



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura
Maestría en Arquitectura. Tecnología

**MURO COLECTOR SOLAR PARA CALENTAMIENTO DE AGUA EN
VIVIENDA VERTICAL.**

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

David Arnulfo Gómez García

Director de tesis:

Mtra en Arq. Maribel Jaimes Torres
Posgrado de Arquitectura UNAM

Sinodales:

Mtro. en Arq. Jorge Rangel Davalos
Posgrado de Arquitectura UNAM

Mtro. en Arq. Ernesto Ocampo Ruiz
Posgrado de Arquitectura UNAM

Mtro. en Arq. Arturo Valeriano Flores
Posgrado de Arquitectura UNAM

Dr. en Ing. Alejandro Solano Vega
Posgrado de Arquitectura UNAM

Ciudad Universitaria, CD.MX., Febrero 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

MURO COLECTOR SOLAR PARA CALENTAMIENTO DE AGUA EN VIVIENDA VERTICAL

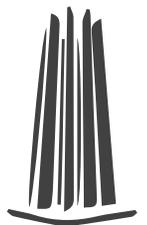
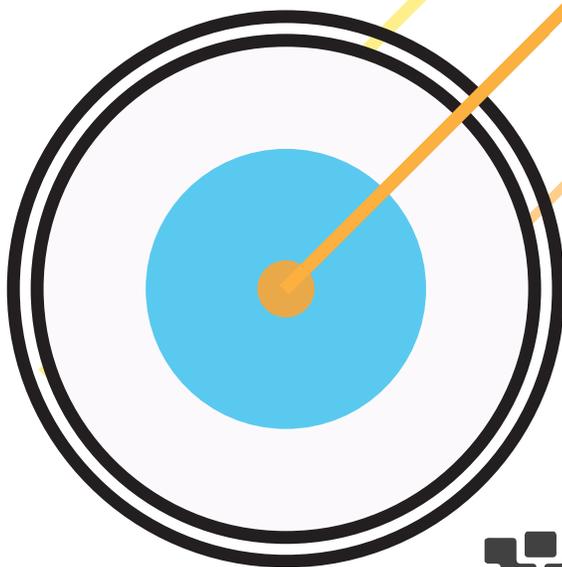
Tesis que para obtener el grado de Maestría en Arquitectura presenta

David Arnulfo Gómez García

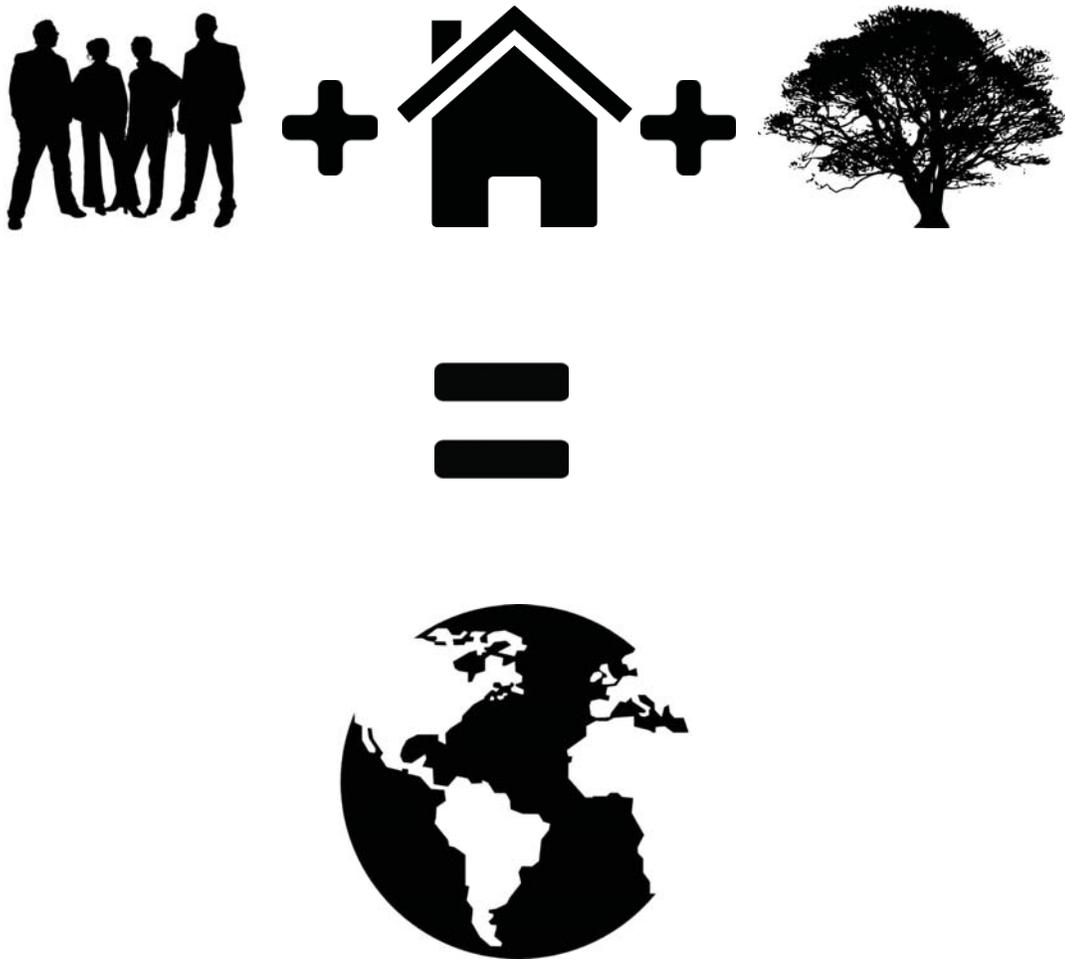
Directora de tesis
Mtra. Maribel Jaimes Torres

Sinodales
Mtro. en Arq. Jorge Rangel Davalos
Mtro. en Arq. Ernesto Ocampo Ruiz
Mtro. en Arq. Arturo Valeriano Flores
Dr. en Ing. Alejandro Solano Vega

Maestría y Doctorado en Arquitectura
Facultad de Arquitectura
Universidad Nacional Autónoma de México



2017



"El programa que se recibe y la traducción arquitectónica que se le da deben venir del espíritu del hombre" (y el planeta)

Louis Kahn
(Conferencia en el Politécnico de Milán, 1967)

Agradecimientos

Antes

que nada quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Politécnica de Catalunya y CONACYT por brindarme el apoyo académico y financiero necesario para concluir mis estudios.

A todos mis tutores y maestros por impulsarme y orientarme, que con sus valiosas enseñanzas logré el objetivo de mi investigación con todas las altas y bajas que el proceso conlleva.

A los maestros artesanos del vidrio, que me demostraron que no todo se aprende en el aula, y que su experiencia y talento complementan la vida académica que involucra su oficio.

A mis padres y hermano (s) con los cuales siempre obtuve apoyo incondicional.

A todos mis amigos y compañeros que me apoyaron.

RESUMEN

Las políticas actuales de re-densificación de las ciudades están evolucionando la geometría de las mismas de horizontal a vertical, y de manera paralela, la población de las ciudades se encuentra en expansión, por lo que el aumento de la demanda energética es proporcional a su crecimiento. Por otro lado, las tecnologías actuales de calentamiento solar de agua no responden a esta nueva geometría de ciudad, debido a su ubicación en azoteas en construcciones verticales, destinan un recorrido largo hasta perdiendo parte de la energía colectada en el trayecto de las instalaciones, sumado a esto, los mismos ocupan un lugar con potencial de habitabilidad, que en grandes ciudades, cualquier espacio aprovechable es muy valioso, por lo que es necesario generara nuevas tecnologías que respondan de manera más eficiente a las nuevas características de las ciudades.

Se diseñó un prototipo de muro contenedor y colector solar para el calentamiento de agua en la vivienda vertical, para lo cual se abordaron temas como propiedades ópticas de materiales nuevos y reciclados con respecto a su geometría, irradiación y transferencia de calor. Se tomó de referencia el funcionamiento del ojo humano, resultando un prototipo para el calentamiento de agua con características biomiméticas. El diseño final fue planeado para responder eficientemente a las condiciones geográficas y climáticas de la Ciudad de México.

El prototipo genera nuevas posibilidades para la industria de la construcción sustentable, reduciendo el recorrido del agua desde la colección solar hasta su destino, disminuyendo considerablemente la generación de energía térmica a través de la quema de combustibles fósiles para la habitabilidad de los verticales, a su vez, la propuesta utiliza componentes fabricados de los residuos de la industria embotelladora, por lo que logra decrecer los desechos y relleno sanitario que el uso de los hogares conlleva. El prototipo condensa el funcionamiento de muro envolvente con colectores solares a través de la suma de sus utilidades en un solo elemento constructivo, liberando espacios en azotea que ahora pueden ser destinados a la habitabilidad.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS
RESUMEN
INTRODUCCIÓN

CAPITULO I.- TENDENCIAS Y PROBLEMÁTICAS A CONSIDERAR	11
1.1.- La sustentabilidad.	12
1.2.- Posturas y tendencias en la construcción.	14
1.3.- El cambio climático y los problemas ambientales.	16
1.4.- Problemáticas a considerar:	17
1.4.1.- El problema de la vivienda en México, los nuevos fenómenos de re-densificación y el cambio de geometría de la ciudad.	17
1.4.2.- La energía y su obtención en México. La energía implementada en la construcción y su contaminación y el potencial de la energía Solar	19
1.4.3.- El uso de materiales nocivos en la construc- ción.	26
1.4.4.- La producción de vidrio, la problemática en la generación de desechos vítreos y su falta de reci- claje en México.	28
CAPITULO II.- ANTECEDENTES TECNOLÓGICOS	34
2.1.- Antecedentes del aprovechamiento solar	35
2.2.- Tecnologías actuales del aprovechamiento solar para el calentamiento.	37
2.2.1.- Muro Trombe	37
2.2.2.- Calentadores solares cilíndricos al vacío	38
2.2.3.- Colector de esfera	39
2.2.4.- Ventanas con cámara de agua circulante en edificios de consumo de energía casi nulo	39

CAPÍTULO III.- DISEÑO DEL PROTOTIPO	45
3.1.-Funciones del prototipo	46
3.2.- Variables involucradas en el diseño	48
3.2.1.- Bóveda celeste en la ciudad de México	49
3.2.2.- Análisis de materiales	50
3.2.3.-Propiedades ópticas involucradas en el diseño	54 56
3.2.4.- Análisis geométrico	
3.2.5.- El agua	67
3.3.- Diseño del prototipo	71
3.3.1.- El ojo humano como referencia biomimética	71
3.3.2.- Los sistemas del prototipo	75
3.4.- Diseño del sistema general	81
3.5.- Planos técnicos	87
3.6.- Construcción del prototipo	89
CAPITULO IV.- VALIDACIÓN DEL DISEÑO	96
4.1.- Experimentos aparato colector solar	96
4.1.1.- Experimento de termosifón.	96
4.1.2.- Experimento térmico de los elementos del colector solar.	102
4.1.3.- Experimento térmico del colector solar como aparato	105
4.2.- Experimento del muro envolvente	129
CONCLUSIONES	134
BIBLIOGRAFIA Y FUENTES DE CONSULTA	139
GLOSARIO	145
ANEXOS	155

INTRODUCCIÓN

Los problemas ambientales que el mundo enfrenta hoy en día son inminentes, el cambio climático es un fenómeno que se ha presentado sin presencia del hombre como un proceso natural de alteración por las variables internas y externas del planeta, sin embargo, durante el último siglo a partir del surgimiento de la revolución industrial, el desmesurado crecimiento demográfico y la creciente demanda de energía y recursos, el hombre ha contribuido significativamente al aceleramiento del cambio climático, consecuencia de la explotación irresponsable de los recursos naturales y la generación de contaminantes a gran escala, resultado de la actual cultura humana, y por supuesto, la construcción no es ajena a esta problemática.

La construcción es una de las industrias que más energía consumen dentro de la producción mundial, por consiguiente, influye directa y drásticamente en la contaminación generada y arrojada al medio ambiente. La sustentabilidad en arquitectura, debe ser algo que crezca progresiva e integralmente en todos sus sentidos, económico, social y ecológico. Es necesario que evolucionemos la forma de ver la arquitectura, para conseguir que esta, no

sea un objeto más que se pinta de verde para vender un producto con un gran impacto ambiental, y que el mismo, no toma en cuenta las necesidades actuales de los usuarios y el medio ambiente.

El sol es la principal fuente de energía del planeta, el funcionamiento de los ciclos naturales responde directamente al comportamiento del mismo, por lo que el recurso solar se considera como el motor del mundo natural. Por el contrario, el hombre ha utilizado otras fuentes alternas de energía para cubrir sus necesidades, tales como la extracción de recursos no renovables como el petróleo, el gas y el carbón; en la actualidad, estos son las principales fuentes de energía utilizada por el hombre, y pro lo tanto, este recurso limitado ha sido sobreexplotado teniendo como consecuencia la drástica disminución de las reservas de estos combustibles, considerando al día de hoy, reservas por solo 40 años más. Debido a esto, la humanidad está obligada a buscar nuevas alternativas de abastecimiento energético, ¿y por qué no? Integrarnos al motor energético de los fenómenos naturales, “El sol”, no solo por la futura carencia de los combustibles, sino también por el impacto que el uso de estos implica en el ambiente.

En la actualidad, y como anteriormente se ha mencionado, la demanda energética para satisfacer las necesidades modernas de habitabilidad en la ciudad es enorme, por lo que es una obligación cambiar la manera en que obtenemos energía para el funcionamiento de nuestros hogares, ya que la vivienda actual, no solo debe proporcionar refugio, sino que debe ser capaz de transformar por si misma las energías limpias para cubrir la demanda energética, y así disminuir considerablemente la contaminación y la energía implementada por la extracción de combustibles obtenidos de manera tradicional, con la objetivo de da energética para satisfacer las necesidades modernas de habitabilidad en la ciudad es enorme, por lo que es una obligación cambiar la manera en que obtenemos energía para el funcionamiento de nuestros hogares, ya que la vivienda actual, no solo debe proporcionar refugio, sino que debe ser capaz de transformar por si misma las energías limpias para cubrir la demanda energética, y así disminuir considerablemente la contaminación y la energía implementada por la extracción de combustibles obtenidos de manera tradicional, con la objetivo de disminuir la generación de gases de efecto invernadero, aprovechando fuentes alternativas de energía a través de elementos arquitectónicos

que mejoren la habitabilidad de los espacios, y con el ideal de que algún día los sistemas tradicionales de obtención energética sean sustituidos en su mayoría por alternativas de energía limpia.

El estudio de esta tesis surgió a partir de 4 problemáticas actuales que sufre la ciudad de México, y tiene como fin, promover nuevas posibilidades de construcción y aprovechamiento energético que respondan a la evolución de la ciudad, ya que en la actualidad, representan nuevos nichos y oportunidades para crear sistemas más apropiados para las necesidades actuales de la misma, por lo que para este estudio se consideraron los siguientes tópicos:

A) Las nuevas políticas de redensificación de la ciudad de México, se reflejan en la construcción de un gran número de viviendas en un desplante mínimo, por lo que la geometría de la ciudad está evolucionando de horizontal a una ciudad vertical o de mediana altura, lo que dificulta la posibilidad de implementar tecnologías actuales como calentadores solares cilíndricos y de placa plana en azoteas, que respondan en proporción del número de viviendas contra los equipos necesarios de manera eficiente. Al ofrecer una nueva

tecnología que reduzca las áreas indispensables para los complementos de instalaciones, podremos aprovechar de mejor manera espacios tan valiosos como las azoteas y destinarlos para otras actividades habitables.

B) Debido al crecimiento de la población en las ciudades, la demanda energética de la ciudad está en constante aumento, por lo que si se continúa con los sistemas de generación energética tradicionales, esto solo contribuirá a una ciudad más contaminada. Debemos aprovechar fuentes limpias de energía como el recurso solar para enfrentar esta creciente demanda energética.

C) Algunos de los materiales con los que actualmente la construcción se realiza han demostrado ser dañinos para el ser humano y el medio ambiente, como productos corrosivos, inflamables y tóxicos, que generan partículas orgánicas volátiles como, plásticos, pinturas, aceites, agentes espumantes, maderas tratadas con productos tóxicos. En México la solución más utilizada es la implementación de tinacos para la contención de agua, y estos en su mayor están fabricados con plásticos que se degradan con la incidencia de los rayos ultravioleta, ante esto se debe estudiar más a fondo los materiales empleados en los

futuros compuestos en la construcción para diseñar con responsabilidad los futuros productos empleados en la construcción con materiales que se han demostrado menos dañinos como es el caso de “el vidrio”.

D) En México solo se recicla el 32 % del vidrio generado en diversos productos según el INEGI; el vidrio es de los pocos materiales que al reciclarse conservan sus propiedades originales, por lo que se propone la reutilización del mismo como fuente de material, con el fin de disminuir la extracción de materias primas vírgenes aprovechando lo que se considera basura, y por consiguiente disminuir los volúmenes de materia aprovechable en los basureros municipales al igual que la extracción de materia prima virgen. Es importante implementar en el desarrollo de las nuevas tecnologías el uso de materia prima que tenga la capacidad de reintroducirse al ciclo de vida útil de los materiales para evitar la generación de desechos.

Ante las problemáticas ambientales, los nuevos fenómenos de las políticas de re-densificación de las ciudades, la creciente demanda energética y el desaprovechamiento de la energía solar, la utilización de materiales nocivos y los grandes

volúmenes de basura vítrea sin tratamiento, el objetivo de este trabajo comprendió el diseño y construcción de un prototipo de sistema muro, contenedor y colector de irradiación solar para agua con materiales altamente reciclables, que responda a las propiedades físicas y climatológicas de México, y así explotar el potencial de captación energética que tienen los edificios de vivienda vertical por su propia geometría, utilizando tecnologías que sinteticen elementos por compatibilidad de funciones entre sistemas arquitectónicos y de aprovechamiento de energías limpias, para que algún día, los edificios tengan una mayor autosuficiencia energética con un menor impacto ambiental.

Una vez identificadas las problemáticas y principios base, se realizaron estudios de las tecnologías actuales, análisis geométricos, óptica de materiales, comportamientos meteorológicos y se tomó de referencia el funcionamiento del ojo humano, para así, desarrollar a partir de todas estas variables la optimización en la colección de energía solar en planos verticales, con lo que se obtuvo el prototipo del muro contenedor y colector de energía solar de agua para la vivienda vertical.

CAPITULO I

TENDENCIAS Y PROBLEMÁTICAS A CONSIDERAR



"Es mejor comprometerse con un nuevo paradigma que con una mejora progresiva del anterior. Es importante que las señales de la dirección estén basadas en principios sanos"¹.

¹ Berge B. (2009). The Ecology of Building Materials. Oxford UK: El Siever, Architectural Press.

CAPITULO I.- TENDENCIAS Y PROBLEMÁTICAS A CONSIDERAR

La vida en nuestro planeta se encuentra amenazada, la crisis ambiental está afectando la biosfera y la humanidad de forma alarmante, tanto, que pronto sus efectos se pueden tornar irreversibles. Según Heinke ² en los últimos siglos, cinco fenómenos han contribuido a desatar la problemática son:

- 1.- El crecimiento poblacional.
- 2.- La industrialización.
- 3.- La urbanización.
- 4.- La creciente demanda de energía.
- 5.-La masiva y permanente producción.

Todos estos fenómenos están estrechamente ligados a la visión del desarrollo del mundo de acuerdo a los criterios principalmente económicos que el sistema actual envuelve. Según Goodland ³, existen 5 pruebas que evidencian que el ser humano ha traspasado la capacidad de asimilación del entorno natural; *“El calentamiento, la apropiación humana de la biomasa, la*

destrucción de la capa de ozono, la degradación de la tierra y la pérdida de biodiversidad” ⁴. Por lo que podemos asumir que en el último siglo el hombre ha hecho un mayor impacto que en toda su historia previa.

1.1. La sustentabilidad

Desde la década de 1990 se comienza a hablar de conceptos de sustentabilidad, teniendo diversas denominaciones para un mismo concepto como sostenible, o producto verde, sin embargo la comunidad científica aún no se ha puesto de acuerdo en un término mundial para hacer referencia a este concepto, mientras que en el continente americano lo denominamos como “sustentable” en Europa es “sostenible” a pesar de que se refiere a la misma idea. La sustentabilidad surge a partir de los efectos negativos que el hombre ha causado sobre la naturaleza y por tanto a sí mismo. *“El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”*.⁵ Según el Ingeniero Ambiental Vilches,

² Henry, J. Glynn y Heinke, Gary W., (1989) Population and Economic Growth, *Environmental Science and Engineering*. Prentice Hall. New Jersey.

³ Goodland R., 1994 *Desarrollo económico sostenible: avances sobre el informe brundtland*. Tercer

⁴ Mundo Editores en coedición con Ediciones Uniandes, Santafé de Bogotá.

⁵-Ídem

“sustentabilidad constituye una idea reciente que avanza con mucha dificultad, porque los signos de la degradación han sido hasta recientemente poco visibles. La superposición de la naturaleza a las necesidades y deseos de los seres humanos ha sido visto siempre como un signo distintivo de sociedades avanzadas. La preocupación surgida recientemente por la preservación de nuestro planeta es una auténtica revolución de mentalidades aparecida en apenas una o dos generaciones. No se trata de ver al desarrollo y al medio ambiente como contradictorios (el primero agrediendo al segundo y este limitando al primero) si no de reconocer que están estrechamente vinculados, que la economía y el medio ambiente no pueden tratarse por separado. Podríamos decir que sustituyendo a un modelo económico apoyado en el crecimiento a ultranza, el paradigma de economía ecológica que se vislumbra plantea la sostenibilidad de un desarrollo sin crecimiento, ajustando la economía a las exigencias de la ecología y del bienestar social global.”⁶

Para realmente ofrecer una revolución de modelos implementados en el sistema que actualmente tenemos, la sustentabilidad comprende 3 campos que no pueden excluirse del mismo para considerarse como sustentable:

- 1.- Ambiental
- 2.-Económico
- 3.- Social



Ilustración 1. Los factores de la sustentabilidad. Obtenida para efectos didácticos de www.bico.com.mx

Actualmente para que la sustentabilidad sea factible debe integrar en balance estos 3 conceptos, ya que dado el modelo sistema en el que vivimos, no se puede considerar viable la idea de un producto que sea respetuoso del ambiente pero sea económicamente inviable, o que socialmente repercuta, podemos hablar por ejemplo de una presa hidroeléctrica, que a pesar de que genera electricidad aprovechando la energía mecánica por el afluente de ríos, para abastecer la gran demanda energética de las

⁶ Neimark J. (2008). *Plastic People of the Universe*. Discover, Better Planet Special Issue, Mayo ,2008 46.

ciudades, la hidroeléctrica no se considera sustentable por la devastación del microclima en el cual es construida, la distancia de las ciudades donde se utiliza la energía es enorme, por lo que la hidroeléctrica tendrá que producir un 70 % de energía más que se pierde en el trayecto a la ciudad. Para ser sustentable debe cumplir favorablemente con las 3 características, económico, social y ambiental.

Esta reciente visión pretende hacer un balance de los 3 factores para así cambiar la visión predominante de la economía ante la poca o nula consideración de lo social y lo ambiental, favoreciendo ambiente y el ser humano. A pesar de la resistencia actual por el temor de las repercusiones económicas del sistema en funcionamiento, la transición debe hacerse a partir de un nivel de conciencia de la industria y la sociedad como un elemento integral.

1.2.-Posturas y tendencias en la construcción

La arquitectura como envolvente nos protege de las inclemencias del medio ambiente, desafortunada-

mente, este valor se ha perdido en la construcción contemporánea, ha pesado más el valor económico que la producción de arquitectura de calidad. Cuando una envolvente no ofrece las características de habitabilidad es inminente que los usuarios van a optar por alternativas que solucionen los problemas no resueltos por la envolvente arquitectónica, esto es un fenómeno muy recurrente desde la invención de los acondicionadores de aire en la década de 1950, ya sea para enfriar o calentar el interior de los espacios. Aparentemente con la inserción de esta tecnología, se lograba contrarrestar las deficiencias de la envolvente y fue símbolo de progreso, modernidad y estatus social, sin embargo el día de hoy no podemos depender de sistemas que suplan a la integral función de la arquitectura, los gastos energéticos que estos sistemas consumen son gigantescos y podemos clasificarlos como una tecnología obsoleta ya que la real solución, está en la diseño de espacios que cumplan con su cometido de habitabilidad. Como menciona la Arq. Gloria Angélica Vargas Palma en su tesis “Sistemas en Fachadas hacia la bioclimática Vertical en la ciudad de México” ⁷

⁷ Vargas G. (2008). Sistemas en Fachadas Hacia la bioclimática Vertical en la ciudad de México. México D.F.: Programa de maestría y doctorado en arquitectura UNAM.



Ilustración 2. Arquitectura ambientalmente responsable. Imagen obtenida para fines didácticos de www.xatakahome.com

“La envolvente representa un significativo impacto en la eficiencia energética y calidad del interior del edificio, la misma indica la cantidad de energía requerida para su operación, al igual que el impacto asociado con su ciclo de vida por los elementos que la componen. La fachada como sistema es un mecanismo de múltiples elementos que contribuyen a una misma acción, a este sistema se le pueden integrar una adecuada selección de materiales estrategias pasivas de climatización, ilumina-

nación natural, calefacción, extracción y ventilación”. ⁸

Por lo tanto la fachada como sistema, debe estar estudiado cada uno de los mecanismos que la componen, proceso y criterios de diseño, está demostrado que siguiendo los principios de diseño adecuados *“es posible construir una envolvente con vidrio pero con tendencias bioclimáticas”* ⁹. Diversos estudios de cálculo térmico de envolventes han surgido como herramienta para poder tomar determinaciones de diseño, manuales como el ASHRAE¹⁰ y LEED en EU, o las normas de SEMARNAT 08 y 020¹¹ tienen el objetivo de prevenir desde el diseño la calidad del interior del espacio por la conducción de calor.

El Arq. Francisco Javier Ceballos en su tesis “Metodología para la sustentabilidad energética”¹², plantea un acercamiento a las construcciones energía cero. Propone una metodología net Zero Energy para la vivien-

⁸ Vargas G. (2008). Sistemas en Fachadas Hacia la bioclimática Vertical en la ciudad de México. México D.F.: Programa de maestría y doctorado en arquitectura UNAM.

⁹ Díaz P. (2013). Metodología con criterios sustentables para lograr el ahorro energético bajo un sistema integral de control térmico. México D.F.: Programa de maestría y doctorado en arquitectura UNAM.

¹⁰ American Society of heating. (2001). ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS. Atlanta Georgia EU: ASHRAE.

¹¹ Secretaria de Energía http://www.sener.gob.mx/portal/Default_Intermedia.aspx?id=2616

¹² Ceballos F. (2012). Metodología para la sustentabilidad energética: La vivienda net zero energy. México D.F.: Programa de maestría y doctorado en arquitectura UNAM

da que integra diversas herramientas de diagnóstico y diseño bioclimático, el uso de la tecnología eficiente y la generación de energías por fuentes renovables. La factibilidad del Net Zero Energy, la determinó mediante un indicador energético entre consumo y generación de energía, demostrando el importante papel que toman las tecnologías para la generación o transformación y cosecha de energía por fuentes renovables, como el calentador solar en sustitución por los sistemas de quema de combustibles, es posible un ahorro del 85 % del uso de gas para el calentamiento del agua. Por otro lado comprueba que tomando las recomendaciones de diseño bioclimático es posible reducir considerablemente la ganancia de calor al interior de los edificios en un rango de 31.93 % y el 49.96 % en comparación de la vivienda de referencia según la NOM-020-ENER 2011.¹³

1.3.- El cambio climático y los problemas ambientales

El cambio climático es un fenómeno que actualmente se está presentando en nuestro planeta, es una realidad, y hay que hacer frente a esta problemática, pero ¿a qué se debe el

cambio climático? El investigador Patrick Michaels¹⁴ ha mencionado que este problema no refiere directamente con la actividad del hombre, si no que esté es un fenómeno natural como hace millones de años fue la era glacial, y que refería directamente a un cambio climático. El cambio climático es un proceso en el cual se modifican las características físicas ambientales y crea una desestabilización en el orden natural que conocemos, la temperatura se vuelve inestable y consecuencia de esto, se presentan sequias e inundaciones donde en la historia del hombre no había, la aparición de fenómenos naturales como tornados es más frecuente y severa, esta desestabilización afecta a todos los seres vivos del planeta incluyendo al hombre.

La irresponsable depredación y manejo de los recursos naturales que el hombre ha tenido sobre el ambiente ha detonado un aceleramiento en este proceso natural pero no es la única causa del mismo, sin embargo, es indudable que la actividad humana ha afectado drásticamente su ecosistema. Actividades como la deforestación la contaminación del agua aire y suelo ha impactado negativamente el equilibrio de su entorno inmediato por lo que ha

¹³ Secretaria de Energía http://www.sener.gob.mx/portal/Default_Intermedia.aspx?id=2616

¹⁴ Patrick Michaels, investigador del Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Virginia, E.U.



Ilustración 3. Cambio Climático. Ilustración obtenida para fines didácticos de www.fao.org

modificado y creado microclimas en su hábitat, el efecto de isla de calor urbana, y el efecto invernadero son algunos ejemplos de estos cambios microclimáticos. La necesidad de crear ciudad con los sistemas y procesos actuales ha deteriorado nuestro ambiente, este deterioro fue detonado por la industrialización desde la revolución industrial, que fomentó la demanda de recursos naturales para satisfacer la necesidad creciente de la población y los nuevos consumidores al obtener productos más rápido y más barato. El problema del impacto ambiental en relación con el hombre se reduce a los nocivos e irresponsables procesos de producción y extracción de los recursos naturales, en los cuales la necesidad de obtener la materia prima en corto tiempo no permite la reposición naturales de los recursos obtenidos, disminuyendo sus reservas no solo de los recursos no renovables sino también de los renovables. Después de

la extracción de materiales prosigue su refinación y fabricación del producto, por si fuera poca la depredadora extracción de materia prima, la forma en la que transformamos dicha materia arroja una cantidad inmensa de residuos tóxicos al medio ambiente en todas los estados físicos, líquidos gases y sólidos, esta materia no es tratada de la manera adecuada y no se ha tenido hasta los últimas décadas el cuidado de estudiar el impacto real que la fabricación de productos tiene sobre su medio, para poder así fomentar más la investigación para generar nuevos sistemas más limpios y sustituir los productos nocivos para los seres vivos y el ambiente. Después del ciclo de vida de los materiales, estos son considerados desechos inservibles que van a parar a los rellenos sanitarios de las ciudades, contaminando el suelo aire y agua donde son depositados. La visión de la línea de producción de la cuna a tumba es algo que tenemos que cambiar.

1.4.- Problemáticas a considerar

1.4.1.El problema de la vivienda en México, los nuevos fenómenos de re-densificación y el cambio de geometría de la ciudad.

En México desde la última década se ha tratado de impulsar la

vivienda con el fin de disminuir el déficit de hogares en el país, que aunque por iniciativa parecía un proyecto alentador, se tomaron políticas donde no se exigía los estudios pertinentes de factibilidad y funcionamiento de las viviendas en un entorno urbano. Se construyeron millones de viviendas en el país, de acuerdo con el censo del INEGI 2010, en México hay un total de 35 millones de viviendas construidas en la última década de las cuales 91 % se ubica en zonas urbanas y el 8.4 % en zonas rurales. ¹⁵

Los conjuntos impulsados en desde los años 2000 por el gobierno federal de México tienen la característica de ser de gran escala, siendo conjuntos de 2000 hasta 8000 viviendas dentro de un fraccionamiento, lo cual asumía una serie de problemáticas como la identidad, sentido de propiedad de los usuarios. Las viviendas carecían del diseño adecuado para su correcto funcionamiento, se cometía el error de construir el mismo prototipo de vivienda no importando su contexto climático y social desvirtuando el concepto de habitabilidad, esto por responder al interés económico de construir rápido, con materiales deficientes, para así obtener la mayor cantidad de ganancias posibles. Por



Ilustración 4. Conjuntos habitacionales horizontales en México. Imagen obtenida para fines didácticos de www.vitruvius.com

otro lado el planeamiento a macro escala no cumplía la factibilidad de movilidad a los centros económicos importantes, por lo que los habitantes de los conjuntos se tendrían que desplazar con recorridos de 2 o 3 horas a sus centros laborales, invirtiendo una gran cantidad de recursos económicos y de tiempo. Dado todo este conjunto de problemáticas se presentó un gran número de abandono de estas viviendas, teniendo en la actualidad 6 millones de viviendas deshabitadas o abandonadas debido a la irresponsabilidad de la legislación y las constructoras al plantear proyectos socialmente inviables a falta de planeación de los conjuntos habitacionales. Ante el fracaso de los conjuntos habitacionales, las principales constructoras como “Casa

15 Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). www.inegi.org.mx/

Geo, Homex y Urbi” se declararon en problemas financieros por la ausencia de ventas de sus últimos complejos. A la población ya no le interesaba vivir en estas unidades habitacionales.

Ante el fallido programa de vivienda, las actuales políticas se centraron en redensificar las ciudades para evitar los problemas de abandono de vivienda por los factores antes mencionados. Siendo el nuevo fenómeno inmobiliario dentro de las grandes ciudades como la de México. Es bien sabido que la Ciudad de México es una ciudad con propiedades horizontales debido a sus características sistémicas en un suelo inestable. Por el contrario, las nuevas políticas fomentan la transformación de la ciudad de la horizontalidad a la verticalidad dado el poco espacio disponible



Ilustración 5. Crecimiento vertical. Imagen obtenida para fines didácticos de www.codigo-sanulus.com

de la ciudad, por lo que actualmente se demuelen las viviendas de 1 o 2 niveles para construir edificios de 4 o 6 u 8 niveles de vivienda o bien, lo que el uso de suelo reglamentado por la SEDUVI permita según su ubicación e infraestructura disponible para solventar dichos proyectos. Es importante esta nueva transformación de la ciudad, dado que se modifican los requerimientos y características de la construcción ya que no es lo mismo construir una vivienda unifamiliar a un edificio pluri-familiar vertical, por lo que los materiales de construcción deben responder funcional y sustentablemente a esta nueva tendencia, ofreciendo alternativas constructivas particulares para atender este mercado en expansión que respondan a la nueva geometría de la ciudad.

1.4.2. La energía y su obtención en México

Debido al incremento demográfico año con año y el fuerte arraigo con la industrialización, la demanda energética a nivel mundial se ha incrementado. Los datos entregados por el “Balance Nacional de Energía 2011C”, “la producción mundial de energía primaria generó 12789.3

16 Ramos G., & Montenegro F. (Noviembre 2012). La generación de energía eléctrica en México. XXII Congreso Nacional de Hidráulica, 8-5, 2012

millones de toneladas equivalentes de petróleo, 4.6 % mayor a 2009. El gas Natural presentó el crecimiento más importante con 7.5 %, derivado principalmente de la mayor producción en Rusia y Estados Unidos con el incremento en la producción de gas Shale. La producción de carbón y sus derivados incremento en 5.9 %, las energías renovables en 4.5 %, la nucleoelectrica en 2.2 % y la del petróleo crudo en 1.9 %.”.

En México en la transición del año “2010 al 2011 el producto interno bruto creció en 3.9 %, mientras que el consumo nacional de energía se incrementó en 4.1 %. Dicho incremento en el consumo de energía se debió principalmente a un mayor requerimiento en el consumo de energía se debió principalmente a un mayor requerimiento en las actividades de transformación, lo cual a su vez estuvo asociado a la mayor generación de electricidad.”¹⁷

“El mundo se mueve prácticamente por combustibles fósiles, particularmente con mayor participación del material más barato para generar energía eléctrica que es el carbón. Para modificar esta modalidad de generación de energía resta tiempo y el progreso no se puede detener, el cambio se irá dando poco a poco en medida



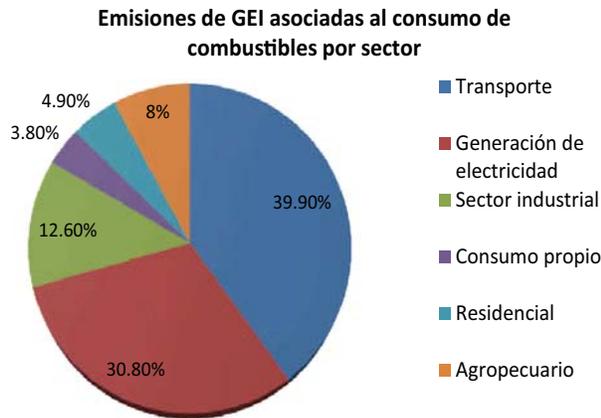
Ilustración 6. Planta termoeléctrica. Ilustración obtenida para fines didácticos de www.aporrea.org

que las fuentes renovables sean más eficientes para que logren desplazar a las no renovables en busca de la sustentabilidad mundial.”¹⁸

“De acuerdo con el inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero 2006-1990 (INEGEI), el sector energía (producción, transformación, manejo y consumo de productos energéticos), es la principal fuente de emisiones de GEI en México. “Represento el 60.7 % del total de las emisiones durante el 2006, alcanzando 498.51 toneladas de CO₂, creciendo en 1.8 % de 2001 a 2011, mostrando un comportamiento ascendente en los últimos años. En el 2011, noventa y un % de la oferta interna bruta, equivalente al consumo nacional de

17 Fernández, J., Herrera J., Ojeda O. (2011). Balance Nacional de Energía. 2014, de Secretaria de Energía Sitio web: http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/BNE_2011.pdf

18 Ídem



Gráfica 1. Emisiones de GEI. Ilustración obtenida para fines didácticos del Balance Nacional de energía www.sener.gob.mx

energía, provino de combustibles fósiles, mientras que menos de 9 % se cubrió con combustibles no fósiles, evidenciando la dependencia de México a los combustibles fósiles, principalmente los hidrocarburos, petróleo crudo, condensados y gas natural. Los actores principales en la generación de los GEI incluyen al transporte, que contribuyó con el 3.9 % del total de emisiones por consumo de combustibles, mientras que la generación de electricidad representa un 30.8 %, la industria un 12.6 %, comercio agropecuario 8.7 % consumo propio 3.9 %, y el sector residencial emitió 4.9 % del total de la generación de GEI en 2011, es decir, 21.14 tons de CO₂, incrementándose las emisiones en 0.3 %

promedio anual, debido al incremento poblacional y su demanda energética”. 19

Como podemos observar la demanda en México de combustibles fósiles sigue incrementándose. La visión de las autoridades con la nueva reforma Energética 2014, no ha sido por una búsqueda de la sustentabilidad, si no que esta encausada a la sostenibilidad económica dependiente de la extracción de recursos no renovables con reservas limitadas, se ha permitido la introducción de la explotación del gas Shale en México a través de la técnica “fracking”²⁰, técnica controversial por la demanda de agua para su ejecución, los problemas ambientales y sísmicos que ocasiona, por otro lado se ha apostado por el incremento en la explotación petrolera en los yacimientos poco accesibles para así contrarrestar la falta de producción del insumo, con la promesa de que a mayor producción menor será el costo de los energéticos, particularmente del gas. Ante esto asumimos que la visión energética en México sigue encausada por el uso de combustibles fósiles como fuente primaria, sin embargo sin

19 Fernández, J., Herrera J., Ojeda O. (2011). Balance Nacional de Energía. 2014, de Secretaria de Energía Sitio web: http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/BNE_2011.pdf

20 Fracking o fracturación hidráulica, fractura hidráulica o estimulación hidráulica (también conocida por el término en inglés fracking es una técnica para posibilitar o aumentar la extracción de gas y petróleo del subsuelo)

algún planeamiento o estímulo sobre las futuras fuentes de energía, las de energía limpia como el sol.

