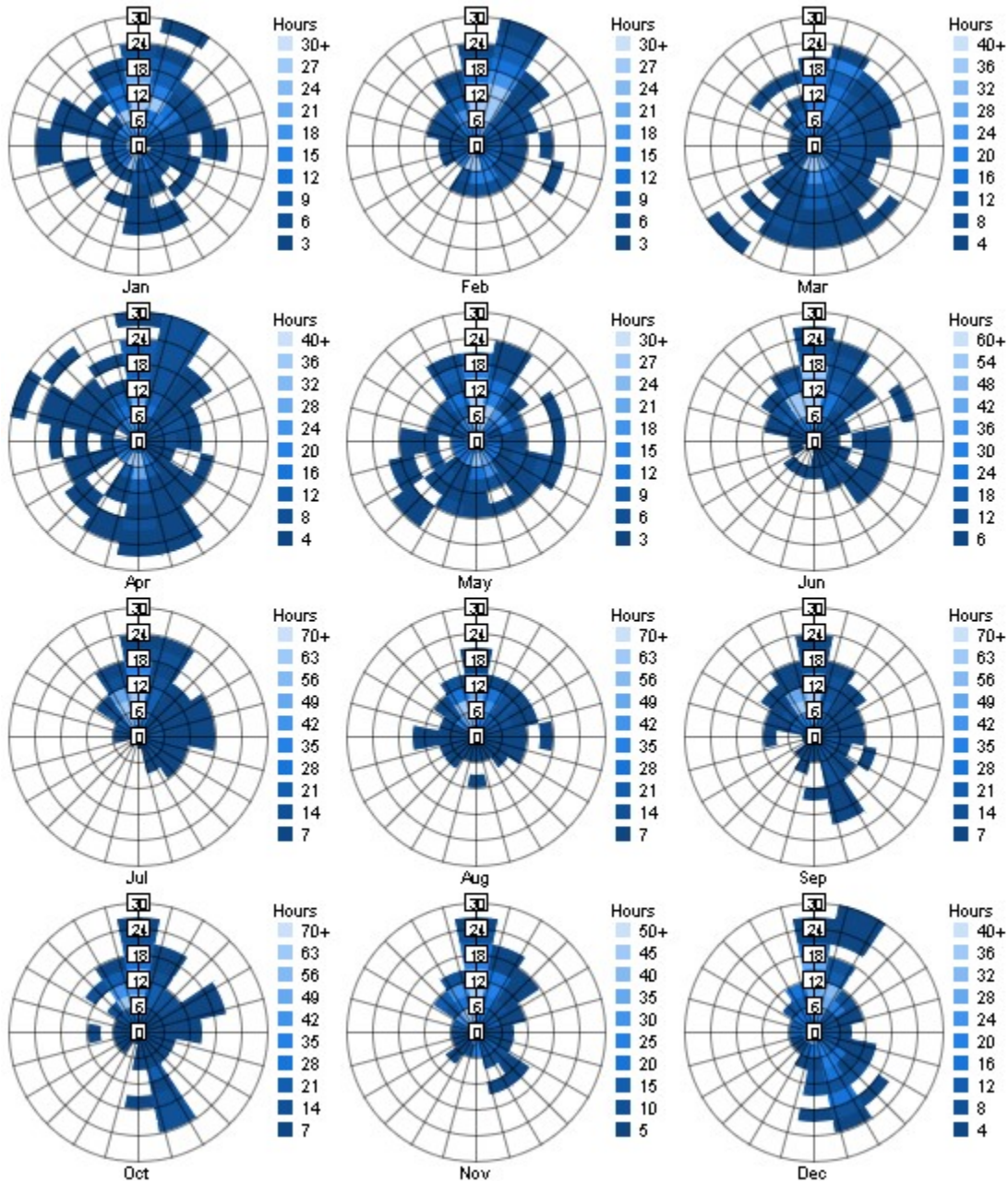
Annual Wind Rose (Speed Distribution)



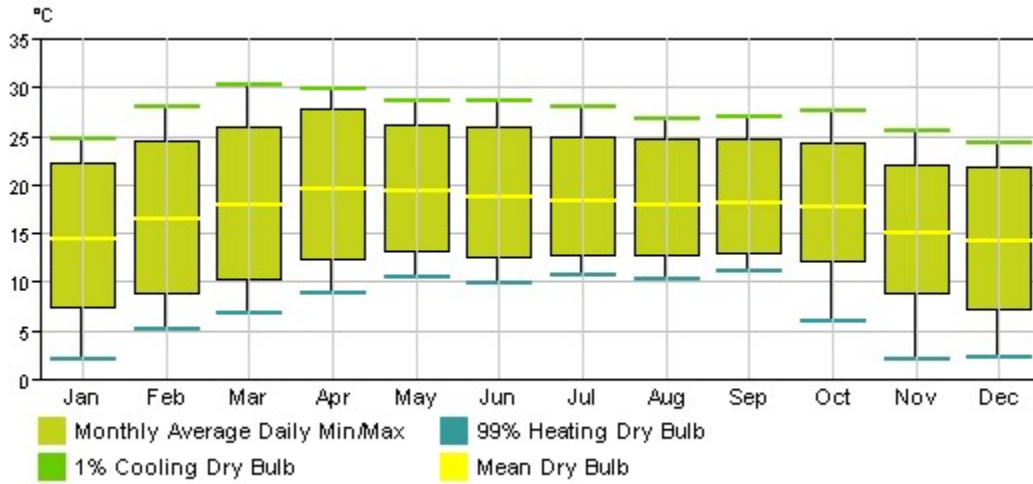
Annual Wind Rose (Frequency Distribution)