La energía implementada en la construcción y su contaminación

La construcción es una de las más grandes industrias del planeta, y se considera una de las más contaminantes siendo la segunda únicamente detrás del sector alimenticio. Esto se debe a la gran cantidad de energía y materia prima necesaria para la construcción de edificios, se estima que del total de energía producida en el planeta el 40 % es destinada a la industria de la construcción. Berge en su libro “The Ecology of Building Materials”²¹ menciona estrategias para reducir el gran impacto que nuestra profesión aporta a la contaminación global, poniendo los siguientes puntos a consideración:

1.- La responsabilidad en el diseño, la construcción y demolición de los edificios, a través de diseños adaptables con espacios multiusos, con un mejor planeamiento para su adaptación y adecuación de aspectos técnicos y respetando la vida útil de los mismos.

2.- Tomar acciones en la conservación de los materiales debido a la limitada reserva de recursos que se tienen, si consideramos el ritmo de extracción de los materiales a la fecha, se estima que los recursos minerales durarán aproximadamente 30 años, los combustibles fósiles 40 años y las maderas tropicales 30 años ²², por lo que es absurdo que en 10 o 15 generaciones nos acabemos los recursos que han estado ahí por millones de años. En la construcción debemos tomar en cuenta la selección de monomateriales que permitan su fácil reinsertión al ciclo de vida, separando por capas, la estructura, acabados e instalaciones con la posibilidad de desensamblar cada capa.

“Los desechos son materiales colocados en el lugar incorrecto”²³.

3.- Reducción de materias primas vírgenes, introduciendo nuevamente los materiales de desperdicio a la línea de producción ya sea por reutilización o por reciclamiento, lo importante es reducir la cantidad necesitada de materia virgen para los nuevos productos a través de estrategias mencionadas en el punto 2, para así disminuir la extracción de los medios

²¹ Berge B. (2009). The Ecology of Building Materials. Oxford UK: El Siever, Architectural Press.

²² Ídem

²³ Ídem

naturales y reducir la cantidad de desechos generados en la construcción y demolición de los edificios.

4.- Reducción de la energía implementada en la construcción. Si la misma utiliza el 40 % de la energía generada en el planeta. Del total de energía destinada a la construcción, entre el 85 % y 90 % de la energía es destinada a la producción de materiales desde la extracción de materia, fabricación y transporte de los mismos, el 15 % restante es utilizado en la construcción, uso y demolición²⁴. Por lo mismo es indispensable reformar la forma en que obtenemos y utilizamos la energía dentro de la industria utilizando materiales regionales con menor consumo de energía en su producción.

El uso del gas para el calentamiento de agua

Desde décadas atrás, el uso de calentadores para agua se ha vuelto una necesidad de la vivienda, en la actualidad aun el uso de calentadores de quema de combustibles predomina en las casas habitación de México, debido a que las tecnologías alternativas de colección solar son inaccesibles económicamente para el grueso de la

población a pesar de que a largo plazo refleje un beneficio económico por la disminución en la de combustibles.

Otro aspecto es la desconfianza de los usuarios por las nuevas tecnologías lo que conduce a la incertidumbre de su funcionamiento. Los principales productos utilizados hoy en día para el calentamiento de agua en la vivienda son:

- 1.- Calentadores de acumulación o Boiler.
- 2.- Calentadores de paso eléctricos y de gas.

Estos sistemas de calentadores tradicionales de quema de combustible, están implementados en la gran mayoría de las viviendas en México, considerando que hay millones de ellos, la cantidad de contaminación generada directa e indirectamente por los mismos es enorme y deben ser sustituidos como principal sistema de calentamiento de agua por sistemas alternativos de energía solar a mediano y largo plazo.

El incremento del consumo de gas LP en México se ha incrementado drásticamente (ver tabla 1) esto se refleja en la generación de más gases de efecto invernadero.

²⁴ Berge B. (2009). The Ecology of Building Materials. Oxford UK: El Siever, Architectural Press.

Demanda de gas en casa habitación en México

Años	Casa habitación, unidades unifamiliares	Edificios unidades multifamiliares	Total
1990	161,445	242167	403,612
1991	164028	246044	410,072
1992	166653	249981	416,634
1993	169320	255980	425,300
1994	172029	268044	440,073
1995	174782	2882173	3,056,955
1996	177579	306368	483,947
1997	181420	338630	520,050
1998	185307	354690	539,997
1999	189240	369359	558,599
2000	193105	377499	570,604

Toneladas de GAS

Tabla 1. Consumo de gas en México, obtenida para fines didácticos de la Asociación Nacional de Distribuidores de Gas L.P., A.C.

b.3) La energía Solar

El sol es la principal fuente de energía del mundo desde su existencia, es el motor energético de la naturaleza, el viento el mar, el ciclo del agua, las plantas y los animales dependen directamente de la energía solar.

Cada día el sol irradia más de la energía de la que sería necesaria para satisfacer las necesidades mundiales de energía durante un año entero, sin embargo por la actual tendencia del último siglo por la utilización de los combustibles fósiles, aproximadamente el 1 % de la de energía utilizada por le humano proviene de su

utilización a través de tecnología, lo cual demuestra el gran desaprovechamiento sobre esta energía limpia que llega directamente a nuestro planeta.

La energía solar es indudablemente la fuente de energía del futuro, dada su característica de inagotabilidad, al igual que la mayor parte de la superficie terrestre recibe esta energía, dependiendo su latitud dependerá de la cantidad de energía recibida en la superficie por lo que algunos lugares más cercanos al ecuador tienen condiciones privilegiadas para el aprovechamiento de esta energía. Algunos de los beneficios de la aplicación de tecnologías de aprovechamiento solar son:



Ilustración 7. LA energía solar. Ilustración obtenida para fines didácticos de <http://elblog-verde.com/energia-solar/>

1.- La obtención de energía es limpia y respetuosa con el medio ambiente, cada 20 kW generados con energía solar se estima la disminución en la emisión de 10 kg de CO₂ al año.

2.- Ayuda en la lucha contra el cambio climático y efecto invernadero, al disminuir la cantidad de energía obtenida por la quema de hidrocarburos.

3.- Es una fuente de energía inagotable. La vida del sol se calcula en alrededor de 5000 millones de años más.

4.- Contribuye al desarrollo sostenible.

5.-No contamina acústicamente. Los sistemas son silenciosos.

6.- Menor dependencia energética de otras fuentes contaminantes.

7.- Apertura de nuevos mercados. El desarrollo de sistemas de colección solar es un mercado emergente a nivel mundial por lo que se espera la generación de nuevos trabajos y la sustitución de trabajos de los rubros de obtención de energía por hidrocarburos.

Sin embargo la energía solar también tiene sus desventajas, esta es una fuente intermitente, su intensidad recibida en la troposfera depende de los fenómenos meteorológicos naturales, la contaminación existente en la atmósfera y la hora y la estación del año en la que se encuentre nuestro caso de estudio alteran la cantidad recibida en la tropósfera, por lo que esto supone un reto en la planeación y diseño de las tecnologías colectoras de irradiación solar.

A pesar de los inconvenientes, el uso de la energía solar ha aumentado un %20 al año durante gracias a los avances tecnológicos y de investigación que se han dado alrededor de este tema, introduciendo posibilidades tecnológicas más baratas y con mayor eficiencia, siendo los principales actores para el desarrollo de esta tecnología son Japón, Alemania y los Estados Unidos.

Ramos G., & Montenegro F. (Noviembre 2012). La generación de energía eléctrica en México. XXII Congreso Nacional de Hidráulica, 8-5 ,2012

En México en la última década se ha tratado de impulsar el uso de tecnologías solares con el trabajo conjunto de INFONAVIT, CONAVI, SEMARNAT, FIRCO, SHCP y SENER a través de *“La comisión Nacional para el Ahorro de Energía arrojando datos de 1993 a 2003, donde la capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos se incrementó de 7 a 15 MW, generando más de 8000 MWh/año para la electrificación rural, bombeo de agua, refrigeración y se tenían instalados más de 570,000 m² de calentadores solares planos, con una radiación promedio de 18841 kJ/m², generando más de 270 Gigajoules para calentar agua. El pronóstico para 2012 es que se genere un crecimiento de 600,000m² de calentadores solares”*²⁵, aunque actualmente no se han encontrado datos que corroboren esta proyección.

A pesar de que en México apenas se está comenzando a impulsar el uso de energía solar aún falta mucho trabajo por hacer, por lo que debe continuar el desarrollo de investigaciones sobre el aprovechamiento de la energía del espectro electromagnético para lograr obtener productos más eficientes y accesibles para que puedan competir con los combustibles fósiles y

así exista una transición de la obtención de energía a métodos más saludables y poco contaminantes, de una forma más acelerada en beneficio del ser humano y el medio ambiente, previniendo el inevitable agotamiento de los hidrocarburos, actual fuente primaria de la obtención de energía a nivel mundial.

1.4.3. El uso de materiales nocivos en la construcción

En la vida cotidiana el uso de materiales nocivos en la construcción es frecuente, la utilización de productos corrosivos, inflamables y tóxicos, como, plásticos, pinturas, aceites, agentes espumantes, maderas tratadas con productos tóxicos, silicón, productos que contienen PCB o materiales de aislamiento. Esto es un peligro a largo plazo para la salud de los constructores, usuarios y a su vez también tienen como consecuencia un severo impacto ambiental, y aunque el mundo de estos materiales es enorme, el estudio de este trabajo se concentró en los plásticos debido a que es el material que actualmente se utiliza en México para la contención de agua (tinacos). Si bien recordamos, unas décadas atrás, para esta función se utilizaban contene-

²⁵ Jiménez R. (Octubre 2007). Energía Solar: Estado Actual en México. 20014, de Comisión Nacional para el ahorro de Energía Sitio web: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/taller_en-er_ren_08.pdf

dores de asbesto, sin embargo estudios indicaron que estos son altamente cancerígenos para el humano, siendo este material sustituido por los plásticos, que conforme se han hecho avances tecnológicos han mejorado sus propiedades para ofrecer mayor salubridad y durabilidad al intemperismo, a pesar de esto, aún no hemos llegado al punto donde estos sean completamente seguros a largo plazo. A todo esto habrá que agregar el hecho que los plásticos son altamente contaminantes para el ambiente y su proceso de degradación puede tardar miles de años. Según el artículo “Plastic People of the Universe”²⁶, los plásticos mostraban un gran futuro al implementarlos en la vida cotidiana, pero conforme se realizaron estudios, se demostró que estos son altamente peligrosos al desprender partículas orgánicas volátiles, siendo el caso más común el PVC, que sufre cambios físicos y químicos con la exposición de los rayos ultravioletas cristalizándose en forma de polvo, y que al introducirlo en el organismo es altamente cancerígeno y mutógeno, pudiendo transmitirse dicha mutación de generación en generación, por lo que en la elección de materiales para el prototipo se contempló evitar la utilización de materiales que comprometan la composición,



Ilustración 8. Ciudad de tinacos. Imagen obtenida para fines didácticos de: <http://oscarelmexicanopics.blogspot.mx/>

calidad del agua y salud de los usuarios y el medio ambiente, buscando que estos tengan las siguientes características:

a) Resistencia a los agentes químicos: La contención de agua no debe comprometer la calidad del agua potable, por lo que los materiales de construcción del prototipo deben tener alta resistencia a los agentes químicos como el cloro.

b) Resistencia al intemperismo. El prototipo debe resistir los cambios abruptos del clima exterior, viento, lluvia, temperatura, garantizando, el espectro electromagnético incluyendo los rayos UV, siendo estable a los cambios que la variabilidad de estos agentes que puedan causar al prototipo.

²⁶ Neimark J. (2008). Plastic People of the Universe. Discover, Better Planet Special Issue, Mayo 46, 2008.

c) Resistencia a la presión de agua. Al ser un contenedor vertical, este debe contrarrestar la presión de la acumulación de agua en gran altura.

d) Alto potencial de reciclamiento o reutilización.

Por lo que se evaluaron las propiedades físicas y químicas del vidrio, seleccionándolo por cumplir las especificaciones anteriores.

1.4.4. La producción de vidrio, la problemática en la generación de desechos vítreos y su falta de reciclaje en México.

Las fuentes principales de obtención de materia prima en México se encuentra desarrollada en 2 zonas

primordialmente, Nuevo León lampazos, zona de área de sílice y Villa García donde se produce Carbonato de Sodio. Zona centro, Puebla, Querétaro y Veracruz, en valle de México no se han encontrado minas con el mineral económicamente viable como materia prima para la producción de vidrio. En 2008 la producción anual de vidrio en México se distribuye Principalmente en los siguientes sectores mostrados en la tabla 2 Producción de vidrio en México.

Desde los inicios de la producción del vidrio se ha existido el proceso de reciclado del vidrio para nuevas producciones, desde utilizar los materiales que no fueron exitosos en su moldeado, hasta toda la padecería que se

Producción del vidrio en México

	Botellas	Cristalería	Plano	Plano labrado	Templado
Cantidad	6,930,158	4,706	203,339	30,249	93,257
Unidad	Tons	Tons	Tons	Tons	Tons
Mayor producción	1er lugar	5to lugar	2do lugar	4to lugar	3er lugar

Fuente: INEGI, Estadísticas históricas 2009

De la producción total de botellas 6,930,158 Tons anuales

Sector farmacéutico	0.27	%	1871142.7	Tons
Envases para cervezas	0.29	%	2009745.8	Tons
Envases de refrescos	0.176	%	1219707.8	Tons
Envases de bebidas carbonatadas	0.261	%	1808771.24	Tons

Tabla 2. Producción de vidrio en México. Tabla obtenida para fines didácticos del Instituto Nacional de Ecología 2002

genera antes y después del ciclo de vida de los materiales.

A partir de una visión ecológica, la importancia del reciclado de vidrio es fundamental para la industria contemporánea, ya que lo que hemos aprendido a través de la historia es que la despreocupación por la forma de obtener y consumir productos solo ha causado efectos negativos en diferentes campos, pero principalmente en el medio ambiente.

Con la aparición de la revolución industrial, la optimización en la producción de materiales ocasionó un crecimiento exponencial en la cantidad de productos generados, y por consiguiente la cantidad de energía y materia primas necesitadas aumentó paralelamente, por lo tanto, los nuevos hábitos de consumo en las poblaciones, usar y desechar, tuvieron directamente un gran impacto negativo para la ecología. Las causas de la degradación son múltiples:

- 1.- La erosión de la tierra por la explotación de los yacimientos o minas de materia prima.
- 2.- Agotamiento de las fuentes de combustibles fósiles.
- 3.- La Contaminación ambien-

tal a causa de la extracción, transporte y fabricación de los productos.

- 4.- El inmensurable incremento de la producción de basura.

La acumulación de desperdicios urbanos es una problemática mundial de la cual todos somos partícipes, para contrarrestar esto, se han tomado una serie de medidas controversiales por el impacto ambiental que causan, en algunos casos se utiliza de relleno sanitario, otras se incineran con el fin de desaparecer los volúmenes de basura, con este método por lo menos se ha aprovechado la energía liberada para la producción, pero las emisiones de gases de efecto invernadero han sido exorbitantes, por lo cual la manera de tratar el gran problema de generación de basura se sintetiza en “Reducir, Reutilizar y Reciclar”. Berge en su libro “The Ecology of Building Materials” ²⁷ *“el ciclo de vida de los materiales de construcción no termina en el basurero, si no que pasando por una serie de etapas para que después de su uso la materia de desecho pueda reintegrarse nuevamente al ciclo de vida de los materiales. Los pasos que contempla son los siguientes:*

- 1.- *La extracción de materia prima, sea recurso renovable, no renovable,*

²⁷ Berge B. (2009). The Ecology of Building Materials. Oxford UK: El Siever, Architectural Press.

mineral, o cosecha. Todo producto tiene una materia prima recolectada de la naturaleza.

2.-*Primer proceso de producción o refinamiento.* Es el proceso en el cual la materia prima es procesada con el fin de tener la materia en un estado listo para mandarlo a las industrias de producción, metales, químicos, cemento, fibras, plásticos, madera.

3.-*Segundo proceso de producción.* Una vez ingresada la materia prima con su primer refinamiento, es procesada para la obtención final del producto.

4.- *Utilización del material.* Puede ser en el proceso constructivo o bien en la vida útil de los inmuebles.

5.- *Demolición o desecho.* Cuando la vida útil del producto se termina lo primero que se piensa es que se ha transformado en desecho, sin embargo esta es la etapa más importante para la recolección y destino de la materia prima, para evitar que termine como desecho sanitario en el basurero municipal. Aquí según la composición del material es necesario desmembrar el producto para separar los diferentes elementos del que está compuesto, con el fin de clasificar cada uno de ellos y valorar cuál es su potencial dentro del ciclo de los materiales, teniendo 2 opciones.

A) *Reciclado de material.* Comprende la transformación física con

base en la materia de desecho para producir nuevos productos diferentes o iguales a su utilidad anterior, y reintroducirlo nuevamente al ciclo de vida de los materiales.

B) *Re uso.* Significa la reutilización total o parcial del producto con un objetivo similar o igual al que fue concebido desde un principio, este es un paso anterior al punto “A”, ya que cuando se finalice la vida útil, este podrá ser reinsertado en la línea de reciclado.”²⁸

Con esto la vida útil de la materia prima se reinserta a la línea de producción aminorando la necesidad de extraer materia prima, ahorrando energía y equilibrando un poco más la balanza del impacto ambiental que la cultura humana está ocasionando.

“Los desechos son materia prima en el lugar equivocado” ²⁹

El vidrio es una de las pocas materias primas que puede ser fundido indefinidas veces y conservar sus propiedades físicas y químicas que desde su primer producto, por lo cual el potencial que este material para su reciclado es casi infinito. La industria del reciclado de vidrio en el mundo tiene contrastes muy fuertes entre países, cada uno tiene características

²⁸ Berge B. (2009). The Ecology of Building Materials. Oxford UK: El Siever, Architectural Press.
²⁹ Idem.

particulares, economía, sociedad, producción, industrialización, infraestructura y cultura, problemas ambientales, yacimientos de materia prima etc., por lo cual la comparativa solo estará sujeta al análisis de su producción y tasa de reciclamiento.

En Latinoamérica los porcentajes de reciclamiento de del vidrio no son muy alentadores, si comparamos su producción y su tasa de reciclamiento (ver tabla 3).

Mientras que las estadísticas de la FEVE³⁰ el reciclamiento de vidrio en los países europeos ha tenido un gran crecimiento en la última década. Como se puede ver en la Ilustración 9, los países con mayor reciclamiento de vidrio son: Noruega con el 96 %, Bélgica con el 94 %, Suecia de igual manera con el 94 %, siendo los países con menor cantidad de reciclado Turquía

con el 21 %, Cyprus con el 34 %, Hungría con el 41 %, Latvia con el 52 % y Grecia con el 54 %. El promedio de material reciclado con lo producido en Europa sería del de cerca del 70 % de la producción reciclada, demostrando que la industria del reciclaje es factible social, industrial y económicamente viable.

Actualmente en México solo 32 % de la producción total del vidrio 31, esto refiere a que cierto porcentaje de la producción se exporta al extranjero haciendo imposible su recolección para su reciclaje. Por otro lado, el porcentaje de la producción que permanece en México se recicla este 32 % siendo el sector de las botellas la principal fuente de este proceso para la fabricación de nuevos envases. Dado esto, y según la tabla de producción de vidrio en forma de botellas, solo 1,225,251 tons. de vidrio son recicla-

Pais	Argentina	Brasil	Colombia	Cuba	México	Venezuela
Producción de envases por año t/año	500,000	890,000	290,000	30,000	6,930,000	400,000
Tasa de reciclamiento %	30 %	35 %	65 %	40 %	32 %	38 %

Tabla 2. Porcentajes de reciclamiento en Latinoamérica. Tabla obtenida para fines didácticos del libro “El reciclado de vidrio en Iberoamérica”

³⁰ Delle, M. (2012). Glass Recycling rate 2014 .2012, de The European Container Glass Federation Sitio web: <http://www.feve.org/FEVE-Glass-Recycling-Stats-Year2012-/>

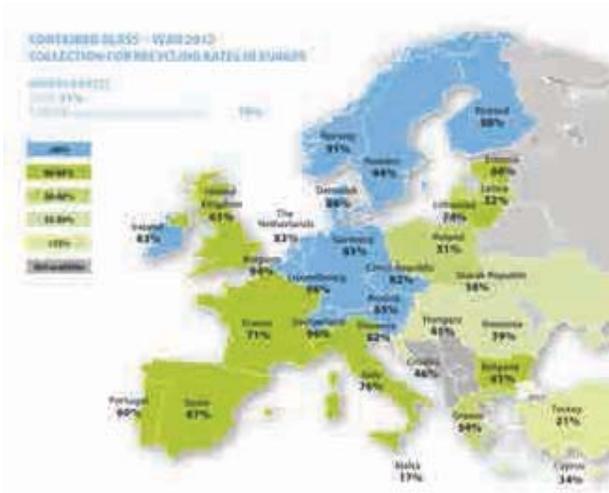


Ilustración 9. Porcentajes de reciclado en Europa. Imagen obtenida para fines didácticos de FEVE

das, dejando un total de 3,487,256 tons. de material vertido en tiraderos que pararán en rellenos sanitarios.

Según El instituto Nacional de Ecología C por cada tonelada de vidrio reciclado se ahorra el 1.15 tons. de materia prima virgen y la Empresa Vitro estima el 10 % de ahorro energético por transporte y cerca de un 20 % en la generación de nuevos productos, ya que el vidrio reciclado no tiene que transformarse químicamente, solo se funde nuevamente para cambiar su forma física. Por lo cual el reciclado del vidrio en un punto de vista de consumo energético y de extracción de materia prima virgen y

generación de basura en México es un sector que puede explotarse reduciendo drásticamente la energía implementada para la extracción de materia y fabricación de productos. ³³

Si tomamos en cuenta el 32 % del cual se recicla en México y lo comparamos con los niveles de reciclamiento promedio en Europa del 70 %, podemos ver claramente que la industria en nuestro país se encuentra totalmente rezagada, ¿pero a que debemos este rezago? es bien sabido que México es un país con una cantidad de recursos naturales gigantesca, a pesar de que aunque exista una gran cantidad de recursos estos son limitados, y en algún futuro no muy lejano nuestras reservas han de mermarse significativamente. Actualmente la industria no favorece estar dentro del reciclado, debido a que es económicamente más viable obtener recursos vírgenes para el nuevo procesamiento de materia, debido a que en México no existen políticas, legislaciones ni incentivos suficientes que estimulen la industria del reciclaje.

México y Argentina presentan características de potencial de reciclado debido a su alta producción de mate-

³² Secretaria de Energía. http://www.sener.gob.mx/portal/Default_Intermedia.aspx?id=2616

³⁰ Salomón A.. (Julio 2003). La industria del vidrio en México. Comercio Exterior, 53

³³ Idem.

ria, sin embargo sus tasas de reciclamiento son muy bajas el 32 % y el 30 % respectivamente, y son ejemplos de países donde se debe hacer un importante esfuerzo por introducir a las industrias este proceso.

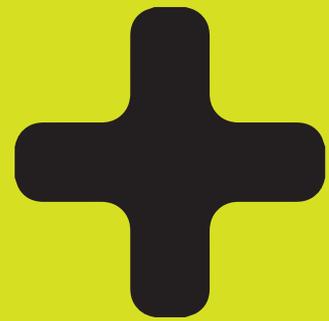
En el estudio de esta tesis, se tomó en cuenta la utilización del vidrio en la generación del prototipo, debido a su factibilidad por el reciclamiento y su reinsertión al ciclo de vida útil de los materiales.



Ilustración 10. Reciclamiento de vidrio. Imagen obtenida para fines didácticos de <http://www.revestimientos.zs/vidrio/recicla->

Las 4 problemáticas mencionadas en este capítulo, fueron los ejes rectores en la generación para el diseño del prototipo de “muro contenedor y colector solar de agua para vivienda vertical”, ya que se ha considerado que la oferta de productos en el mercado actualmente no responden a las necesidades energéticas de manera eficiente debido a la nueva geometría de la ciudad, así como a los principios que procuren el menor impacto en el ambiente y la salud de los usuarios.

A continuación se analizarán las tecnologías que actualmente se aplican o están en investigación y que sirvieron de análogos para la concepción del prototipo.



CAPITULO II

ANTECEDENTES TECNOLÓGICOS

CAPITULO II.- ANTECEDENTES TECNOLÓGICOS

2.1.- Antecedentes del aprovechamiento solar

Para comenzar con el diseño del prototipo del “Muro Colector Solar”, es indispensable conocer los trabajos similares que se han desarrollado a través del tiempo. A pesar de que la colección solar en fachada no es nueva, el diseño de las tecnologías corresponden a una latitud baja o muy alta, estos lugares tienen la característica de tener una posición solar con una altitud baja, por lo que el rayo solar se muestra de una manera más perpendicular en el plano vertical por lo que la captación energética es mayor; no es coincidencia que las tecnologías que se mostrarán a continuación sean aplicadas en países de Europa, Canadá, Estados Unidos en el hemisferio norte, y Perú, Argentina y Chile en el hemisferio sur.

Acorde al artículo “Fuentes de energía alternativa” ³⁴. Los primeros intentos de utilizar tecnología para aprovechar la energía solar datan del siglo XIX.

En “1860 Auguste Mouncout de Francia, colocó una caldera de hierro con agua debajo de un vidrio. La luz solar calentó e hirvió el agua, Monchout descubrió que si agregaba un reflector de material pulido podía concentra la luz del sol y llevar el agua al punto de ebullición más rápidamente. Con algunos cambios otros cambios pudo generar suficiente vapor como para hacer funcionar un motor pequeño. Este fue el primer paso hacia el concentrador solar moderno”.

“A Finales de la década de 1870, William Adams retomo el trabajo de Monchout, remplazando el reflector de metal pulido por un conjunto de espejos dispuestos en un semicírculo alrededor de la caldera, concentrando la luz incidida en los espejos en un la caldera, haciendo más eficiente el manejo de la energía solar. Dado sus avances de investigación en el campo de energía solar, publicó su libro llamado “Energía solar, un sustituto para los países tropicales”.

“El primer calentador solar de agua fue planteado por el Estadounidense Clarence Kemp en 1891, en sus principios este consistía en un dispositivo denominado caja caliente, una caja aislada pintada de negro dentro de una cubierta de vidrio, Al saber que los contenedores de metal

³⁴ Schlumberger W. (2014). Fuentes de energía alternativa: Energía Solar. 2014, de Schlumberger Excellence in Education Development (SEED), Inc. Sitio web: <http://www.planetseed.com/es/relatedarticle/fuentes-de-energia-alternativa-energia-solar>.

calientan lo que tenga en su interior, Kemp colocó un tanque de metal con agua adentro de la caja caliente. La combinación de metal, la pintura negra y la caja cerrada contribuyeron para el agua del tanque retuviera el calor del día durante un periodo más prolongado”.³⁵

“En 1880, Chales Tellier, construyó un colector solar muy similar al colector solar plano moderno. Armo 10 placas, cada una de las cuales estaba formada por dos láminas de hierro unidas con remaches, dichas placas estaban conectadas por tubos llenos de amoniaco debido a que el mismo hierve antes que el agua. El vapor de amoniaco accionaba el motor de una bomba de agua, posteriormente Tellier aisló la parte superior del dispositivo dentro del vidrio y cerro la parte inferior



Ilustración 11, Prototipo de William Adams. Imagen obtenida para fines didácticos de www.planetseed.com/es

al fin de aumentar la eficiencia, Sin embargo Tellier no siguió con este proyecto y se abocó a desarrollar tecnología de refrigeración”.

“El empresario estadounidense Frank Shuman, construyó la primera planta de energía solar en 1912 para alimentar una bomba de irrigación en el desierto egipcio en las afueras del Cair. Estaba compuesta de hileras de canaletas parabólicas que reflejaban la energía solar en tubos llenos de agua rodeados de vidrio. En un sistema increíblemente similar a las plantas de energía solar modernas, el agua de los tubos se convertía en vapor que accionaba la bomba de agua. La planta de Shuman superó las expectativas, pero antes de comenzar a funcionar se desató la primera guerra mundial. La planta fue destruida durante las batallas en África del Norte”.

“Después de la guerra, disminuyó el interés por la energía solar. Los combustibles fósiles estaban al alcance de la mano y a bajo precio. Se detuvo el desarrollo comercial de las tecnologías solares. Sin embargo, continuaron las investigaciones en el área. Los sistemas que actualmente se usan o están en etapa de desarrollo se basan en los trabajos de estos pioneros de la energía solar”.³⁵

³⁵ Schlumberger W. (2014). Fuentes de energía alternativa: Energía Solar. 2014, de Schlumberger Excellence in Education Development (SEED), Inc. Sitio web: <http://www.planetseed.com/es/relatedarticle/fuentes-de-energia-alternativa-energia-solar>.

³⁶ Idem.

2.2.- Tecnologías actuales del aprovechamiento solar para el calentamiento

2.2.1 Muro Trombe

El muro Trombe (Ver ilustración 9). Diseñado en 1957 por Félix Trombe y Jacques Michel, es un sistema pasivo de climatización de forma indirecta, utiliza la transferencia de calor por radiación conducción y convección, aprovechando la masa térmica de un elemento opaco. Se utiliza mayormente en los países donde su latitud es o muy alta o muy baja con respecto al ecuador, como son Noruega, Canadá, Estados Unidos, Perú, Argentina, y Chile, ya que sus características de la incidencia solar son ideales para manejarse en planos verticales al a ser el ángulo de incidencia de la radiación solar con tendencia horizontal a la troposfera donde se encuentra.

Existe una diversidad de variables a considerar en el diseño del muro Trombe, según las características físicas del lugar a construir como:



Ilustración 12. muro trombe Imagen obtenida con fines didácticos de <http://www.taringa.net/post/ciencia-educacion/16503011/Tenes-Frio-Muro-Trombe.html>

- 1.-El clima
- 2.- Latitud y orientación
- 3.- Los materiales

El criterio básico para dimensionar un muro Trombe es que este transmita a lo largo de la noche suficiente energía térmica al interior de la vivienda para mantener una temperatura entre $^{\circ}20\text{C}$ y $^{\circ}24\text{C}$ durante 24 horas. “*A partir de este criterio se pueden establecer proporciones necesarias por unidad de superficie útil. Entiéndase como superficie útil como aquella superficie encerrada en la habitación o cuarto a calentar*” 37 .

37 Bohórquez J. (2012). Muro Trombe. Universidad de los Andes D.C, Departamento de Ingeniería Mecánica, pp. 4-1.

2.2.2. Calentadores solares cilíndricos al vacío

Los colectores de tubos al vacío son más eficientes que los colectores de placa plana, llegan a temperaturas entre los 77 y 177 °C. “Los sistemas de tubos al vacío constan de hileras paralelas de tubos de vidrio, cada tubo tiene otro tubo en su interior. El tubo interno es el tubo absorbedor y está hecho de metal cubierto con una capa oscura que absorbe el calor. La luz solar se convierte en energía térmica que es transferida directamente al agua almacenada. Los colectores de tubos al vacío se usan más en aplicaciones de refrigeración y aplicaciones industriales o comerciales”³⁸. La particularidad de este sistema, es que el espacio entre los dos tubos es un vacío, lo que brinda aislamiento evitando las pérdidas por conducción al medio ambiente. (Ver ilustración 13).

Si bien es la tecnología actualmente disponible en el mercado, estos se han visto sobrepasados por las necesidades y los fenómenos de construcción vertical en la ciudad de México, por lo que actualmente no ofrecen una alternativa viable para la construcción vertical por:

1.- El espacio necesario en



Ilustración 13. Calentador solar cilíndrico al vacío. Imagen obtenida con fines didácticos de www.clasf.mx

azotea para su implementación para todo un edificio.

2.- El recorrido del agua caliente hasta los niveles bajos del edificio.

Sin embargo, a pesar de estas deficiencias, para el estudio del prototipo que comprende este trabajo de maestría, se tomará como valores de referencia en cuanto a su eficiencia según el estudio realizado por Bracamonte para realizar una comparación de resultados de la experimentación del prototipo. En cuanto a la tecnología aplicada en el funcionamiento de estos colectores, se retomarán los principios de sistemas al vacío para evitar pérdidas térmicas por conducción entre los materiales de contención de agua y el aire entre el sistema y la envolvente.

³⁸ Schlumberger W. (2014). Fuentes de energía alternativa: Energía Solar. 2014, de Schlumberger Excellence in Education Development (SEED), Inc. Sitio web: <http://www.planetseed.com/es/relate->

2.2.3. Colector de esfera

Micro-Track o Colector de Esfera es uno de los primeros prototipos construidos, fue estudiado en el laboratorio alemán “Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff Forschung Baden Württemberg”, y los resultados son más que optimistas, alcanzando los 150 kW/m² en módulos de fachada. En el estudio, el prototipo se muestra resistente a todo tipo de clima. Convirtió hasta un 70 % más de energía que los paneles solares tradicionales de doble eje y mejoró en un 15 % la rentabilidad de los excedentes al concentrar la luz difusa.

Además de facilitar el uso híbrido de electricidad y energía térmica, el



Ilustración 14. Concentrador de esfera. Ilustración obtenida para fines didácticos de: <http://conciencia-sustentable.abilia.mx/generador-esferico-supera-la-eficiencia-de-los-paneles-solare>



Ilustración 15. Esquema de funcionamiento del concentrador de esfera. Ilustración obtenida para fines didácticos de: <http://conciencia-sustentable.abilia.mx/generador-esferico-supera-la-eficiencia-de-los-paneles-solare>

prototipo ahorra un 75 % de superficie celular y garantiza un máximo de transparencia en un 99 %. El proyecto fué finalista del premio World Technology Network Award 2013.

2.2.4. Ventanas con cámara de agua circulante en edificios de consumo de energía casi nulo

“A partir de la década de 1980 se comenzaron a diseñar elementos traslucidos con fluidos interiores que optimizaban pasiva o activamente los espacios interiores sin sacrificar la iluminación natural”³⁹ . El propósito principal de estos prototipos de ventanas es evitar el intercambio de energía entre el interior y exterior, pudiéndolos denominar como sistemas de climatización pasiva con métodos innovadores en sus tiempos. Como podremos observar en los

39 Bracamonte J. Baritto M. (junio 2013). Análisis de las irreversibilidades en colectores solares de placas planas no isotérmicos para calentamiento de aire utilizando un modelo adimensional. Ingeniería Investigación y Tecnología, vol. XIV, pp 247-237.

siguientes ejemplos, los prototipos están diseñados para climas con variaciones altas entre su temperatura mínima y su temperatura máxima por lo cual están diseñados para contrarrestar este fin, por lo que la energía del espectro electromagnético es estacionaria y solo es empleada para el control térmico de los edificios.

R. Seeman Sistema All Season Window 1982

“Este acristalamiento está formado por tres paneles de vidrio (números 18, 16 y 20 en la ilustración 16) que dan lugar a dos cámaras (números 36 y 38 en la Figura. 1), donde el panel central (número 18) debe tener buena capacidad para absorber radiación solar. El sistema incorpora líquido en una de las dos cámaras, en función de la estación del año. Así, en verano el agua llena la cámara externa (número 38) favoreciendo la salida del calor almacenado en el panel central, mientras que en invierno la cámara llena es la interior de manera que se favorece la transmisión del calor hacia el interior de la estancia actuando la cámara exterior como elemento aislante.”⁴⁰ (Ver ilustración 16).

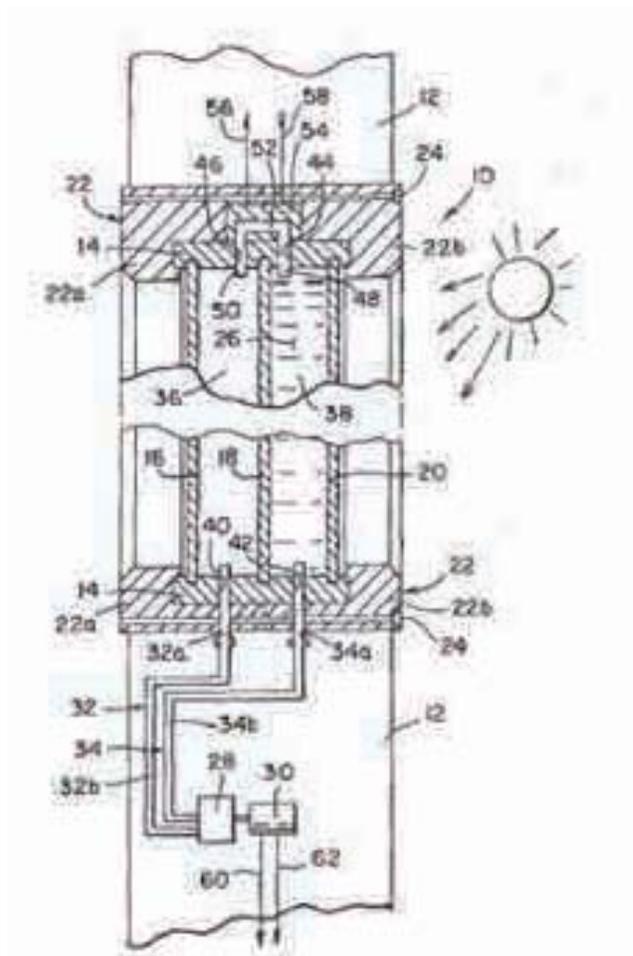


Ilustración 16. Seeman All season window. Ilustración obtenida para fines didácticos de: Ventanas con cámara de agua circulante en edificios de consumo de energía casi nulo.

F.B Mckee, Sistema Window 1985

El británico Mckee propone su Sistema “Window” con el propósito de mejorar las condiciones térmicas en los edificios con grandes superficies de vidrio. “El sistema consistía en una ventana que se añadía a una ya existente

⁴⁰ Luis J. Claros, Marfil Belén Pérez Pujazón, Graciela Ovando Benito Lauret. (2013). VENTANAS CON CÁMARA DE AGUA CIRCULANTE EN EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO. Noviembre 2013, de Universidad Politécnica de Madrid

dando lugar a una cámara. Este tipo de ventanas se integran en un circuito primario, que a su vez asiste a un circuito secundario en cada nivel de fachada, lo que permite los oportunos intercambios térmicos. En cada una de ellas el agua es alimentada a la cámara mediante la parte exterior del marco a través de las conducciones de entrada (número 41). (Ver ilustración 17).

Solar-actuated fluid window shutter

Patentado en Estados Unidos con el numero US 5608995 A. “solar actuated fluid window shutter” “es un prototipo de ventana con función de regular la iluminación solar respondiendo a las variaciones de la iluminación solar. Tiene la función particular que a través del cambio de presión de un gas contenido en una cavidad provoca un desplazamiento de otro fluido entre los dos cristales de la ventana transparente, este nuevo fluido bloquea parte de la luz del sol que incide sobre los paneles, evitando el deslumbramiento preservando la iluminación interior adecuada y una visión clara de la ventana” 42. (Ver ilustración 18). Es un interesante prototipo activo que responde a las necesidades climáticas del sitio

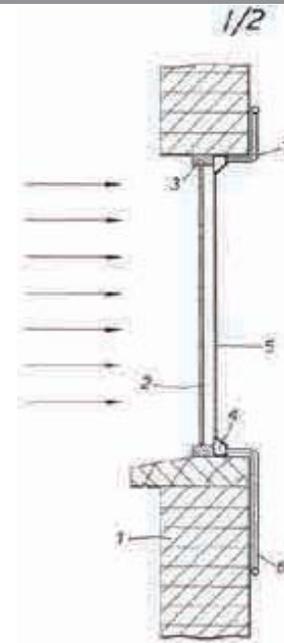


Ilustración 17. Sistema Window 1985. Ilustración obtenida para fines didácticos de: Ventanas con cámara de agua circulante en edificios de consumo de energía casi nulo.

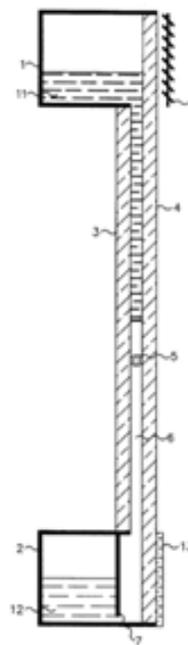


Ilustración 18. Sistema Window Shutter. Ilustración obtenida para fines didácticos de: Ventanas con cámara de agua circulante en edificios de consumo de energía casi nulo.

41 Luis J. Claros, Marfil Belén Pérez Pujazón, Graciela Ovando Benito Lauret. (2013). VENTANAS CON CÁMARA DE AGUA CIRCULANTE EN EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO. Noviembre 2013, de Universidad Politécnica de Madrid

42 Rex M, . (2007). Solar-actuated fluid window shutter. Octubre 2015, de US Patents Sitio web: <https://www.google.com/patents/US5608995>

aprovechando la física de los elementos, en este caso la presión y la densidad de los fluidos.

Ventana de masa térmica, 2010

Tom Pittsley, ingeniero mecánico de los Estados Unidos, publica una solución basada en los principios del muro Trombe ⁴³, con la característica particular, su sistema de calefacción pasiva, sustituye la masa térmica de material opaco del muro Trombe por agua. Y controlando la radiación solar con parasoles o persianas automáticas que controlan la cantidad de radiación solar incidida en esta ventana. Este sistema se suma a las alternativas de calefacción vertical con una propuesta que ofrece el paso de luz natural a los espacios interiores, aunque posiblemente sacrificando la capacidad de acumulación térmica en el agua. Sin embargo marca una nueva línea en la concepción de calentadores solares. (Ver ilustración 19).

Los resultados obtenidos en los experimentos de Tom, arrojaron una capacidad de retención térmica muy alentadora, teniendo de temperatura en las ventanas $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ cuando la temperatura exterior estaba en los -



Ilustración 19. Ventana de masa térmica. Imagen obtenida para fines didácticos de www.youtube.com/watch?v=ZRyMnaDqzUs

$5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ teniendo una diferencia entre el interior y el exterior de $27.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esto supone una efectividad muy alta para las condiciones climáticas extremas. ⁴⁴

El sistema propuesto por Tom está concebido para el acondicionamiento interior de los espacios. Las condiciones climáticas en el norte de los Estados Unidos son muy frías por lo que para ellos es una prioridad el control térmico de las construcciones

“Intelliglas” muros cortinas activos

Los muros cortina de “Intelliglass” surgen a partir de reducir los cambios bruscos de temperatura entre el interior y el exterior. Estos vidrios ideados en 2007 por la empresa

⁴³ Pittsley, T. (2010). Passive solar home. 2014, de Tom Pittsley Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=ZRyMnaDqzUs>

⁴⁴ Ídem

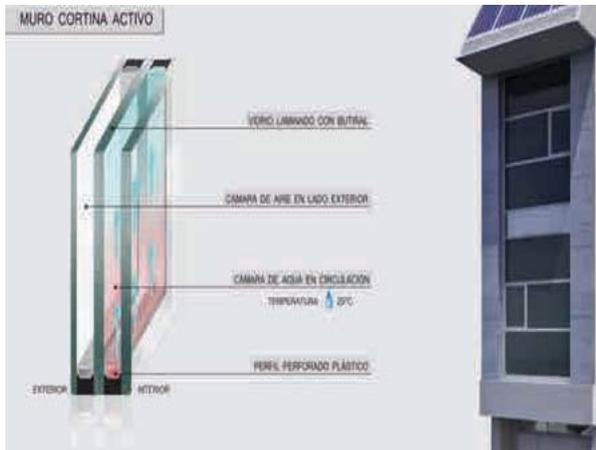


Ilustración 20. Sistema Intelliglas con triple acristalamiento. Imagen obtenida para fines didácticos de: <http://www.intelliglass.es/>

“Intelliglass” desarrollan la idea de una doble cámara, una con aire como aislante térmico y otra con agua para absorber y contener la incidencia del espectro infrarrojo en un elemento de calor específico alto.

Estos muros cortina con fluido activo se han aplicado en proyectos de oficina como en vivienda, teniendo la experiencia en su aplicación en residencias con consumo energético cero con un triple acristalamiento “IthermGlass”⁴⁵ (Ver ilustración 20 y 21) con el cual permite la entrada de luz visible al 10 % y absorbe el 70 % de los rayos infrarrojos calentando el agua que posteriormente es utilizada para la alberca del lugar.

Este proyecto es lo más cercano a los ejes rectores del proyecto muro contenedor y colector de energía solar, con las siguientes diferencias:

1.- No contempla diseño con respecto a los ángulos de inclinación solar con respecto al comportamiento de la bóveda celeste, su ángulo de incidencia y refracción de los rayos.

2.- El diseño de ventana es propuesto para que parte de la energía colectada en la masa atérmica del agua sea transferida al interior de la vivienda por conducción, convección y radiación, esto debido a que las condiciones climáticas donde es implementado muestra la necesidad de calentamiento interior, a diferencia de la ciudad de México que tenemos esa problemática en menor proporción, pudiendo redirigir la energía térmica el uso principal de calentamiento de agua

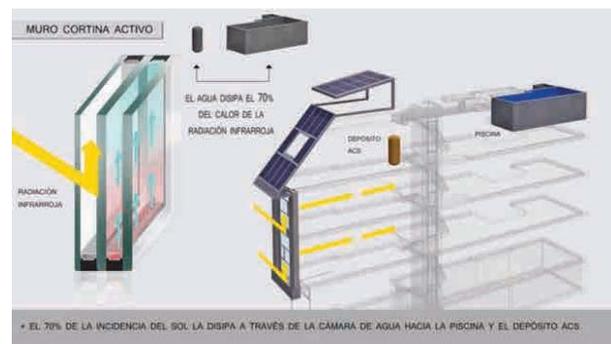


Ilustración 21. Absorción el espectro infrarrojo para uso en alberca. Imagen obtenida para fines didácticos de: <http://www.intelliglass.es/>

45 Observatorio I+D+i UPM (2014).

para uso doméstico y como función secundaria, el control climático de los interiores.

3.- Los materiales de construcción del sistema contempla la utilización de vidrios selectivos prefabricados específicamente para la construcción, por lo que son vidrios de alta tecnología con un coste mucho mayor a los que supone la construcción de elementos con vidrio reciclado de botellas con sulfito de fierro, el cual también comparte muchas características de vidrio selectivo al reflejar los rayos ultravioleta y absorber los infrarrojos para conservar el estado químico de los líquidos.

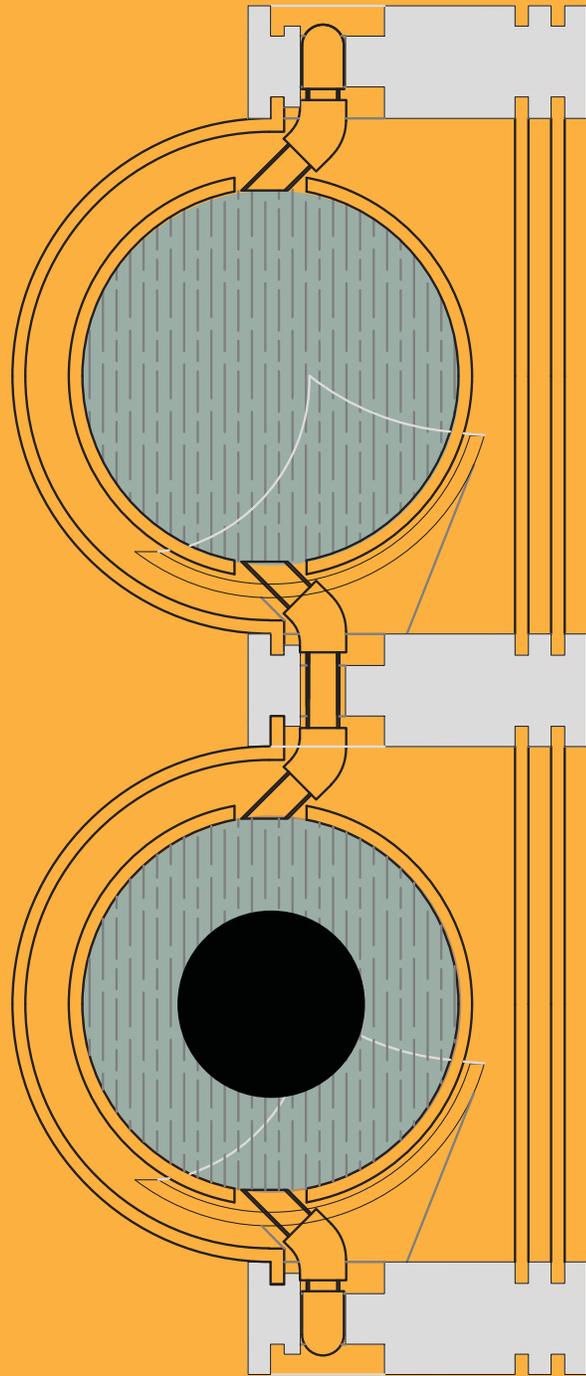
Algunos proyectos en los que ha sido implementado el sistema “Intelliglass”⁴⁶ son: “la Universidad de Castilla la Mancha en 2011”, (Ver ilustración 22). Aplicado en el área empresarial ICDEA y en la ampliación de CEPAL, implementándolo en la cubierta, y en la “Bioincubadora” en el campus de la UCLM el cual tiene la particularidad que es conectado a fuentes geotérmicas.



Ilustración 22. Muro cortina activo en la Universidad de Castilla. Imagen obtenida para fines didácticos de: <http://www.intelliglass.es/>

Las tecnologías analizadas anteriormente, tienen características que aportan al diseño del muro colector, por su objetivo, sus principios de funcionamiento, sin embargo estas no se tomarán textualmente para el desarrollo del prototipo, ya que las tecnologías análogas utilizadas en latitudes altas, tiene condiciones solares diferentes, y su simple traslado a la Ciudad de México no hubiera funcionado al perder su eficiencia dadas las condiciones de la bóveda celeste. Debido a esto, se diseñará un sistema nuevo ya que actualmente no existe este tipo de tecnologías que ofrezcan una eficiencia óptima en latitudes como la de la Ciudad de México.

⁴⁶ Intelliglass. (2015). Proyectos Intelliglas. octubre 2015, de Intelliglas s Sitio web: http://www.intelliglass.es/index.php?option=com_content&view=article&id=127&Itemid=210&lang=es



CAPITULO III

DISEÑO DEL PROTOTIPO

CAPÍTULO III.- DISEÑO DEL PROTOTIPO

3.1.- Funciones del prototipo

Para comenzar el diseño del prototipo de “muro contenedor y colector” se tuvo que tener claras las funciones que el mismo llevará acabo, siendo los siguientes puntos:

A) Colectar la energía solar en la fachada sur de la vivienda vertical para el calentamiento de agua de uso doméstico en la vivienda vertical.

B) Sintetizar el muro, contenedor de agua y colector solar en un mismo elemento complementando y potencializando sus funciones entre sí.

Para lo cual se tiene que analizó primeramente las funciones de cada elemento, determinando los rangos de actuación y encontrar el punto de compatibilidad de cada elemento, llegando al siguiente análisis de funciones y umbrales de actuación:

1.- Función de muro envolvente: Debe ofrecer aislamiento térmico y acústico del muro como envolvente, así como la transmisión parcial del espectro electromagnético en los rangos visibles.

a) Aislamiento térmico del exterior. La envolvente debe garantizar la protección contra los cambios bruscos de las condiciones meteorológicas, manteniendo una temperatura estable conforme a los rangos de confort térmico de los usuarios, que para un clima intertropical se estima entre 20 y 285 ° C según la carta psicométrica de OLIGAY, propuesta por Givonni.

b) Paso de luz visible. El prototipo debe proporcionar mínimamente 50 Luxes para el espacio habitable según el “Reglamento de construcciones del D.F. en la tabla 3.5 del apartado 3.4.3 Iluminación Artificial. Y el área de ventana para iluminación natural debe ser de %17.5 del área del local habitable.

c) Función de muro divisorio: Aunque el prototipo no se consideró como un elemento estructural, este debe comprobar la resistencia a las cargas accidentales, de viento, lluvia y sismo establecidos en el reglamento de construcciones del D.F

2.- Función de contenedor: Los materiales seleccionados no comprometen la composición y calidad del agua, los mismos deben ser altamente resistentes a los agentes solares y químicos sin su desintegración, al igual que el diseño debe soportar la presión de la contención del agua.

a) Resistencia a los agentes químicos: La contención de agua no debe comprometer la calidad del agua potable, por lo que los materiales de construcción del prototipo deben tener alta resistencia a los agentes químicos como el cloro.

b) Resistencia al intemperismo. El prototipo debe resistir los cambios abruptos del clima exterior, viento, lluvia, temperatura, garantizando su estabilidad a los cambios por dilatación y contracción que la variabilidad de estos agentes que puedan causar al prototipo.

c) Resistencia a la presión de agua. Al ser un contenedor vertical, este debe contrarrestar la presión de la acumulación de agua en gran altura.

3.- Función de colector solar: Potencializar la eficiencia en la colección solar con respecto a las tecnologías actuales mencionadas en el capítulo anterior.

a) Colección óptima del espectro electromagnético. Comprobar la eficiencia del prototipo en rangos comparables o superiores a las actuales alternativas de colección de energía solar para agua, siendo los calentadores solares de placa plana y los de

sistemas de tubos al vacío. 47

b) Seguridad de los usuarios. La contención debe garantizar la correcta contención la de agua caliente asegurando su estabilidad y evitando escapes de agua a altas temperaturas que comprometan la seguridad de los usuarios ante los esfuerzos de tracción, viento y sismo a los cuales está sometido.

c) Sistema de termosifón. Demostrar el correcto flujo por diferencias de densidad debido a la temperatura. El prototipo debe permitir el libre flujo hídrico a través de sus ramales por el principio físico de termosifón por gravedad, evitando el uso de equipos mecánicos para su circulación.

d) aislamiento térmico en el contenedor de agua. La contención no debe permitir la pérdida de energía por conducción radiación o convección, por lo que debe estar térmicamente aislada de los otros componentes del sistema para evitar las pérdidas de energía.

47 Marroquín J. & Olivares J. & Jiménez O. (Diciembre 2013). Análisis de flujo y de la transferencia de calor en un colector solar plano con geometría rectangular y cilíndrica utilizando CFD. Ingeniería Investigación y Tecnología, vol. XIV, pp 561-553.

3.2.- Variables involucradas en el diseño

Una vez identificadas las funciones del prototipo, se consideraron las siguientes variables dependientes e independientes

3.2.1.- Bóveda celeste en la ciudad de México.

Para la optimización del diseño del prototipo con respecto a la ubicación geográfica de la ciudad de México (caso de estudio de este trabajo), se analizó las características del asoleamiento con respecto a su latitud y longitud.

Latitud: 10'25°19'Norte
 Longitud: 44'08°99'Oeste
 Altura: 2,234 msnm

Se tomaron los valores máximos de ubicación del sol con respecto a la ubicación geográfica, los cuales se presentan en el solsticio de verano 21 de junio y el solsticio de invierno el 21 de diciembre, de los cuales se pudieron obtener los datos de puntos máximos y mínimos mostrados en la tabla 3. En las ilustraciones 22 y 23 observamos el comportamiento del acimut del sol en dichos solsticios, determinando que la irradiación solar será más efectiva en el plano sur en el solsticio de invierno al contar con una curvatura más suave en comparación del verano.

Solsticio de verano hora solar Ciudad de México 21 junio

Hora	Altitud	Acimut
07:00	12.32	69.23
08:00	25.69	72.65
09:00	39.28	75.16
10:00	53.01	76.56
11:00	66.75	75.71
12:00	80.18	64.32
13:00	83.62	309.66
14:00	70.66	285.53
15:00	56.94	283.34
16:00	43.2	284.31
17:00	29.56	286.54
18:00	16.12	289.7
19:00	2.98	293.83
20:00	0.833-	295.28

Horas de sol al día 13 hrs 18 min

Solsticio de invierno hora solar Ciudad de México 21 diciembre

Hora	Altitud	Acimut
07:00	0.083-	64.8
08:00	4.42	75.12
09:00	10.48	119.63
10:00	32.86	136.94
11:00	41.26	150.63
12:00	46.26	168.42
13:00	46.65	188.43
14:00	42.33	206.79
15:00	34.38	221.14
16:00	24.11	231.65
17:00	12.44	239.08
18:00	3.048	243.58
19:00	0.08-	245
20:00	8.33-	245.37

Horas de sol al día 10 hrs 57 min

Tabla 3. Ángulos de acimut y altitud en los diferentes solsticios en la latitud de la Ciudad de México. Fuente: sun earth tools

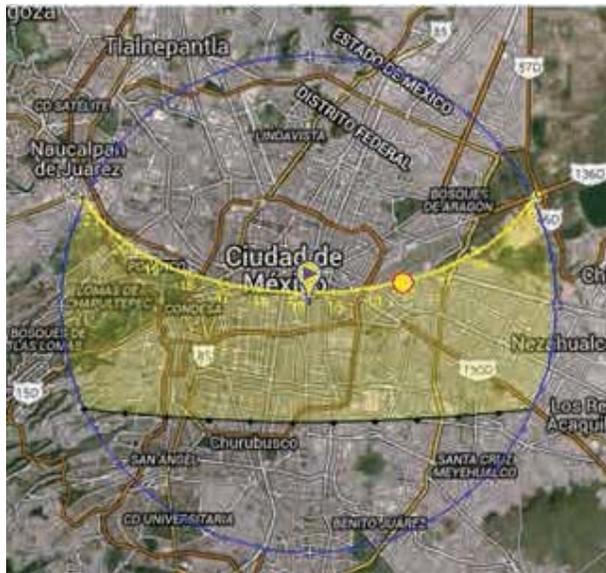


Ilustración 22. Graficas solares Solsticio de Verano en la ciudad de México, 21 de junio. Imagen obtenida para fines didácticos de: <http://www.sunearthtools.com/es/>



Ilustración 23. Graficas solares del solsticio de Invierno en la ciudad de México, 21 de diciembre. Imagen obtenida para fines didácticos de: <http://www.sunearthtools.com/es/>

Esto significa que el ángulo de inclinación máximo de la altitud en una latitud de $25^{\circ}19'$ en el solsticio de verano es de 83.62° a las 12:45 hrs, y el mínimo en el solsticio de invierno es de 46.65° a las 13:00 hrs, por lo que la geometría del prototipo estará diseñado con respecto a estos rangos para optimizar la captación de energía de este con respecto a los ángulos de incidencia solares. (Ver ilustración 23).

Por otro lado los ángulos de incidencia máximos y mínimos entre solsticios, indican que en el solsticio de invierno llegará mayor cantidad de energía a la fachada en comparación con el de verano. Esto se denota como una ventaja en las condiciones de irradiación en el plano vertical, ya que en el invierno las temperaturas son menores y debido a esto, la cantidad de energía colectada para llegar a los estándares propuestos debe ser mayor.

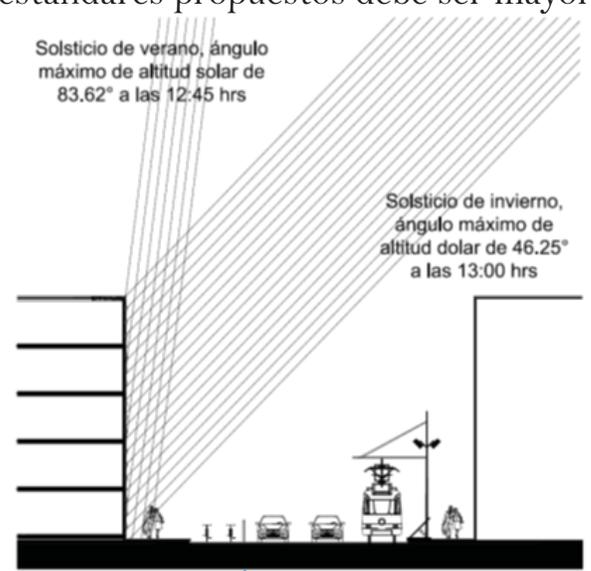


Ilustración 23. Ángulos solares con respecto a planos verticales. Imagen propia.

3.2.2.- Análisis de materiales

El vidrio

En este apartado se considerará principalmente el vidrio, debido a que es el material principal que compone el colector solar, por lo que el conocimiento de las propiedades de este material permite identificar las aplicaciones a las que pueden ser sometidos para su correcta aplicación dentro del sistema.

Propiedades mecánicas

Los vidrios presentan normalmente una resistencia a la tracción entre 3000 t 5500 N/cm² aunque algunos vidrios especiales, pueden llegar a los 70,000 N/cm² si el vidrio ha sido especialmente tratado. La densidad relativa oscila entre 2 y 8, que equivale entre una densidad menor que la del aluminio y una mayor que la del acero, y los vidrios más comunes presentan las siguientes características:

A) Vidrios Sódico Cálculos: 2.5 g / cm³

B) Vidrios de Borosilicato: 2.15 g / cm³

Generalmente el vidrio presenta un peso específico dependiendo su composición, siendo los materiales de esta tesis:

a)- Vidrio de cristalería 2.95 (g/cm³ a 18 ° C).

b) Vidrio de Botella 2.62 (g/cm³ a 18 °C).

El valor de 2.5 será el más representativo, ya que para construcción, son los vidrios sódicos cálcicos los que se utilizan comúnmente.

Tienen una resistencia a la compresión general para de 1000 kg/cm², sin embargo existen vidrios especiales más resistentes, y vidrios con menos resistencia a la compresión. El módulo de rotura: Vidrios recocidos 350 a 550 kg/cm². Vidrios templados de 1850 a 2100 kg/cm².

Composición química según su color

Las impurezas en la materia prima afectan a la coloración del vidrio. Para obtener una sustancia transparente o incolora, los fabricantes añaden manganeso, que contrasta las coloraciones verdosas o amarillentas producidos por los óxidos de hierro. El vidrio puede colorearse utilizando óxidos metálicos, sulfuros o seleniuros. Otros colorantes pueden dispersarse en partículas microscópicas y se conocen como fritas. Por lo que el vidrio comprende

una diferente composición química según su color, a continuación se describirá cada composición según su color. Ver tabla 3.⁴⁸

Tabla 3. Coloración del vidrio según sus complementos químicos. Tabla obtenida de Ortega G. (2005). Tecnología del vidrio Una guía para el diseño industrial. México D.F.: Programa de maestría y doctorado Diseño Industrial UNAM.

Compuesto químico	coloración
Oxidos de Hierro	Verde
Oxidos de cromo	Verde, café, y azul
Sulfuro de Hierro	Amarillo a café-rojo
Oxidos de Niquel	Gris y verde
Oxidos de magnesio	Violeta
Oxidos de Cobalto	Azul - violeta
Oxidos de cobre	Rojo- azul verde
Selenio	Naranja- rojo
Sulfuro de dacroio	Amarillo
Oro	Rubi a rojo
Plata	Amarillo
Oxidos de Magnesio /Sodio- Selenio + Oxido de cobalto	Incoloro

Resistencia Química del vidrio

La resistencia que ofrece el vidrio al ponerlo en contacto con el agua o con agentes atmosféricos, así como con soluciones acuosas de ácidos, bases y sales, es una propiedad de gran importancia llamada durabilidad química, que lo hace tomar ventaja sobre otro tipo de materiales, como los plásticos, por ejemplo. Los vidrios comunes parecen ser químicamente inertes, pero en realidad reaccionan con muchas sustancias, lo que sucede es que lo hacen lentamente y por eso se pueden utilizar. Cuando se habla de altas resistencia a reactivos químicos se quiere decir que para que las reacciones ocurran tiene que pasar un tiempo muy largo, por lo que prácticamente no reaccionan. El vidrio tiene

una resistencia excelente a los ácidos, excepto al fluorhídrico, y a las soluciones alcalinas frías. Por eso es muy útil como envase de reactivos químicos. También es particularmente adecuado para tuberías transparentes. Por supuesto que tiene el gran inconveniente de su fragilidad y de la poca resistencia a los cambios bruscos de temperatura, pero en ese caso se puede usar vidrio blindado con fibra de vidrio de poliéster para evitar roturas, teniendo así la ventaja de la resistencia a la corrosión del vidrio y la fuerza estructural del acero.⁴⁹

Los recubrimientos de vidrio son resistentes a todas las concentraciones de ácido clorhídrico a temperaturas menores de 200° C; a todas las concentraciones de ácido nítrico hasta

⁴⁸ Ortega G. (2005). Tecnología del vidrio Una guía para el diseño industrial. México D.F.: Programa de maestría y doctorado Diseño Industrial UNAM.

⁴⁹ Idem.

el punto de ebullición; al ácido sulfúrico diluido hasta el punto de ebullición y concentrado hasta 300° C. Existe también un vidrio que aguanta a los ácidos con resistencia mejorada a las bases.

Propiedades Espectrofotométricas

Cuando la radiación solar toca el vidrio, se divide siendo parte reflejada, parte absorbida y parte transmitida. Cada una de estas partes tiene un radio que definen los factores respectivos, es decir, factor de reflectancia, factor de absorptancia y factor de transmitancia. Estos factores son diferentes de acuerdo al vidrio, incidiendo en la curva del mismo. Por ejemplo en un vidrio común transparente de 3mm, se transmite el 83 % de la energía solar, se refleja el 8 % y 9 % es absorbida por el vidrio.

Una superficie puede intercambiar calor con el aire por diferentes formas:

A) Conducción: Es la transferencia de calor entre dos masas en contacto directo.

B) Convección: Es la transferencia de calor entre la superficie de un sólido y un fluido.

C) Radiación: Es la transferencia de calor entre dos cuerpos a diferente temperatura por la emisividad.

La transmisión de calor a través de una superficie por conducción, convección y radiación se expresan y calculan por su valor U, que es la medida de ganancia o pérdida de calor a través de la superficie por el diferencial de temperaturas.

Existe otro factor que es la resistencia térmica que es el valor recíproco de “U”, mientras más alto sea el valor “R” menos calor se transmite a través del material, (ver tabla 4).

Tipo de vidrio	Espesor	Espacio de aire	Valor R	valor U
	mm	mm		W/m ² C
Hoja Sencilla de vidrio flotado	3.17	0	0.877	6.47
	6.3	0	0.892	6.36
Vidrio flotado con un espacio de aire	3.17	8.35	1.66	3.41
	3.17	12.7	1.81	3.12
	6.3	6.35	1.66	3.41
	6.3	12.7	1.81	3.12

Tabla 4. Valores generales de “U” y “R” de los vidrios

Experimento Fotométrico del vidrio reciclado

Se seleccionaron los vidrios con mayor producción en la industria embotelladora, los cuales contienen agregados de Óxidos de Hierro (color verde) y Sulfuro de Hierro (color ámbar) debido a que estos presentan propiedades ópticas para el cuidado químico de los líquidos interiores. Para conocer las propiedades ópticas de estos materiales, se realizaron pruebas de laboratorio de Espectrometría, con longitudes de onda de 200 nm a 2500 nm, utilizando “Espectrómetro Ultravioleta- infrarrojo - Visible Nir Shimadzu 3600”. Esta prueba tuvo el objetivo de determinar los coeficientes de reflectancia, absortancia y emitancia del vidrio muestra y fue realizada en los laboratorios del “CRNE, Centro de Investigación en Nanoingeniería” de la Universidad Politécnica de Catalunya”, Barcelona España.

Los resultados del experimento fueron los siguientes:

El vidrio ámbar absorbe 18 % transmite %59 de infrarrojo y de ultravioleta tiene una absortancia de 6 % y 94 % de reflectancia, mientras q con oxido de fierro absorbe 16 % y transmite 55 % de infrarrojo y refleja el 90 % absorbe el 77 % y transmite el 3 %



Ilustración 24. Muestras para experimento Infrarrojo y Ultravioleta. Imagen propia.



Ilustración 25. Espectrómetro Ultravioleta - visible Nir Shimadzu 3600, imagen obtenida con fines didácticos de CRNE de la UPC.

de ultravioleta. Siendo ambo vidrios óptimos por su reflectividad del espectro ultravioleta.

Ver experimento completo y metodología en “ANEXO II”, Mediciones espectrométricas del vidrio reciclado (UPC)

3.2.3.- Propiedades ópticas involucradas en el diseño

La energía del espectro electromagnético incidida en un cuerpo material se comportará de diferente manera según las características ópticas de los materiales, tomando en consideración la utilización de vidrio para este proyecto, la energía incidida a este material tendrá una serie de fenómenos de distribución de la energía llegada al punto de encuentro con el material, una parte de esta energía es reflejada (reflectancia), otra es absorbida (absortancia) y una parte es atravesada (transmitancia) la suma de estos tres fenómenos debe igual a 1 , expresado en la siguiente fórmula:

$$1 = \alpha + \tau + \rho$$

Dónde:

Reflexión ρ = reflectancia
Absorción α = absortancia
Transmitancia τ = transmitancia

Estos son los 3 fenómenos físicos importantes para la transmisión de energía sobre un cuerpo, sin embar-

go, existen otros fenómenos que de igual manera son importantes para el diseño del muro colector de energía solar como la “Emitancia = ϵ ”

Principios de Reflexión y Refracción con la ley de “SNELL”

La reflectancia, es fundamental en la primer frontera del sistema diseñado, debido a que *“mientras más se desvíe de la normal el ángulo de incidencia de la radiación solar, mayor será la cantidad reflejada por el vidrio. Incluso los vidrios claros pueden reflejar más del 50 % de la radiación solar cuando el ángulo de incidencia es de 70° (medido desde una línea perpendicular al vidrio). De cualquier manera, como en el caso de la transmitancia, los valores de reflectancia se suelen indicar para una incidencia normal”* 51. Por lo que es igual de importante el ángulo de diseño en la frontera para reducir el coeficiente de reflexión. Se considera el coseno del ángulo para de incidencia para determinar la cantidad de energía reflejada.

La refracción es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Solo

50 Fernandez P. (2012). Propiedades ópticas de materiales utilizados en procesos térmicos de energía solar. 2015, de Fernandez P. Sitio web: <http://files.pfernandezdiez.es/EnergiasAlternativas/solar/PDFs/02solar.pdf>

51 Arquitectura Solar. (2013). Propiedades básicas de los vidrios. 2015, de Sol-arq. Sitio web: <http://www.sol-arq.com/index.php/acristalamiento/vidrios>

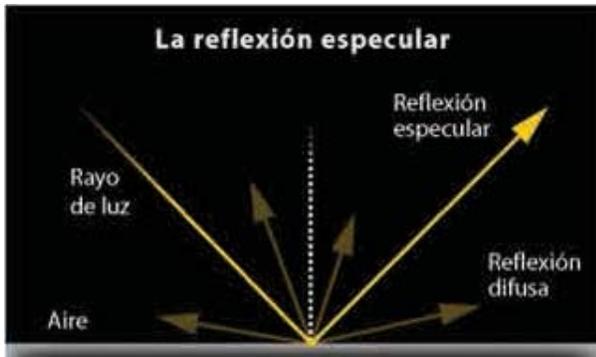


Ilustración 26. Reflexión especular. Imagen obtenida para fines didácticos de: http://www.gusgsm.com/componente_especular_reflectancia

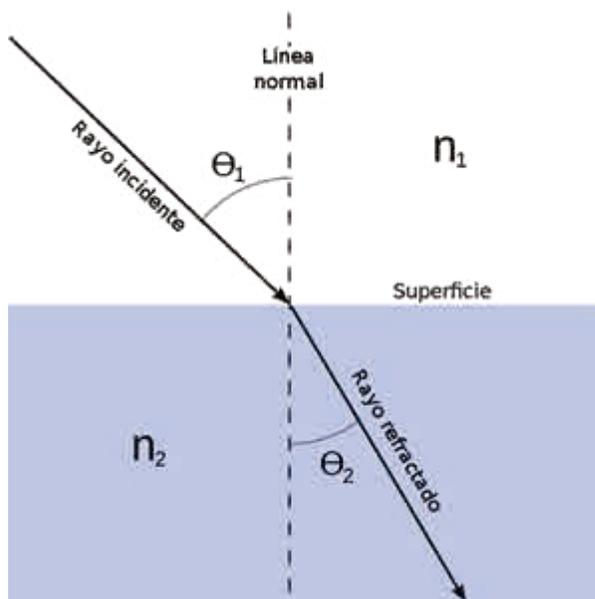


Ilustración 27. Ley de Snell en la refracción, imagen obtenida con fines didácticos de: <http://files.pfernandezdiez.es>

se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad de propagación de la onda

señalada. La ley de Snell (ver ilustración 27) es una fórmula utilizada para calcular el ángulo de refracción de la luz al atravesar la superficie de separación entre dos medios de propagación de la luz (o cualquier onda electromagnética) con índice de refracción distinto.

Considerando dos medios caracterizados por índices de refracción n_1 y n_2 separados por una superficie S . Los rayos de luz que atraviesen los dos medios se refractarán en la superficie variando su dirección de propagación dependiendo del coeficiente entre los índices de refracción de n_1 y n_2 . “Para un rayo luminoso con un ángulo de incidencia θ_1 sobre el primer medio, ángulo entre la normal a la superficie y la dirección de propagación del rayo, tendremos que el rayo se propaga en el segundo medio con un ángulo de refracción θ_2 cuyo valor se obtiene por medio de la ley de Snell ⁵²”:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Dónde:

n = coeficiente de refracción del material de los medios, a continuación presentamos los índices de refracción

⁵²Eugene D. Olsen. (1990). Modern Optical Methods of Analysis. New York: Mc-Graw- Hill Inc. pp 94

inherentes a los materiales utilizados en el proyecto, a continuación se muestran los índices de refracción de los materiales involucrados en el prototipo.

Vacío	1
Aire	1.00029
Agua	1.33
Vidrio	1.52

Si el índice de refracción del medio 1 (n_1) es menor que el índice de refracción del medio 2 (n_2), el ángulo se acercará más a la línea de la normal, siendo el caso contrario, si el índice de refracción del medio 1 (n_1) es mayor que el índice de refracción del medio 2 (n_2) el ángulo de refracción se alejará de la línea de la normal.

Todas estas propiedades se tomaron en cuenta para el estudio de la geometría óptima para el colector solar obteniendo el siguiente estudio.

3.2.4.-Análisis geométrico, Geometría óptima para la mayor captación de energía

Se comenzó el diseño de la envolvente exterior con el estudio de la geometría, con base en las propiedades ópticas tomando en cuenta 2 consideraciones importantes para el diseño de la geometría de los sistemas.

1.- Mayor captación de energía: Se diseñará la superficie de frontera

consideraciones importantes para el diseño de la geometría de los sistemas.

1.- Mayor captación de energía: Obtener mayor área de captación del espectro electromagnético con respecto a las condiciones máximas y mínimas de la bóveda celeste en la Ciudad de México.

2.- Fenómenos ópticos del material en la transferencia de energía reflectancia con los principios mencionados anteriormente.

A continuación se muestra el análisis geométrico de la reflectancia del “ Sistema de frontera exterior” con respecto a su reflectancia considerando que el ángulo de incidencia sobre la tangente del punto de superficie del material es equivalente al ángulo reflejado para la reflexión especular, considerada como el rayo reflejado con mayor energía. La mayoría de los parámetros que observamos en las fichas técnicas de los vidrios, surgen a partir de experimentos con un ángulo de incidencia de 90° con respecto a la superficie del material, según las propiedades ópticas del vidrio entré más oblicuo sea la incidencia, la pérdida la reflectancia será mayor en el análisis geométrico que comprende este estudio se calculó se determinará con 3 rangos de incidencia de 90° a 61° , de 60° a 31° y de 30° a 0° , siendo

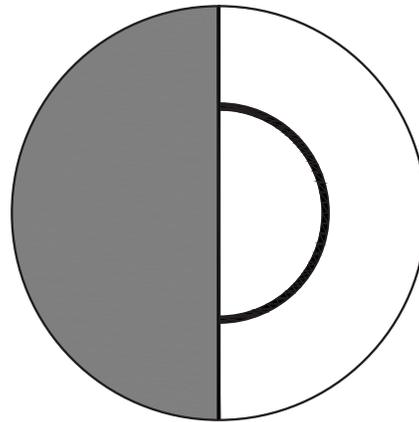
este rango el de menor captación de energía. Para la realización de este estudio se plantearon 3 tipos diferentes de geometría:

- 1.- Esfera
- 2.- Superficie plana a 53°
- 3.- Superficie plana a 90°
(ver ilustración 28 - 30)

Todos con un área de 21×21 cm² sobre el plano vertical para los 3 casos, y en la geometría se representa los niveles de reflexión según su ángulo con los siguientes colores.

- 1.- Área de rayo reflejado entre 90° y 61° de color rojo
- 2.- Área de rayo reflejado entre 60° y 31° de color amarillo
- 3.- Área de rayo reflejado entre 30° y 0° de color verde.

Estas áreas delimitadas comprenden las zonas de mayor transmitancia de energía al interior del sistema, de color rojo, el área de mayor transmitancia, y de color verde de mayor reflectancia, y así se obtuvieron los siguientes esquemas.