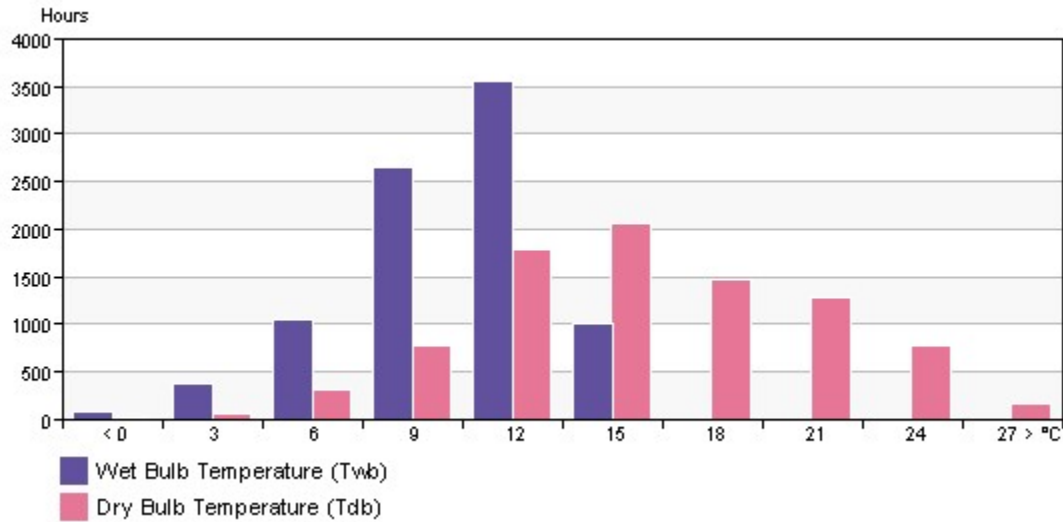
Monthly Wind Roses



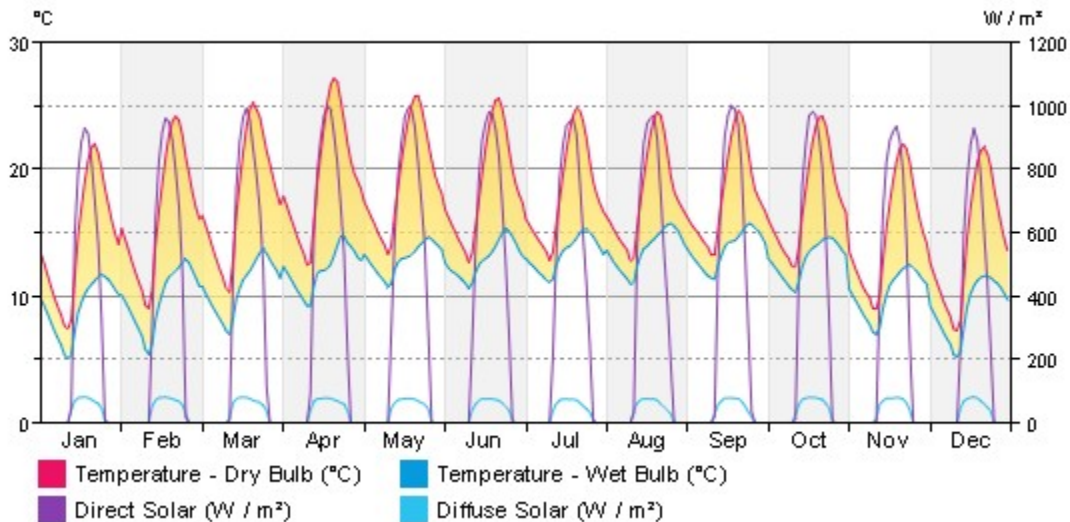
Monthly Design Data



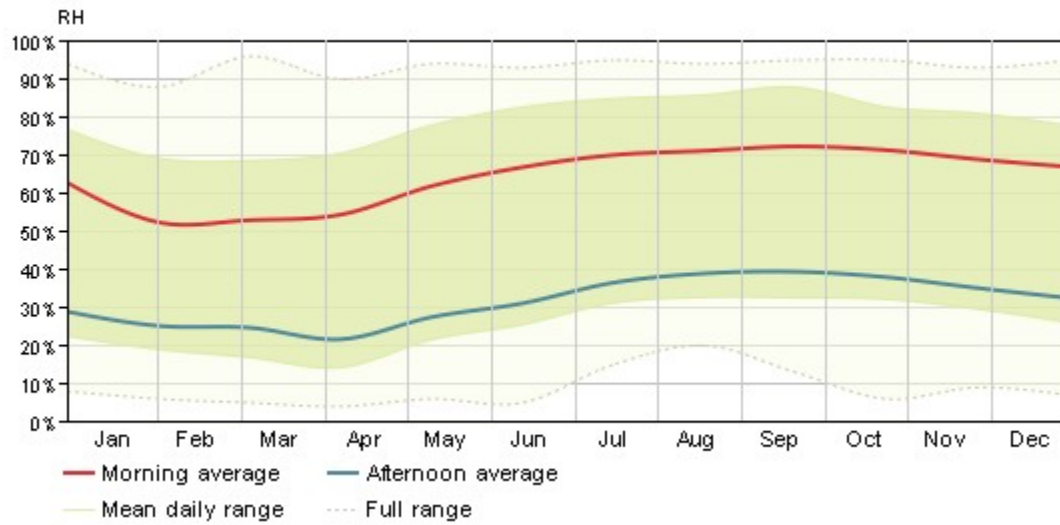
Annual Temperature Bins



Diurnal Weather Averages



Humidity



© Copyright 2015 Autodesk, Inc. All rights reserved. Portions of this software are copyrighted by James J. Hirsch & Associates, the Regents of the University of California, and others.

Energy Analysis Data

**E. Manual de Manejo y Mantenimiento de
la Plataforma de Experimentación del
Programa de Maestría y Doctorado en
Arquitectura de la UNAM.**

Manual de Manejo y Mantenimiento de la Plataforma de Experimentación del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la UNAM

Introducción.

Este Manual permitirá el manejo eficiente y seguro de la Plataforma de Experimentación del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la UNAM.

En él se describirán los componentes de la Plataforma, así como sus restricciones y limitantes de uso. Se mencionara a su vez el mantenimiento preventivo y en su caso correctivo que requiere la Plataforma.

Objetivo

El objetivo principal de éste manual es dictar recomendaciones sobre el uso y conservación de la Plataforma de Experimentación del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Aquí se mencionarán las actividades que se pueden realizar en la Plataforma de Experimentación y las que no se pueden realizar en ella.

De la Infraestructura

La Plataforma de Experimentación del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) está conformada por dos Módulos de Experimentación escala 1:1 ubicados dentro del campus de la UNAM, en la azotea del edificio "J" de la Unidad de Posgrados.

Cada módulo de Experimentación está construido sobre una estructura metálica que le permite girar 360°.

La dimensión interna de cada módulo es de 6.76m², el volumen de aire al interior es de 21.58 m³.

La envolvente arquitectónica está conformada por distintas capas de materiales alcanzando la siguiente configuración. Ver Tabla 1.

ELEMENTO	ESPESOR	DENSIDAD PROMEDIO	VALOR "K" PROMEDIO	RESISTENCIA TÉRMICA	VALOR "U"
	(m)	(Kg/m ³)	(W/m ² °K)	(espesor/ "K")	(1 / ∑ T. R.)
Envolvente Vertical. Área = 10.24 m² cada fachada.	0.3044	662.85	0.19	8.256	0.11916
Fachada de Experimentación. Área = 5.56 m²	0.32	661.34	0.25	9.317	0.10578
Sistema Piso. Área = 9.00 m²	0.22	444.70	0.13	6.037	0.16328
Sistema Cubierta Área = 10.24 m²	0.36	568.12	0.17	10.629	0.09331

Tabla 1. Configuración de la envolvente y espesores.

El módulo de referencia esta instrumentado de la siguiente manera:

- a.** Tanto las caras verticales así como la cubierta se encuentran instrumentadas.
- b.** En la envolvente vertical, al interior de la cavidad, se encuentra colocado un sensor térmico de superficie marca Campbell Scientific modelo 110 PV. El sensor esta adosado al paño interior del panel de cemento, en el sentido horizontal se localiza exactamente al centro del espacio libre entre paños de muro, y en el sentido vertical a 1.50m sobre el nivel de piso interior. En total se encuentran instalados cuatro sensores.
- c.** En la cubierta, al interior de la cavidad que se forma en el peralte de la estructura de soporte, se encuentra colocado un sensor

térmico de superficie marca Campbell Scientific modelo 110 PV. Este sensor está adosado al paño interior del panel de cemento, está ubicado al centro del espacio en ambos sentidos. En total se encuentra un sensor instalado.

- d.** Al centro del espacio libre se encuentra instalada una probeta sensible a la temperatura marca Campbell Scientific modelo 107. El sensor está ubicado al centro del espacio en ambos sentidos y a 1.50m de altura sobre el nivel de piso interior. En total está instalado un dispositivo.
- e.** Al centro del espacio libre se encuentra instalado un sensor de Temperatura Media Radiante, conformado por un balón de cobre de 6" de diámetro dentro del cual está instalado un termistor tipo "E" marca Campbell Scientific. El sensor está ubicado al centro del espacio en ambos sentidos y a 1.50m de altura sobre el nivel de piso interior. En total está instalado un dispositivo.
- f.** Al centro del espacio libre se encuentra instalado un adquisidor de datos marca Onset, modelo HOB0 U12, el cual registra datos de Temperatura y Humedad Relativa. El sensor está ubicado al centro del espacio en ambos sentidos y a 1.50m de altura sobre el nivel de piso interior. En total está instalado un dispositivo.
- g.** En total están instalados ocho sensores al interior del Módulo de Experimentación.
- h.** En el exterior del Módulo de Experimentación se encuentra instalada una Caja de Intemperie marca Campbell Scientific, modelo ENC 10/12. La caja está instalada en un soporte de madera el cual está fijo al lecho bajo del Módulo.
- i.** Al interior de la Caja de Intemperie se encuentran instalados los siguientes dispositivos:
 - a.** Adquisidor de Datos marca Campbell Scientific modelo CR1000.
 - b.** Multiplexor marca Campbell Scientific modelo AM 16/32.
 - c.** Batería con regulador de carga marca Campbell Scientific modelo PS100 12V.

- j. Fuera del Módulo de Experimentación se encuentra una Fococelda de 60x60 cm con un cable de 5m de largo que suministra energía a la Batería del sistema de Adquisición de Datos.

Los sensores de la marca Campbell Scientific mencionados con anterioridad se encuentran conectados al Adquisidor de Datos. Todos los cables cruzan la envolvente inferior del Módulo de Experimentación a través de un ducto de PVC de 2" de diámetro. Este ducto se encuentra relleno de aislamiento térmico en ambos extremos con la finalidad de evitar la infiltración. **Debe conservarse de ésta manera.**

Del Límite de Carga del Módulo de Experimentación.

Cada módulo está soportado por una estructura metálica y ésta por 8 ruedas cuyo límite de carga es de 500 kg cada una. El peso total de la estructura, la envolvente horizontal y vertical, así como la fachada de experimentación es de 3,400 kg.