*Ilustración 28. Geometría de esfera.
Imagen propia*

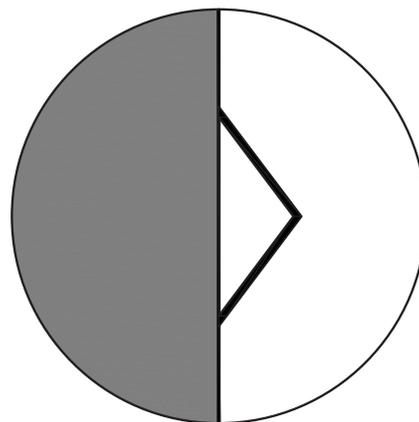


Ilustración 29. Geometría superficie andulada a 53°

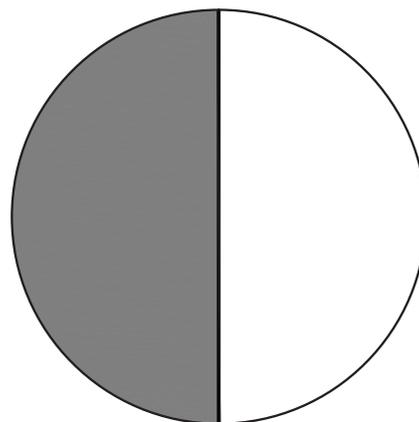
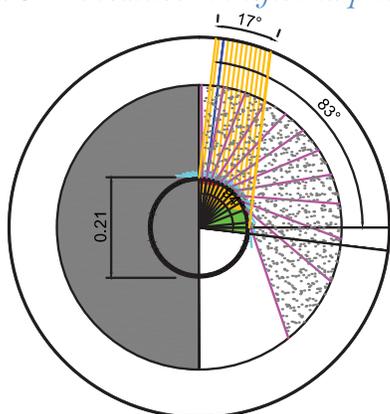
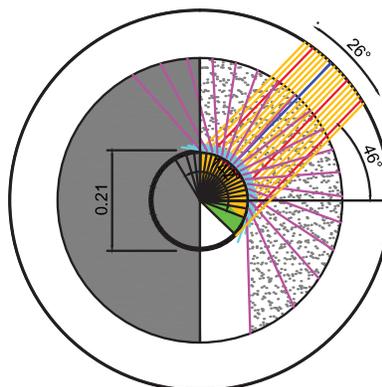


Ilustración 30. Geometría superficie andulada a 90°

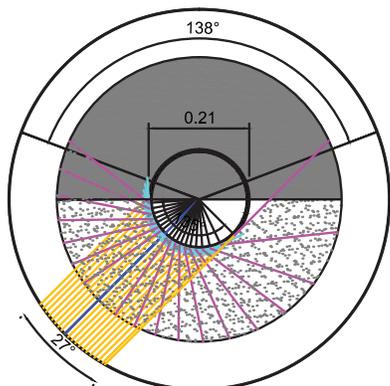
Ilustración 31. Geometría de esfera en planta



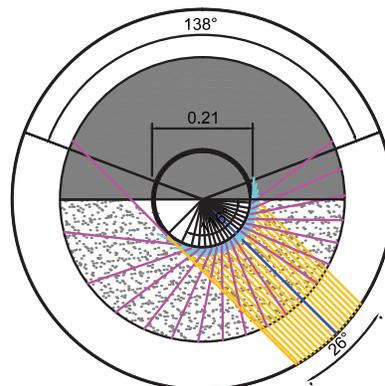
INCIDENCIA SOLAR ESFERA ALZADO
SOLSTICIO DE VERANO 83.62°
PUNTO MÁXIMO



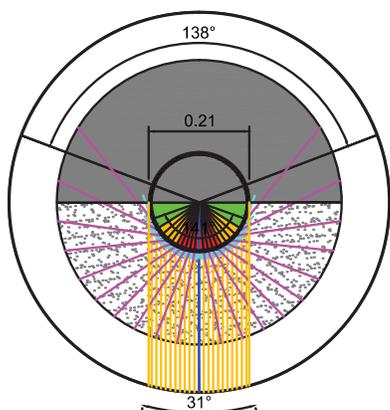
INCIDENCIA SOLAR ESFERA ALZADO
SOLSTICIO DE INVIERNO 46.65°
PUNTO MÁXIMO



INCIDENCIA SOLAR ESFERA PLANTA
SOLSTICIO DE VERANO 135°
PUNTO MEDIO



INCIDENCIA SOLAR ESFERA PLANTA
SOLSTICIO DE VERANO 45°
PUNTO MEDIO

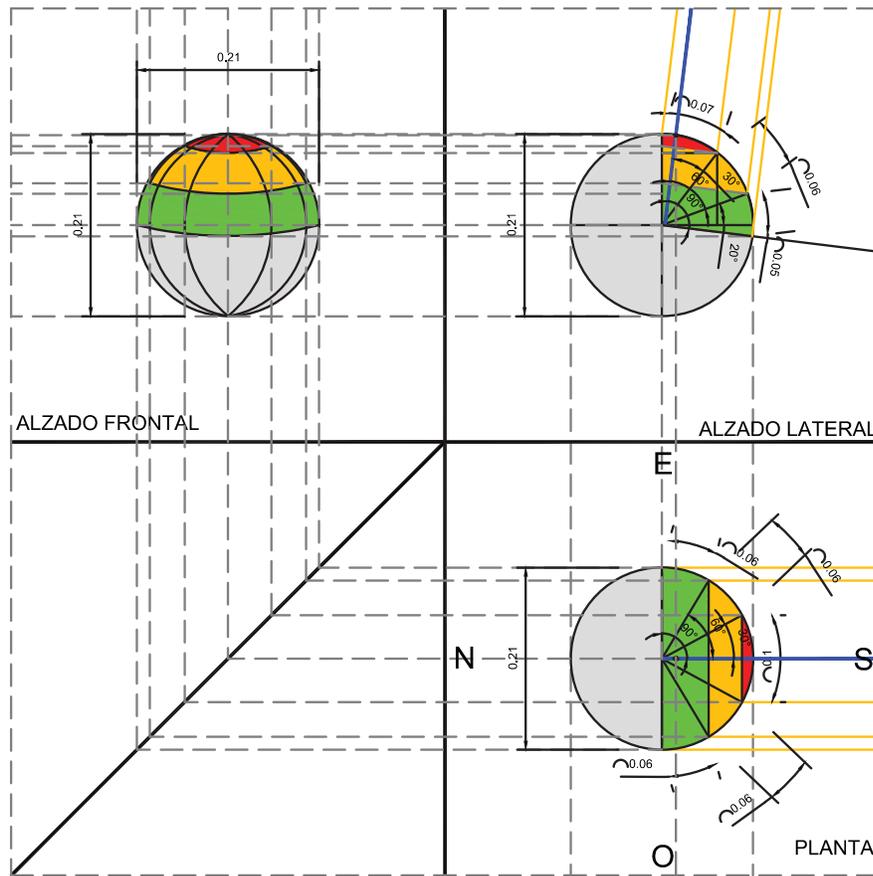


INCIDENCIA SOLAR ESFERA PLANTA
SOLSTICIO DE VERANO 90°
PUNTO MAXIMO

SIMBOLOGÍA

- rayos incidentes
- rayos perpendiculares a la superficie
- tangente al ángulo de incidencia
- rayos reflejados
- rayos reflejados de 90° a 61°
- rayos reflejados de 60° a 31°
- rayos reflejados de 30° a 0°
- área sin incidencia solar directa

Ilustración 32. Geometría de esfera en solsticio de verano



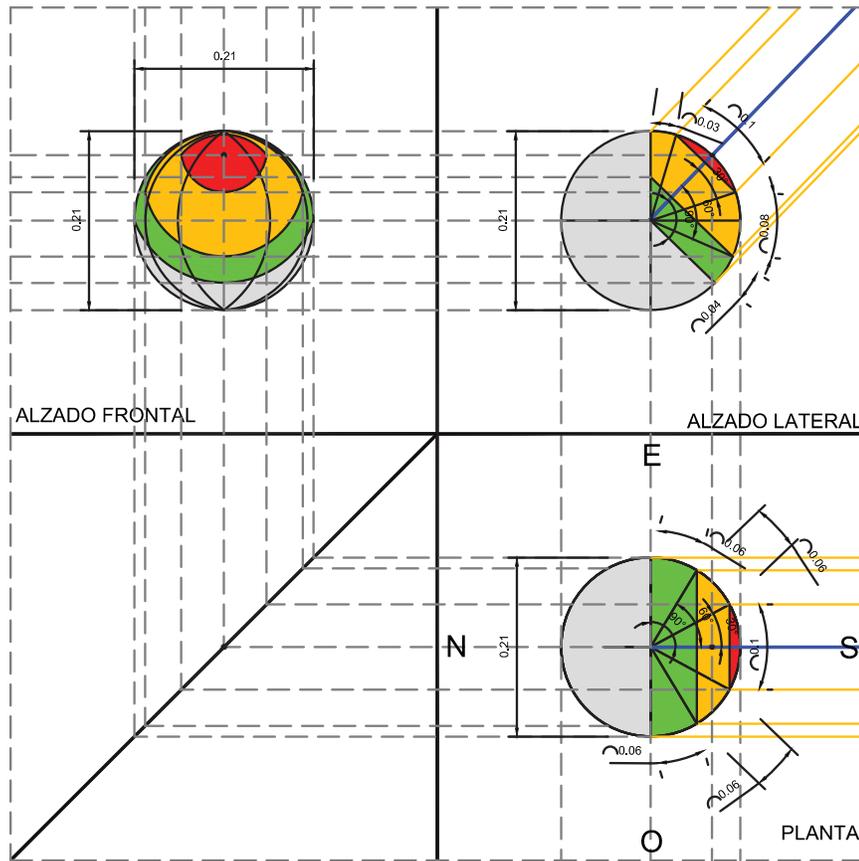
ÁREAS DE COLECCIÓN SOLAR
SEGÚN SU ÁNGULO
ESFERA SOLSTICIO DE VERANO 12:30 HRS

SIMBOLOGÍA

- rayos incidentes
- rayos perpendiculares a la superficie
- - - proyecciones

- rayos reflejados de 90° a 61°
- rayos reflejados de 60° a 31°
- rayos reflejados de 30° a 0°
- área sin incidencia solar directa

Ilustración 33. Geometría de esfera en solsticio de invierno

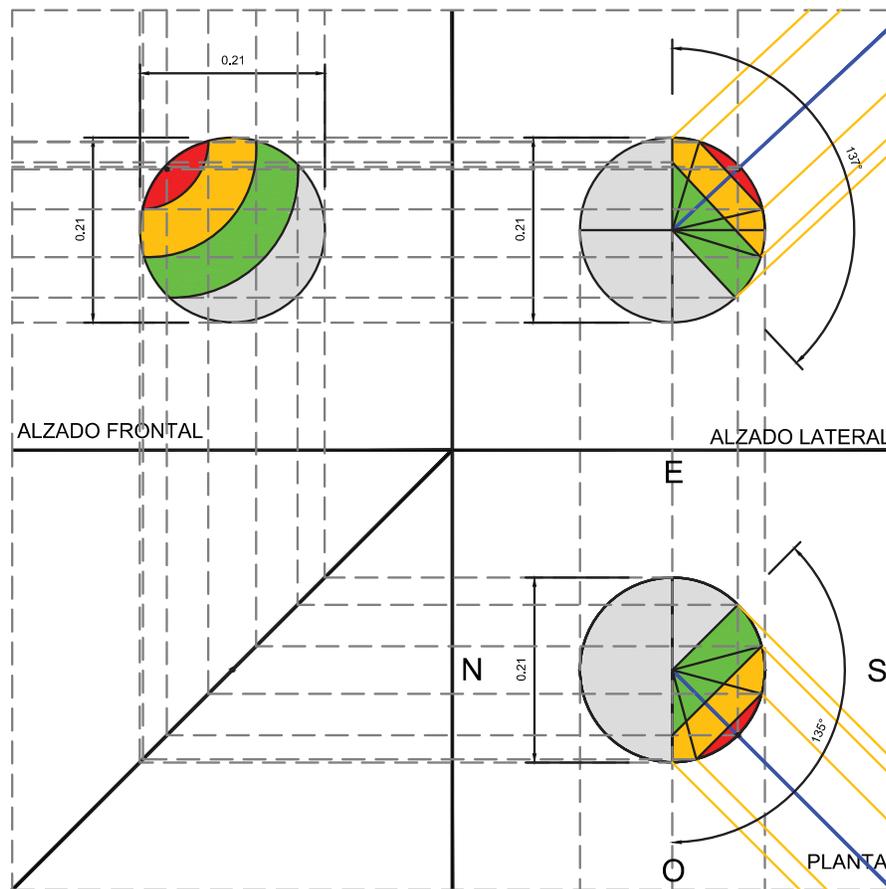


ÁREAS DE COLECCIÓN SOLAR
SEGÚN SU ÁNGULO
ESFERA SOLSTICIO DE INVIERNO 11:45 HRS

SIMBOLOGÍA

-  rayos incidentes
-  rayos perpendiculares a la superficie
-  proyecciones
-  rayos reflejados de 90° a 61°
-  rayos reflejados de 60° a 31°
-  rayos reflejados de 30° a 0°
-  área sin incidencia solar directa

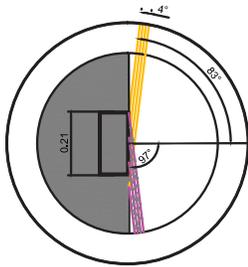
Ilustración 34. Geometría de esfera en solsticio de invierno 14 hrs.



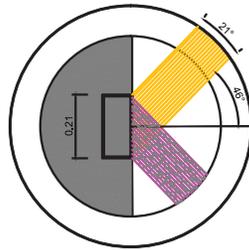
ÁREAS DE COLECCIÓN SOLAR
SEGÚN SU ÁNGULO
ESFERA SOLSTICIO DE INVIERNO 14:00 HRS

SIMBOLOGÍA

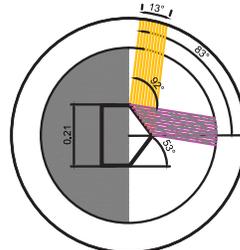
- rayos incidentes
- rayos perpendiculares a la superficie
- - - proyecciones
- rayos reflejados de 90° a 61°
- rayos reflejados de 60° a 31°
- rayos reflejados de 30° a 0°
- área sin incidencia solar directa



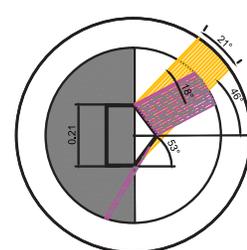
INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA A 90°
ALZADO EN SOLSTICIO DE VERANO 83.62°
PUNTO MÁXIMO



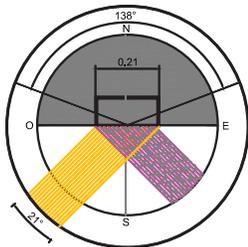
INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 90°
ALZADO EN SOLSTICIO DE INVIERNO 46.65°
PUNTO MÁXIMO



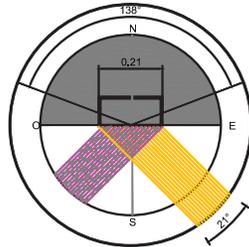
INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 53°
ALZADO EN SOLSTICIO DE VERANO 83.62°
PUNTO MÁXIMO



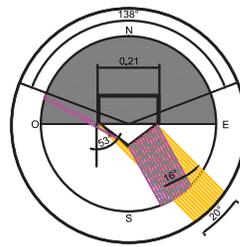
INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 53°
ALZADO EN SOLSTICIO DE INVIERNO 46.65°
PUNTO MÁXIMO



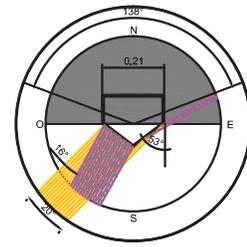
INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 90°
PLANTA EN SOLSTICIO DE VERANO 135°
PUNTO MEDIO



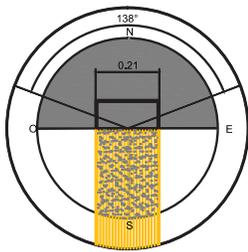
INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 90°
PLANTA EN SOLSTICIO DE VERANO 45°
PUNTO MEDIO



INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 53°
PLANTA EN SOLSTICIO DE VERANO 135°
PUNTO MEDIO



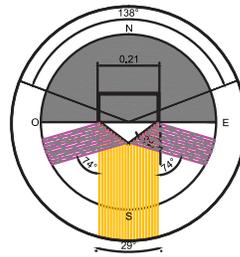
INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 53°
PLANTA EN SOLSTICIO DE VERANO 45°
PUNTO MEDIO



INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 90°
PLANTA EN SOLSTICIO DE VERANO 90°
PUNTO MAXIMO

SIMBOLOGÍA

- rayos incidentes
- rayos perpendiculares a la superficie
- tangente al ángulo de incidencia
- rayos reflejados
- rayos reflejados de 90° a 61°
- rayos reflejados de 60° a 31°
- rayos reflejados de 30° a 0°
- área sin incidencia solar directa



INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 53°
PLANTA EN SOLSTICIO DE VERANO 90°
PUNTO MAXIMO

SIMBOLOGÍA

- rayos incidentes
- rayos perpendiculares a la superficie
- tangente al ángulo de incidencia
- rayos reflejados
- rayos reflejados de 90° a 61°
- rayos reflejados de 60° a 31°
- rayos reflejados de 30° a 0°
- área sin incidencia solar directa

Ilustración 35. geometría de superficie plana. imagen propia

Ilustración 36. geometría de superficie angulada a 53°. imagen propia

Nota: Los esquemas se aplicaron para las 3 geometrías sin embargo, en este apartado solo se presentan el análisis completo de la geometría de esfera. Para ver los esquemas completos. Anexo III "Estudio de reflexión Especular en las diferentes geometrías"

Los datos obtenidos según la geometría de los casos de estudio, se asignará valores de transmitancia siguiendo los parámetros del ángulo de incidencia con respecto al ángulo de la superficie receptora, considerando

que a 90 en un vidrio claro existe %83 de transmitancia, mientras con ángulos superiores a 70 existe 50 %

53. Estos rangos fueron sacados del promedio del coseno de los ángulos representados en la geometrización de la irradiación con respecto a las 3 diferentes fronteras, por lo que para este análisis se determinaron los siguientes rangos:

- a) De 90 a 83, °61 % de transmitancia
- b) De °60 a 58, °31 % de transmitancia
- c) De 30 a 33, °1 % de transmitancia

En las siguientes tablas se determinará el área de la superficie de incidencia con respecto a los rangos anteriores durante los 2 solsticios en el punto de mayor altitud solar, aproximadamente de 12:45 a 13:00 hrs y en otro caso con el acimut a 45 ° con respecto al plano vertical, considerando un horario aproximado entre las 15:00 y 16:00 hrs, con el fin de identificar la geometría adecuada para evitar la mayor reflectancia posible, permitiendo el traspaso de la energía al interior del aparato.

PLANO VERTICAL, DIFERENTES ÁNGULOS Y HORAS	Hr.	Agulo de incidencia solar °	Agulo de incidencia solar °	Área de captación en plano de 21 cm, x 21 cm	Área de captación en plano 180	Área de captación solar según el ángulo de incidencia m2		Área de ángulos reflejados a 90°-61° transmitancia de 83 %		Área de ángulos reflejados a 60°-31° transmitancia de 58 %		Área de ángulos reflejados a 30°-01° transmitancia de 33 %	
						Superficie de plano m2	Área efectiva m2	Superficie de plano m2	Área efectiva m2	Superficie de plano m2	Área efectiva m2	Superficie de plano m2	Área efectiva m2
sticio de verano	12:30	83.62	309.66	0.044100	100.00	0.0441	0	0.00000	0.00	0	0.00000	0.044100	0.04410
	13:00	46.65	188.43	0.044100	100.00	0.0441	0	0.00000	0.00	0.044100	0.04410	0.000000	0.00000
	16:00	34.38	221.14	0.044100	100.00	0.0441	0	0.00000	0.00	0.044100	0.04410	0.000000	0.00000

PLANO ANGULADO A 53°, DIFERENTES ÁNGULOS Y HORAS	Hr.	Agulo de incidencia solar °	Agulo de incidencia solar °	Área de captación en plano de 21 cm, x 21 cm	Área de captación en plano 180	Área de captación solar según el ángulo de incidencia m2		Área de ángulos reflejados a 90°-61° transmitancia de 83 %		Área de ángulos reflejados a 60°-31° transmitancia de 58 %		Área de ángulos reflejados a 30°-01° transmitancia de 33 %	
						Superficie de plano m2	Área efectiva m2	Superficie de plano m2	Área efectiva m2	Superficie de plano m2	Área efectiva m2	Superficie de plano m2	Área efectiva m2
sticio de verano	12:30	83.62	309.66	0.044100	100.00	0.04415	0	0.00000	0.00	0	0.00000	0.04152	0.04152
	13:00	46.65	188.43	0.044100	100.00	0.0554	0.01384	0.01384	25.00	0.027680	0.02768	0.013840	25.00
	16:00	34.38	221.14	0.044100	100.00	0.0554	0.01384	0.01384	25.00	0.013840	0.01384	0.027680	0.02768

Tabla 5. Analisis de área de la geometría de superficie a 90°

Tabla 5. Analisis de área de la geometría de esfera

SEMIESFERA SOLSTICIO DE VERNO A LAS 12:30 HRS	Hr.	Agulo de incidencia solar °	Agulo de incidencia solar °	Área de captación semiesfera con diametro 0.21 m	Área de captación solar en semiesfera 96.38	Área de captación solar según el ángulo de incidencia m2		Área de ángulos reflejados a 90°-61° transmitancia de 83 %		Área de ángulos reflejados a 60°-31° transmitancia de 58 %		Área de ángulos reflejados a 30°-01° transmitancia de 33 %			
						Superficie de casquete esférico m2	Área efectiva m2	Superficie de casquete esférico m2	Área efectiva m2	Superficie plana m2	Área efectiva m2	Superficie plana m2	Área efectiva m2		
sticio de verano	12:30	83.62	309.66	0.069270	53.54	0.0571	0.00956	0.00512	13.80	0.02797	0.01498	40.38	0.031740	0.01700	45.82
	13:00	46.65	188.43	0.069270	133.35	0.0513	0.00945	0.00700	13.64	0.03707	0.02746	53.52	0.022750	0.01685	32.84
	16:00	34.38	221.14	0.069270	75.00	0.0520	0.009302	0.00698	13.43	0.02533	0.01900	36.57	0.034638	0.02598	50.00

PLANO VERTICAL, DIFERENTES ÁNGULOS Y HORAS		Ángulo de incidencia solar		Área de captación en plano		Área de captación solar según el ángulo		Área de ángulos reflejados a *61.-*90 transmittancia de 83 %			Área de ángulos reflejados a *31.-*60 transmittancia de 58 %			Área de ángulos reflejados a *01.-*30 transmittancia de 33 %			
Hr.	Ángulo de incidencia solar	Ángulo de incidencia Acimut solar	Área de captación plano de 21 cm, x 21 cm	Área de captación en plano	Área de captación solar según el ángulo	Superficie de plano m2	Área efectiva m2	Área de captación de energía %	Superficie de plano m2	Área efectiva m2	Área de captación de energía %	Superficie de plano m2	Área efectiva m2	Área de captación de energía %	Superficie de plano m2	Área efectiva m2	Área de captación de energía %
Solsticio de verano	83.62	309.66	0.044100	100.00	0.0441	0	0.00000	0.00	0	0.00000	0.00	0	0.00000	0.00	0.044100	0.04410	100.00
Solsticio de invierno	46.65	188.43	0.044100	100.00	0.0441	0	0.00000	0.00	0	0.00000	0.00	0.044100	0.04410	100.00	0.000000	0.00000	0.00
Solsticio de invierno	34.38	221.14	0.044100	100.00	0.0441	0	0.00000	0.00	0	0.00000	0.00	0.044100	0.04410	100.00	0.0000000	0.00000	0.00
PLANO ÁNGULADO A *53, DIFERENTES ÁNGULOS Y HORAS		Ángulo de incidencia solar		Área de captación en plano		Área de captación solar según el ángulo		Área de ángulos reflejados a *61.-*90 transmittancia de 83 %			Área de ángulos reflejados a *31.-*60 transmittancia de 58 %			Área de ángulos reflejados a *01.-*30 transmittancia de 33 %			
Hr.	Ángulo de incidencia solar	Ángulo de incidencia Acimut solar	Área de captación plano de 21 cm, x 21 cm	Área de captación en plano	Área de captación solar según el ángulo	Superficie de plano m2	Área efectiva m2	Área de captación de energía %	Superficie de plano m2	Área efectiva m2	Área de captación de energía %	Superficie de plano m2	Área efectiva m2	Área de captación de energía %	Superficie de plano m2	Área efectiva m2	Área de captación de energía %
Solsticio de verano	83.62	309.66	0.044100	100.00	0.0415	0	0.00000	0.00	0	0.00000	0.00	0	0.00000	0.00	0.04152	0.04152	100.00
Solsticio de invierno	46.65	188.43	0.044100	100.00	0.0554	0.01384	0.01384	25.00	0.027680	0.02768	50.00	0.013840	0.01384	25.00	0.013840	0.01384	25.00
Solsticio de invierno	34.38	221.14	0.044100	100.00	0.0554	0.01384	0.01384	25.00	0.013840	0.01384	25.00	0.013840	0.01384	25.00	0.027680	0.02768	50.00

Tabla 6. Analisis de área de la geometría de superficie angulada a 53 °

PLANO VERTICAL SOLSTICIO DE VERANO 12:30 HRS		Ángulos efectivos de incidencia		Radiación Hipotética W/M2		Porcentaje por área de transmittancia		Área efectiva		Transmittancia		Watts /m2 efectivos		Watts recibidos en el área	
Superficie M2	Ángulos efectivos de incidencia	Radiación Hipotética W/M2	Porcentaje por área de transmittancia	Área efectiva	Transmittancia	Watts /m2 efectivos	Watts recibidos en el área	Superficie M2	Radiación Hipotética W/M2	Transmittancia máxima	Watts recibidos en el área	Superficie M2	Radiación Hipotética W/M2	Transmittancia máxima	Watts recibidos en el área
0.0441		750	0.00	0	0.83	622.50	0.00	0	750	0.83	27.45225	0.0441	750	0.83	27.45225
0.0441		750	0.00	0	0.58	435.00	0.00	0	750	0.58	19.18	0.0441	750	0.58	19.18
0.0441		750	100.00	0.0441	0.33	247.5	10.91	0.0441	750	0.33	10.91	0.0441	750	0.33	10.91
transmittancia general		39.76 %		TOTAL		10.91		TOTAL		19.18		TOTAL		19.18	
PLANO VERTICAL SOLSTICIO DE INVIERNO 13:00 HRS		Ángulos efectivos de incidencia		Radiación Hipotética W/M2		Porcentaje por área de transmittancia		Área efectiva		Transmittancia		Watts /m2 efectivos		Watts recibidos en el área	
Superficie M2	Ángulos efectivos de incidencia	Radiación Hipotética W/M2	Porcentaje por área de transmittancia	Área efectiva	Transmittancia	Watts /m2 efectivos	Watts recibidos en el área	Superficie M2	Radiación Hipotética W/M2	Transmittancia máxima	Watts recibidos en el área	Superficie M2	Radiación Hipotética W/M2	Transmittancia máxima	Watts recibidos en el área
0.0441		750	0.00	0	0.83	622.50	0.00	0	750	0.83	27.45225	0.0441	750	0.83	27.45225
0.0441		750	100.00	0.0441	0.58	435.00	19.18	0.0441	750	0.58	19.18	0.0441	750	0.58	19.18
0.0441		750	0.00	0	0.33	247.5	0.00	0	750	0.33	10.91	0.0441	750	0.33	10.91
transmittancia general		69.88 %		TOTAL		19.18		TOTAL		19.18		TOTAL		19.18	
PLANO VERTICAL SOLSTICIO DE INVIERNO 16:00 HRS		Ángulos efectivos de incidencia		Radiación Hipotética W/M2		Porcentaje por área de transmittancia		Área efectiva		Transmittancia		Watts /m2 efectivos		Watts recibidos en el área	
Superficie M2	Ángulos efectivos de incidencia	Radiación Hipotética W/M2	Porcentaje por área de transmittancia	Área efectiva	Transmittancia	Watts /m2 efectivos	Watts recibidos en el área	Superficie M2	Radiación Hipotética W/M2	Transmittancia máxima	Watts recibidos en el área	Superficie M2	Radiación Hipotética W/M2	Transmittancia máxima	Watts recibidos en el área
0.0441		750	0.00	0	0.83	622.50	0.00	0	750	0.83	27.45225	0.0441	750	0.83	27.45225
0.0441		750	100.00	0.0441	0.58	435.00	19.18	0.0441	750	0.58	19.18	0.0441	750	0.58	19.18
0.0441		750	0.00	0	0.33	247.5	0.00	0	750	0.33	10.91	0.0441	750	0.33	10.91
transmittancia general		69.88 %		TOTAL		19.18		TOTAL		19.18		TOTAL		19.18	

Tabla 7. Resultados de transmittancia de la geometría superficie plana a 90 °

SEMIESFERA SOLSTICIO DE VERANO 12:30 HRS	Superficie M2	Ángulos efectivos de incidencia	Radiación Hipotética W/M2	Porcentaje por área de transmitancia	Área efectiva	Transmitancia	Watts /m2 efectivos	Watts recibidos en el área	Radiación Hipotética W/M2	Transmitancia máxima	Watts recibidos en el área
de "90 a "61	0.0371		750	13.80	0.00511885	0.83	622.50	3.19	750	0.83	23.0886723
de "60 a "31	0.0371		750	40.38	0.01497638	0.58	435.00	6.51			
de "30 a "1	0.0371		750	45.82	0.0169501	0.33	247.5	4.21			
de "60 a "31 superficie plana	0.0048		750	100.00	0.0048	0.58	435.00	2.09			
transmitancia general			69.28 %				TOTAL	16.00			
SEMIESFERA SOLSTICIO DE INVIERNO 13:00 HRS	Superficie M2	Ángulos efectivos de incidencia	Radiación Hipotética W/M2	Porcentaje por área de transmitancia	Área efectiva	Transmitancia	Watts /m2 efectivos	Watts recibidos en el área	Radiación Hipotética W/M2	Transmitancia máxima	Watts recibidos en el área
de "90 a "61	0.0513		750	13.64	0.00700088	0.83	622.50	4.36	750	0.83	31.9451593
de "60 a "31	0.0513		750	53.52	0.02746269	0.58	435.00	11.95			
de "30 a "1	0.0513		750	32.84	0.01685396	0.33	247.5	4.17			
de "60 a "31 superficie plana	0.0048		750	100.00	0.0048	0.58	435.00	2.09			
transmitancia general			70.63 %				TOTAL	22.56			
SEMIESFERA SOLSTICIO DE INVIERNO 16:00 HRS	Superficie M2	Ángulos efectivos de incidencia	Radiación Hipotética W/M2	Porcentaje por área de transmitancia	Área efectiva	Transmitancia	Watts /m2 efectivos	Watts recibidos en el área	Radiación Hipotética W/M2	Transmitancia máxima	Watts recibidos en el área
de "90 a "61	0.0520		750	13.43	0.0069765	0.83	622.50	4.34	750	0.83	32.3404313
de "60 a "31	0.0520		750	36.57	0.0189975	0.58	435.00	8.26			
de "30 a "1	0.0520		750	50.00	0.0259785	0.33	247.5	6.43			
de "60 a "31 superficie plana	0.0024		750	100.00	0.0024	0.58	435.00	1.04			
de "30 a "1 superficie plana	0.0024		750	100.00	0.0024	0.33	247.5	0.59			
transmitancia general			63.93 %				TOTAL	20.67			

Tabla 8. Resultados de transmitancia de la geometría de esfera

Tabla 9. Resultados de transmitancia de la geometría de plano angulado a 53 °

PLANO ANGULAR "53 SOLSTICIO DE VERANO 12:30 HRS	Superficie M2	Ángulos efectivos de incidencia	Radiación Hipotética W/M2	Porcentaje por área de transmitancia	Área efectiva	Transmitancia	Watts /m2 efectivos	Watts recibidos en el área	Superficie M2	Radiación Hipotética W/M2	Transmitancia máxima	Watts recibidos en el área
de "90 a "61	0.0415		750	0.00	0	0.83	622.50	0.00	0.0415	750	0.83	25.8462
de "60 a "31	0.0415		750	0.00	0	0.58	435.00	0.00				
de "30 a "1	0.0415		750	100.00	0.04152	0.33	247.5	10.28				
transmitancia general			39.76 %				TOTAL	10.28				
PLANO ANGULAR "53 SOLSTICIO DE INVIERNO 13:00 HRS	Superficie M2	Ángulos efectivos de incidencia	Radiación Hipotética W/M2	Porcentaje por área de transmitancia	Área efectiva	Transmitancia	Watts /m2 efectivos	Watts recibidos en el área	Superficie M2	Radiación Hipotética W/M2	Transmitancia máxima	Watts recibidos en el área
de "90 a "61	0.0554		750	25.00	0.01384	0.83	622.50	8.62	0.0554	750	0.83	34.4616
de "60 a "31	0.0554		750	50.00	0.02768	0.58	435.00	12.04				
de "30 a "1	0.0554		750	25.00	0.01384	0.33	247.5	3.43				
transmitancia general			69.88 %				TOTAL	24.08				
PLANO ANGULAR "53 SOLSTICIO DE INVIERNO 16:00 HRS	Superficie M2	Ángulos efectivos de incidencia	Radiación Hipotética W/M2	Porcentaje por área de transmitancia	Área efectiva	Transmitancia	Watts /m2 efectivos	Watts recibidos en el área	Superficie M2	Radiación Hipotética W/M2	Transmitancia máxima	Watts recibidos en el área
de "90 a "61	0.0554		750	25.00	0.01384	0.83	622.50	8.62	0.0554	750	0.83	34.4616
de "60 a "31	0.0554		750	50.00	0.02768	0.58	435.00	6.02				
de "30 a "1	0.0554		750	50.00	0.02768	0.33	247.5	6.85				
transmitancia general			62.35 %				TOTAL	21.49				

Los resultados refieren a la capacidad de transmitancia según la geometría y el ángulo de incidencia solar con respecto al plano con lo que podemos concluir los siguientes puntos:

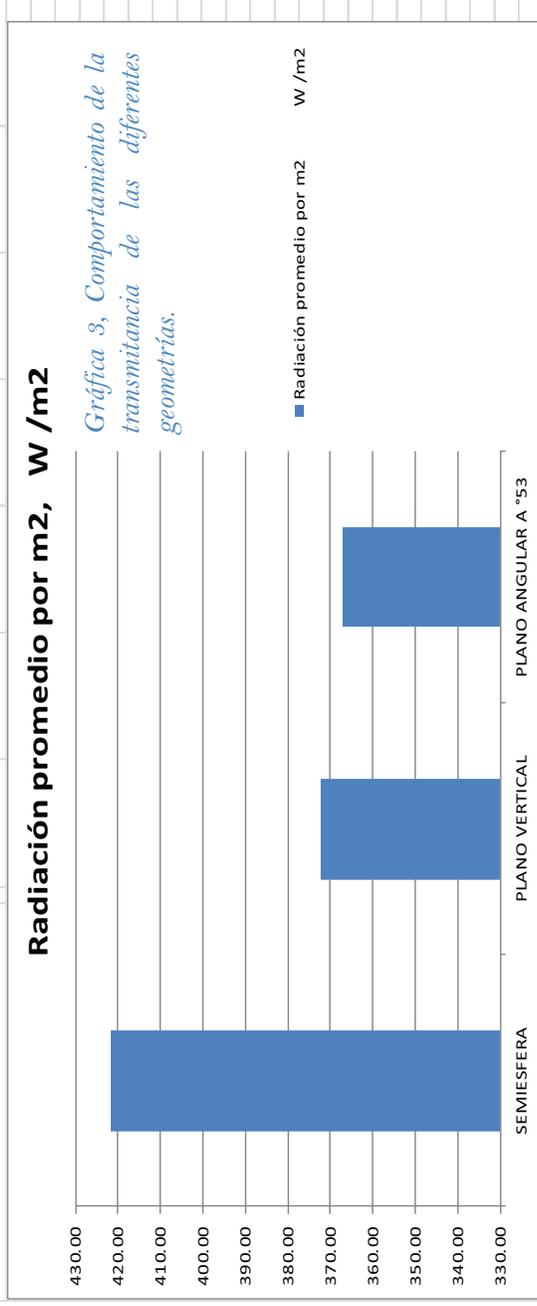
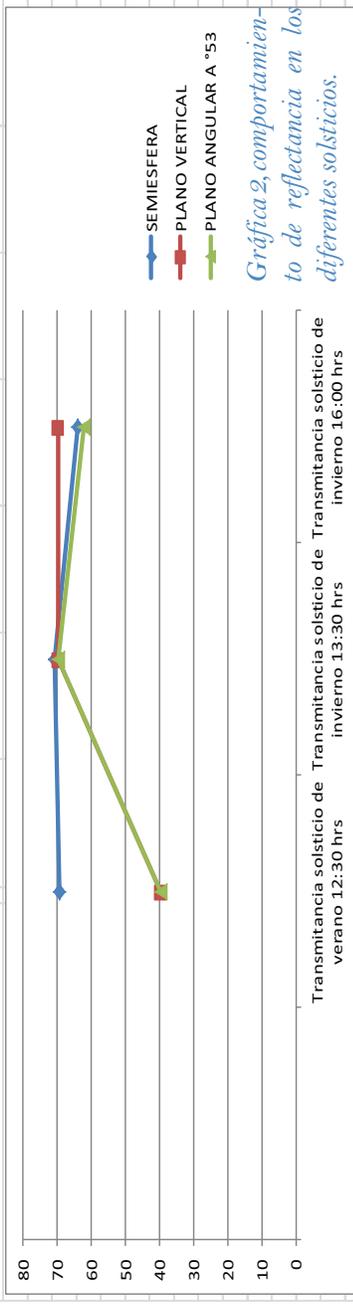
1.- La semiesfera tiene una transmitancia general durante el año de 0.67, mientras que el plano vertical y el plano angular a 53 ° obtienen un coeficiente de 0.59 y 0.57.53 respectivamente.

2.- Las áreas de captación solar en todas las geometrías es diferente, teniendo mayor captación solar la semiesfera con 0.05 m2 de área en un módulo de 21 cm x 21 cm, mientras que el plano vertical tiene 0.041 m2 y el plano angulado a 53 le corresponde 0.051 m2.

3.- La semiesfera siempre tiene un punto con incidencia tangencial, lo que permite mayor transferencia de energía al interior del aparato.

4.- La semiesfera refleja un comportamiento más estable en los puntos máximos y mínimos de altitud y acimut de los solsticios de invierno y verano, por lo que el sistema permite el paso de la energía mayor a pesar de los cambios de la bóveda celeste.

PROMEDIOS GENERALES POR TRANSMITANCIA DE RADIACIÓN DIRECTA		Transmitancia solsticio de verano 12:30 hrs	Transmitancia solsticio de invierno 13:30 hrs	Transmitancia solsticio de invierno 16:00 hrs	Promedio de radiación transmitida en Watts	Superficie promedio de incidencia m2	Radiación promedio por m2 W/m2
SEMIESFERA	69.28	70.63	63.93	67.95	19.74	0.05	421.74
PLANO VERTICAL	39.76	69.88	69.88	59.84	16.43	0.04	372.41
PLANO ANGULAR A 53	39.76	69.88	62.35	57.33	18.61	0.05	367.08



Los planos verticales y angulados a 53° muestran una ineficiencia en el solsticio de verano, aunque contrariamente en el solsticio de invierno muestran un mejor comportamiento que la semiesfera.

5.- En un área de 1 m^2 en el plano vertical la semiesfera es capaz de transmitir al interior cerca de 421.74 W , mientras que el plano vertical 372.41 W y el plano angulado 367.08 W .

6.- Lo datos arrojados por las tablas anteriores refieren a que la geometría con mayor eficiencia en la colección solar con respecto al ángulo de incidencia del espectro electromagnético es la semiesfera, con una eficiencia superior al 11.30% con respecto a el plano vertical y de al plano angulado en resultó superior por 12.79%

Al demostrare ser más eficiente la geometría de esfera se tomó como punto de referencia para el diseño de prototipo.

3.2.5.- EL AGUA

El agua es el compuesto químico más abundante en nuestro planeta y es indispensable tanto para los

procesos biológicos de vida, por lo que es fundamental su uso para la vida y su desarrollo y es parte fundamental en la generación de este proyecto debido a sus propiedades físicas, al contar con un gran calor específico. El agua absorbe grandes cantidades de calor que utiliza en romper los puentes de hidrógeno. Su temperatura desciende más lentamente que la de otros líquidos a medida que va liberando energía al enfriarse. El calor específico del agua es $1 \text{ caloría/gramo } ^\circ\text{C} = 4,186 \text{ julios/gramo } ^\circ\text{C}$ que es más alto que el de cualquier otra sustancia común. Por ello, el agua desempeña un papel muy importante en la regulación de la temperatura. El calor específico por gramo de agua es mucho más alto que el de un metal. Debido a esta propiedad física podemos catalogar al agua como materia de alta masa térmica.

Efecto de termosifón

El efecto termosifón, o tiro térmico es un fenómeno que se produce en los fluidos cuando se calientan. Las sustancias, al calentarse se dilatan y entonces disminuye su densidad. Si se considera la masa de un fluido, la porción más caliente tiene menos densidad, de modo que asciende

sobre la porción de fluido más frío. Este efecto es el responsable de muchos otros, como el del intercambio de calor por convección. También puede servir para provocar una circulación natural, en los ambientes habitados o en redes de tuberías. El termosifón es muy importante ya que el prototipo contempla la utilización de medios físicos y no mecánicos para el circulamiento hídrico.

Calculo de agua a contener en el prototipo

Para determinar los volúmenes de agua contenidos dentro del prototipo,

se debe analizar la reglamentación correspondiente y los usos próximos a la realidad.

Se propone un caso hipotético de vivienda de 4 integrantes, por lo que según el reglamento de construcciones del D.F en sus Normas Técnicas Complementarias ⁵⁴. Debe dotarse mínimamente de 150 lts por habitante al día para abastecer sus necesidades. A continuación se realizará un análisis del agua utilizada en la vivienda pluri-familiar según estadísticas de CONAGUA.

Como se puede observar en la tabla 11, tenemos un consumo de 637

Tabla 11. Estudio de consumo de agua para 4 personas.

Contención mínima		4	150	600	LTS							
CONSUMO DE AGUA RESIDENCIAL DIARIO												
CALCULO DE CONSUMO DE AGUA								TEMPERATURA AGUA		TIPO DE RESIDUO		
Espacio	Concepto	Ahorradora LTS	Normal LTS	Piezas	Usos diarios	Litros Ahorrador	Litros Normal	Agua Fria	Agua Caliente 40°C	Residuo Aguas Jabonosas	Residuo Aguas Negras	Residuo Aguas Grasosas
Baño	Tina	200	200	0	0.13	0	0	x	0	0	x	x
	Regadera	60	82	2	4	240	328	x	328	240	x	x
	Excusado	5	6	2	24	120	144	144	x	x	120	x
	Lavabo	1	1.5	2	24	24	36	36	x	24	x	x
TOTALES						384	508	180	328	264	120	0
						LTS	LTS	LTS	LTS	LTS	LTS	LTS
Cocina	Fregadero	7.5	10	1	3	22.5	30	15	15	x	x	22.5
	Cocción	1	1	3	3	9	9	9	x	x	x	x
TOTALES						31.5	39	24	15	0	0	22.5
						LTS	LTS	LTS	LTS	LTS	LTS	LTS
Otros	Lavadora	70	100	1	0.33	23.1	33	33	x	23.1	x	x
	Limpieza	0.5	0.75	60	1	30	45	45	x	x	30	x
	Riego jardín	1	1	3	0.33	0.99	0.99	0.99	x	x	x	x
	Lav. coche	40	40	2	0.15	12	12	12	x	12	x	x
TOTALES						66.09	90.99	90.99	0	35.1	30	0
						LTS	LTS	LTS	LTS	LTS	LTS	LTS
CONSUMO		TOTAL	AJUSTE	DIARIO	MENSUAL	BIMESTRAL	UNIDAD	TEMPERATURA DEL AGUA		CANTIDAD	UNIDAD	TIEMPO
Potable Ahorrador		481.59	1.05	505.67	15170.085	30340.17	LTS	Agua Caliente 40°C		343	LTS	Diarios
Potable Normal		637.99	1.05	669.89	20096.685	40193.37	LTS	Agua Fria		294.99	LTS	Diarios
DIFERENCIA				164.22	4926.60	9853.20	LTS					

⁵⁴ Normas Técnicas complementarias, Capitulo 3, Higiene, servicios y acondicionamiento. Tabla 3.1 la provisión mínima de agua potable.

lts diarios con sistemas no ahorradores, y con sistemas ahorradores 481 lts diarios, lo cual el sistema ahorrador de agua cumple con la capacidad de almacenamiento mínimo que el reglamento de construcciones permite, mientras que el sistema no ahorrador sobrepasa por 37 lts estimación mínima del reglamento, siendo de 343 lts de agua caliente y 294 lts de agua fría. Para tomar en cuenta valores que representen una seguridad en el abastecimiento de agua caliente a 40 °C, por lo que la contención por departamento será mínimamente de 343 lts a 40 °C, o su equivalente en lts/°C de agua caliente por día para 4 personas.

Según las estadísticas de calentadores solares cilíndricos, y contemplando el ejemplo de 5 personas, se supondría un calentador solar de 200 lts para el caso de estudio, por lo que sus alcances mínimos (dependiendo de las condiciones climáticas) deberían encontrarse dichos 200 lts a 60 °C en su hora máxima de las 6 de la tarde. Por otro lado, la mezcla de estos 200 lts con agua fría para disminuir la temperatura a 36 °C supone una mezcla de 280 lts de agua a 12 °C para obtener 480 lts a 36 °C. Estos datos obtenidos de la ficha técnica de los calentadores Bosch deberán ser verificados. Estos datos comparativos nos indican un parámetro de referencia, sin

embargo en el prototipo se calculó con ecuaciones de termodinámica de temperatura de equilibrio.

Si es necesario obtener 343 litros de agua a 40 °C y consideramos que estos 343 lts están disponibles en un almacenamiento, divididos en el agua contenida en el colector solar y otra porción en el almacenamiento de agua fría, es necesario encontrar esta proporción para poder dimensionar los contenedores del calentador solar. Para esto se estimó la eficiencia del sistema según su geometría por lo que retomaremos el análisis de la eficiencia del sistema exterior, ya que podemos asumir que la energía que se introduce al interior del sistema se podrá aprovechar en un alto porcentaje.

Otro dato que es necesario saber para el cálculo es la cantidad de energía que llega al sistema, para lo cual se solicitaron los datos meteorológicos de radiación solar al “Meteorológico Nacional” con su estación meteorológica instalada en Tacubaya. Se procesaron los datos tomando en cuenta el 21 de junio (solsticio de verano) y 21 de diciembre (solsticio de invierno) tomando en cuenta 15 días anteriores y 15 posteriores para así hacer un promedio mensual de la radiación por hora, con esto evitamos mediciones alteradas por fenómenos

PROMEDIOS GENERALES POR TRANSMITANCIA DE RADIACIÓN DIRECTA	Transmitancia solsticio de verano 12:30 hrs	Transmitancia solsticio de invierno 13:30 hrs	Transmitancia solsticio de invierno 16:00 hrs	Promedio general de transmitancia	Promedio de radiación transmitida en Watts	Superficie promedio de incidencia m2	Radiación promedio por m2 W/m2
SEMIESFERA	69.28	70.63	63.93	67.95	19.74	0.052	421.74
PLANO VERTICAL	39.76	69.88	69.88	59.84	16.43	0.044	372.41
PLANO ANGULAR A 53°	39.76	69.88	62.35	57.33	18.61	0.051	367.08

Tabla 12. reflectancia de las geometrías.

CÁLCULO DE LA ENERGÍA NECESARIA PARA CALENTAR EL AGUA	Q en Joules	lts. a calentar	Calor específico	Temp. Final	Temp. Inicial
Solticio de invierno	38766546	343	4186	40.00	13
Solticio de verano	31587556	343	4186	40.00	18

Tabla 13. Cálculo de energía necesaria

meteorológicos y tendremos una cantidad de W/m² más precisa.

Nota: Datos de radiación solar, obtenidos del SMN. Anexo III "Radiación solar solsticio de verano e invierno"

Se retomará la tabla de eficiencias por transmitancia de la semiesfera promedio del 67.95 % de la energía recibida en la frontera exterior para ambos solsticios. Recordemos que este dato se obtuvo del análisis de reflexión por el ángulo de incidencia del sol sobre la geometría. (ver tabla 12).

Se calculó la energía necesaria para calentar el agua de los 343 litros de agua a 40 °C, teniendo como temperatura inicial del agua de 13 °C en invierno y 18 °C en verano. La fórmula para calcular la energía es la siguiente, $Q = m \cdot ce \cdot dT$

Donde:

Q= Calor, m= masa

ce= Calor específico

dT = diferencial de temperatura

Como podremos ver en la tabla anterior la cantidad de energía que necesitamos coleccionar en el módulo para el solsticio de invierno es de 38766 KJoules y para el solsticio de verano de 31587 Kjoules. Esta cantidad de energía estará repartida durante todo el día, en la superficie que comprenden 64 módulos, esto respetando las medidas mínimas que dicta el reglamento de construcciones del Distrito Federal, por lo que el paso siguiente es comparar la energía incidente en la superficie iluminada en cada módulo en los diferentes solsticios.

3.3.- DISEÑO DEL PROTOTIPO

3.3.1.-El ojo humano como referencia biomimética

Una vez determinada la geometría óptima para el sistema de Frontera exterior, se tomó en consideración el funcionamiento del ojo humano como referencia de funcionamiento debido a la similitud su geometría y función.

El ojo humano es un sistema resultado de millones de años de evolución, se encarga del percibir el espectro electromagnético a través de sensores (conos y bastones) transformando la energía en impulsos eléctricos que el cerebro interpreta. Tiene una forma casi esférica con dimensiones aproximadas de 2.5 cm de diámetro y en su interior se encuentra lleno de un gel transparente llamado humor vítreo entre la retina y el cristalino,

El ojo es un órgano muy complejo, sin embargo solo unos componentes de su sistema son de interés para el proyecto y que son referencias claras de funcionamiento para el sistema, siendo las más importantes su forma, la córnea, el coroides, el humor vítreo y la retina. (Ver ilustración 37).
 Cornea: Es la parte frontal del ojo y la

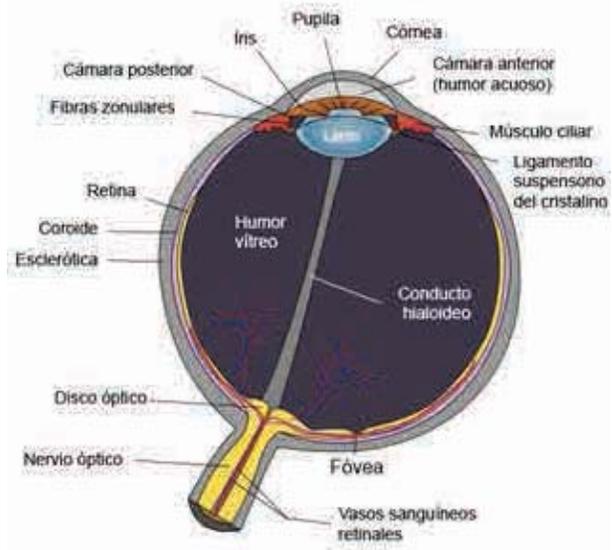


Ilustración 37. imagen obtenida con fines didácticos de: <http://www.clinicamenteria.es>

primera frontera directa con el exterior, esta cubre al iris y la pupila, tiene una composición transparente ya que debe permitir el acceso pleno del espectro electromagnético, por lo cual en este elemento solo existe refracción al interior del ojo. Este componente en el sistema lo denominamos Sistema de frontera exterior y fue estudiado en el apartado anterior.

Coroides: Es una membrana con alta irrigación sanguínea, tiene una coloración oscura y se encuentra entre la retina y la esclerótica del ojo, su función es mantener una temperatura constante en el ojo. En el prototipo colector lo podremos definir como el sistema al vacío o con pocas partículas de aire, que al contrario de la función del ojo y distribuir una temper-

Humor vítreo: es un líquido gelatinoso y transparente que rellena el espacio comprendido entre la superficie interna de la retina y la cara posterior del cristalino, este mantiene la forma del globo ocular y está compuesto por 99 % agua. En el prototipo este será la contención de agua a calentar.

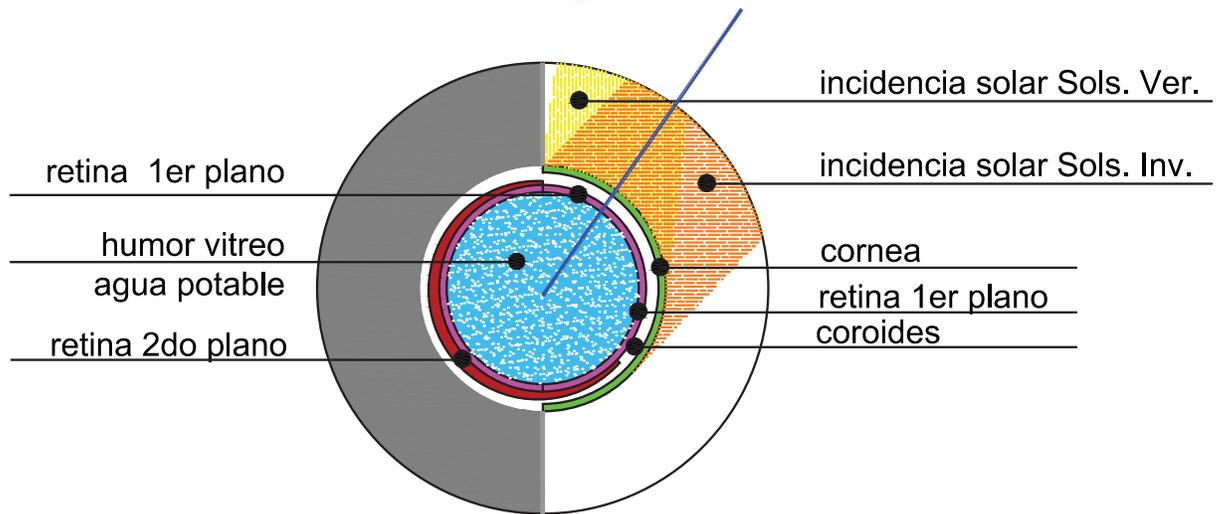
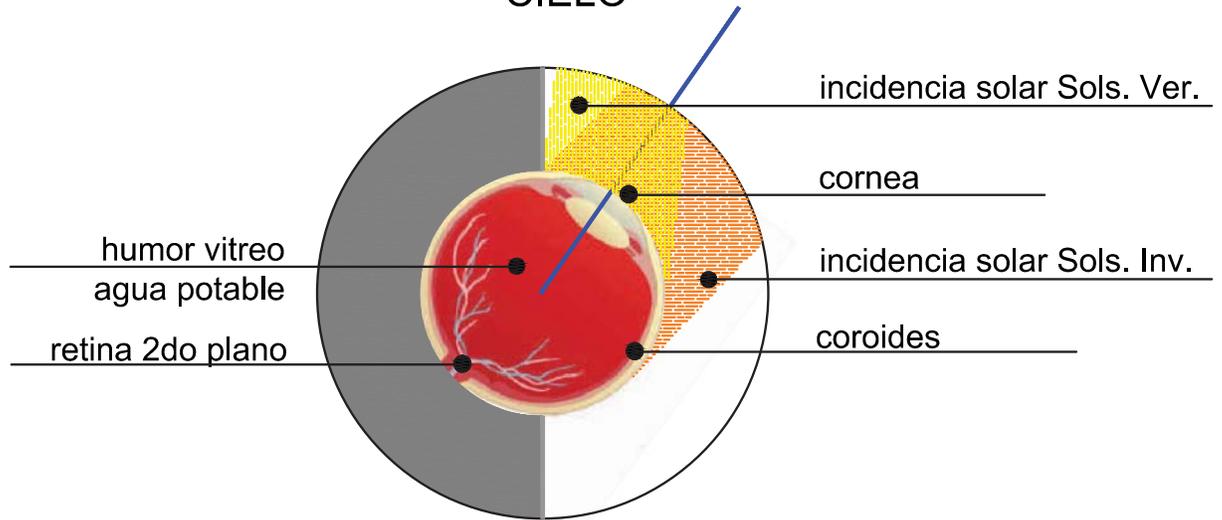
La retina: Es el tejido sensible a la luz y se sitúa en la superficie interior del ojo, se encarga de transformar el espectro electromagnético en impulsos eléctricos que posteriormente son andados al cerebro por el nervio óptico. Esta es una de las partes principales del sistema y se considera como el contenedor de agua, a lo cual podemos asumir que a diferencia del ojo, el prototipo tendrá una doble o triple retina, siendo esta en primer plano del contenedor, una vez ingresada por la transmitancia del vidrio con sulfito de hierro, por ser un contenedor, tendrá un segundo plano en el interior fungiendo como una segunda retina. Esta retina será la encargada de coleccionar la mayor cantidad de energía que será transmitida al agua por conducción.

A pesar que el ojo se compone de más elementos, los anteriormente mencionados son los sistemas que competen altamente al prototipo. Dentro de los elementos descartados se encuentra el cristalino, que es encar-

gada de enfocar la imagen a través de sus propiedades elásticas, no es de vital funcionamiento al no pretender una concentración en un punto específico en la retina, si no que esta puede corresponder a una superficie mayor donde los rayos directos incidan, por lo que el sistema puede prescindir del efecto lupa adaptativa.

Por su similitud de funcionamiento, el ojo humano es una referencia inmediata en la manipulación del espectro electromagnético, con la diferencia que contiene elementos como pestañas y pupilas que lo protegen contra el exceso de luz, a pesar de esto es recomendable no mirar directamente a fuentes de radiación luminosa ya que esto puede degradar paulatinamente la función del órgano, por el contrario, el prototipo que esta investigación comprende necesita obtener la mayor cantidad de energía posible, por lo que el sistema se diseñó como si el ojo estuviera mirando directamente a la fuente de luz contemplando los ángulos de incidencia solar en los puntos máximos y mínimos (Ver ilustración 99), pero para esto, es necesario estudiar los puntos de incidencia para diseñar una retina (o colección solar) con la ubicación más favorable.

MODELO OJO HUMANO MIRANDO AL CIELO



MODELO REPRESENTATIVO DEL OJO EN EL PROTOTIPO

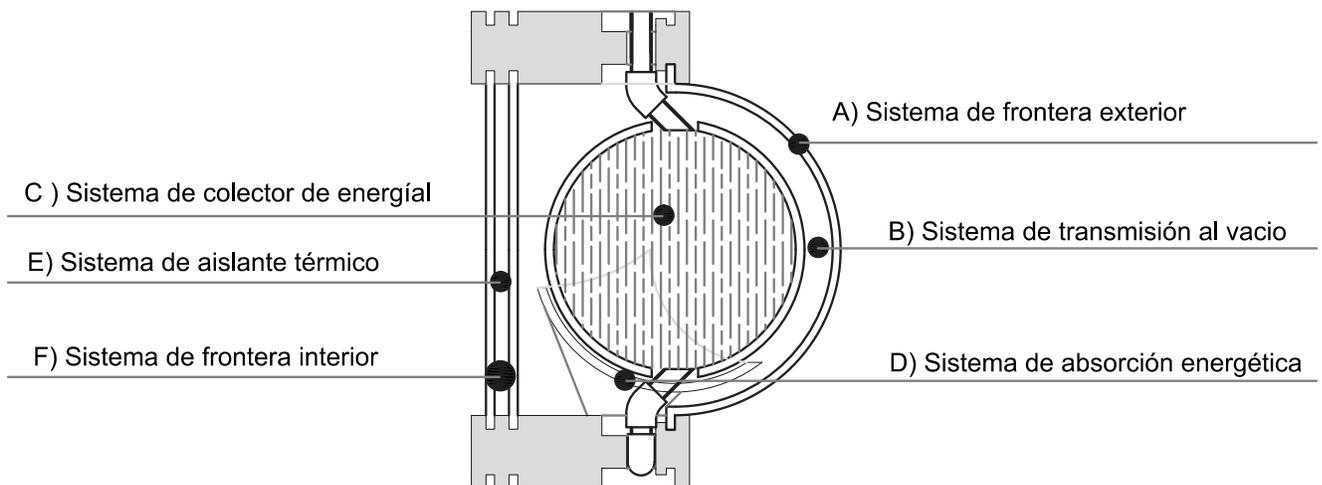
Ilustración 38. Modelo representativo del ojo humano en el prototipo

3.3.2.- Los sistemas del prototipo

Dados los fenómenos ópticos del comportamiento energético óptico, podremos definir que del total de la energía que llega a un cuerpo, esta se distribuirá en reflectancia, transmitancia, absortancia y emitancia, por lo cual es importante identificar los materiales que dentro del aparato los sistemas sean más convenientes para la función a realizar siendo las siguientes: (ver ilustración 39).

A continuación se describirá cada sistema y el proceso para obtener su diseño a partir de las variables involucradas en el diseño del apartado anterior.

Ilustración 39. Sistemas del prototipo. Imagen propia.



A) Sistema de frontera exterior

Este sistema corresponde al resultado del análisis geométrico (ver estudio de reflexión por geometría). La semi esfera fue seleccionada por sus comportamiento frente a los cambios en la trayectoria de la bóveda celeste a través del año y debe de tener como características ópticas, mayor transmitancia, poca reflectancia y absortancia del espectro electromagnético, con el objetivo de transferir la mayor cantidad de energía al interior del aparato. Se seleccionó como material el vidrio incoloro comercial: transmite el 83 % de la energía solar, se refleja el 8 % y 9 % es absorbida por el vidrio.

Sus dimensiones están relacionadas con el sistema de “C” de absorción energética, teniendo en cuenta dejar una separación para entre ambos para el funcionamiento del sistema “B” de transmisión al vacío.

B) Sistema de transmisión al vacío

El sistema requiere que se atraviese la mayor cantidad de energía sin obstáculos. Al ser un espacio al vacío no existirá materia en esta cámara, por lo que se evitarán las pérdidas por conducción y convección en la misma, y solo estará presente la pérdida por radiación a través de la emitanza de los materiales en forma de onda corta. La refracción de la luz en este sistema se considera igual que en el aire, sin embargo este evita las pérdidas por conducción y convección.

C) Sistema colector de energía

Esta es la frontera entre el sistema al vacío y la acumulación de agua, esta frontera debe tener la característica de una absorción alta, transmitancia media y poca reflectancia, y corresponde a 2 elementos, el contenedor y el agua misma, que al estar en contacto mantienen un intercambio energético por conducción, y está estrechamente relacionado con el siguiente sistema colector de energía. Se consideró como material el vidrio transparente de boro silicato, ambos elementos tienen una masa térmica alta por lo que son buenos contenedores energéticos. Sus dimensiones fueron calculadas conforme al cálculo de la contención de agua necesaria

para cubrir las necesidades de 5 personas (ver cálculo de agua a contener) y aquí se encuentra el empleo de termosifón, en un modelo activo de circulación de agua.

Una de las características principales de este sistema es el efecto óptico por refracción del agua, el cual actúa como efecto lupa concentrando los rayos en un punto específico concentrándolos en el Sistema “D” de absorción energética.

Para determinar el efecto lupa se realizó el siguiente estudio de refracción en los elementos a partir del sistema “A” frontera exterior, atravesando el sistema “B” de transmisión al vacío, el sistema “C” colector de energía, culminando en el sistema “D” de absorción energética. Dicho estudio se muestra a continuación.

3.3.3.- Estudio de la incidencia solar dentro del sistema por refracción

Para este estudio se tomó la ley de SNELL (mencionada anteriormente dentro de las variables y materiales para el prototipo) para la refracción en la incidencia solar en los materiales, obteniendo los ángulos y direcciones precisas para determinar el comportamiento del espectro electromagnético con el aparato colector. Se

to del aparato hasta el aparato colector. En este punto aprovecharemos la opor-tunidad para mencionar la relación del ojo humano con los elementos que componen el prototipo, siendo:

- 1.- Refracción cornea (frontera exterior).
- 2.- Refracción coroides (sistema al vacío).
- 3.- Refracción retina 1er plano (vidrio).
- 4.- Refracción humor vítreo (agua).
- 5.- Área de colección, retina 2do plano (cuerpo negro de metal).

Este estudio tiene el objetivo de encontrar los puntos en la geometría del prototipo, para potencializar la absorción principalmente de la irradiación directa, y estas áreas se optimizarán en el sistema con un cuerpo negro para la mejor absorción de energía (contenido en el sistema “D” de colección de energía).

A continuación se muestra el análisis de ángulos para determinar la refracción de las diversas capas de materiales.

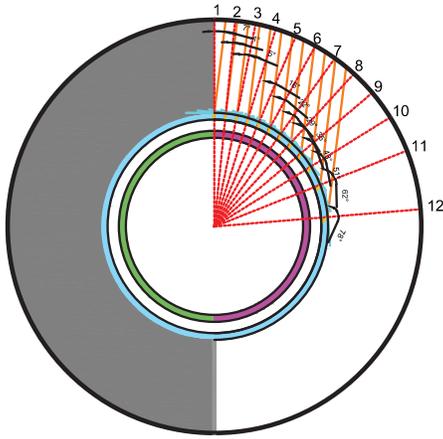
Nota: Para ver el cálculo completo de los ángulos, ver Anexo IV.- Cálculo de ángulos de refracción

Tabla 16. Ejemplo del calculo de los ángulos de refracción por material

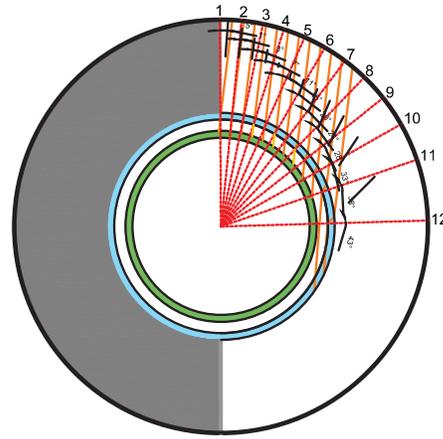
1.- REFRACCIÓN FRONTERA EXTERIOR (VIDRIO)									
Número de rayo	refracción con respecto al	$\theta 1$	Senos de ángulo $\theta 1$	material	Índice de refracción material	SEN-1 $\theta 2$	$\theta 2$	material	Índice de refracción material
1	orientado	7	0.121	aire	1.00029	0.0796	4.56	vidrio	1.52
2	orientado	1	0.017	aire	1.00029	0.0112	0.64	vidrio	1.52
3	orientado	5	0.0871	aire	1.00029	0.0573	3.28	vidrio	1.52
4	orientado	10	0.1736	aire	1.00029	0.1142	6.55	vidrio	1.52
5	orientado	16	0.275	aire	1.00029	0.1810	10.42	vidrio	1.52
6	orientado	22	0.374	aire	1.00029	0.2461	14.24	vidrio	1.52
7	orientado	29	0.484	aire	1.00029	0.3185	18.57	vidrio	1.52
8	orientado	35	0.573	aire	1.00029	0.3771	22.15	vidrio	1.52
9	orientado	43	0.68	aire	1.00029	0.4475	26.58	vidrio	1.52
10	orientado	51	0.777	aire	1.00029	0.5113	30.75	vidrio	1.52
11	orientado	62	0.882	aire	1.00029	0.5804	35.47	vidrio	1.52
12	orientado	78	0.978	aire	1.00029	0.6436	40.06	vidrio	1.52

2.- REFRACCIÓN COROIDES (SISTEMA AL VACIO - AIRE)									
Número de rayo	refracción con respecto al	$\theta 1$	Senos de ángulo $\theta 1$	material	Índice de refracción material	SEN-1 $\theta 2$	$\theta 2$	material	Índice de refracción material
1	orientado	5	0.0871	vidrio	1.52	0.1324	7.6	aire	1.00029
2	orientado	1	0.0174	vidrio	1.52	0.0264	1.51	aire	1.00029
3	orientado	3	0.0523	vidrio	1.52	0.0795	4.55	aire	1.00029
4	orientado	7	0.1218	vidrio	1.52	0.1851	10.66	aire	1.00029
5	orientado	11	0.1908	vidrio	1.52	0.2899	16.85	aire	1.00029
6	orientado	15	0.2588	vidrio	1.52	0.3933	23.15	aire	1.00029
7	orientado	20	0.342	vidrio	1.52	0.5197	31.31	aire	1.00029
8	orientado	24	0.4067	vidrio	1.52	0.6180	37.58	aire	1.00029
9	orientado	28	0.4694	vidrio	1.52	0.7133	45.5	aire	1.00029
10	orientado	33	0.5446	vidrio	1.52	0.8276	55.85	aire	1.00029
11	orientado	38	0.6156	vidrio	1.52	0.9354	69.29	aire	1.00029
12	orientado	43	0.6819	vidrio	1.52	0.9912	82.39	aire	1.00029

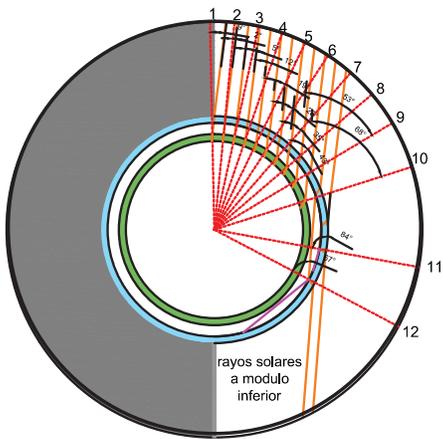
3.- REFRACCIÓN RETINA 1ER PLANO (VIDRIO)									
Número de rayo	refracción con respecto al	$\theta 1$	Senos de ángulo $\theta 1$	material	Índice de refracción material	SEN-1 $\theta 2$	$\theta 2$	material	Índice de refracción material
1	orientado	9	0.1564	aire	1.00029	0.1029	5.9	vidrio	1.52
2	orientado	2	0.0348	aire	1.00029	0.0229	1.31	vidrio	1.52
3	orientado	5	0.0871	aire	1.00029	0.0573	3.28	vidrio	1.52
4	orientado	12	0.2079	aire	1.00029	0.1388	7.86	vidrio	1.52
5	orientado	19	0.3255	aire	1.00029	0.2142	12.36	vidrio	1.52
6	orientado	26	0.4383	aire	1.00029	0.2884	16.76	vidrio	1.52
7	orientado	35	0.5735	aire	1.00029	0.3774	22.17	vidrio	1.52
8	orientado	43	0.6819	aire	1.00029	0.4487	26.66	vidrio	1.52
9	orientado	53	0.7986	aire	1.00029	0.5255	31.7	vidrio	1.52
10	orientado	68	0.9271	aire	1.00029	0.6101	37.59	vidrio	1.52
11	orientado	84	0.9945	aire	1.00029	0.6545	40.88	vidrio	1.52
12	orientado	67	0.9205	aire	1.00029	0.9912	82.39	vidrio	1.52



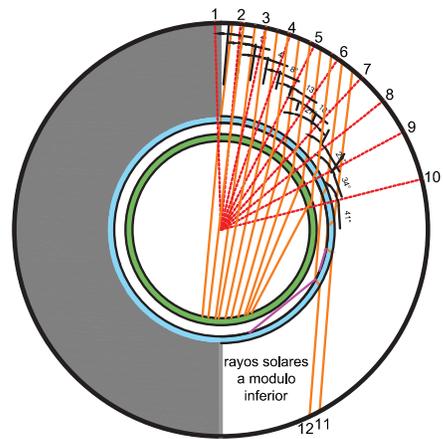
1.- REFRACCIÓN FRONTERA EXTERIOR (VIDRIO)



2.- REFRACCIÓN COROIDES (SISTEMA AL VACIO-AIRE)



3.- REFRACCIÓN 1ER PLANO RETINA (VIDRIO)



4.- REFRACCIÓN HUMOR VITREO (AGUA)

SIMBOLOGÍA

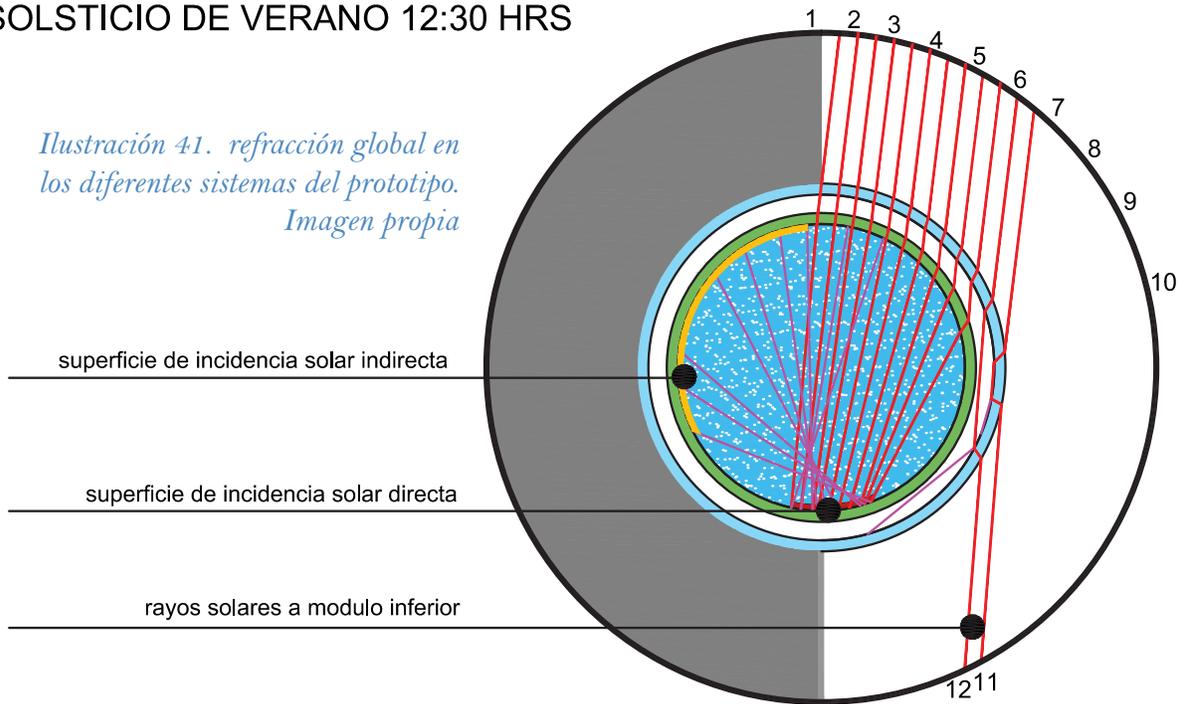
- rayos incidentes
- rayos reflejados
- - - línea perpendicular a tangente

- vidrio traslucido
- vidrio con sulfito de hierro
- agua
- solidos

Ilustración 40. refracción por capas de materiales. Imagen propia.

REFRACCION TOTAL Y REFLEXION INTERIOR DEL SISTEMA EN EL SOLSTICIO DE VERANO 12:30 HRS

*Ilustración 41. refracción global en los diferentes sistemas del prototipo.
Imagen propia*



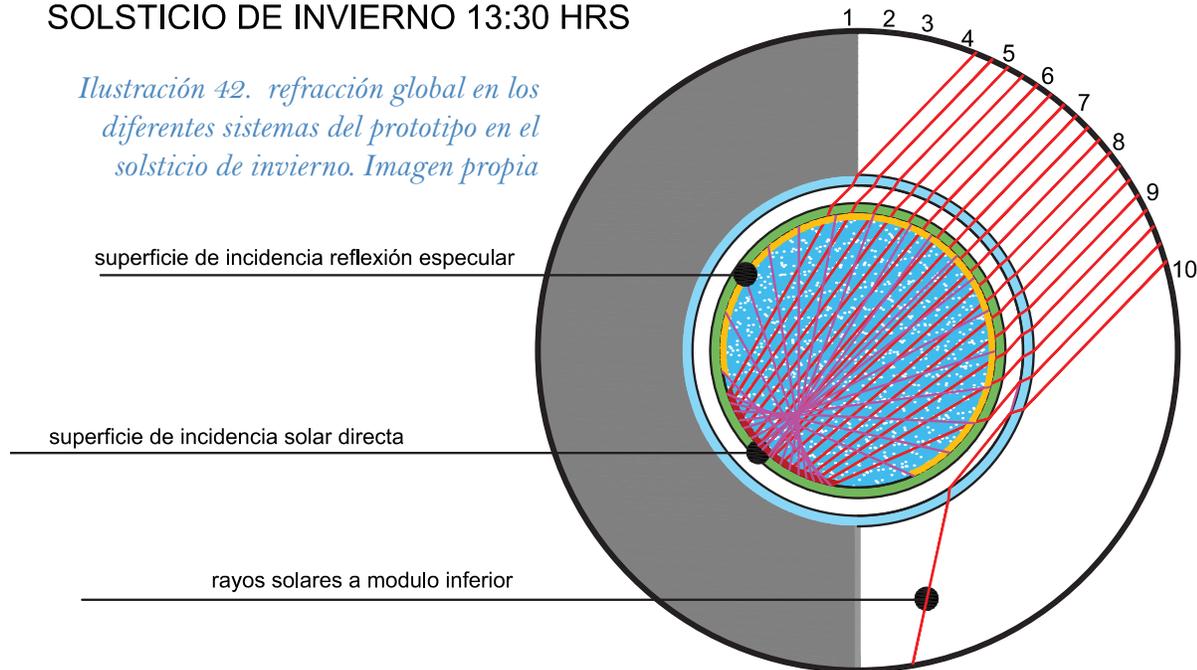
Los resultados de la refracción de los rayos solares en el solsticio de verano, nos sugieren una superficie específica en la cual la incidencia es mayor (Ver ilustración 41), con una superficie de aproximadamente de 0.04 ml en la circunferencia, esta sección será tratada con un pintura negra especializada para vidrio por la cara exterior del contenedor como complemento para incrementar la eficiencia del prototipo al sumarle un cuerpo negro. El diseño de esta área de cuerpo negro será complementada con los resultados del análisis de a refracción en el solsticio de invierno.

Para el estudio del comportamiento de la reflexión especular dentro

del sistema, no se tomó en cuenta la capacidad de absorción de energía en la masa térmica del agua, y solo comprende el comportamiento de los rayos dentro del sistema, por lo que la reflexión especular en la segunda capa de la retina (cara interior del contenedor) se puede observar que la mayoría de los rayos se concentran con dirección al interior del espacio habitable, sin embargo estos tendrán que pasar por una tercer capa de retina, por lo cual la capacidad de absorción de los rayos se incrementa.

REFRACCION TOTAL Y REFLEXION INTERIOR DEL SISTEMA EN EL SOLSTICIO DE INVIERNO 13:30 HRS

Ilustración 42. refracción global en los diferentes sistemas del prototipo en el solsticio de invierno. Imagen propia



La refracción dentro del sistema muestra los puntos de colección mayor con respecto a la incidencia solar en el solsticio de invierno, teniendo una superficie de 0.08 ml, en la circunferencia, casi el doble con respecto al comportamiento del espectro electromagnético en el solsticio de verano que comprende 0.4 ml., esto debido a que en esta época del año inciden una mayor cantidad de rayos sobre la frontera exterior. La reflexión especular dentro del sistema tiene una mayor cantidad de área, aunque a diferencia del solsticio de verano, la reflexión especular se dirige e un 58 % fuera del sistema y en un 42 % se conserva en el interior del sistema, sin embargo

esto pasa por los mismos filtros en un 3er plano de la retina, para que aun así la transmitancia que logre salir del contenedor pase por un 4to filtro que es la cara interior de la frontera exterior. Si esta es fabricada con un vidrio selectivo que en su cara interior no permita el escape de energía esta reflexión especular se mantendrá dentro del sistema.

De igual manera que el análisis de refracción en sentido vertical del sistema, es necesario hacerlo en el sentido horizontal, para identificar los puntos de incidencia dentro del sistema. El acimut del sol al ser la variable más importante en este análisis se tomó en cuenta una inclinación

solar de 45° para encontrar los ángulos medios en el eje horizontal, durante el solsticio de invierno, debido a que esta es la etapa en la que el sistema recibe mayor cantidad de energía. A continuación seguiremos describiendo los otros sistemas del prototipo.

D) Sistema Colector de energía

Este es el elemento en el cual se depositará la mayor cantidad de energía del espectro electromagnético. El sistema se compone de un plato que sirve de receptor de cuerpo negro recibiendo el efecto lupa del sistema “C” y está compuesto de una base de madera (aislante térmico), que tiene la función de soportar el anterior sistema. Entre esta base de madera y el contenedor de agua se encuentra un cuerpo negro hecho de metal recubierto por pintura negra para obtener así un cuerpo negro y depositar la energía recibida en la masa térmica del metal, que posteriormente transmitirá por conducción al sistema “C” de absorción energética al estar en contacto directo.

El diseño de esta base colectora de energía corresponde al estudio de refracción visto en la descripción del anterior sistema, y está planeado para recibir la mayor cantidad de rayos solares durante el movimiento del sol, conforme a la bóveda celeste.

E) Sistema Aislante térmico

Se contempla una cámara de aire con el fin de evitar el excesivo paso de la energía térmica del colector al interior de la vivienda por radiación. Este sistema está contenido por el “sistema de frontera interior” dos capas de vidrio reciclado aprovechando la función óptica descrita en el sistema “D”, por lo cual ambos se complementan.