Por lo anterior, **el límite máximo de carga para el montaje de experimentos dentro del Módulo de Experimentación es de 400 kg.** Debiendo observarse siempre mínimo **200 kg como margen de seguridad** para evitar la sobrecarga del sistema.

Del Mantenimiento preventivo y correctivo.

Para efectos de conservación de la Plataforma de Experimentación es conveniente realizar las siguientes actividades.

1. Verificar cada **6 meses** el estado del **sistema de impermeabilización** de la cubierta, o como mínimo cada temporada de lluvia.
2. Para evitar la deformación de las llantas que permiten girar cada módulo, se recomienda dar **3 giros completos** por lo menos **cada 15 días**.

3. Debe **evitar** en todo momento y bajo ninguna circunstancia **perforar la envolvente**, tanto la vertical (muros) como la horizontal (cubierta y piso).
4. En caso de requerir fijar algún dispositivo tanto dentro como fuera del módulo, deben utilizarse medios mecánicos que no comprometan la estabilidad térmica y constructiva de ninguno de sus elementos. Existen, al exterior, en la parte alta de la envolvente vertical ángulos de aluminio previstos para la fijación de instrumentos de medición.
5. La superficie de rodamiento en la cual están apoyadas las llantas de cada módulo, deber limpiarse cada 2 meses, para evitar afectaciones a las ruedas.
6. En caso de que el Módulo presente cualquier tipo de daño, éste debe reportarse por escrito y de inmediato, tanto al Responsable del Campo de Tecnología, así como al Coordinador del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura.
7. Para corregir cualquier desperfecto y realizar reparaciones al Módulo de Experimentación debe ponerse en contacto con: *Arq. Ricardo Sánchez Benítez (sanchezrick99@comunidad.unam.mx, sanchezrick99@gmail.com)*

De la Prestación del Servicio

La Plataforma de Experimentación fue concebida para dar servicio a los investigadores del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la UNAM.

La finalidad de ésta plataforma es ejecutar en ella pruebas térmicas, lumínicas y acústicas a nuevos materiales así como a sistemas constructivos en condiciones controladas y conocidas. Estas pruebas al material, se realizarán en condiciones normales de uso, es decir, los elementos probados en esta plataforma son instalados según la especificación del investigador o fabricante, emulando una situación real de construcción.

Esto permite analizar el comportamiento del elemento desde la instalación, hasta el uso final del mismo.

La disponibilidad de la Plataforma estará determinada por el calendario de experimentación que la Coordinación del Programa y el Responsable del Campo de Tecnología determinen.

De la Planificación de la Prestación del Servicio

La coordinación, planeación y designación del recurso estará a cargo del titular del Campo de Tecnología del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México, así como de la Coordinación del Programa.

**F. Fichas técnicas y calibración de Equipos
e Instrumentos de Medición.**

CR1000 Specifications

Electrical specifications are valid over a -25° to +50°C, non-condensing environment, unless otherwise specified. Recalibration recommended every three years. Critical specifications and system configuration should be confirmed with Campbell Scientific before purchase.

PROGRAM EXECUTION RATE

10 ms to one day @ 10 ms increments

ANALOG INPUTS (SE1-SE16 or DIFF1-DIFF8)

8 differential (DF) or 16 single-ended (SE) individually configured input channels. Channel expansion provided by optional analog multiplexers.

RANGES and RESOLUTION: Basic resolution (Basic Res) is the A/D resolution of a single A/D conversion. A DIFF measurement with input reversal has better (finer) resolution by twice than Basic Res.

Range (mV) ¹	DF Res (µV) ²	Basic Res (µV)
±5000	667	1333
±2500	333	667
±250	33.3	66.7
±25	3.33	6.7
±7.5	1.0	2.0
±2.5	0.33	0.67

¹Range overhead of ~9% on all ranges guarantees that full-scale values will not cause over range.

²Resolution of DF measurements with input reversal.

ACCURACY³:

±(0.06% of reading + offset), 0° to 40°C

±(0.12% of reading + offset), -25° to 50°C

±(0.18% of reading + offset), -55° to 85°C (-XT only)

³Accuracy does not include the sensor and measurement noise. Offsets are defined as:

Offset for DF w/input reversal = 1.5·Basic Res + 1.0 µV

Offset for DF w/o input reversal = 3·Basic Res + 2.0 µV

Offset for SE = 3·Basic Res + 3.0 µV

ANALOG MEASUREMENT SPEED:

Integration Type/Code	Integration Time	Settling Time	Total Time ⁴	
			SE w/ No Rev	DF w/ Input Rev
250	250 µs	450 µs	~1 ms	~12 ms
60 Hz ⁵	16.67 ms	3 ms	~20 ms	~40 ms
50 Hz ⁵	20.00 ms	3 ms	~25 ms	~50 ms

⁴Includes 250 µs for conversion to engineering units.

⁵AC line noise filter.

INPUT NOISE VOLTAGE: For DF measurements with input reversal on ±2.5 mV input range (digital resolution dominates for higher ranges).

250 µs Integration: 0.34 µV RMS

50/60 Hz Integration: 0.19 µV RMS

INPUT LIMITS: ±5 Vdc

DC COMMON MODE REJECTION: >100 dB

NORMAL MODE REJECTION: 70 dB @ 60 Hz when using 60 Hz rejection

INPUT VOLTAGE RANGE W/O MEASUREMENT

CORRUPTION: ±8.6 Vdc max.

SUSTAINED INPUT VOLTAGE W/O DAMAGE: ±16 Vdc max.

INPUT CURRENT: ±1 nA typical, ±6 nA max. @ 50°C; ±90 nA @ 85°C

INPUT RESISTANCE: 20 GΩ typical

ACCURACY OF BUILT-IN REFERENCE JUNCTION

THERMISTOR (for thermocouple measurements):

±0.3°C, -25° to 50°C

±0.8°C, -55° to 85°C (-XT only)

ANALOG OUTPUTS (VX1-VX3)

3 switched voltage, sequentially active only during measurement.

RANGE AND RESOLUTION:

Channel	Range	Resolution	Current Source/Sink
(VX 1-3)	±2.5 Vdc	0.67 mV	±25 mA

ANALOG OUTPUT ACCURACY (VX):

±(0.06% of setting + 0.8 mV), 0° to 40°C

±(0.12% of setting + 0.8 mV), -25° to 50°C

±(0.18% of setting + 0.8 mV), -55° to 85°C (-XT only)

VX FREQUENCY SWEEP FUNCTION: Switched outputs provide a programmable swept frequency, 0 to 2500 mv square waves for exciting vibrating wire transducers.

PERIOD AVERAGE

Any of the 16 SE analog inputs can be used for period averaging. Accuracy is ±(0.01% of reading + resolution), where resolution is 136 ns divided by the specified number of cycles to be measured.

INPUT AMPLITUDE AND FREQUENCY:

Voltage Gain	Input Range (±mV)	Signal (peak to peak)		Min Pulse Width (µV)	Max ⁸ Freq (kHz)
		Min. (mV) ⁶	Max (V) ⁷		
1	250	500	10	2.5	200
10	25	10	2	10	50
33	7.5	5	2	62	8
100	2.5	2	2	100	5

⁶Signal centered around Threshold (see PeriodAvg() instruction).

⁷With signal centered at the datalogger ground.

⁸The maximum frequency = 1/(twice minimum pulse width) for 50% of duty cycle signals.

RATIOMETRIC MEASUREMENTS

MEASUREMENT TYPES: Provides ratiometric resistance measurements using voltage excitation. 3 switched voltage excitation outputs are available for measurement of 4- and 6-wire full bridges, and 2-, 3-, and 4-wire half bridges. Optional excitation polarity reversal minimizes dc errors.

RATIOMETRIC MEASUREMENT ACCURACY:^{9,10,11}

±(0.04% of Voltage Measurement + Offset)

⁹Accuracy specification assumes excitation reversal for excitation voltages < 1000 mV. Assumption does not include bridge resistor errors and sensor and measurement noise.

¹⁰Estimated accuracy, ΔX (where X is value returned from the measurement with Multiplier = 1, Offset = 0):

BrHalf() instruction: $\Delta X = \Delta V_x / V_x$

BrFull() instruction $\Delta X = 1000 \cdot \Delta V_x / V_x$, expressed as mV·V⁻¹.

ΔV^{-1} is calculated from the ratiometric measurement accuracy. See Resistance Measurements Section in the manual for more information.

¹¹Offsets are defined as:

Offset for DIFF w/input reversal = 1.5·Basic Res + 1.0 µV

Offset for DIFF w/o input reversal = 3·Basic Res + 2.0 µV

Offset for SE = 3·Basic Res + 3.0 µV

Excitation reversal reduces offsets by a factor of two.