F) Sistema frontera interior

Es la última frontera entre la energía colectada y el interior de la vivienda, por lo tanto esta es la capa que debe ofrecer la mayor seguridad a los usuarios en caso de fallas o rupturas del mecanismo con el fin de ofrecer seguridad a los habitantes. Se seleccionó como material el vidrio reciclado proveniente de la industria embotelladora, principalmente el material obtenido de los embaces de cerveza y vino, los cuales contienen los compuestos químicos como el sulfato y óxido de hierro. Son de color ámbar y verde, los cuales tienen una absorción mucho más alta que los vidrios claros. Reflejan los rayos ultravioleta para conservar la composición química de los líquidos contenidos debido a sus propiedades ópticas de evitar el paso

de los rayos UV, (ver resultados de laboratorio de las mediciones espectrométricas), esta propiedad aprovecha estas longitudes de onda (que son las que contienen mayor cantidad de energía junto con los infrarojos) para rebotarla y redirigirla a los sistemas de colección y contenedor de energía. A pesar de que la absorción de este material es menor a la de un cuerpo negro, se considera importante la capacidad de poder transmitir una fracción de la luz visible al interior de los espacios habitables.

3.4.- Diseño del sistema como aparato

Se realizó el ejercicio de composición en conjunto de los diferentes módulos, para estudiar la interacción de uno con respecto a otro para completar el sistema y evitar las interferencias entre los mismos. Para este ejercicio se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

a) Que la incidencia solar de el modulo superior interfiera lo menor posible creando sombras al módulo inferior y laterales en las diferentes horas y ángulos solares, tomando los puntos máximos y mínimos del comportamiento solar.

b) Se tomaron como variables para determinar la dimensión del modulo

1.- Que la protuberancia de la semiesfera sobre el plano vertical genere la menor sombra posible.

2.- La cantidad de agua a contener.

3.- La reducción de bastidores respecto a la relación cantidad de contenedores en superficie vertical, para así destinar mayor parte del área a la colección solar que a la estructural con los bastidores.

Para este estudio se proponen 2 tipos de diseño del sistema, diseño en el eje x-y a 45° y diseño en el eje x – y a 180° , tomando en cuenta los puntos solares del solsticio de verano e invierno así como los equinoccios. Se utilizó el programa Revit 2012 de Autodesk ⁵³ para el estudio en 3D, ubicando el sistema prototipo de proyecto en la plaza de la constitución de la ciudad de México, siendo sus coordenadas $58.39'25''19''N$ y $59.43'7''99''O$, con el objetivo de realizar el estudio con una ubicación promedio en la Ciudad de México. Los materiales del modelo en 3D son de carácter sólido reflectantes para determinar las sombras puntuales, así como la reflexión especular

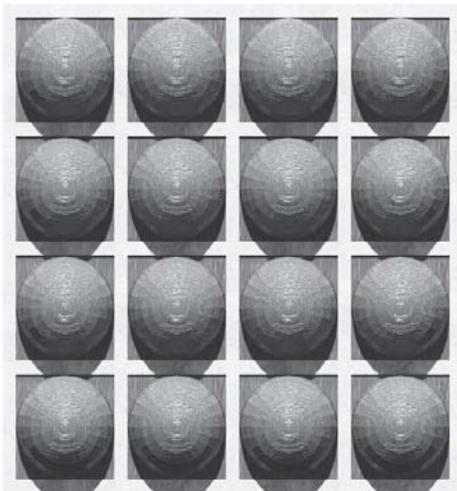
⁵⁵ El software de diseño de edificios Revit® se creó específicamente para el Modelado de Información para la Construcción (BIM)

dentro del sistema, omitiendo la propiedad traslucida que el prototipo real.

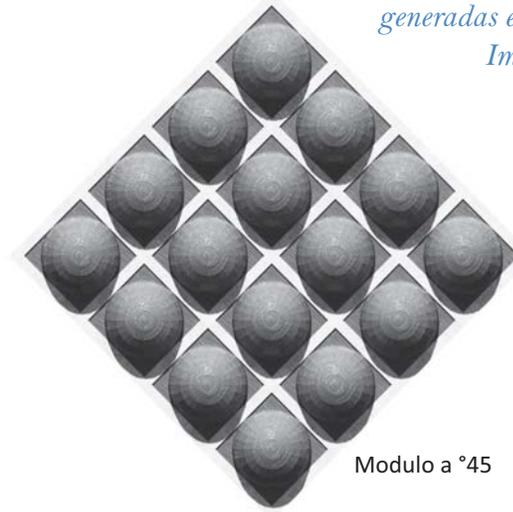
Comparación de las sombras entre las propuestas a $^{\circ}45$ y a $^{\circ}180$ con respecto al rayo del espectro electromagnético directo, con respecto a la ubicación del sol en sus puntos máximos.

Como podemos observar la incidencia solar en el punto máximo de altura del sol en el solsticio de invierno, en ambos casos cada elemento esférico no interfiere con sus subsecuentes, y por lo mismo, se aprovechará en cada uno la incidencia solar casi en su totalidad. (Ver ilustración 43).

Solsticio de invierno 21 de diciembre 12:30 hr. solar



Modulo a $^{\circ}180$



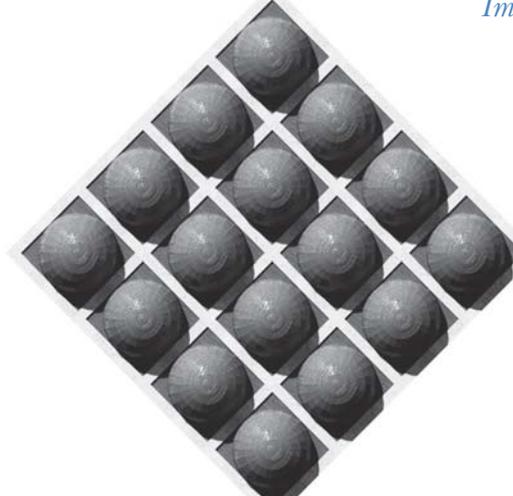
Modulo a $^{\circ}45$

Ilustración 43 . Sombras generadas en el sistema. Imagen propia

Solsticio de invierno 21 de diciembre 14:30 hr. solar



Modulo a $^{\circ}180$



Modulo a $^{\circ}45$

Ilustración 44 . Sombras generadas en el sistema. Imagen propia

Una vez que la altitud y el acimut del sol se acercan a los $^{\circ}45$, se puede determinar que el modulo a $^{\circ}180$ no genera sombras a los módulos subsecuentes, sin embargo el modelo a $^{\circ}45$ comienza a interferir con respecto a sus subsecuentes, por lo tanto el modelo a $^{\circ}180$ es más eficiente.

En los equinocción el comportamiento de las sombras cambia, mientras que en el modelo a $^{\circ}180$ comienza a generar sombras en el sistema colector, en el modelo de $^{\circ}45$ se muestra un comportamiento con mejor rendimiento.

Durante el recorrido del sol en el equinoccio se observa que en un ángulo de incidencia en altitud y acimut, el comportamiento de sistema a $^{\circ}180$ es mejor en comparativa con el sistema a $^{\circ}45$.

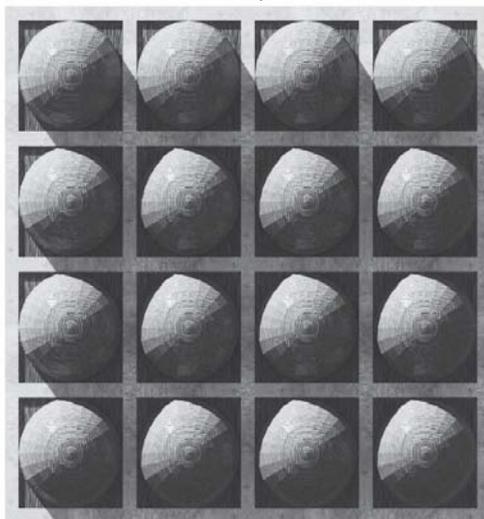
En el punto máximo más crítico del sol por su altitud, demuestra que los módulos en ambos casos generan alta cantidad de sombra, siendo modulo a $^{\circ}45$ el menos afectado.

A las 13:30 hrs. el comportamiento cambia, el sistema de $^{\circ}180$ resulta más eficiente que el de $^{\circ}45$ al recibir mayor cantidad de luz directa.

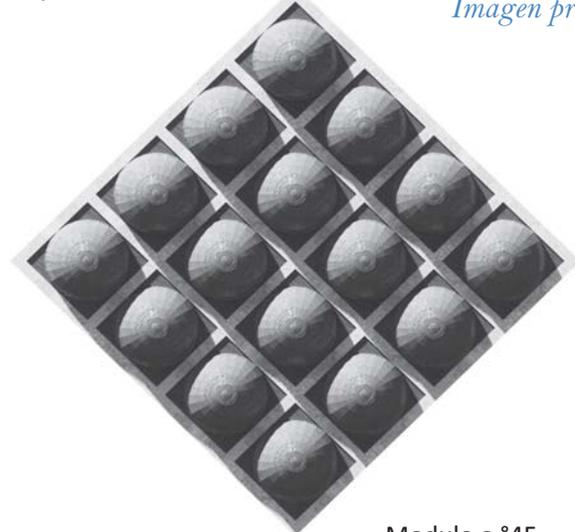
Por lo tanto podemos deducir que el sistema es mucho más eficaz cuando la posición del sol es más baja en el solsticio de invierno, y con forme la altitud solar con aumentando el sistema va generando mayor cantidad de sombra. Sin embargo por comportamiento climatológico, refiere a menores temperaturas en invierno y su vez es cuando el sistema presenta mayor colección de energía, al contrario del

Ilustración 45 . Sombras generadas en el sistema. Imagen propia

Equinoccio de verano 23 de septiembre 15:00 hr. solar

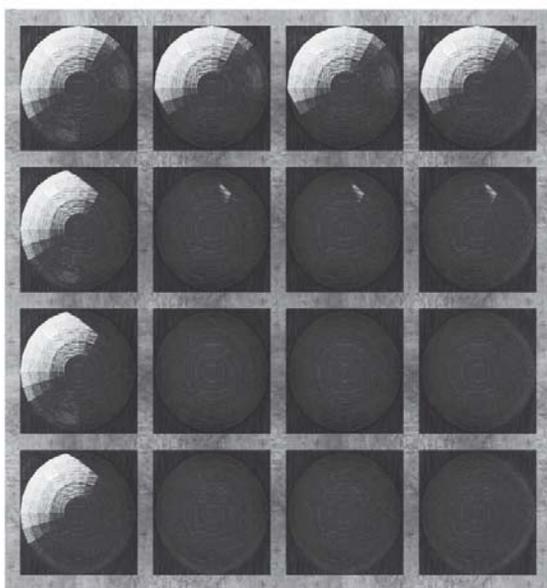


Modulo a $^{\circ}180$



Modulo a $^{\circ}45$

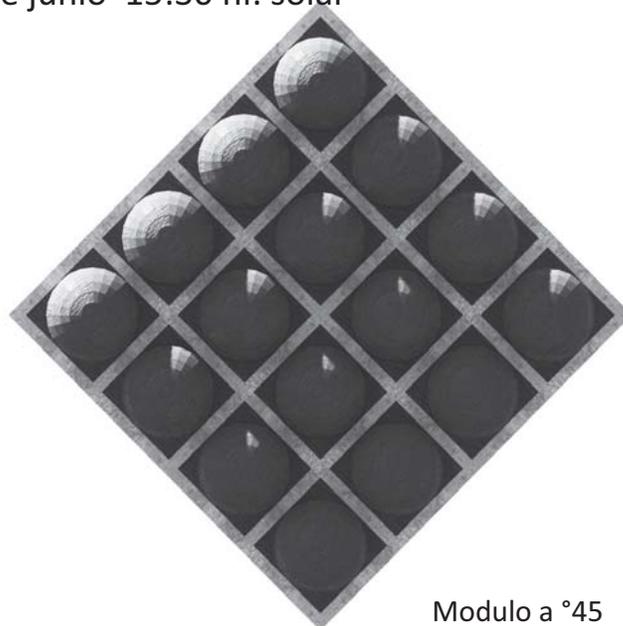
Solsticio de verano 21 de junio 15:30 hr. solar



Modulo a °180

verano, cuando se obtienen temperaturas más altas, el sistema obtiene menor colección de energía directa.

La generación de sombras en el solsticio de verano muestra que en un plano vertical no se capta eficientemente el rayo de sol directo, sin embargo haciendo la comparativa con el estudio de geometrías mostrado anteriormente, la cantidad de rayos incidentes en la fachada conforme a la superficie – rayo solar incidido, muestra diferencias en la cantidad de energía que llega a la superficie entre la volumetría semiesférica y la plana, captando por su misma volumetría mayor cantidad de rayos la semiesfera contra la superficie plana, (Ver ilustración 47), aclarando que esto está sujeto a la cantidad de módulos que comprenden el sistema, entre más módulos contenga el



Modulo a °45

Ilustración 46 . Sombras generadas en el sistema en el solsticio de verano. Imagen propia

sistema, menos será la diferencia, sin embargo siempre será mayor la superficie de captación de la semiesfera contra la superficie plana.

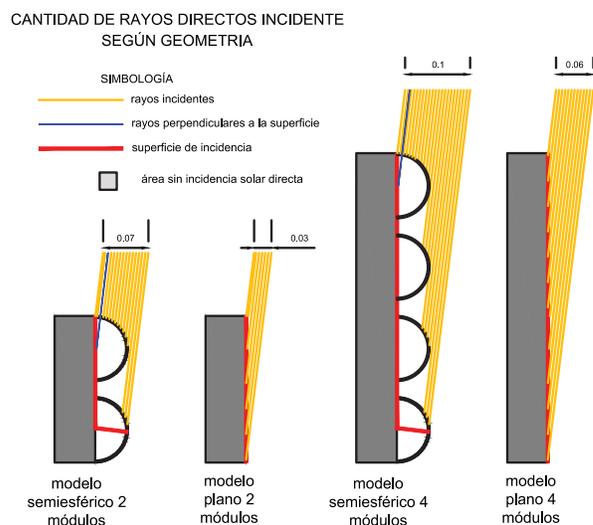


Ilustración 47 . Cantidad de rayos directos incidentes, según geometría

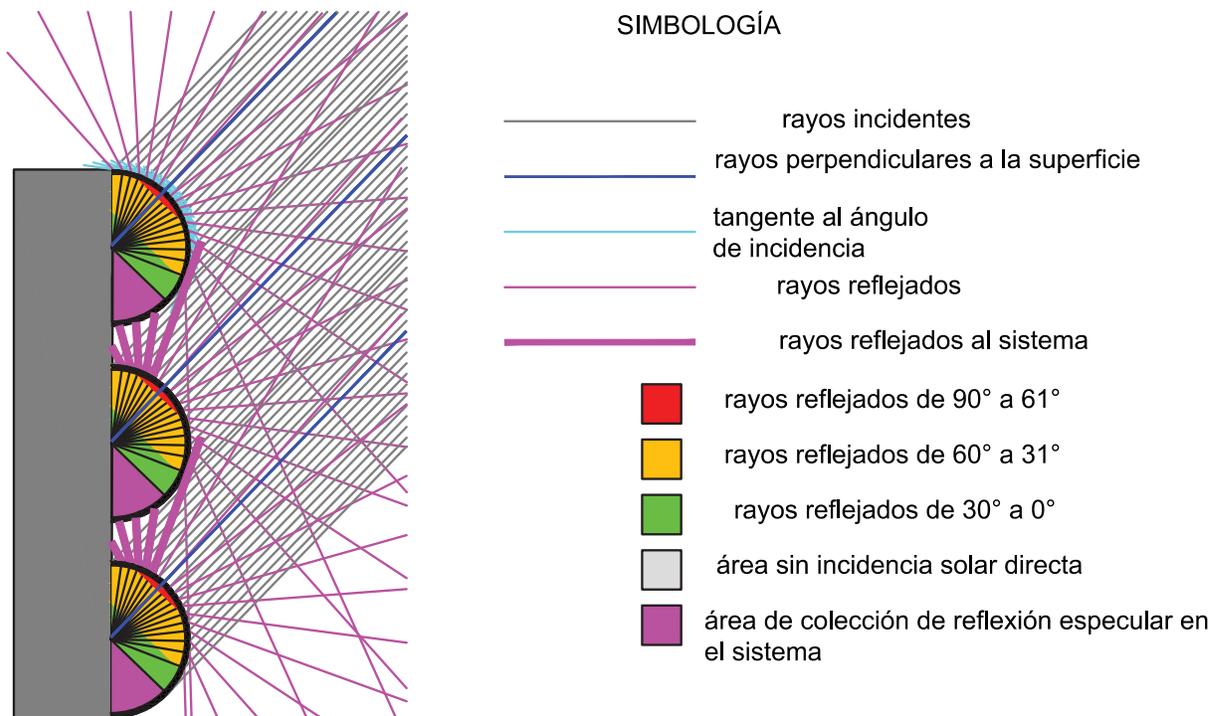
sistema, menos será la diferencia, sin embargo siempre será mayor la superficie de captación de la semiesfera contra la superficie plana.

Análisis de la reflexión especular del sistema

Se estudió el comportamiento de la reflexión especular durante el solsticio de invierno sobre la geometría en el sistema semiesférico. Después de que la incidencia solar directa choca con la superficie del sistema se produce la reflexión especular, (Ver ilustración 48), y es el restante de la energía que las propie-

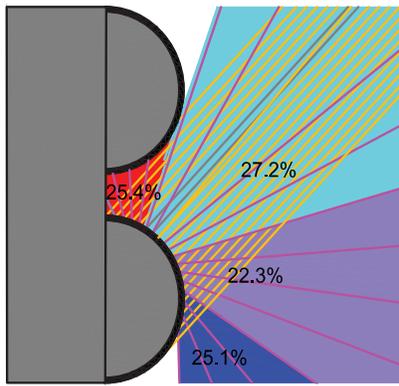
dades de absorptancia y transmitancia y se puede considerar como la segunda fuente de energía que puede aprovechar el sistema. Según el ángulo de incidencia con respecto a la tangente de la semiesfera, podemos dividirlos por la dirección a los cuerpos a los que se dirigen, siendo: el sistema, el cielo, los edificios posteriores y pavimentos.

Como se puede observar en la ilustración 49, parte de la reflexión especular incide en un 25.4 % en los módulos contiguos, el 27.2 % se refleja al cielo, 22.3 % incide en edificios



COMPORTAMIENTO DE REFLEXIÓN ESPECULAR

Ilustración 48 . Comportamiento de la reflexión especular dentro del conjunto. Imagen propia.



COMPORTAMIENTO DE REFLEXIÓN ESPECULAR EN SUPERFICIES CONTIGUAS

contiguos y un 25.1 % se refleja en el pavimento. En dicha ilustración se realizó el ejercicio tomando en cuenta solo la incidencia solar en el módulo inferior con el objetivo de desglosar el comportamiento de la reflexión especular en los cuerpos contiguos, suponiendo que este comportamiento se repite en los módulos inmediatos.

Si comparamos el comportamiento de la reflexión especular entre la geometría de semiesfera contra la del plano vertical (Ver ilustración 50), se puede concluir que la semiesfera tiene una ventaja en el aprovechamiento de la energía, mientras que en esta un 25.4 % es reflejada nuevamente al aparato colector, la superficie plana tiene una reflexión especular dirigida al pavimento en un 100 %. Es importante distinguir a donde se direcciona

SIMBOLOGÍA

- rayos incidentes
- reflexión especular
- reflexión especular al sistema
- reflexión especular al cielo
- reflexión especular a edificios posteriores
- reflexión especular a pavimentos
- volumetria solidos

Ilustración 49 . CComportamiento de reflexión especular en superficies contiguas. Imagen propia.

cada rayo, si bien es cierto que la reflexión contiene una menor cantidad de energía a comparación de la radiación directa, se puede aprovechar por mínima que sea y contribuirá a la colección de la misma.

A continuación se muestran los planos técnicos del diseño final.

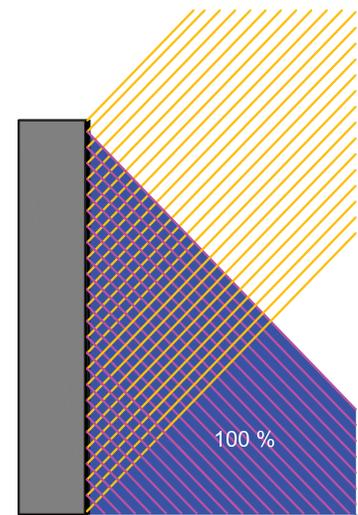


Ilustración 50. Cantidad de reflexión especular de la superficie lisa en los elementos contiguos. Imagen propia.

modelo con superficie plana

3.5.- PLANOS TÉCNICOS

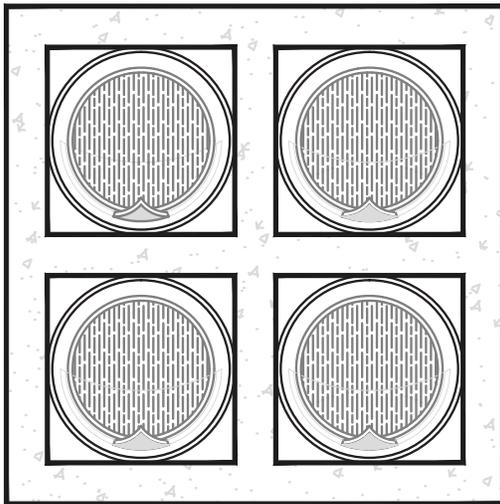


Ilustración 51. Fachada exterior del prototipo. Imagen propia.

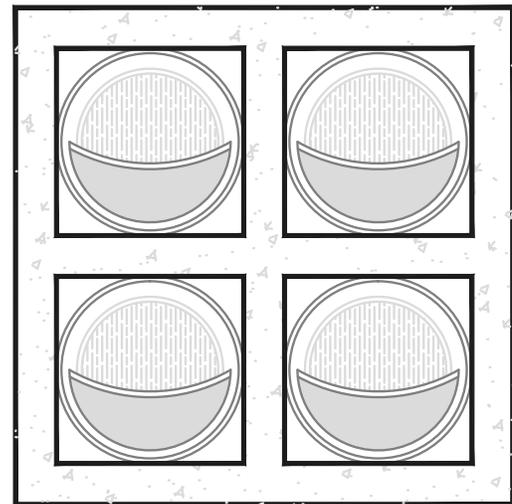


Ilustración 52. Fachada interior del prototipo. Imagen propia.

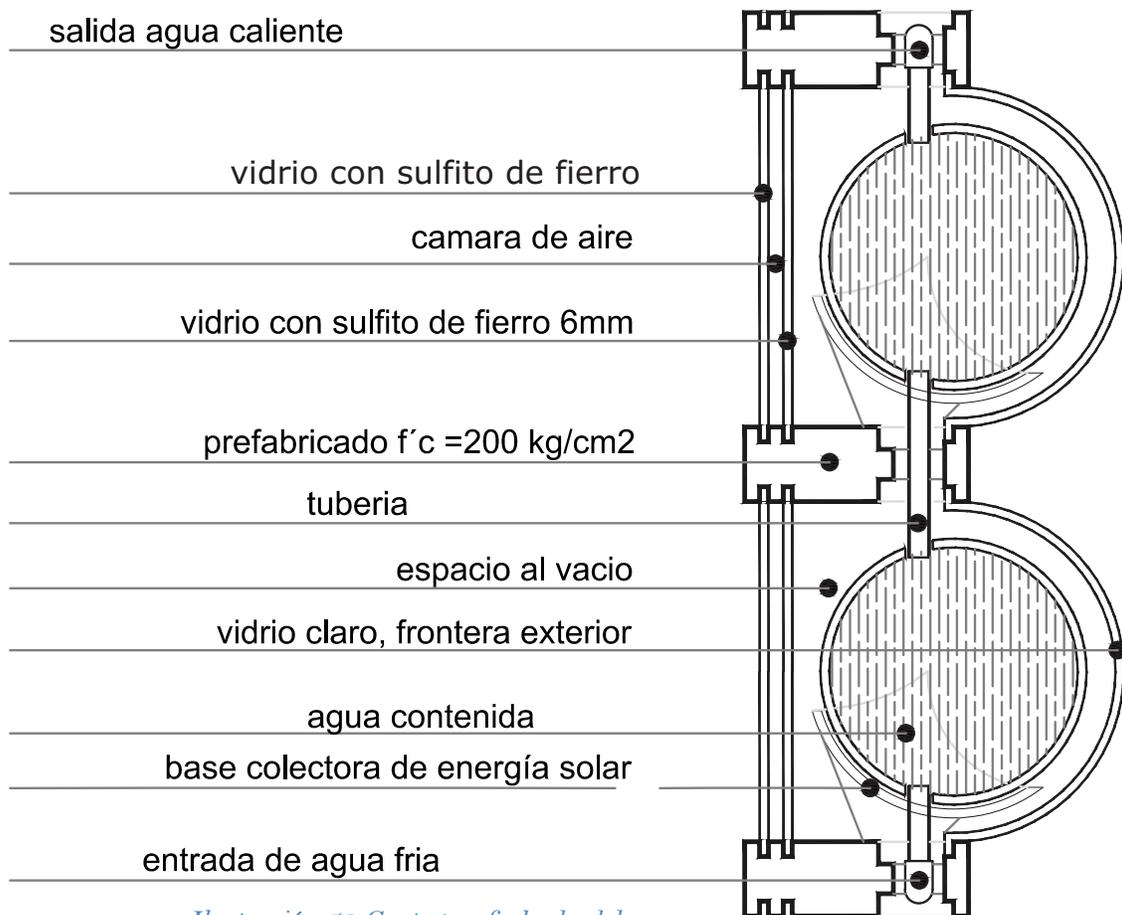
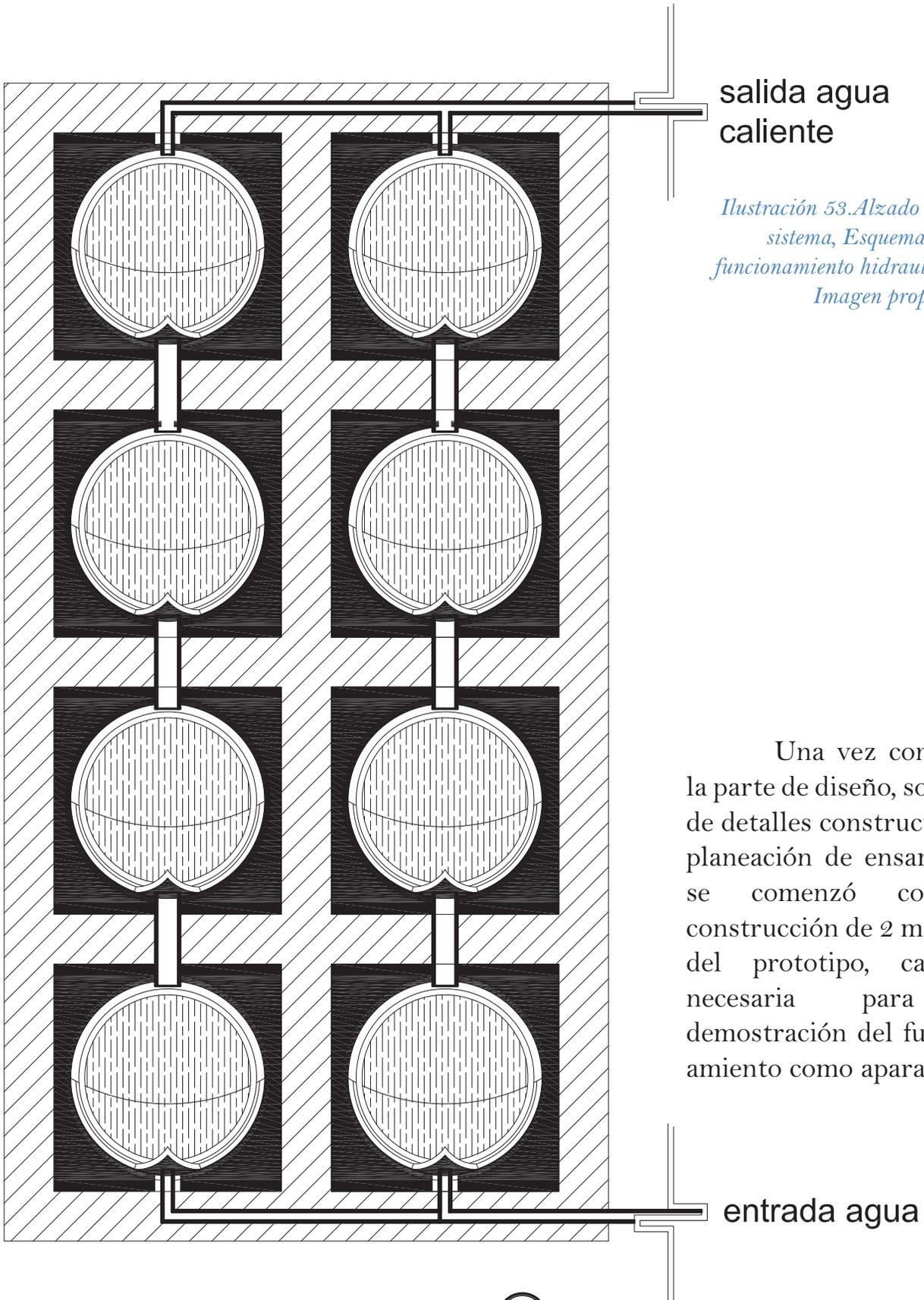


Ilustración 53. Corte por fachada del prototipo. Imagen propia.



*Ilustración 53. Alzado del sistema, Esquema de funcionamiento hidraulico
Imagen propia.*

Una vez concluida la parte de diseño, solución de detalles constructivos y planeación de ensamblaje, se comenzó con la construcción de 2 módulos del prototipo, cantidad necesaria para la demostración del funcionamiento como aparato.

3.6.- CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Celosía prefabricada

Una vez concluido el diseño de la celosía de concreto se construyeron maquetas de la cimbra con triplay cortado con láser, para así corroborar que los ensambles y las instalaciones hidráulicas del diseño de la pieza correspondieran entre sí para facilitar la construcción de la celosía (ver ilustración 54). Posteriormente se construyó la cimbra ⁵⁶ de madera de pino para cada una de las piezas intentando que el molde sea lo más fiel posible a la maqueta de triplay (ver ilustración 55). Se reforzó la pieza con 2 mallas en zigzag de metal galvanizado de 3" para trabajar de mejor manera a los movimientos de tracción a los que el prefabricado pudiera ser sometido (ver ilustración 56).



Ilustración 54 Cimbra Imagen propia.



Ilustración 55 Maqueta de triplay. Imagen propia.

Se colaron las piezas (ver ilustración 57) utilizando una mezcla ⁵⁷ de $f'c=200\text{Kg/}$ utilizando los siguientes materiales:

- a) Cemento blanco
 - b) Cero fino
 - c) gravilla de 2 a 3 mm.
 - d) Polipropileno
- c) agua

En el momento de descimbrado las piezas tuvieron pequeñas fracturas mayormente en las cejillas de los vidrios, por lo que tuvieron que resanarse obteniendo las piezas definitivas sometido (ver ilustración 58).

⁵⁶ Debido a la complejidad de las piezas, se contempló el uso de resinas y molde de caucho para realizar el molde de la cimbra sin embargo, los costos de la misma se incrementaban excesivamente para la poca cantidad de piezas por colar, por lo que se descartaron estas opciones que para un proceso industrial en serie pudieran ofrecer una mejor solución.

⁵⁷ Se utilizó cemento blanco para obtener una mezcla cercada al blanco para poder reflejar la mayor cantidad de energía al sistema colector de energía.



Ilustración 56 Refuerzo de metal galvanizado. Imagen propia.



Ilustración 58 Refuerzo de metal galvanizado. Imagen propia.



Ilustración 57 Colado de piezas. Imagen propia.

Los componentes de vidrio

Debido a que las piezas que componen el prototipo tienen un propósito muy especial, estas no se encuentran en el mercado, por lo que se mandaron a fabricar con las especificaciones adecuadas para su fin a diferentes talleres de vidrio soplado artesanal así como de vitrofusión.

Contemplando 3 piezas especiales:

- A) La esfera contenedora. ⁵⁸
- B) La frontera exterior.
- C) La placa de vidrio reciclado para la frontera interior.
- D) Placa de vidrio regular, segunda piel de frontera interior.

La materia prima utilizada para los incisos “A” y “B” (ver ilustración 59 y 60) fue una combinación de boro

⁵⁸ Existieron complicaciones en la fabricación de las piezas, ya que no son formas habituales o de las cuales existan moldes, al ser la pieza “A” y “B” de vidrio soplado, ambas piezas son únicas y aunque se acercan a las especificaciones requeridas, estas no tienen la precisión en medidas al carecer de moldes, sin embargo obtuvieron las características necesarias para el armado del prototipo.

silicato con pyrex, material utilizado para los instrumentos de laboratorio como matraces y probetas, los cuales pueden soportar cambios bruscos de temperatura sin sufrir fracturas por los choques térmicos, además de resistir altas temperaturas de hasta $^{\circ}500$ C.

La pieza “C” es fabricada por medio de la vitrofusión y la materia prima es vidrio de cerveza con sulfito de fierro (color verde). (Ver ilustración 61).

La pieza “D” es un vidrio plano de ventana sin ninguna propiedad especial, por lo que fue conseguida en una tienda regular de vidrio para ventana.

El plato colector

Como antes se mencionó el plato colector se compone de 2 elementos:

- A) El soporte de la esfera
- B) La placa colectora de energía

Siendo la pieza “A” de madera por lo que se mandó a cortar a láser el despiece de dicho plato para su posterior armado (ver ilustración 62 y 63). Esta pieza contiene una cavidad interior donde será colocada la placa colectora “C”, que fue fabricada de placas de aluminio con fijado con caparas de



*Ilustración 59 Esfera contenedora.
Imagen propia.*



*Ilustración 60 Frontera exterior.
Imagen propia.*



*Ilustración 61 Placa de vidrio reciclado
Imagen propia.*



Ilustración 62 Plato colector con preparación para instalaciones. Imagen propia.

Ilustración 65 Plato colector terminado. Imagen propia.



chapopote, esto con el fin de crear una placa acolchonada que se moldeara a la geometría de la esfera. Posteriormente se pintó de negro para quitar la propiedad reflectante del aluminio creando un cuerpo negro. (ver ilustración 64 y 65).

Ilustración 63 vista frontal del plato colector. Imagen propia.



Ilustración 64 Armado de placa metálica. Imagen propia.

ENSAMBLADO DEL PROTOTIPO

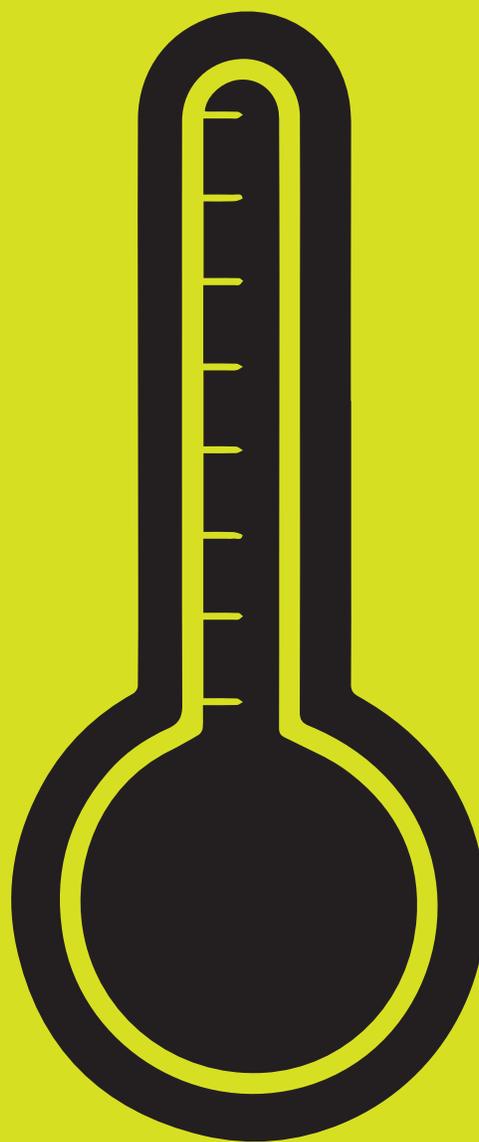


PROTOTIPO



CAPITULO 4

VALIDACIÓN DEL DISEÑO



CAPITULO 4.- VALIDACIÓN DEL DISEÑO

El muro colector de energía solar para el calentamiento al tener como meta un doble funcionamiento dentro del mismo elemento, por lo que esté se compone de 2 sistemas: el muro envolvente traslucido y el calentador de agua, por lo cual es necesario categorizar y dividir los experimentos con respecto a la función a cumplir. Cada uno tiene propósitos diferentes dentro de un mismo elemento, por ello se abordarán las pruebas de laboratorio inicial como 2 sistemas separados para su valoración y estudio.

1.- El Aparato colector solar, compuesto de los sistemas de transmisión energética, colección de radiación solar, sistema de termosifón. Se realizaron pruebas para medir su comportamiento y eficiencia en la transmisión y colección de energía sobre materiales y diseño, por lo que para este apartado se ejecutaron los siguientes experimentos:

- A) Experimento de termosifón
- B) Experimento térmico de los elementos del colector solar
- C) Experimento térmico del colector solar como aparato

2.- El muro envolvente. Comprende el comportamiento de frontera entre el interior y el exterior, este experimento verificará la conductividad térmica del aparato tanto por radiación como por la acumulación de energía en la masa térmica del agua.

En total se realizaron 5 diferentes pruebas para estudiar el comportamiento general del prototipo, de las cuales 4 fueron del prototipo y 1 para obtener los datos del vidrio reciclado mencionado en el capítulo de “Diseño del prototipo”, por lo que a continuación se describirán los 5 experimentos que corresponden al funcionamiento del prototipo.

4.1.-Experimentación del aparato colector solar

4.1.1.- Experimento de termosifón

Objetivo de la prueba: Identificar el comportamiento de las corrientes internas del agua dentro de la esfera con 2 variables, una por el flujo de la instalación hidráulica al llenar las esferas (ciclo hidráulico de abastecimiento para los colectores), así como por el efecto de termosifón.

Instrumentos: los instrumentos utilizados para la experimentación son los siguientes:

- A) Prototipo parcialmente ensamblado
- B) Termómetro infrarrojo digital, marca “Steren” modelo HER- 425
- C) Tinta para pecera color azul
- D) Soplete de gas LP.
- E) 2 Cubetas de 19 Lts.

Método: Se ensambló parcialmente el prototipo, utilizando solo la celosía prefabricada, la instalación hidráulica y las esferas (Ver ilustración 65).

Como primer paso se instaló el circuito hidráulico completo con las cubetas al principio y fin del mismo, cuidado que no existieran fugas y se llenaron las esferas con 6 lts de agua limpia. (Ver ilustración 66). Se preparó en el primer balde de agua tinta de pecera de manera abundante para conseguir agua color azul que sirva para identificar las corrientes del fluido dentro de las esferas y se procedía a desplazar el agua limpia de la esfera inferior. (Ver ilustración 65). Se instaló con soplete de gas butano en la base (sustituyendo el plato colector) de la esfera inferior para sustituir la irradiación solar y el plato colector cuidando que la temperatura máxima

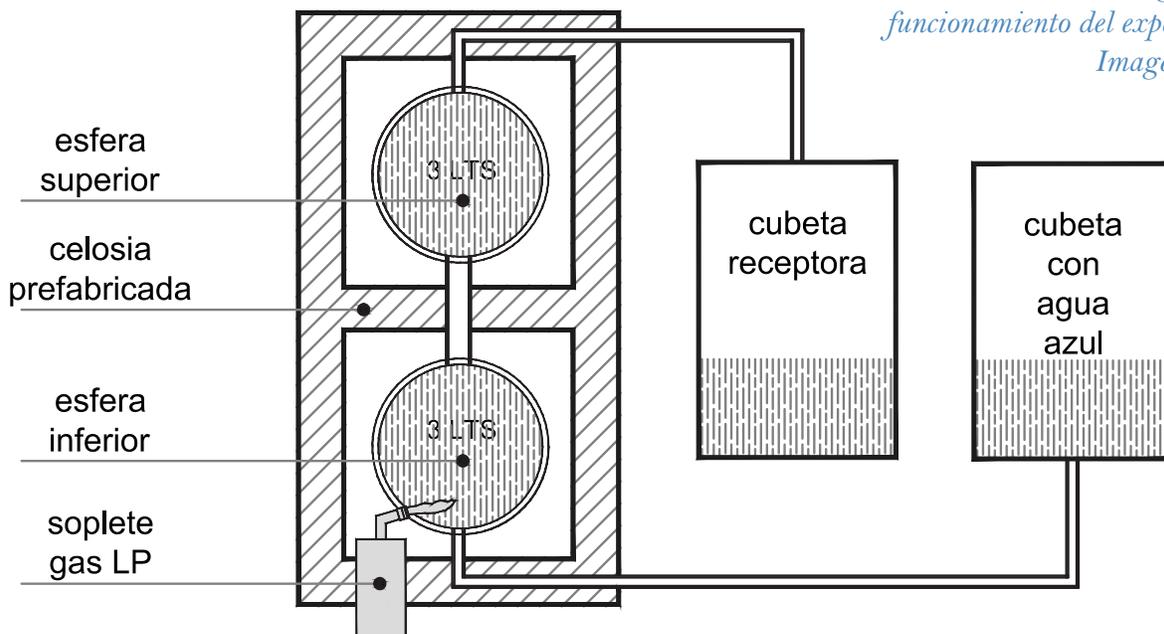


Ilustración 65. Diagrama de funcionamiento del experimento. Imagen propia

DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO

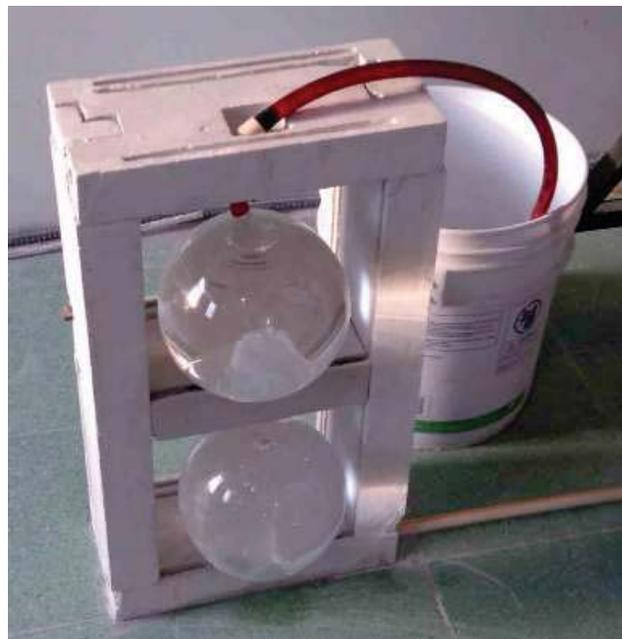


*Ilustración 67. Sustitución de agua clara con colorante.
Imagen propia*

contenida en las esferas no superara los $^{\circ}60C$. (Ver ilustración 67) Esta parte de la experimentación se realizó para estudiar el comportamiento del termosifón.

El experimento se realizó por un intervalo de 20 minutos comprendido en 2 etapas descritas a continuación.

*Ilustración 67. Aplicación de energía térmica con soplete.
Imagen propia*

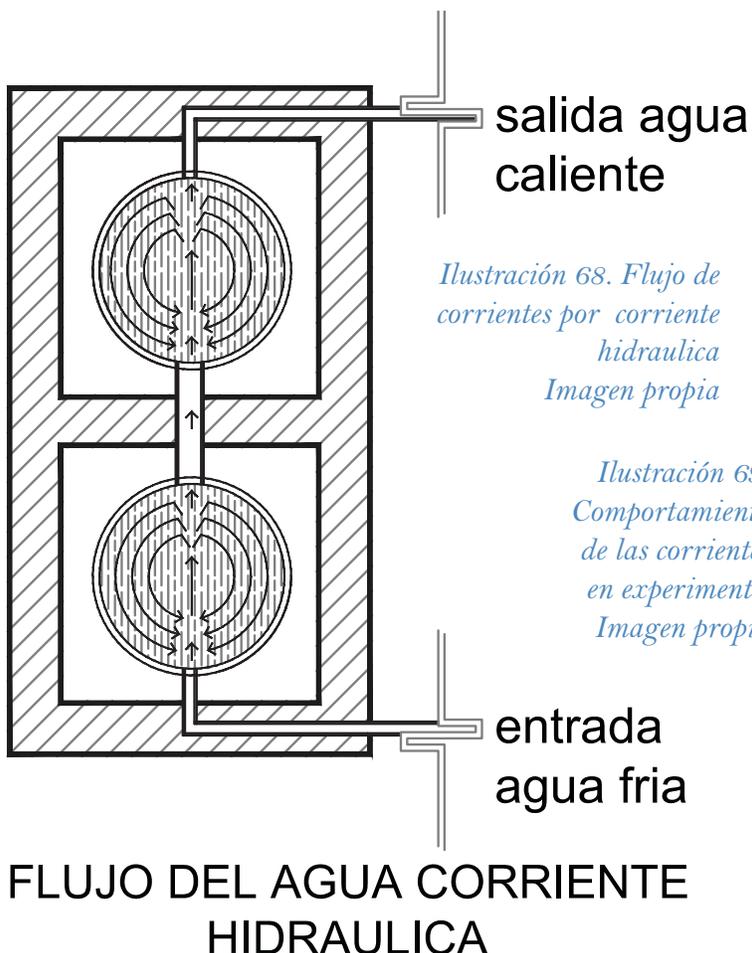


*Ilustración 66. Llenado de esferas con 6 lts de agua.
Imagen propia*



Flujo de la instalación hidráulica sin energía térmica

Como se puede observar en el diagrama, la presión de la tubería de acceso muestra un torrente vertical hasta la parte superior de cada esfera, esta choca con dicha superficie y comienza a bajar el agua por los extremos de la esfera, hasta encontrarse nuevamente con el torrente de acceso. Este comportamiento marca un comportamiento de mezclar toda el agua contenida en el interior de la esfera, lo cual es favorable al solo



*Ilustración 68. Flujo de corrientes por corriente hidráulica
Imagen propia*

*Ilustración 69. Comportamiento de las corrientes en experimento.
Imagen propia*

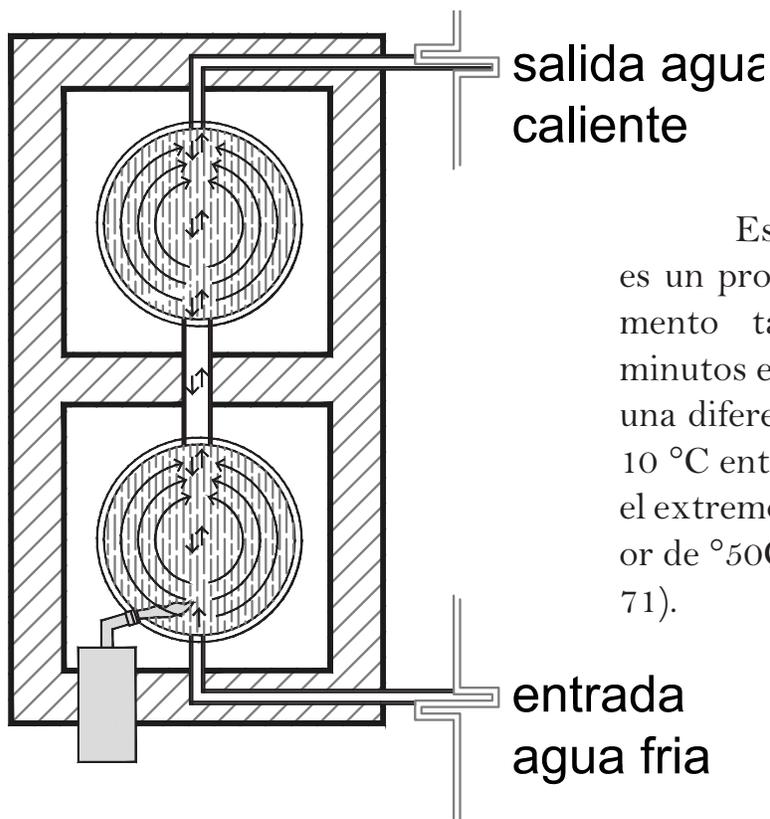


permitir que una fracción del torrente de acceso continúe su camino a la esfera superior, mezclando la mayoría del agua nueva con la anteriormente contenida.

Flujo de la instalación hidráulica con termosifón

Para dar comienzo a la segunda parte del experimento, se esperó a que se estabilizaran los flujos de corrientes al interior de la esfera. A diferencia del flujo de la instalación hidráulica sin

energía térmica, al momento de aplicar con el soplete de gas energía, se comienzan a hacer estratos de agua, al principio del experimento, el agua con mayor tinte se concentró al fondo de la esfera interior, sin embargo como va aumentando la temperatura esta comienza a subir hasta intercambiar el color entre la esfera inferior y la superior, siendo esta última más oscura que la inferior. Esto demuestra el intercambio de fluidos por temperatura entre ambas esferas, concentrado el agua caliente en el extremo superior de las esferas. (Ver ilustración 70).



FLUJO DEL AGUA EN TERMOSIFÓN

Este intercambio de fluidos se es un proceso lento, para este experimento tardó aproximadamente 10 minutos en su cambio de fase, y existió una diferencia de temperatura final de 10 °C entre un extremo y otro, siendo el extremo superior de 60 °C y el inferior de 50 °C. (ver series de ilustraciones 71).

*Ilustración 70. Flujo de corrientes en termosifón
Imagen propia*



Ilustración 71. Flujo de corrientes en termosifón en experimento. Imagen propia

4.1.2.- Experimento térmico de los elementos del colector solar

Se realizó un pre-experimento térmico con las esferas y los platos.

Objetivo del experimento: Determinar el comportamiento de los diferentes elementos que componen el aparato del calentador solar con diferentes elementos en mismas condiciones de radiación.

- A) Esfera con plato colector
- B) Esfera sin plato colector
- C) Plato colector solo

Instrumentos:

- A) Termómetro infrarrojo digital, marca “Steren” modelo HER- 425

Metodología: Se ensamblaron cada uno de los 3 elementos, siendo “A” la esfera contenedora llena con 3.6 lts de agua ensamblada el plato colector y al prefabricado que le dará sostén. El elemento “B” comprende la esfera de igual manera lleno con los 3.6 lts de agua apoyado en un soporte de unicel, a diferencia del elemento “A” esta carece del plato colector. El elemento “C” comprende solamente el plato

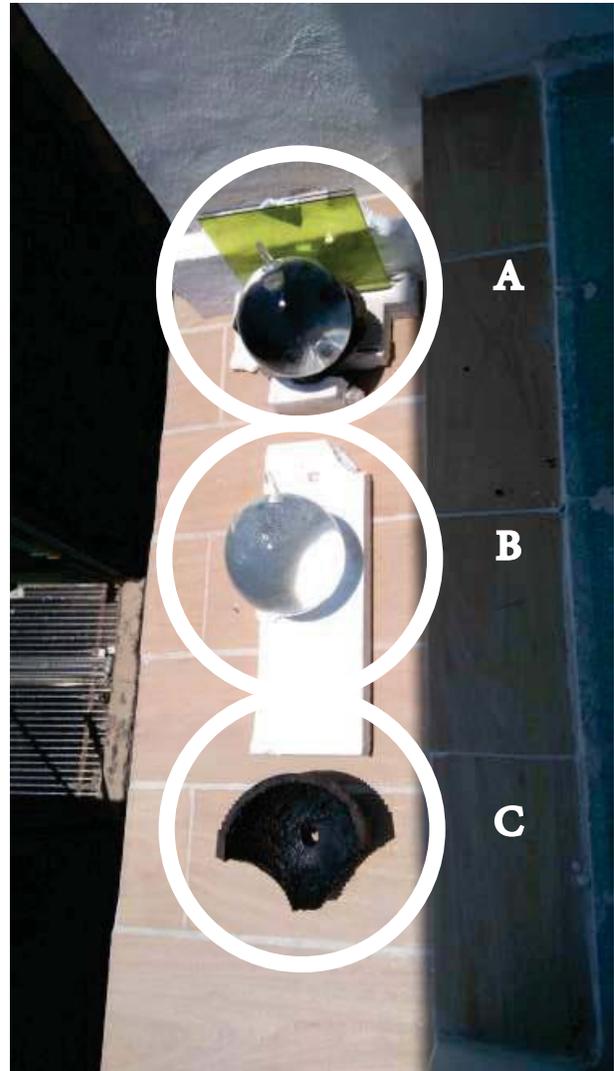


Ilustración 72. Experimento térmico de elementos. Imagen propia

colocaron antes de que a irradiación solar incidiera directamente en los elementos para que los comenzaran con las mismas condiciones de irradiación (Ver ilustración 72). Para los elementos “A y B” se tomó la temperatura inicial del agua con las que fueron llenadas, y ya que se presentó una diferencia promedio del agua entre

las esferas de $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ⁵⁹, se asignó al elemento “A” la esfera con menor temperatura, mientras que al “B” se colocó la temperatura más alta.

Para la toma de mediciones se tomaron 2 puntos por esfera, uno superior y uno inferior para determinar la diferencia en los estratos térmicos por la densidad del agua, y para el plato colector se tomó el punto donde la irradiación solar incidía directamente, por lo que este punto fue cambiando en el transcurso del experimento. Se registraron datos con un intervalo de 5 min, comenzando a las 13:50 hrs. terminando el experimento a las 16:00 hrs. horario de verano. Para este experimento se omitió la temperatura ambiental debido a que el interés del mismo es solo la ganancia térmica de cada elemento por irradiación solar directa en un día soleado en condiciones reales.

Resultados del experimento

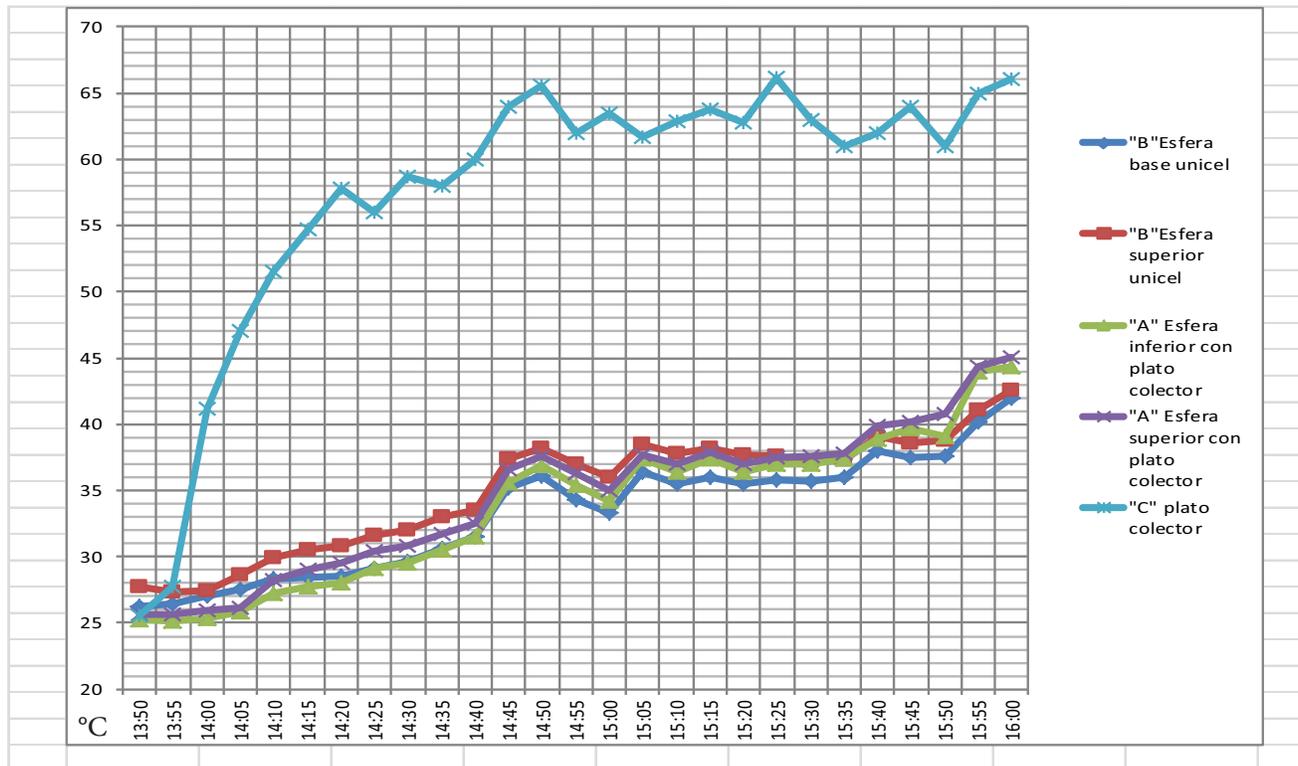
Como se puede apreciar en la gráfica 4, La tendencia por elemento “A y B” mantuvieron una tendencia donde la temperatura entre su base y su extremo superior fueron muy cercanas, demostrando el efecto de

termosifón donde se mezcla uniformemente la ganancia de temperatura dentro de la esfera, para el procesamiento de los datos se sacó el promedio de la temperatura en cada una de las superficies, y solo existió en el transcurso del experimento, una diferencia promedio para el elemento “A” de $0.8022\text{ }^{\circ}\text{C}$ y para el elemento “B” de $1.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre sus respectivos extremos.

El elemento “C” o plato colector solo, mostró un comportamiento más errático, incrementando y disminuyendo su temperatura de manera más rápida, y alcanzó temperatura máxima de $66.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ siendo este dato positivo en la colección de energía, subiendo su temperatura entre el inicio y el fin en $40.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, a diferencia de elemento “A” el plato colector no tenía contacto directo con otro elemento para transmitir por conducción, convección y radiación la temperatura más que con el aire, por lo cual su temperatura se elevaba mucho más que si tuviera la esfera.

Por otro lado, la esfera con el plato colector “A” tuvo ganancia térmica para pasar de un promedio interior de $25.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 44.75 , teniendo una ganancia de $19.35\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el experimento, mientras que el elemento “B” paso

⁵⁹ La diferencia de $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre el agua inicial de cada esfera se atribuye a la exposición de la tubería donde se suministró el agua a la irradiación solar.

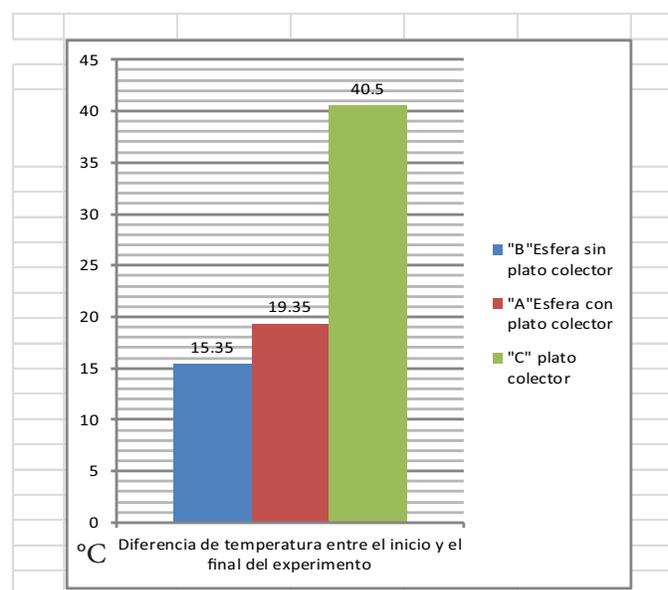


Gráfica 4, Comportamiento de las ganancias térmicas de cada elemento.

Gráfica 5, Diferencia de temperatura entre el inicio y el final del experimento por elemento.

de un promedio interior de $26.95\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $42.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ con una ganancia de $15.35\text{ }^{\circ}\text{C}$ por lo que se puede determinar un incremento en la eficiencia de la esfera con el plato colector de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ que representa un 21% de energía colectada. Esto se puede observar en la gráfica 5 donde el elemento "A" comienza con una temperatura menor al elemento "B" sin embargo termina con una temperatura mayor.

Los datos obtenidos en este experimento, brindan un panorama del comportamiento de cada uno de los elementos que componen el aparato de colección solar del prototipo en condiciones, por lo que el siguiente paso en la experimentación fue someter al prototipo totalmente ensamblado.



4.1.3.- Experimento térmico del colector solar como aparato

Objetivo del experimento

Determinar el funcionamiento del aparato colector totalmente ensamblado en condiciones climatológicas reales para medir su eficiencia y rango de funcionamiento.

Espacio de experimentación

Se construyó un módulo de experimentación (Ver ilustración 73) compuesto de una serie de aislamientos térmicos con el propósito de evitar la transmitancia térmica con el ambiente exterior. El modulo se encuentra montado en una base metálica la cual permite girar para orientarlos según las necesidades del proyecto, este sistema móvil es manual y no incluye sensores y motor para el seguimiento solar, sin embargo faculta la orientación deseada según las necesidades del experimento, este fue ubicado en la azotea de la Unidad de Posgrado de la UNAM con una latitud de $18^{\circ}19'$ y una longitud de $11^{\circ}99''$ y una altitud de 2321 msnm. (Ver ilustración 74)

Variables de la experimentación

- A) La orientación del prototipo.
- B) La cantidad de energía incidida del



Ilustración 73. Módulo de experimentación.
Imagen propia

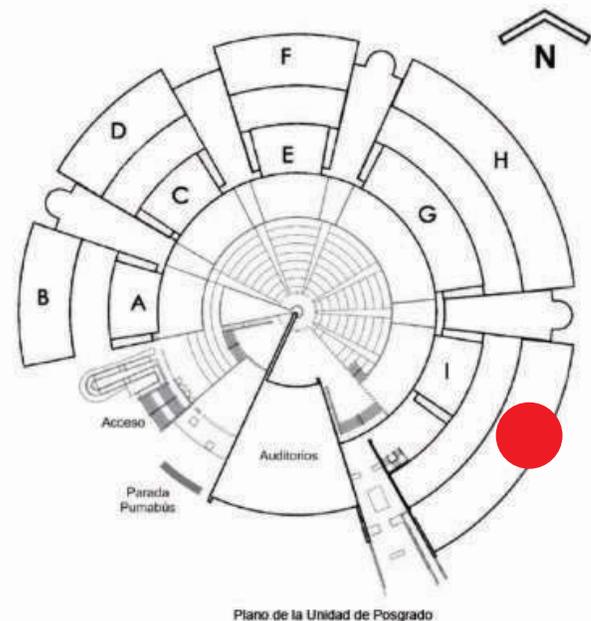


Ilustración 74. Ubicación del experimento y el edificio de la Unidad de Posgrado UNAM.
Imagen propia

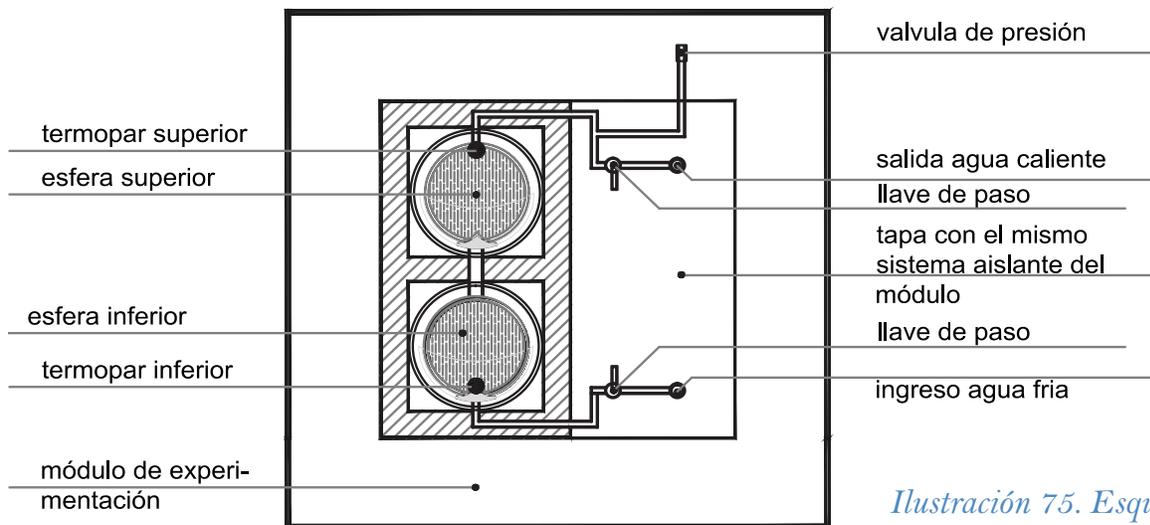
- espectro electromagnético (W/m^2).
- C) La temperatura ambiental ($^{\circ}C$).
- D) La velocidad y dirección del viento.
- E) El índice de Claridad.
- F) La precipitación pluvial.
- G) La eficiencia colectora del prototipo a experimentar (materiales colectores de energía, así como los aislantes).

Instrumentos

- A) Piranómetro marca KIPP AND ZONE modelo CMP. 2 unidades.
- B) Cable termopar de superficie tipo "E" modelo TC-6E. 2 unidades.
- C) Cable Termistor de superficie 110PV . 1 unidad.
- D) Adquisidor de datos Marca Campbell Scientific. Modelo CR10X. 1 unidad.

Método de experimentación

Se ensambló el prototipo con 2 termopares interiores, uno ubicado en la parte baja de la esfera inferior y otro en la parte superior de la esfera cuidando que estos no reciban radiación solar directa, estos termistores tienen la función de medir los puntos máximos y mínimos de temperatura que por termosifón se puedan crear dentro de las 2 esferas como conjunto. Se colocó el prototipo totalmente ensamblado en el módulo de experimentación antes mencionado, se llenó el sistema completo con 7.31 lts de agua. Para comenzar el experimento se inició orientando el módulo al poniente. Se tomará la irradiación con un piranómetro en posición vertical y horizontal tanto para sur como para poniente. El experimento tuvo una del



esquema de experimento

Ilustración 75. Esquema de experimento. Imagen propia



*Ilustración 76. Colocación de cable termopar en esfera superior.
Imagen propia*

30 días a partir del 19 de mayo al 17 de junio, con una toma de lectura con un intervalo de un minuto para obtener una estadística lo más precisa posible. Los datos meteorológicos fueron obtenidos del Observatorio meteorológico del Instituto de Geofísica de la UNAM, mientras que la radiación solar fueron colectados por la Arq. Liliana Maldonado a través del laboratorio de sustentabilidad del programa de maestría y doctorado en Arquitectura de la UNAM.

Para este experimento solo se cuenta con el aparato colector de energía con la omisión de un termo tanque que evite las pérdidas por conducción y convección que pueda sufrir el prototipo. Para obtener una colección energética neta durante el

día, el experimento no contempla una renovación de agua durante su desarrollo.

Experimento térmico con orientación poniente

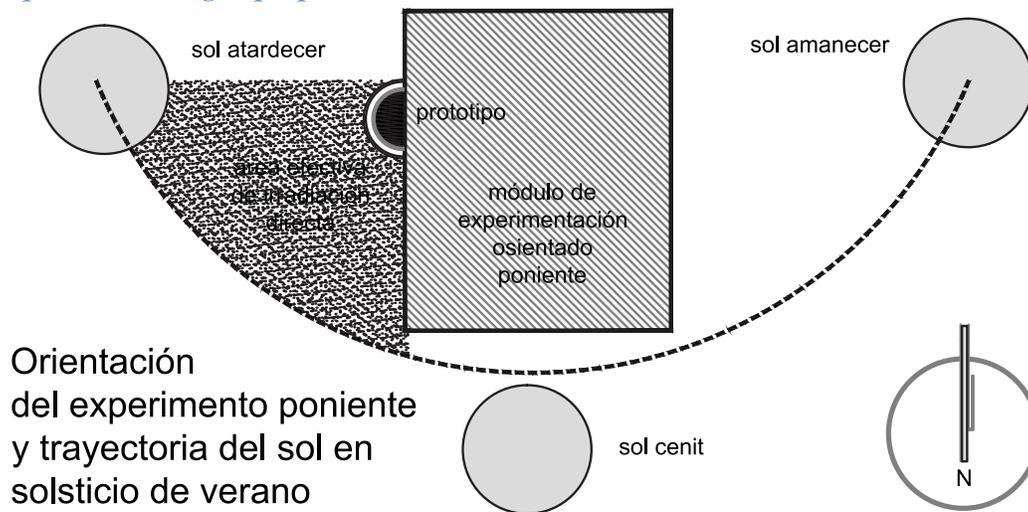
Se estudió el comportamiento con la orientación poniente del sistema. A diferencia de la orientación sur que solo ofrece hora y media de irradiación solar directa, esta orientación es capaz de brindar hasta 6:30 horas de irradiación solar directa, a partir de las 12:50 hrs solar, adicionando la ganancia por irradiación difusa



*Ilustración 77. Experimento montado.
Imagen propia*

durante las horas anteriores. Ver ilustración 78). Esto demuestra una ventaja en comparación con la orientación sur ya que no es afectada drásticamente por la altitud del sol entre en solsticio de verano e invierno como en la orientación sur, por lo que se muestra con un comportamiento homogéneo durante todo el año. Se escogió esta orientación ante la posición oriente debido a que la mayor temperatura se obtiene por la tarde noche y por orden social y cultural, será factible utilizar esta ganancia térmica en horarios nocturnos.

Ilustración 78. Orientación del experimento y área de efectividad de irradiación directa orientación poniente. Imagen propia



Análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de las lecturas obtenidas se contempla el estudio de las siguientes variables:

A) Temperatura Ambiental exterior.

B) Temperatura Esfera Inferior. Señala la temperatura en la base de la esfera inferior. En esta lectura existen 2 interpretaciones, por un lado el agua con menor temperatura se concentra en el costado inferior, sin embargo, en esta sección se puede manifestar un sistema invertido de temperatura ⁶⁰, por lo que cuando se

⁶⁰ El sistema invertido se refiere a que el plato colector que se encuentra en la parte inferior de las esferas provoca un fenómeno de transmisión energética invertido, cuando la radiación directa mantiene un nivel de energía considerable este tiende a subir la temperatura, que después se transmite por conducción al vidrio y del vidrio al agua llegando a existir hasta 8 °C más caliente de diferencia a comparación del estrato superior de la esfera, posteriormente el agua que se calienta por el plato sube disminuyendo su temperatura al mezclarse con los estratos superiores más fríos hasta culminar en la temperatura superior, a lo que se supone una inversión térmica del sistema.

encuentre el proceso de acumulación energética en desarrollo, este podrá ser más alto que la temperatura superior de las esferas.

C) Temperatura esfera superior. Determina la colección máxima de energía en el agua después de la colección energética.

D) Temperatura promedio de las esferas. Refiere al promedio entre la temperatura más alta y baja de las esferas, al existir menos densidad del agua caliente con respecto a la fría, la de mayor temperatura será acumulada en la parte superior, mientras la de menor temperatura en el inferior, por lo que dicho promedio refiere a la temperatura a considerarse del agua para determinar la eficiencia del colector.

E) Temperatura del vidrio exterior. Esta temperatura es la del vidrio de frontera exterior del prototipo, está expuesta totalmente al medio ambiente exterior.

D) Radiación solar incidida en el prototipo. Datos obtenidos con piranómetros verticales y horizontales.

Para poder abordar los resultados del experimento se seleccionaron los días con colección máxima (25 de

mayo) y mínima (06 junio) con el objetivo de desglosar el comportamiento general conforme a las condiciones climáticas de dichos días.

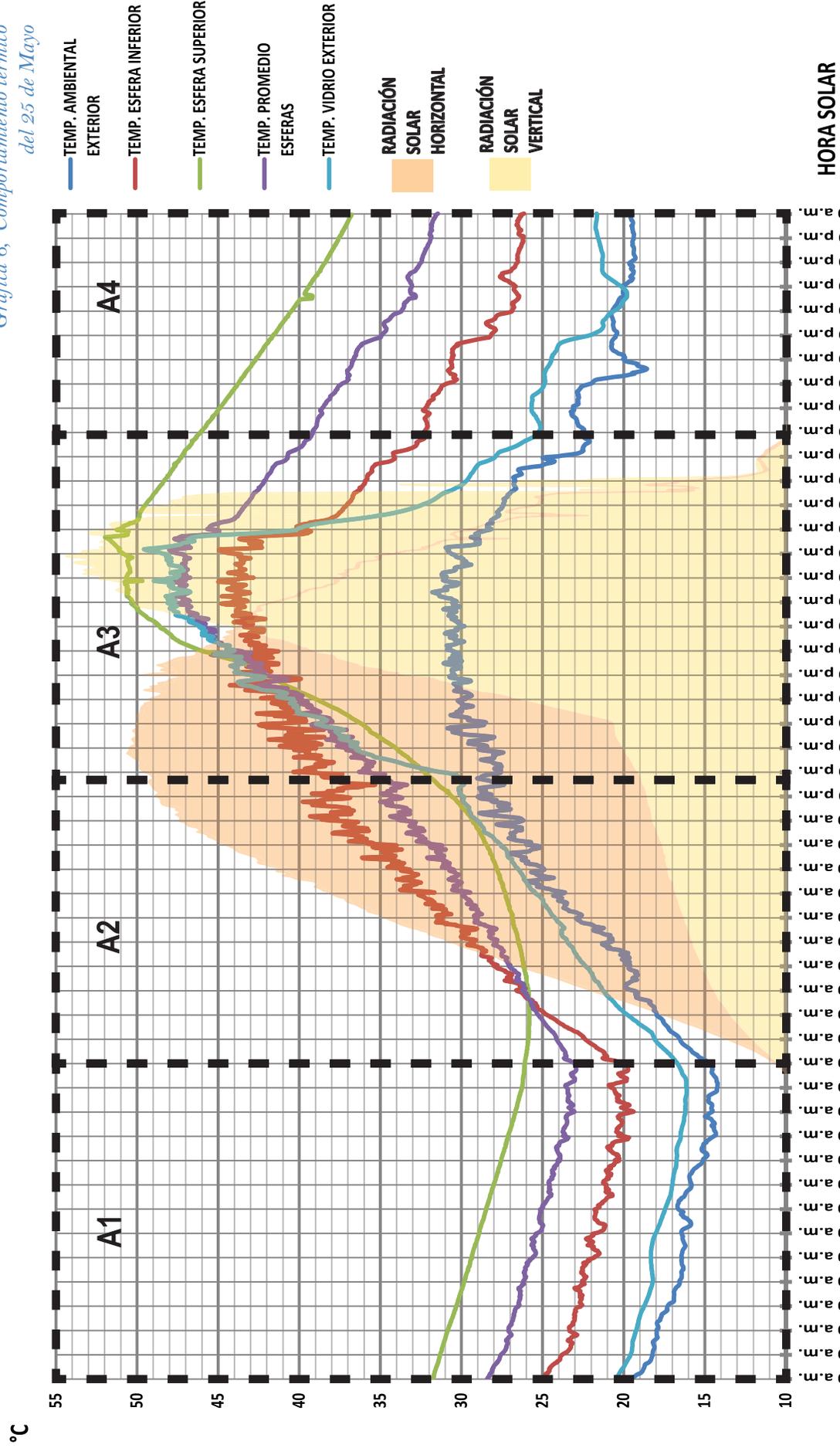
Comportamiento particular del prototipo del día con mayor colección energética. 25 de Mayo 2016

La gráfica 6 nos muestra los datos duros minuto a minuto del día de colección máxima del experimento, a partir de las 00:01 a.m. a las 11:59 p.m., con el cual podemos determinar el comportamiento térmico del prototipo en un día con condiciones climáticas óptimas para la colección solar, debido a su poca nubosidad y a un índice de claridad muy alto ⁶¹. Para el análisis es importante seccionar el día de estudio en intervalos con respecto a las condiciones de radiación nula (A1 y A4), difusa (A2) y global (A3) llegando a los siguientes resultados:

⁶¹ El índice de claridad refiere al de elementos en la atmosfera que impiden el paso directo del espectro electromagnético. Y se obtiene dividiendo la radiación global entre la radiación extraterrestre.

COMPORTAMIENTO TÉRMICO 25 DE MAYO

Gráfica 6, Comportamiento térmico del 25 de Mayo



A1. A partir de las 19:30 del día 24 de mayo, y del ocaso del sol del día anterior hasta las 06:30 am. todas las variables en la gráfica comienzan con una temperatura superior debido a la colección energética del día anterior, durante el transcurso de la madrugada estas tienden a disipar su energía ya que no existe otra fuente de energética que mantenga o incremente su temperatura, ver gráfica 7. A pesar de que todas muestran una tendencia a la baja, no todas lo hacen de la misma manera, por un lado, la temperatura ambiental se comporta de manera uniforme a la baja, sin picos, con una línea suave, sin embargo si analizamos la temperatura las demás variables, la temperatura exterior determina estos picos en diferencias de temperatura, esto debido a la velocidad y dirección del viento que disipan la energía acumulada en la masa térmica de los objetos aledaños en diferentes gradientes en un mismo intervalo de tiempo, el fenómeno es el mismo con respecto a la temperatura inferior de las esferas, muestra que se va disipando en la superficie de las esferas, la masa térmica del agua por conducción y convección trasmite la energía acumulada a la superficie para llegar al equilibrio térmico, todo este fenómeno se encuentra en comportamiento paralelo a la temperatura ambiental exterior, a diferencia de la esfera superi-

or que por efecto de termosifón mantiene una temperatura de disipación constante.