PULSE COUNTERS (P1-P2)

2 inputs individually selectable for switch closure, high frequency pulse, or low-level ac. Independent 24-bit counters for each input.

MAXIMUM COUNTS PER SCAN: 16.7x10⁶

SWITCH CLOSURE MODE:

Minimum Switch Closed Time: 5 ms

Minimum Switch Open Time: 6 ms

Max. Bounce Time: 1 ms open w/o being counted

HIGH-FREQUENCY PULSE MODE:

Maximum Input Frequency: 250 kHz

Maximum Input Voltage: ±20 V

Voltage Thresholds: Count upon transition from below 0.9 V to above 2.2 V after input filter with 1.2 µs time constant.

LOW-LEVEL AC MODE: Internal ac coupling removes ac offsets up to ±0.5 Vdc.

Input Hysteresis: 12 mV RMS @ 1 Hz

Maximum ac Input Voltage: ±20 V

Minimum ac Input Voltage:

Sine Wave (mV RMS)	Range(Hz)
20	1.0 to 20
200	0.5 to 200
2000	0.3 to 10,000
5000	0.3 to 20,000

DIGITAL I/O PORTS (C1-C8)

8 ports software selectable, as binary inputs or control outputs. Provide on/off, pulse width modulation, edge timing, subroutine interrupts / wake up, switch closure pulse counting, high frequency pulse counting, asynchronous communications (UARTs), and SDI-12 communications. SDM communications are also supported.

LOW FREQUENCY MODE MAX: <1 kHz

HIGH-FREQUENCY MODE MAX: 400 kHz

SWITCH-CLOSURE FREQUENCY MAX: 150 Hz

EDGE TIMING RESOLUTION: 540 ns

OUTPUT VOLTAGES (no load): high 5.0 V ±0.1 V; low <0.1

OUTPUT RESISTANCE: 330 Ω

INPUT STATE: high 3.8 to 16 V; low -8.0 to 1.2 V

INPUT HYSTERESIS: 1.4 V

INPUT RESISTANCE: 100 kΩ with inputs <6.2 Vdc

220 Ω with inputs ≥6.2 Vdc

SERIAL DEVICE/RS-232 SUPPORT: 0 to 5 Vdc UART

SWITCHED 12 VDC (SW-12)

1 independent 12 Vdc unregulated source is switched on and off under program control. Thermal fuse hold current = 900 mA at 20°C, 650 mA at 50°C, 360 mA at 85°C.

EU DECLARATION OF COMPLIANCE

https://scampbellsci.com/documents/us/compliance/eudoc_cr1000-series.pdf
https://scampbellsci.com/documents/us/compliance/eudoc_cr1000kd.pdf

COMMUNICATIONS

RS-232 PORTS:

DCE 9-pin: (not electrically isolated) for computer connection or connection of modems not manufactured by Campbell Scientific.

COM1 to COM4: 4 independent Tx/Rx pairs on control ports (non-isolated); 0 to 5 Vdc UART

Baud Rates: selectable from 300 bps to 115.2 kbps.

Default Format: 8 data bits; 1 stop bits; no parity

Optional Formats: 7 data bits; 2 stop bits; odd, even parity

CS I/O PORT: Interface with telecommunications peripherals manufactured by Campbell Scientific.

SDI-12: Digital control ports C1, C3, C5, and C7 are individually configured and meet SDI-12 Standard v 1.3 for datalogger mode. Up to 10 SDI-12 sensors are supported per port.

PERIPHERAL PORT: 40-pin interface for attaching CompactFlash or Ethernet peripherals

PROTOCOLS SUPPORTED: PakBus, AES-128 Encrypted PakBus, Modbus, DNP3, FTP, HTTP, XML, HTML, POP3, SMTP, Telnet, NTCIP, NTP, Web API, SDI-12, SDM.

SYSTEM

PROCESSOR: Renesas H8S 2322 (16-bit CPU with 32-bit internal core running at 7.3 MHz)

MEMORY: 2 MB of flash for operating system; 4 MB of battery-backed SRAM for CPU usage and final data storage; 512 kB flash disk (CPU) for program files.

REAL-TIME CLOCK ACCURACY: ±3 min. per year. Correction via GPS optional.

REAL-TIME CLOCK RESOLUTION: 10 ms

SYSTEM POWER REQUIREMENTS

VOLTAGE: 9.6 to 16 Vdc

INTERNAL BATTERIES: 1200 mAh lithium battery for clock and SRAM backup that typically provides three years of backup

EXTERNAL BATTERIES: Optional 12 Vdc nominal alkaline and rechargeable available. Power connection is reverse polarity protected.

TYPICAL CURRENT DRAIN at 12 Vdc:

Sleep Mode: < 1 mA

1 Hz Sample Rate (1 fast SE meas.): 1 mA

100 Hz Sample Rate (1 fast SE meas.): 6 mA

100 Hz Sample Rate (1 fast SE meas. w/RS-232 communication): 20 mA

Active external keyboard display adds 7 mA (100 mA with backlight on).

PHYSICAL

DIMENSIONS: 23.9 x 10.2 x 6.1 cm (9.4 x 4 x 2.4 in); additional clearance required for cables and leads.

MASS/WEIGHT: 1 kg / 2.1 lb

WARRANTY

3 years against defects in materials and workmanship.



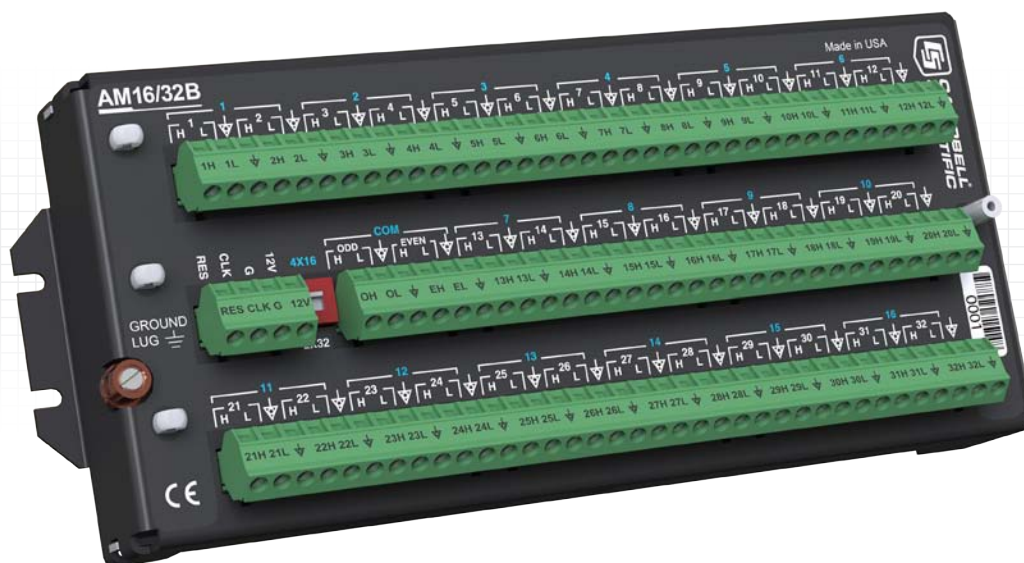


AM16/32B

16- or 32-Channel Relay Multiplexer

Greatly Increases Sensor Capacity

Connects many sensors to a single datalogger



Overview

The AM16/32B multiplexer significantly increases the number of sensors that can be measured by a Campbell Scientific datalogger. It multiplexes 16 groups of four lines (a total of 64 lines)

through four common (COM) terminals. Alternatively, a manual switch setting allows the AM16/32B to multiplex 32 groups of two lines (also a total of 64 lines) through two COM terminals.

Benefits and Features

- Significantly increases the number of sensors the datalogger can measure
- Multiplexes up to 32 sensors at a time
- Supports many types of sensors including thermistors, potentiometers, strain gages, vibrating wires, reflectometers, and soil moisture blocks
- Eliminates the requirement for dc blocking capacitors for gypsum soil moisture blocks, significantly reducing sensor cost
- Decreases the cost of cabling individual sensors on long wire runs
- Allows a relay address to be used to go directly to a specific channel—reducing power consumption and wear on the relay switches
- Protects the equipment from electrical surges by including gas tubes on all of the inputs and having a ground lug
- Prevents sensor-cable damage by providing strain relief for sensor leads and independent routing for sensor shield lines

Power Considerations

The AM16/32B draws less than 210 μ A quiescent, 6 mA active—so power considerations are heavily tied to the percentage of time in quiescent versus active states. Use of a relay address can reduce power consumption by minimizing the time spent in an active state.

In most applications, the datalogger's sealed rechargeable power supply should be more than sufficient; the datalogger's alkaline power supply can be used in applications where the multiplexer is activated infrequently

questions & quotes: 435.227.9120

www.campbellsci.com/am16-32b



Scanning Multiple AM16/32Bs

Several AM16/32Bs may be connected to one logger depending on the number of control ports and analog inputs available.

Maximum Number of Sensor Connections

The maximum number of sensors multiplexed through one AM16/32B depends on the type(s) of sensors measured. For example, assuming identical sensors, the AM16/32B can multiplex:

- › Up to 32 single-ended or differential sensors that require two wires (e.g., thermistors, half bridges)
- › Up to 16 single-ended or differential sensors that require four wires (e.g., full bridges, four-wire half bridges)
- › Up to 32 vibrating wire sensors (16 with temperature) in conjunction with an AVW200-series vibrating wire interface
- › Up to 48 half-bridge measurements (assumes common excitation and completion resistors at the datalogger)
- › Up to 48 CS616 Water Content Reflectometers (assumes common excitation)
- › Up to 32 gypsum soil moisture blocks (model 223 or 253). The AM16/32B eliminates the requirement for dc blocking capacitors, significantly reducing sensor cost

Specifications

- › Power:^a 9.6 to 16 Vdc (under load)
- › Scan Advance: Occurs on the leading edge of the clock pulse transition (from below 1.5 V to above 3.3 V)
- › Minimum Clock Pulse Width: 1 ms
- › Maximum Actuation Time for Relay: 20 ms
- › Relay Operation: break before make
- › Initial Relay Resistance, Closed: 0.1 Ω
- › Maximum Switching Current:^b 500 mA
- › Maximum Switching Voltage:^c 50 Vdc
- › Minimum Contact Life: 5 x 10⁷ closures
- › CE Compliance: EN 61326: 1998 EN 55022: 1998 Class B
- › Surge: Complies with IEC61000-4-5, test level 3 (± 2 kV, 2 Ω coupling impedance)
- › Weight: 680 g (1.5 lb)
- › Dimensions: 22.0 x 10.1 x 6.6 cm (8.7 x 4.0 x 2.6 in)

Clock Levels

- › Scan Advance: Occurs on the leading edge of the clock pulse transition (from below 1.5 V to above 3.3 V)
- › Maximum Voltage: 8 Vdc

Ordering Information

Multiplexer

AM16/32B 16 or 32 Channel Relay Multiplexer

Temperature Ranges (choose one)

- ST Tested -25° to +50°C
- XT Tested -55° to +85°C

Cables

For the cables below, enter cable length, in feet, after the -L. Must choose a cable termination option (see below).

CABLE3CBL-L 3-conductor, 22-AWG cable recommended for COM terminal connections when used in a 2 x 32 mode.

CABLE4CBL-L 4-conductor, 22-AWG cable for power and control connections. This cable can also be used for COM terminal connections when used in the 4 x 16 mode.

CABLE5CBL-L 5-conductor, 24-AWG cable for COM terminal connections when used in the 4 x 16 mode and it is desirable to connect both shields.

Cable Termination Options (choose one)

- PT Cable terminates in stripped and tinned leads for direct connection to a datalogger's terminals.
- PW Cable terminates in connector for attachment to a prewired enclosure.

ESD

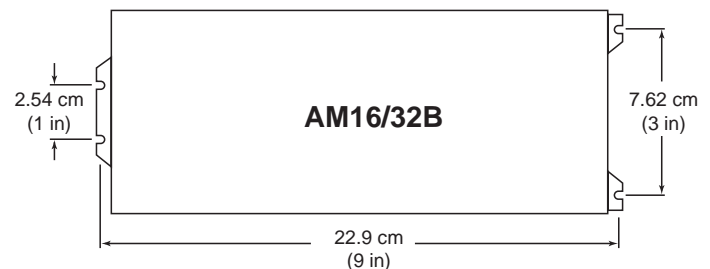
- › Air Discharge: Complies with IEC61000-4-2, test level 4 (± 15 kV)
- › Contact Discharge: Complies with IEC61000-4-2, test level 4 (± 8 kV)

Current Drain (typical)

- › Quiescent: < 210 μ A
- › Active: 6 mA

Reset Levels

- › Inactive: < 0.9 V
- › Active: 3.3 to 8 V



Mounting bracket dimensions

^aThe power requirements for AM16/32B multiplexers with serial numbers less than 5056 were 11.3 to 16 Vdc (under load; -25° to +50°C) and 11.8 to 16 Vdc (under load; -55° to +85°C).

^bSwitching currents greater than 30 mA (occasional 50 mA acceptable) degrade the suitability of that channel for switching low-voltage signals.

^cA voltage divider such as the VDIV10:1 may be needed between the AM16/32B and the datalogger to stay within the input limits of the datalogger channel.



Rugged, Accurate

Compatible with all Campbell
Scientific dataloggers

Overview

The 110PV is a thermistor that measures the temperature of a surface by direct contact. It typically monitors the temperature of a photovoltaic module, but can also monitor the temperature of other devices. This thermistor easily interfaces with our dataloggers, and is ideal for solar energy applications.

Benefits and Features

- › Measures temperature across a wide range: -40° to $+135^{\circ}\text{C}$
- › Easy to install—adhesive strips on the 110PV's smooth face adhere to the back of a solar panel or other device
- › Aluminum disk protects thermistor and promotes heat transfer from surfaces
- › Makes accurate measurements in environments with heavy electromagnetic interference
- › Compatible with the CWS900-series interfaces, allowing it to be used in a wireless sensor network

Technical Description

The 110PV consists of a thermistor encased in an aluminum disk. The disk protects the thermistor and promotes heat transfer from surfaces. An adhesive tab on the probe's aluminum disk fastens the 110PV to the measurement surface. If the temperature may exceed 70°C , Kapton tape is also required to secure the probe.

The 110PV can provide the photovoltaic (PV) module temperature for solar energy applications. This measurement is useful since the output of a PV module is affected by its temperature. As the temperature of the PV module increases, its output decreases.



Ordering Information

Temperature Probe for Harsh Environments

110PV-L Surface Mount Temperature Probe with user-specified cable length. Enter cable length (in feet) after the -L. Must choose a cable termination option (see below).

Cable Termination Options (choose one)

- PT** Cable terminates in stripped and tinned leads for direct connection to a datalogger's terminals.
- PW** Cable terminates in a connector for attachment to a prewired enclosure.
- CWS** Cable terminates in a connector for attachment to a CWS900-series interface. Connection to a CWS900-series interface allows this sensor to be used in a wireless sensor network.

Common Accessory

27015 Roll of Kapton tape for locations where the temperature may exceed 70°C.



The 110PV is mounted to the measurement surface via Kapton tape.

Specifications

- › Measurement Range: -40° to +135°C
- › Survival Range: -50° to +140°C
- › Temperature Uncertainty

Temperature	Tolerance
-40°C to 70°C	±0.2°C
71° to 105°C	±0.5°C
106° to 135°C	±1°C

- › Time Constant In Air

Test	τ
Still Air	252 seconds
Surface	25 seconds

- › Steinhart-Hart Linearization Equation Error (maximum): 0.0024°C at -40°C

- › Maximum Water Submersion Depth*

Meters	Feet	PSI
15.24	50	21

- › Maximum Lead Length: 304.8 m (1000 ft)
- › Disk Diameter: 2.54 cm (1.0 in)
- › Overall Probe Length: 6.35 cm (2.5 in)
- › Overmolded Joint Dimensions

Width	Height	Length
1.12 cm (0.44 in)	1.47 cm (0.58 in)	5.72 cm (2.25 in)

- › Disk Material: Anodized Aluminum
- › Cable Jacket Material: Santoprene
- › Cable/Probe Connection Material: Santoprene
- › Weight: 90.7 g with 3.2 m cable (0.2 lb with 10.5 ft cable)

*The 110PV's adhesive tab and the Kapton tape are not intended for submersion. Therefore, if the 110PV will be submerged, mount the sensor to the measurement surface using a user-supplied method that is compatible with submersion.



Rugged, Accurate, Versatile

Can be used in a
variety of applications

Overview

The 107 and 108 are rugged, accurate sensors that measure air, soil, and water temperature in a variety of applications. These sensors consist of a thermistor encapsulated in an epoxy-filled

aluminum housing. The housing protects the thermistor allowing the sensors to be buried or submerged. The 107 measures from -35° to $+50^{\circ}\text{C}$, the 108 from -5° to $+95^{\circ}\text{C}$.

Benefits and Features

- › Versatile product—measures air, soil, or water temperature
- › Compatible with AM16/32-series multiplexers allowing measurement of multiple sensors
- › Easy to install or remove
- › Durable
- › Compatible with most dataloggers*

Installation

Air Temperature

When exposed to sunlight, the 107 and 108 sensors should be housed in a 41303-5A, 41303-5B, or RAD06 6-plate radiation shield. The louvered construction of these radiation shields allows air to pass freely through the shield thereby keeping the sensor at or near ambient temperature. The shields' white color reflects solar radiation.

The RAD06 uses a double-louvered design that offers improved sensor protection from driving rain, snow, insect intrusion and has lower self-heating in bright sunlight combined with higher temperatures ($> 24^{\circ}\text{C}$ ($\sim 75^{\circ}\text{F}$)) and low wind speeds ($< 2 \text{ m s}^{-1}$ ($\sim 4.5 \text{ mph}$)) giving a better measurement.

The 41303-5A and RAD06 attaches to a crossarm, mast, or user-supplied pipe with a 2.5 to 5.3 cm (1.0 in to 2.1 in) outer diameter.

The 41303-5B attaches to a CM500-series pole or a user-supplied pole with a 5.1 cm (2.4 in) outer diameter.

Water Temperature

The sensors can be submerged to 15 m (50 ft) or 21 psi. Please note that neither the 107 nor 108 is weighted. Therefore, the installer should either add a weighting system or secure the sensor to a fixed, submerged object, such as a piling.

Soil Temperature

The 107 and 108 are suitable for shallow burial only. Placement of the sensor's cable inside a rugged conduit may be advisable for long cable runs—especially in locations subject to digging, mowing, traffic, use of power tools, or lightning strikes.

**The 107 and 108 are not compatible with the CR200(X)-series dataloggers. However, a similar sensor, the 109, has been developed specifically for our CR200(X)-series dataloggers.*



Ordering Information

Temperature Sensors

When ordering the temperature sensor, you must choose a cable length option and cable termination option.

- 107 Temperature Sensor (-35° to +50°C).
- 108 Temperature Sensor (-5° to +95°C).

Cable Length Options (choose one)

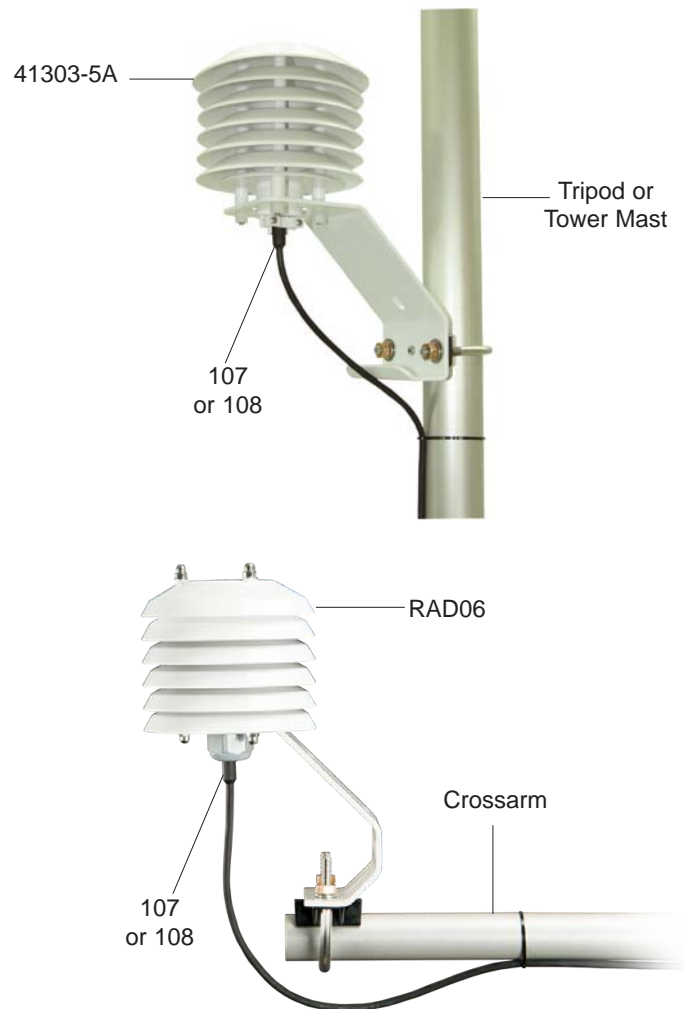
- 10 10 ft (3 m) cable length recommended for mounting sensor directly to the mast or leg at a 2 m height.
- 17 17 ft (5 m) cable length recommended for mounting sensor on a 2 ft crossarm at a 2 m height or atop a CM106B, CM110, or UT10.
- 33 33 ft (10 m) cable length recommended for mounting sensor on a 2 ft crossarm atop a CM115, CM120, or UT20.
- 50 50 ft (15 m) cable length recommended for mounting sensor on a 2 ft crossarm atop a UT30 tower.
- U-L User-defined cable length. Enter length, in feet, after the -L. See Cable Length Recommendation Table below.

Cable Termination Options (choose one)

- PT Cable terminates in stripped and tinned leads for direct connection to a datalogger's terminals.
- PW Cable terminates in connector that attaches to a prewired enclosure.
- C Cable terminates in a connector for attachment to a CS110 Electric Field Meter or ET107 weather station

Solar Radiation Shield for Air Temperature Measurements

- 41303-5A R. M. Young 6-Plate shield with U-bolts for attachment to a crossarm, mast, or pipe with 2.5 to 5.3 cm (1.0 to 2.1 in) outer diameter
- 41303-5B R. M. Young 6-Plate shield with Band Clamp for attachment to a CM500-series or similar pole (5.1 cm (2.4 in) outer diameter).
- RAD06 6-Plate MetSpec Radiation Shield with U-bolts for attachment to a Campbell Scientific crossarm or mast.



Cable Length Recommendations for Air Temperature Measurement¹

2 m Height	CM106B ²	CM110 ²	CM115 ²	CM120 ²	UT10	UT20	UT30
3.4 m (11 ft)	4.3 m (14 ft)	4.3 m (14 ft)	5.8 m (19 ft)	7.3 m (24 ft)	4.3 m (14 ft)	7.3 m (24 ft)	11.3 m (37 ft)

Notes:

1. The lengths assume the sensor is mounted at the end of a 2 ft crossarm.
2. The lengths assume the enclosure is mounted to the tripod mast. If it is mounted to the leg base, add 0.6 m (2 ft) to the cable length.

Specifications

- › Sensor: BetaTherm 100K6A11A Thermistor
- › Tolerance:
 - 107: ±0.2°C over 0° to 50°C range
 - 108: ±0.2°C over 0° to 70°C range
- › Temperature Measurement Range
 - 107: -35° to +50°C
 - 108: -5° to +95°C
- › Steinhart-Hart Equation Error: ≤±0.01°C over measurement range
- › Time Constant in Air: 30 to 60 s in a wind speed of 5 m s⁻¹
- › Maximum Cable Length: 305 m (1000 ft)
- › Maximum Submersion Depth: 15 m (50 ft)
- › Sensor Length: 10.4 cm (4.1 in)
- › Sensor Diameter: 0.76 cm (0.3 in)
- › Weight with 10 ft cable: 136 g (5 oz)
- › View EU Declaration of Conformity Documentation at: www.campbellsci.com/107 or www.campbellsci.com/108

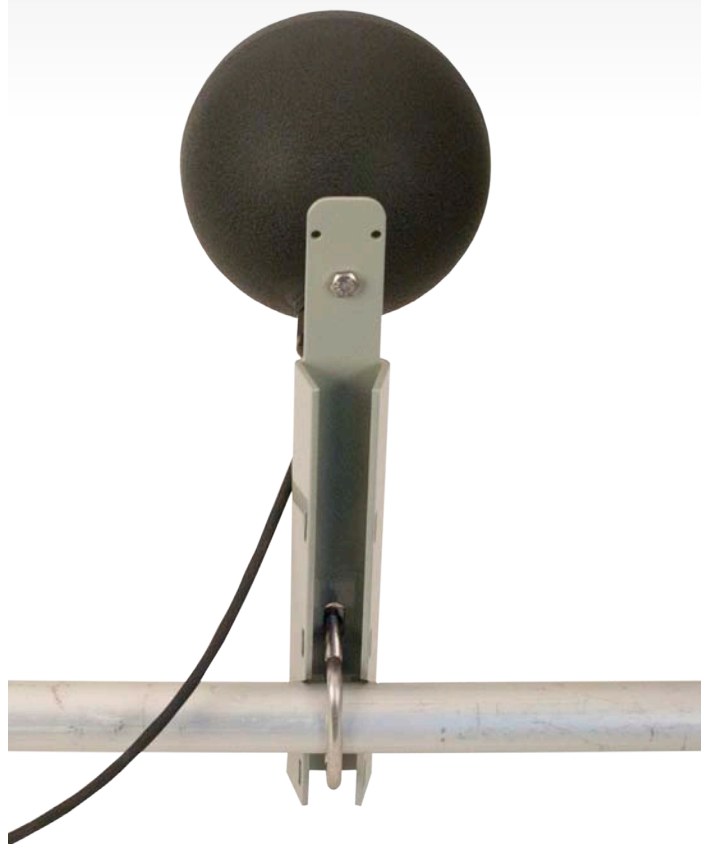




BlackGlobe

Temperature Sensor for Heat Stress

Manage Heat Stress



Ordering Information

Temperature Sensor for Heat Stress

BlackGlobe-L Temperature Sensor (-5° to +95°C) with mounting bracket. Enter the cable length (in feet) after the -L. Must choose a cable termination option (see below).

Cable Termination Options (choose one)

- PT** Cable terminates in stripped and tinned leads for direct connection to a datalogger's terminals.
- PW** Cable terminates in connector for attachment to a prewired enclosure.

Common Accessories

- TempCal** Single Point Calibration
- TempCal2** Two Point Calibration

Overview

Loss of physical and mental efficiency occurs under definable degrees of heat stress. Severe heat stress can lead to fatigue, exhaustion and possibly even disability or death. The Wet Bulb Globe Temperature Index (WBGT) combines the effects of temperature, humidity, radiant heat, and wind into one single index employed to express environmental heat stress.

The BlackGlobe Temperature Sensor for Heat Stress measures radiant temperature using a thermistor inside a 15.2 cm (6 in) hollow copper sphere that is painted black. This measurement, along

with the measurement of ambient air and wet bulb temperatures, is used to calculate the WBGT index.

Heat stress can be reduced by decreasing the lengths of exposure and decreasing the workload of individuals under heat stress. Factors such as the type of clothing worn, the type of work performed, the psychological effects of stress, and availability of fluids can affect the assessment of heat stress, but these factors are not easily quantified. Environmental factors such as temperature, humidity, and wind are more easily measured to assess heat stress.

Specifications

- › Temperature Measurement Range: -5° to +95°C
- › Temperature Survival Range: -50° to +100°C
- › Thermistor Interchangeability Error: Typically $\pm 0.2^\circ\text{C}$ over 0° to 70°C, and ± 0.3 at 95°C
- › Polynomial Linearization Error: $< \pm 0.5^\circ\text{C}$ over -7°C to +90°C
- › Near Normal Emittance: 0.957
- › Maximum Cable Length: 305 m (1000 ft)



Campbell Scientific, Inc. | 815 W 1800 N | Logan, UT 84321-1784 | (435) 227-9120 | www.campbellsci.com
USA | AUSTRALIA | BRAZIL | CANADA | CHINA | COSTA RICA | FRANCE | GERMANY | SE ASIA | SOUTH AFRICA | SPAIN | UK

© 2013, 2017
Campbell Scientific, Inc.
January 12, 2017

More info: 435.227.9120

campbellsci.com/blackglobe





HOBO® U12 Logger

Multi-channel energy & environmental monitoring

HOBO U12 data loggers provide flexibility for monitoring up to 4 channels of energy and environmental data with a single, compact logger. They provide 12-bit resolution measurements for detecting greater variability in recorded data, direct USB connectivity for convenient, fast data offload, and a 43K measurement capacity.

Supported Measurements: Temperature, Relative Humidity, Dew Point, 4-20mA, AC Current, AC Voltage, Air Velocity, Carbon Dioxide, Compressed Air Flow, DC Current, DC Voltage, Gauge Pressure, Kilowatts, Light Intensity, Volatile Organic Compound (some sensors sold separately)

Key Advantages:

- Records up to 4 channels
- Your choice of three models, with flexible measurement options
- Programmable as well as push-button start
- Compatible with a broad range of external sensors

Minimum System Requirements:



Software



USB cable*



*USB cable included with software part # BHW-PRO-CD

► For complete information and accessories, please visit: www.onsetcomp.com

Part number	U12-012 (Temp/RH/Light/Ext)	U12-013 (Temp/RH/2 Ext)
Memory	43,000 measurements	
Sampling rate	1 second to 18 hours, user-selectable	
Battery life	1 year typical, user-replaceable, CR2032	
Temperature		
Max range	-20° to 70°C (-4° to 158°F)	
Accuracy	± 0.35°C from 0° to 50°C (± 0.63°F from 32° to 122°F)	
Resolution (12-bit)	0.03°C @ 25°C (0.05°F @ 77°F)	
Relative Humidity		
Measurement range	5% to 95% RH (non-condensing)	
Accuracy	±2.5% from 10%RH to 90%RH typical to a maximum of ±3.5% including hysteresis at 25°C (77°F); below 10%RH and above 90%RH ±5% typical	
Resolution (10-bit)	0.05%RH	
Light Intensity		
	Designed for general purpose indoor measurement of relative light levels	
Range	1 to 3000 footcandles (lumens/ft2) typical 0-32,300 lumens/m2	
External Input		
Range	0 to 2.5 VDC	
Accuracy	± 2 mV, ± 2.5% of absolute reading	
Resolution	0.6 mV	
CE compliant	Yes	

For stand-alone data logging applications in harsh indoor environments, see the 4-channel HOBO U12 Industrial data logger (U12-008) at onsetcomp.com

Contact Us

Sales (8am to 5pm ET, Monday through Friday)

- Email sales@onsetcomp.com
- Call 1-508-759-9500
- In U.S. toll free 1-800-564-4377
- Fax 1-508-759-9100

Technical Support (8am to 8pm ET, Monday through Friday)

- Contact Product Support onsetcomp.com/support/contact
- Call 1-508-759-9500
- In U.S. toll free 1-877-564-4377

Onset Computer Corporation
470 MacArthur Boulevard
Bourne, MA 02532

107 (4-wire) - T107_C_Temp_central

AM16/32 (4x16 mode)

Black		1H
Red		1L
Clear		⌋ or ⌋ (Ground)
	CR1000	
Purple	⌋ (Ground)	
	12V	12V
	C1	CLK
	1L	COM EVEN H
	2H	COM EVEN L
	Ground	COM Ground
	VX1 or EX1	COM ODD H
	1H	COM ODD L
	G	GND
	C2	RES

110PV (1) - T110PV_C_Bast_M1

AM16/32 (4x16 mode)

Black	1H
Red	2H
Clear	⌋ or ⌋ (Ground)
Purple	⌋ or ⌋ (Ground)

110PV (2) - T110PV_C_Bast_M2

AM16/32 (4x16 mode)

Black	1H
Red	2L
Clear	⌋ or ⌋ (Ground)
Purple	⌋ or ⌋ (Ground)

110PV (3) - T110PV_C_Bast_M3

AM16/32 (4x16 mode)

Black	3H
Red	3L
Clear	⌋ or ⌋ (Ground)
Purple	⌋ or ⌋ (Ground)

110PV (4) - T110PV_C_Bast_M4

AM16/32 (4x16 mode)

Black	3H
Red	4H
Clear	⌋ or ⌋ (Ground)
Purple	⌋ or ⌋ (Ground)

110PV (5) - T110PV_C_Bast_Azotea**AM16/32 (4x16 mode)**

Black	3H
Red	4L
Clear	⌵ or $\frac{1}{\equiv}$ (Ground)
Purple	⌵ or $\frac{1}{\equiv}$ (Ground)

110PV (6) - T110PV_C_Int_M1**AM16/32 (4x16 mode)**

Black	5H
Red	5L
Clear	⌵ or $\frac{1}{\equiv}$ (Ground)
Purple	⌵ or $\frac{1}{\equiv}$ (Ground)

110PV (7) - T110PV_C_Int_M2**AM16/32 (4x16 mode)**

Black	5H
Red	6H
Clear	⌵ or $\frac{1}{\equiv}$ (Ground)
Purple	⌵ or $\frac{1}{\equiv}$ (Ground)

110PV (8) - T110PV_C_Int_M3**AM16/32 (4x16 mode)**

Black	5H
Red	6L
Clear	⌵ or $\frac{1}{\equiv}$ (Ground)
Purple	⌵ or $\frac{1}{\equiv}$ (Ground)

110PV (9) - T110PV_C_Int_M4**AM16/32 (4x16 mode)**

Black	7H
Red	7L
Clear	⌵ or $\frac{1}{\equiv}$ (Ground)
Purple	⌵ or $\frac{1}{\equiv}$ (Ground)

110PV (10) - T110PV_C_Plaf**AM16/32 (4x16 mode)**

Black	7H
Red	8H
Clear	⌵ or $\frac{1}{\equiv}$ (Ground)
Purple	⌵ or $\frac{1}{\equiv}$ (Ground)

AM16/32 (4x16 mode)

CR1000

COM ODD L	1H
COM EVEN H	1L
COM EVEN L	2H
12V	12V
CLK	C1
RES	C2
GND	G
COM Ground	$\frac{\perp}{\equiv}$ (Ground)
COM ODD H	VX1 or EX1

107 (4-wire)

1H	Black	
BGround	Clear	
1L	Red	
	Purple	$\frac{\perp}{\equiv}$ (Ground)

CMP3/CMP6/CMP11 (1) - SirW_Fachada_1, SirkJ

CR1000

White	3H
Black	3L
Clear	$\frac{\perp}{\equiv}$ (Ground)
	3L
Jumper	$\frac{\perp}{\equiv}$ (Ground)

CMP3/CMP6/CMP11 (2) - SirW_Fachada_2, SirkJ_2

CR1000

White	4H
Black	4L
Clear	$\frac{\perp}{\equiv}$ (Ground)
	4L
Jumper	$\frac{\perp}{\equiv}$ (Ground)

CMP3/CMP6/CMP11 (3) - SirW_Fachada_3, SirkJ_3

CR1000

White	5H
Black	5L
Clear	$\frac{\perp}{\equiv}$ (Ground)
	5L
Jumper	$\frac{\perp}{\equiv}$ (Ground)

CMP3/CMP6/CMP11 (4) - SirW_Fachada_4, SirkJ_4 **CR1000**

White	6H
Black	6L
Clear	$\frac{\perp}{\equiv}$ (Ground)
	6L
Jumper	$\frac{\perp}{\equiv}$ (Ground)

CMP3/CMP6/CMP11 (5) - SirW_Global, SirkJ_5 **CR1000**

White	7H
Black	7L
Clear	$\frac{\perp}{\equiv}$ (Ground)
	7L
Jumper	$\frac{\perp}{\equiv}$ (Ground)

SDI-12 - Wdavg, Wsavg, Airtemp, Relhum, Airpres, R... **CR1000**

Power	12V
Data Line	C7
Ground	G

Type E TC - Temp_C **CR1000**

Purple	8H
Red	8L

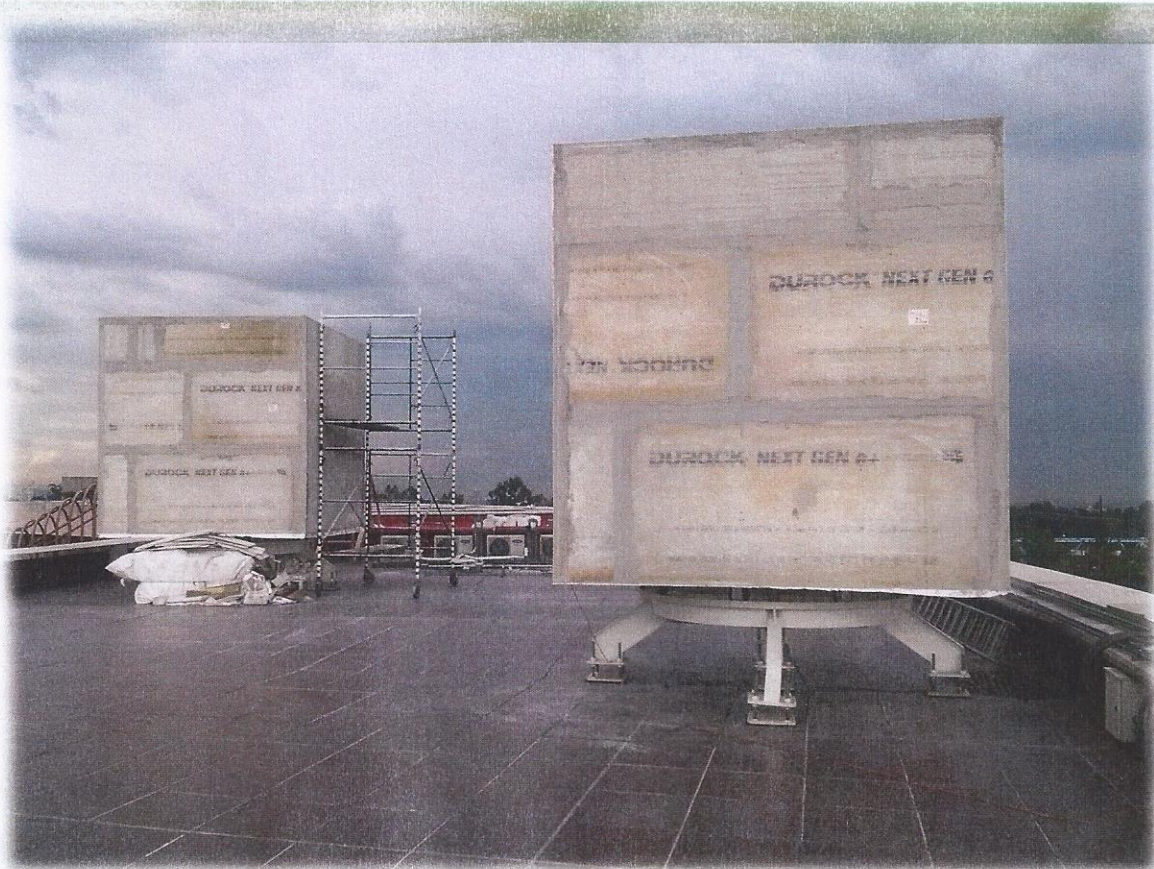
**G. Convenio de Colaboración Corev de
México.**

ASUNTO: módulos 2015-1.

Arq. Analia Inés Arenas
Gerente de PRECOR
COREV de México S.A. de C.V.

Estimada Arquitecta Inés Arenas,

Hacemos de su conocimiento que hemos terminado la instalación de los muros de Durock en los dos módulos de prueba que se encuentran en la azotea de la nueva Unidad de Posgrados, dentro del campus Universitario, donde se ubica el Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura.



Es por ésta razón que solicitamos de su colaboración y apoyo para recibir un donativo en especie que implica el suministro y colocación de sus productos en cuatro de las seis caras que forman la envolvente de cada módulo de prueba.

La envolvente que estamos proponiendo se basa en los productos de USG con aislamiento térmico tanto en el interior como el exterior de los sistemas fabricados a base de capas de Panel de Yeso o Panel de Cemento.

El objetivo es lograr la disminución de las ganancias y/o pérdidas de calor a través de las cinco caras fabricadas como se describe en el párrafo anterior, dejando la sexta cara libre para en ella poder evaluar las diferentes soluciones constructivas, (*térmicas, lumínicas y acústicas*) de envolventes que utiliza la industria de la construcción en México.

Es de nuestro interés el invitar a COREV DE MÉXICO S.A. DE C.V. a participar activamente en esta serie de experimentos relacionados con las propiedades (*térmicas, lumínicas y acústicas*) de las envolventes de los edificios en nuestro país.

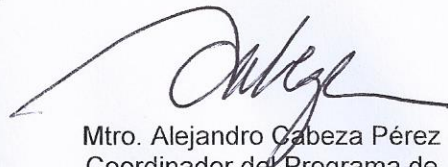
Sin otro asunto, me permito enviarle nuevamente un afectuoso saludo,

A T E N T A M E N T E

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”
CD. Universitaria D.F. a 21 de Octubre de 2014.



Mtro. Leonardo B. Zeevaert Alcántara
Responsable del Campo de Tecnología
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura



Mtro. Alejandro Cabeza Pérez
Coordinador del Programa de
Maestría y Doctorado en Arquitectura