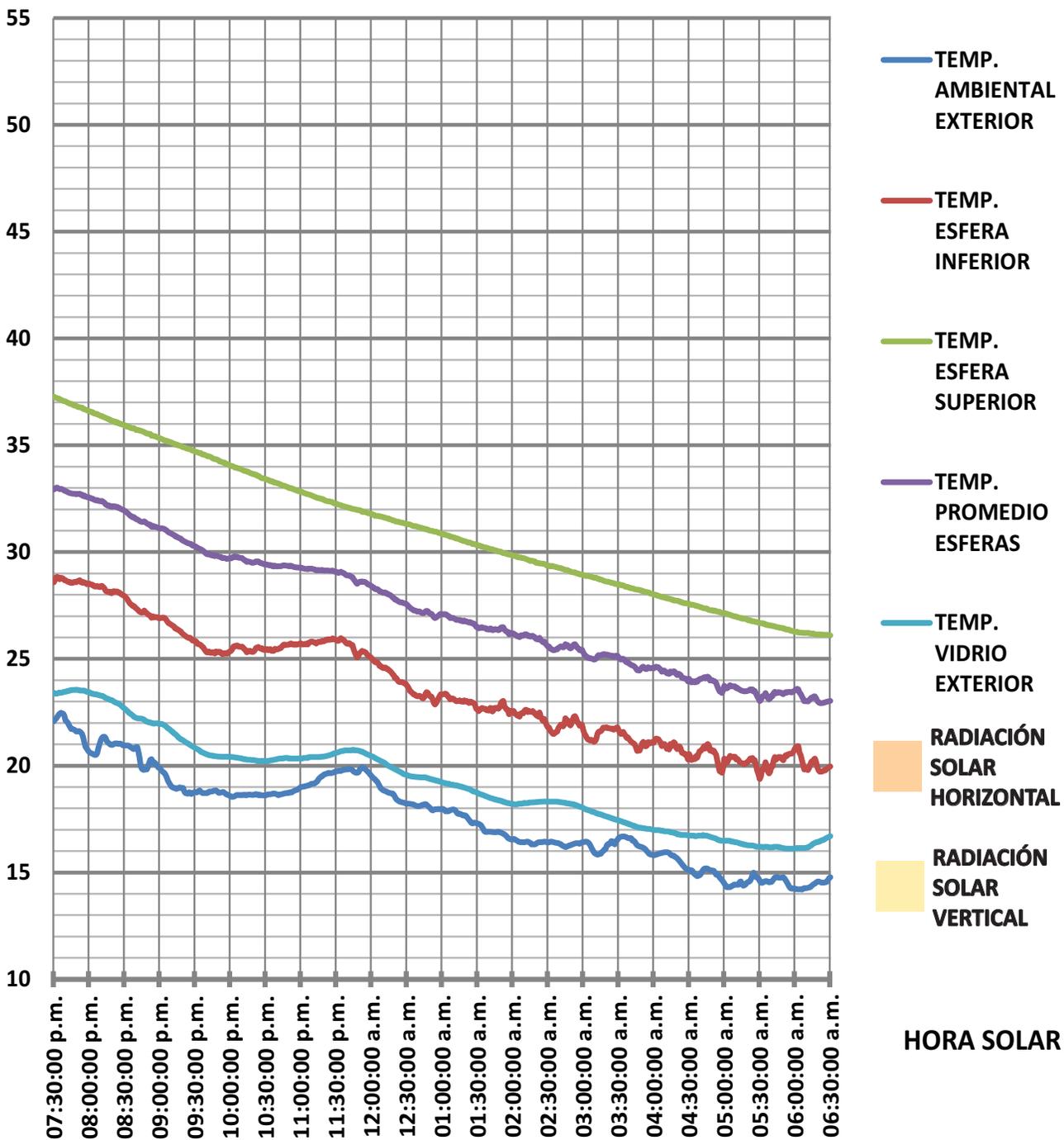
En este intervalo de tiempo se disiparon 669.06 kJoules, pasando el promedio de temperatura de las esferas de 44.79 °c en el momento inicial a las 19:30 horas del 24 de mayo, a 25.92c a las 6:30 am del 25 de mayo, significando una pérdida de temperatura de 21.87 °c. y con una diferencia de temperatura final con respecto a la temperatura ambiental exterior de 8.15 °c, disipando a su contexto 1.98 °c por hora.

A2. Contempla el rango horario de 6:30 a.m. a pasadas las 12:10 p.m. en este intervalo comienza la salida del sol a sus primeras horas con el cual obtendremos ganancias por radiación difusa en la orientación poniente, como se puede observar la gráfica 8 manifiesta una tendencia positiva en la ganancia de todas las variables, esto directamente influenciado por la radiación difusa incidente en el prototipo al igual que al aumento de la temperatura ambiental, por lo que representa una menos disipación de energía por equilibrio térmico, si comparamos la tendencia entre la temperatura ambiental exterior y la temperatura de la esfera inferior parecieran paralelas, sin embargo la temperatura de la esfera inferior tiene

A1. RADIACIÓN NULA

COMPORTAMIENTO TÉRMICO 24 DE MAYO A LAS 19:30 HRS. AL 25 DE MAYO 6:30 HRS.

°C



Gráfica 7, A1. del 25 de Mayo

a obtener valores positivos mayores a la temperatura ambiental, lo que representa una diferencia de temperatura superior al final con $12.78\text{ }^{\circ}\text{C}$ contra los $5.19\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el inicio de este intervalo de estudio, con lo que se comprueba que a pesar de que el prototipo no recibe radiación directa, el mismo es capaz de obtener ganancias por radiación difusa. Por otro lado, este fenómeno de ganancia de temperatura por radiación difusa en la esfera inferior produce el fenómeno de sistema invertido mencionado anteriormente ver gráfica 8, en el cual la sección donde se encuentra la base del colector solar tiene una mayor temperatura que la esfera superior, esto se debe a que la ganancia de temperatura en los estratos altos es mucho más lenta a pesar del efecto de termosifón; el agua que se calienta en la base en comienzo calienta los estratos bajos de la esfera y por conducción, la energía se comparte directamente en las partículas inmediatas, por lo que el calentamiento de los 7.31 Lts de agua es lento en la parte superior hasta encontrar una estabilización al igual que una menor diferencia de temperatura entre la parte baja y alta de las esferas, lo cual se observa al final de este periodo de estudio, donde a pesar de que la esfera inferior tiene un pico negativo notable debido a alguna nubosidad que bajo la radiación solar, la esfera superior no refleja este

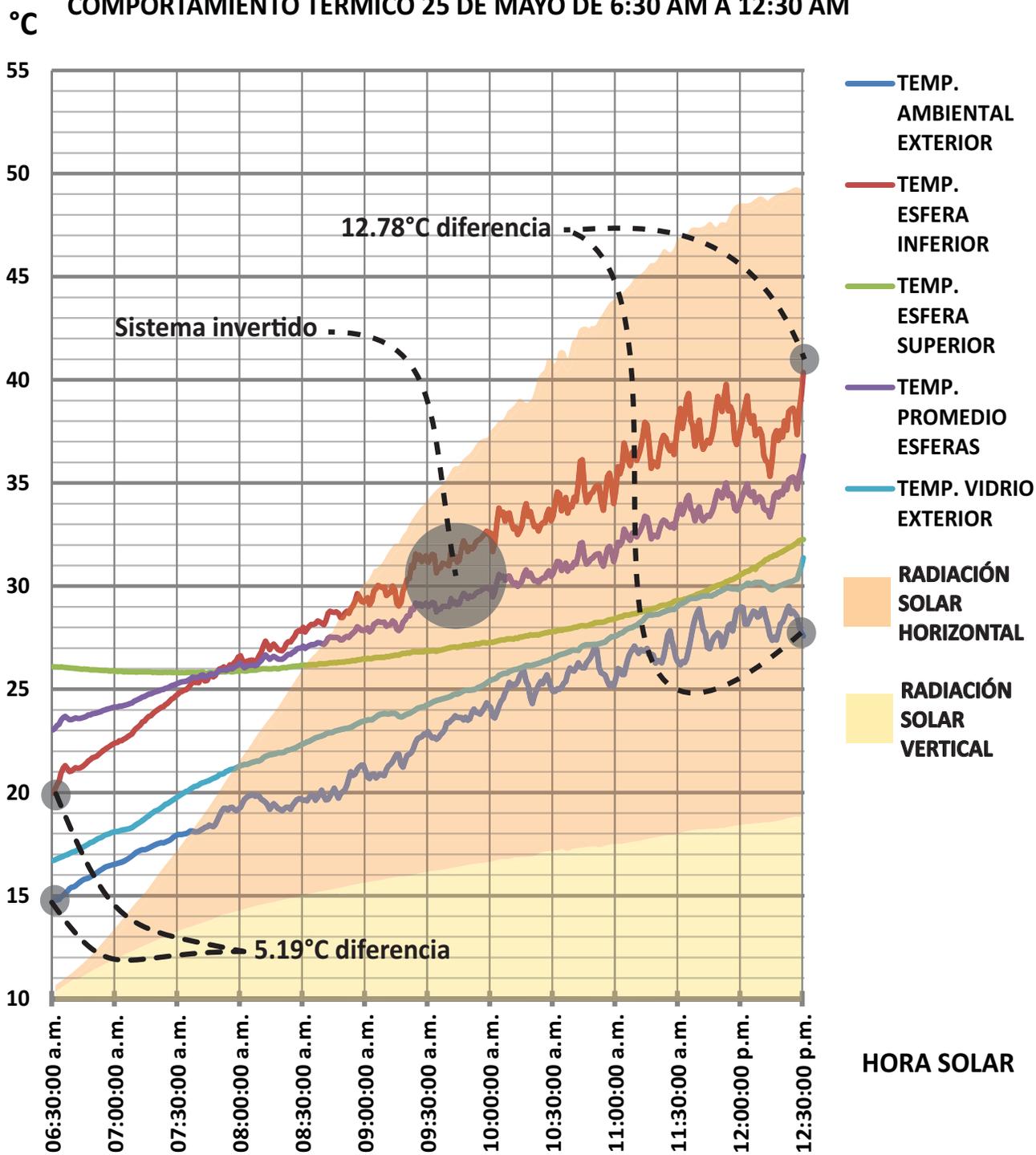
comportamiento.

En este rango horario la temperatura promedio de las esferas paso de una temperatura inicial de $22.93\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $36.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, aumentando la energía contenida en el agua en $13.88\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que se obtuvo una ganancia de 424.57 kJoules .

A3. En este intervalo a partir de las 12:30 am a las 19:30 pm, es cuando incide radiación global en el prototipo orientado al poniente, por lo que se supone una mayor ganancia energética en un menor tiempo, comportamiento que puede observarse claramente en los primeros momentos en la temperatura de vidrio exterior, la cual aumenta su ganancia por la absorción del material, subiendo de $30.42\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $36.59\text{ }^{\circ}\text{C}$ en tan solo media hora, y representa el cambio más abrupto en la gráfica, sin embargo habrá que desglosar las diferentes condiciones presentadas en este rango horario, ya que a diferencia de el intervalo A2 en donde el aumento de la temperatura ambiental representaba una estabilización en la disipación de la energía colectada al mantenerse prácticamente paralelas esta y la temperatura promedio, en este intervalo representa una mayor disipación de la energía colectada al no existir un aumento significativo en su temperatura, y por lo tanto existe una diferen-

A2. RADIACIÓN DIFUSA

COMPORTAMIENTO TÉRMICO 25 DE MAYO DE 6:30 AM A 12:30 AM



Gráfica 8, A2. del 25 de Mayo

cia cada vez mayor conforme pasa el tiempo entre la temperatura ambiental y la temperatura promedio del agua dentro de las esferas, teniendo una diferencia al inicio del ciclo de $8.84\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que en el momento de mayor temperatura a las 17:04 hrs. se tiene un registro de $17.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ de diferencia, por lo que la energía colectada se disipa con mayor rapidez buscando el equilibrio térmico.

Por otro lado la temperatura del vidrio exterior tiene una relación estrecha con respecto a la temperatura promedio de las esferas. Otro de los fenómenos importantes dentro de este periodo de radiación global, es que el efecto de sistema invertido observado en el periodo "A2" al principio de intervalo de estudio mantiene su tendencia, sin embargo a partir de las 14:30 hrs se presenta nuevamente la reversión del sistema, esto significa que a causa de la posición del sol que en estos momentos se encuentra decreciendo en su altura, el área del foco de concentración solar se encuentra en la parte superior del plato colector, por lo que los estratos bajos de las esferas a partir de estos momentos solo tendrán un aumento de temperatura por el efecto de termosifón. Cabe destacar dentro de este intervalo que la mayor temperatura dentro de las esferas se encuentra en la parte superior del

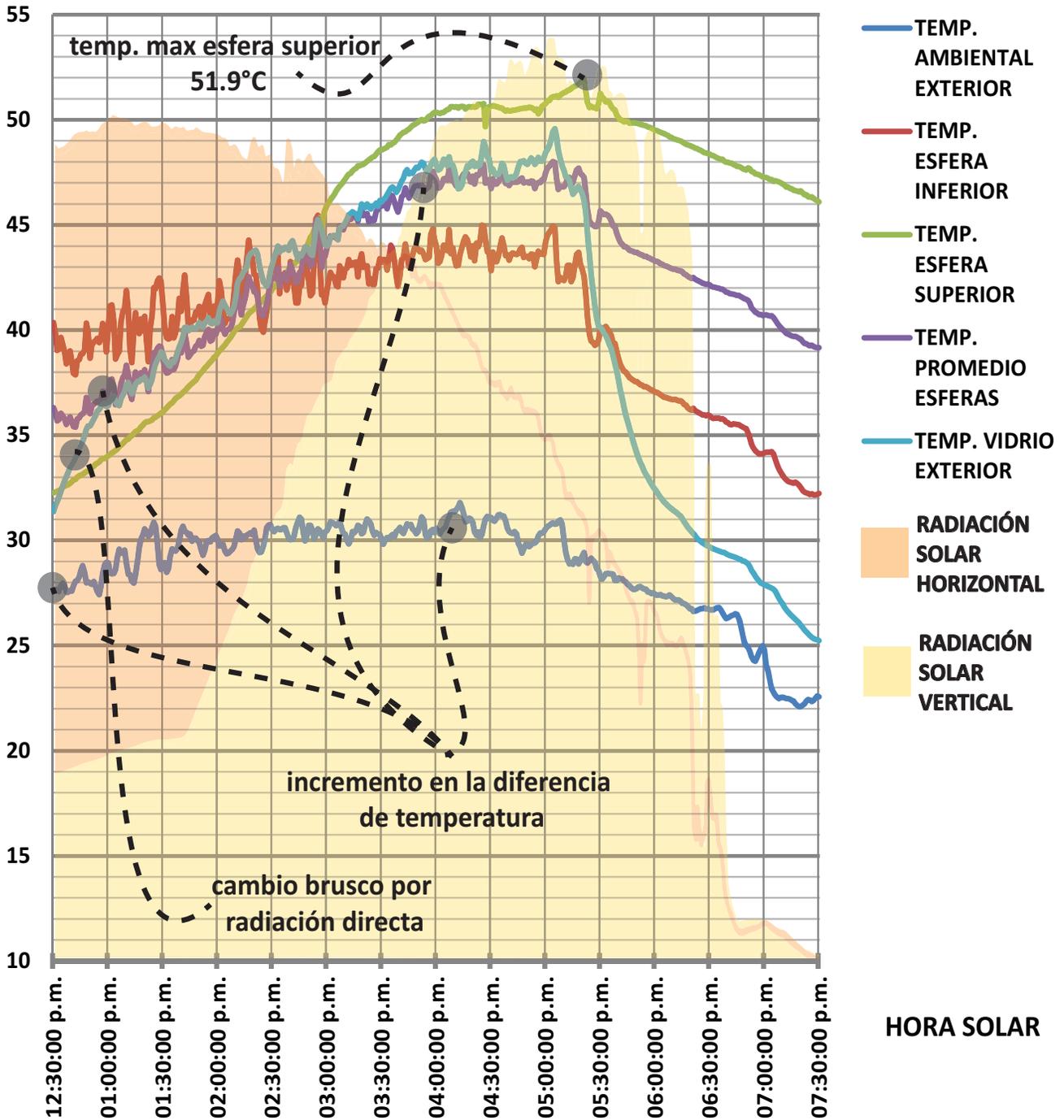
sistema (estrato alto de la esfera superior), y en dicho punto la temperatura que registra llegó a un punto máximo de $51.97\text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 17:21 hrs, mientras que la parte baja de la esfera inferior se encuentra en $42.96\text{ }^{\circ}\text{C}$ con un promedio de $47.26\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre ambas, temperatura que para el análisis de la energía colectada será la referencia principal. En este intervalo de tiempo se pudieron coleccionar 343.17 kJ de energía. A partir de esta última lectura máxima, todas las variables comienzan a descender de manera uniforme con excepción del vidrio exterior, que muestra un decrecimiento significativo al no recibir grandes cantidades de radiación, y al solo recibir energía del aire que envuelve a las esferas interiores con la masa térmica del agua, y al estar en contacto directo con la temperatura ambiental, su energía obtenida por la absorción del vidrio se pierde con mayor velocidad.

A4. El área 4 de la grafica 10 representa el intervalo de tiempo en el cual el sol llegó a su ocaso, por lo que la ganancia energética del prototipo ha finalizado considerando el intervalo de radiación nula, y debido a esto solo existirá pérdida de energía del sistema hasta la salida del sol del proximo día, y todas las variables se encuentran relacionadas con el comportamiento de la temperatura ambiental exterior,

A3. RADIACIÓN GLOBAL

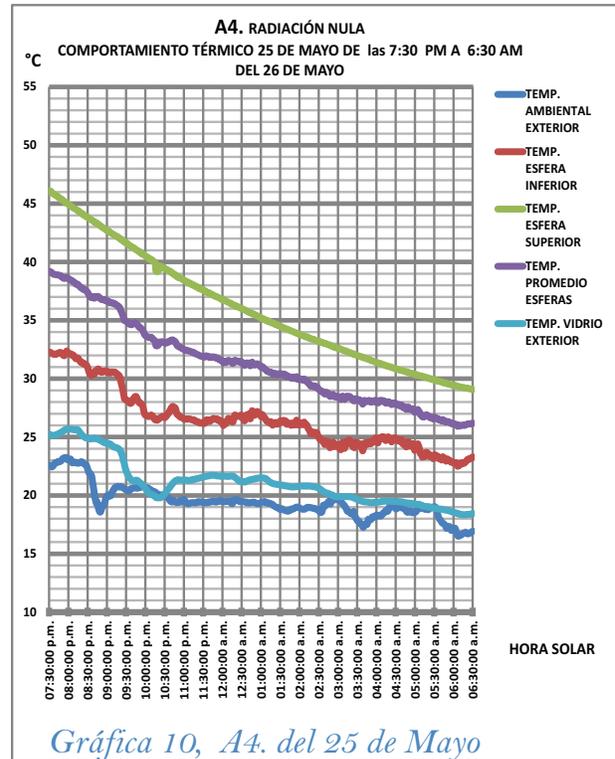
COMPORTAMIENTO TÉRMICO 25 DE MAYO DE 12:30 PM A 7:30 PM

°C



Gráfica 9, A3. del 25 de Mayo

los cambios que existan en esta se reflejarán directamente en las demás variables de una manera más tenue. Un fenómeno interesante en este intervalo es el que se demuestra en la variable de la temperatura del vidrio exterior, el cual a las 22:00 hrs decrece hasta niveles similares a la temperatura ambiental exterior, para posteriormente volver a incrementar su temperatura separándose nuevamente de las lecturas ambientales, esto representa que en esos instantes en el cual el vidrio encuentra un equilibrio térmico con la temperatura ambiental, debió existir alguna corriente de aire o precipitación pluvial significativa que liberó energía del vidrio rápidamente, sin embargo la disipación de energía de la masa térmica del agua nuevamente volvió a aumentar su temperatura, como se puede apreciar en la serie. En este intervalo de tiempo se disiparon 676.09 kJoules o bien 22.10 °c, a un ritmo de 2.01 °c por hora.

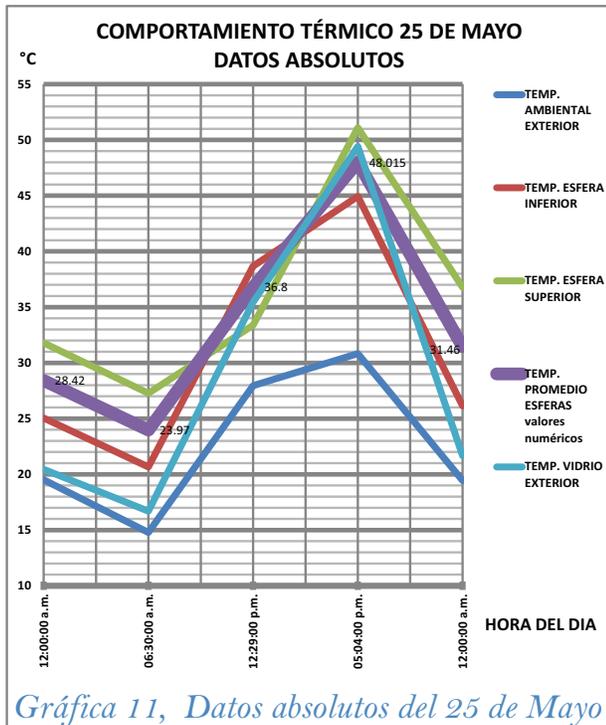


Para el estudio general del comportamiento del sistema en los días de estudio, se obtuvieron los datos absolutos de colección de energía máxima y mínima dentro de cada intervalo, con el fin de simplificar el análisis de la eficiencia del sistema para cada día, obteniendo, las siguiente gráficas representativas.

FECHA	TOMA DE LECTURA	TIPO DE RADIACIÓN	MASA	TEMP. ESFERA SUPERIOR	TEMP. ESFERA INFERIOR	TEMP. PROMEDIO ESFERAS	DIFERENCIA DE TEMPERATURA	TEMPERATURA AMBIENTAL EXTERIOR	TEMPERATURA VIDRIO EXTERIOR PROTOTIPO	JOULES COLECTADOS	JOULES DISIPADOS
25/05/2016	12:00:00 a.m.	NULA	7.31	31.79	25.05	28.42	6.74	19.52	20.45	0	Anterior
25/05/2016	06:30:00 a.m.	NULA	7.31	27.28	20.66	23.97	-4.45	14.78	16.7	0	Anterior
25/05/2016	12:29:00 p.m.	DIFUSA	7.31	33.38	38.67	36.8	13.875	27.96	35.45	424570.28	0
25/05/2016	05:04:00 p.m.	GLOBAL	7.31	51.09	44.94	48.015	11.215	30.83	49.43	343175.19	0
26/05/2016	12:00:00 a.m.	NULA	7.31	36.78	26.14	31.46	42516	19.45	21.67	0	-676099.49

Tabla 17, datos absolutos del 25 de Mayo

JOULES **767745.469** **-676099.49**



Gráfica 11, Datos absolutos del 25 de Mayo

Cálculo de la eficiencia del prototipo

A pesar de que el prototipo de colección solar es manejado como un muro, la geometría del prototipo al ser esférico y sobresaliente al plano vertical (Ver ilustración 79), le corresponden varios ángulos de tangente con respecto al sol, por lo que a comparación de un plano de incidencia totalmente vertical, este recibe en diferentes magnitudes la radiación medida con los piranómetros tanto verticales como horizontales, esto quiere decir, que la radiación solar que incide en el prototipo a partir del cenit solar corresponde en mayor manera a las lecturas del piranómetro en posición horizontal, y en el transcurso del recorrido solar, la radiación que

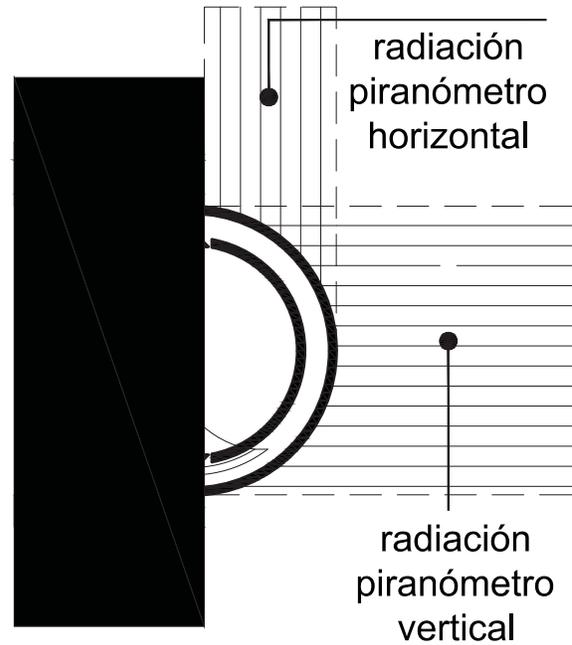
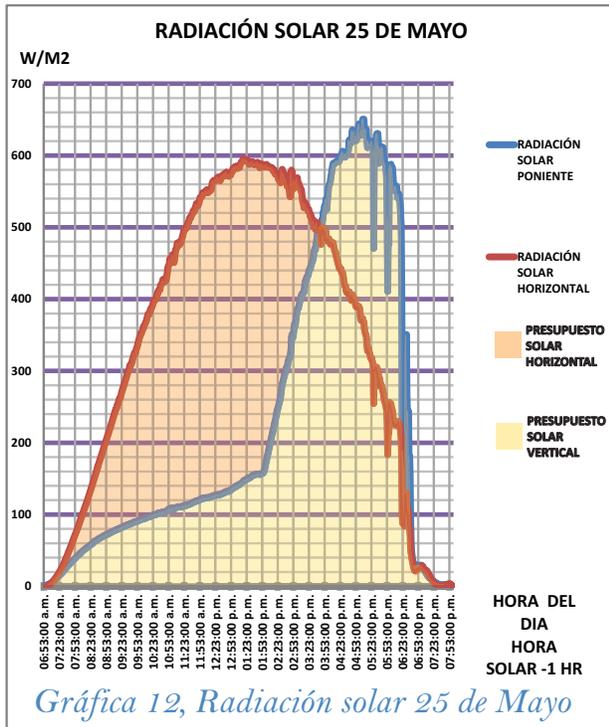


Ilustración 79. Radiación horizontal y vertical en el prototipo. Imagen propia

se obtiene en prototipo llega a los parámetros de el piranómetro en posición vertical, por lo que la energía incida en el prototipo corresponde a ambas posiciones de los piranómetros. Debido a las características antes mencionadas, para la obtención del presupuesto energético que incide en el prototipo se tomarán ambas lecturas, tanto del piranómetro horizontal como el vertical, siendo el primero para los horarios a partir de la radiación directa en el prototipo, de 12:30 hrs. a 15:10 hrs., y para el vertical de 15:11 hrs. 12:29 hrs del siguiente día. calculando el área de incidencia en el prototipo para cada rango horario, esto con el objetivo de establecer un método de estudio lo mas preciso posible a las características del

FECHA	RANGO HORARIO	RADIACIÓN VERTICAL PONIENTE (WATT/M2)	JOULES DE ENERGÍA TÉRMICA	SUPERFICIE DE COLECCIÓN VERTICAL PONIENTE (M2)	JOULES EFECTIVOS EN PLANO VERTICAL	RADIACIÓN HORIZONTAL (WATT/M2)	JOULES DE ENERGÍA TÉRMICA	SUPERFICIE DE COLECCIÓN HORIZONTAL (M2)	JOULES EFECTIVOS EN PLANO HORIZONTAL
25/05/2016	6:30 HRS - 12:49 HRS	29380.692	1762841.52	0.10125	178487.7039		0	0.0824	0
25/05/2016	12:50 HRS - 15:09 HRS		0	0.10125	0	80885.06	4853103.634	0.0824	399895.7395
25/05/2016	15:10 HRS - 19:30 HRS	112467.76	6748065.6	0.10125	683241.642		0	0.0824	0



Gráfica 12, Radiación solar 25 de Mayo

objeto de estudio para el cálculo de su eficiencia. A continuación se muestra el comportamiento de la radiación solar durante el día de estudio y del cual se obtuvieron los valores con el metodo antes descrito. Ver gráfica 12.

Tabla 18, Distribución de la irradiación entre vertical y horizontal del 25 de Mayo

SUMA DE POTENCIAS VERTICAL Y HORIZONTAL	UNIDAD
1261625.09	JOULES

Considerando los anteriores puntos de colección de energía y el presupuesto energético obtenido en las horas de radiación solar proporcionales en irradiancia vertical y horizontal se obtuvieron los datos de eficiencia del prototipo. Ver tabla 18.

Por lo que podemos concluir para este día una eficiencia del 60.9 % con respecto al presupuesto solar obtenido en este intervalo de tiempo ver tabla 19 y grafica 13. Con el coeficiente de eficiencia del prototipo, y retomando el análisis previo de los KJoules necesarios para cubrir las

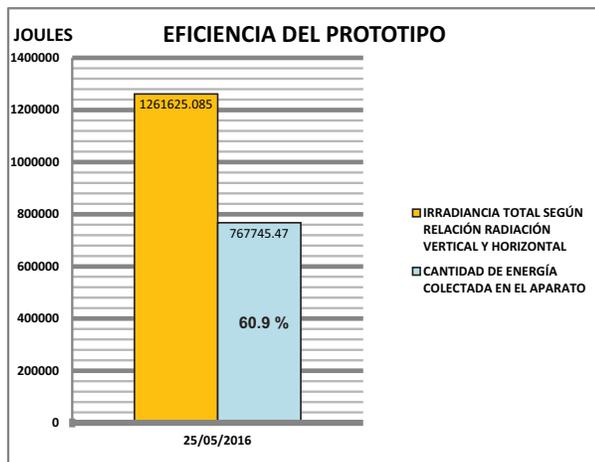
Tabla 19, Cálculo de la eficiencia del prototipo para el 25 de mayo.

FECHA	IRRADIANCIA TOTAL SEGÚN RELACIÓN RADIACIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL	UNIDAD	CANTIDAD DE ENERGÍA COLECTADA EN EL APARATO	UNIDAD
25/05/2016	1261625.085	JOULES	767745.47	JOULES

EFICIENCIA DEL PROTOTIPO **60.9%**

RESULTADOS DEL ANÁLISIS TÉRMICO DEL 25 DE MAYO 2016	CANTIDAD	UNIDAD
---	----------	--------

JOULES COLECTADOS	767.75	Kjoules
CANTIDAD NECESARIA DE JOULES VERANO	31588	Kjoules
PORCENTAJE CUBIERTO	2.43	%
CANTIDAD DE MÓDULOS NECESARIOS	41.1	unidades
ÁREA EN FACHADA POR CUBRIR	6.71	m ²



Gráfica 13, Eficiencia del prototipo en el 25 de Mayo

necesidades de agua caliente en un día, obtenemos como resultado la utilización de 41 módulos como el sometido a experimentación para abastecer la demanda energética, cubriendo un área en la fachada oriente de la vivienda de 6.71 m².

Comportamiento particular del prototipo del día con menor colección energética. 06 de Junio 2016

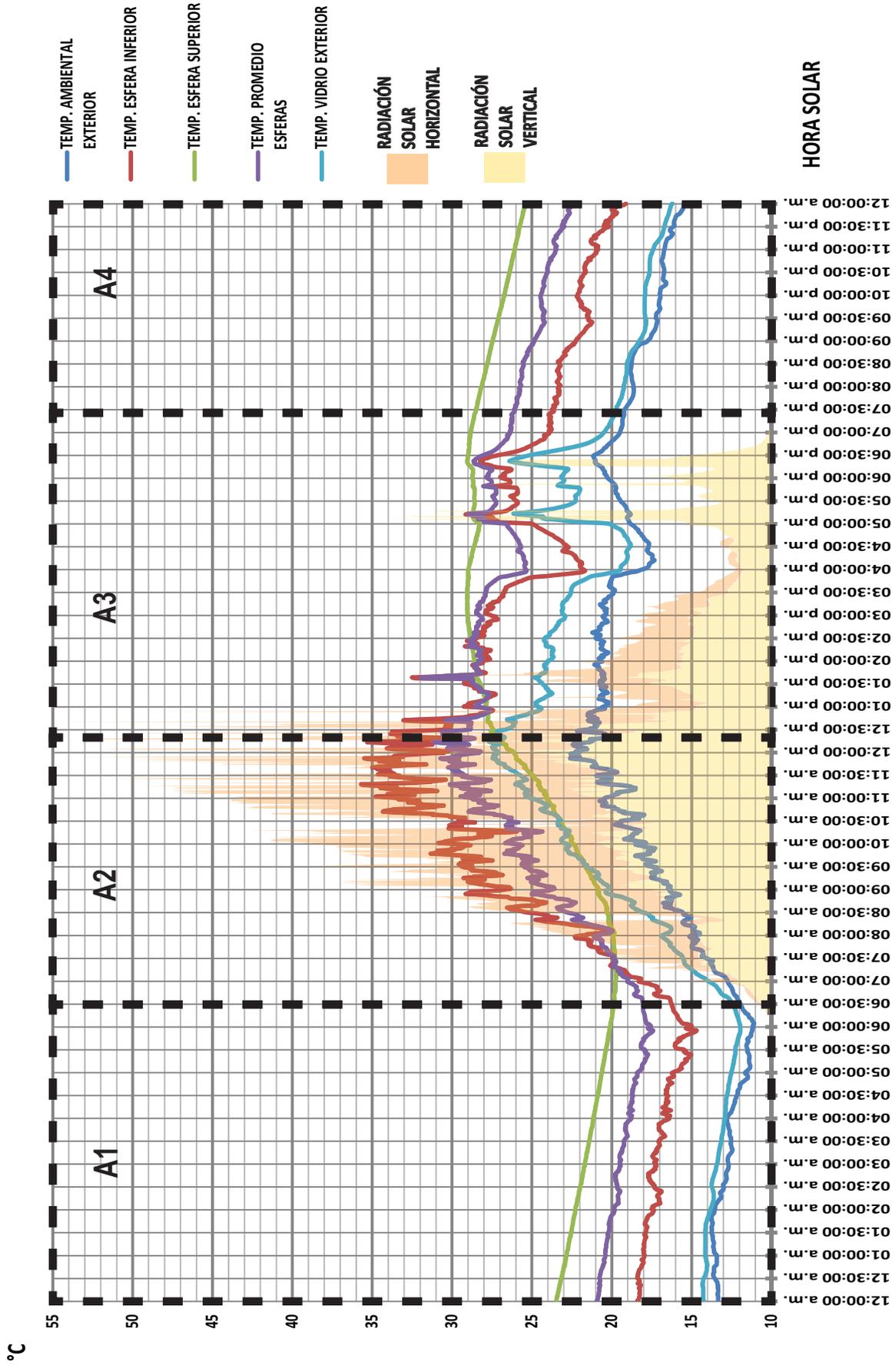
Dentro de todo el desarrollo del experimento, el día 6 de junio es considerado como el de menor colección energética. Una de las características de este día en particular es un

índice de claridad bajo en comparación con el 25 de mayo, día de mayor colección energética, por lo que para obtener un criterio de eficiencia con respecto a estas condiciones atmosféricas, daremos pie a el análisis con el mismo método que el anterior día de colección máxima, y de igual manera, seccionando por condiciones de radiación los intervalos el cual podemos ver en la gráfica 14, sumando al análisis la irradiación del 25 de mayo para comparar las condiciones energéticas entre ambos días.

A1. De igual manera que el ejercicio pasado del 25 de mayo, este intervalo de tiempo solo muestra las pérdidas energéticas durante el transcurso de la noche, por lo que a partir de las 7:30 del 5 de junio donde ya no recibe radiación solar nula hasta las 6:30 del 06 de junio momentos antes de la salida del sol, se disipa una cantidad de 578.94 KJoules, equivalentes a 18.92 °C a una velocidad de 1.58 °C/hora.

A2. A partir del inicio de la radiación a las 6:30 hrs, todas las variables comienzan la absorción de energía con lo cual la tendencia en la ganancia se vuelve positiva, y donde el “sistema invertido” se presenta media hora más temprano en comparación del 25 de mayo, lo que significa que en estos momentos el índice de claridad es mayor contra el

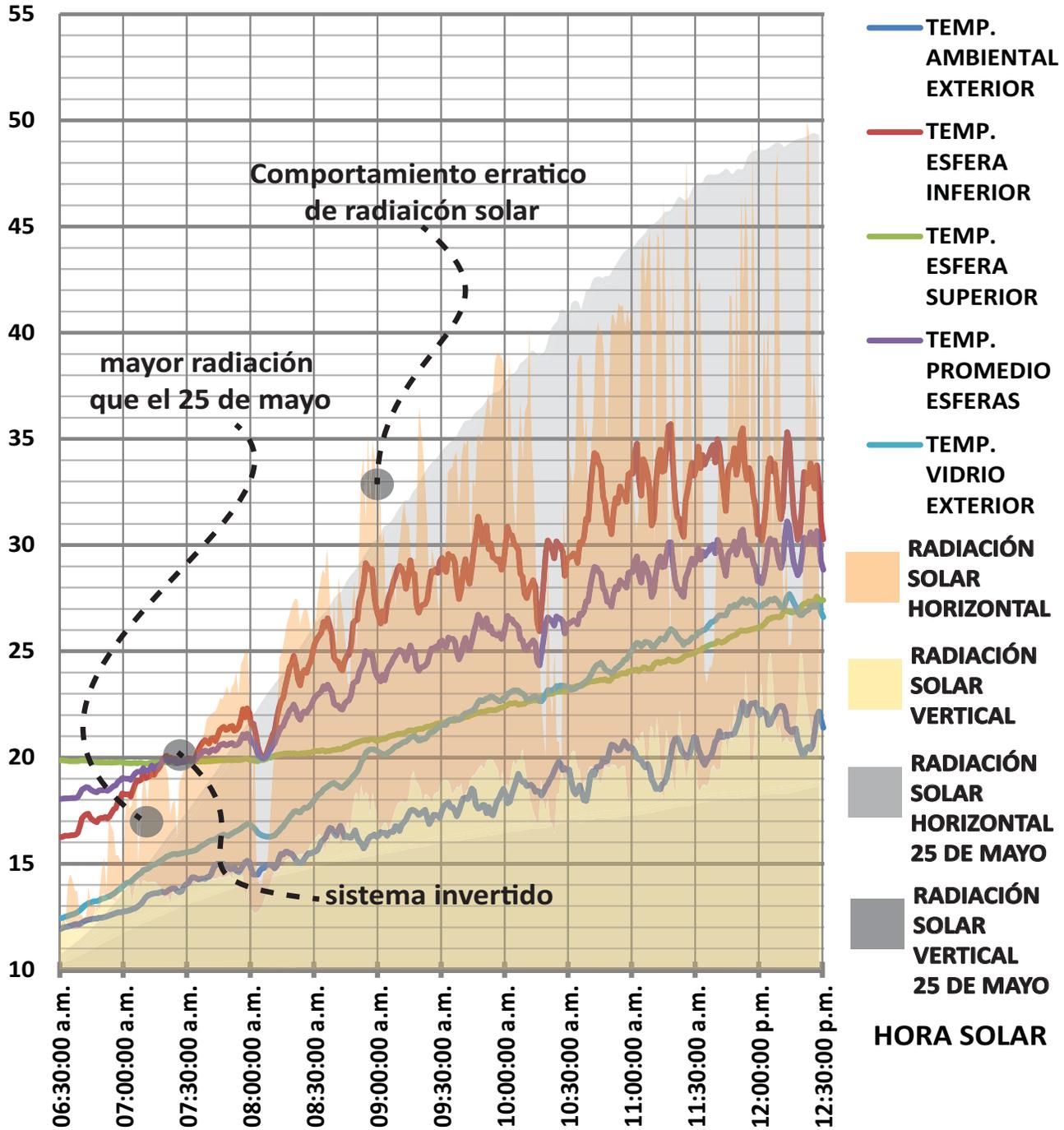
COMPORTAMIENTO TÉRMICO 06 DE JUNIO



Gráfica 14, Comportamiento térmico del 06 de junio.

A2. RADIACIÓN DIFUSA

COMPORTAMIENTO TÉRMICO 06 DE JUNIO
DE 6:30 AM A 12:30 AM



Gráfica 15, A2 del 06 de junio.

anterior análisis, y por lo tanto en estos momentos la cantidad de energía que incide en el prototipo es mayor que en su análisis homólogo. Sin embargo el comportamiento de radiación solar para este intervalo es intermitente, carece de la constante del anterior día, esto se atribuye a una gran cantidad de nubosidad dispersa en el cielo que obstruye momentáneamente el paso de la luz directa, obteniendo un comportamiento errático en la radiación solar, a partir de este fenómeno, la temperatura de todas las variables del experimento tienden a responder paralelamente al comportamiento solar, sin embargo esto afecta a la colección energética debido a que las ganancias que se obtienen se disipan al no incidir energía que mantenga e incremente la ganancia en la masa térmica del agua, a pesar eso en este intervalo pasa de una temperatura inicial de $18.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 6:30 hrs. a $28.83\text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 12:27 hrs. incrementando en $10.78\text{ }^{\circ}\text{C}$ su temperatura, equivalente a 419.62 kJoules a un ritmo de $1.19\text{ }^{\circ}\text{C/hr}$. Ver gráfica 15.

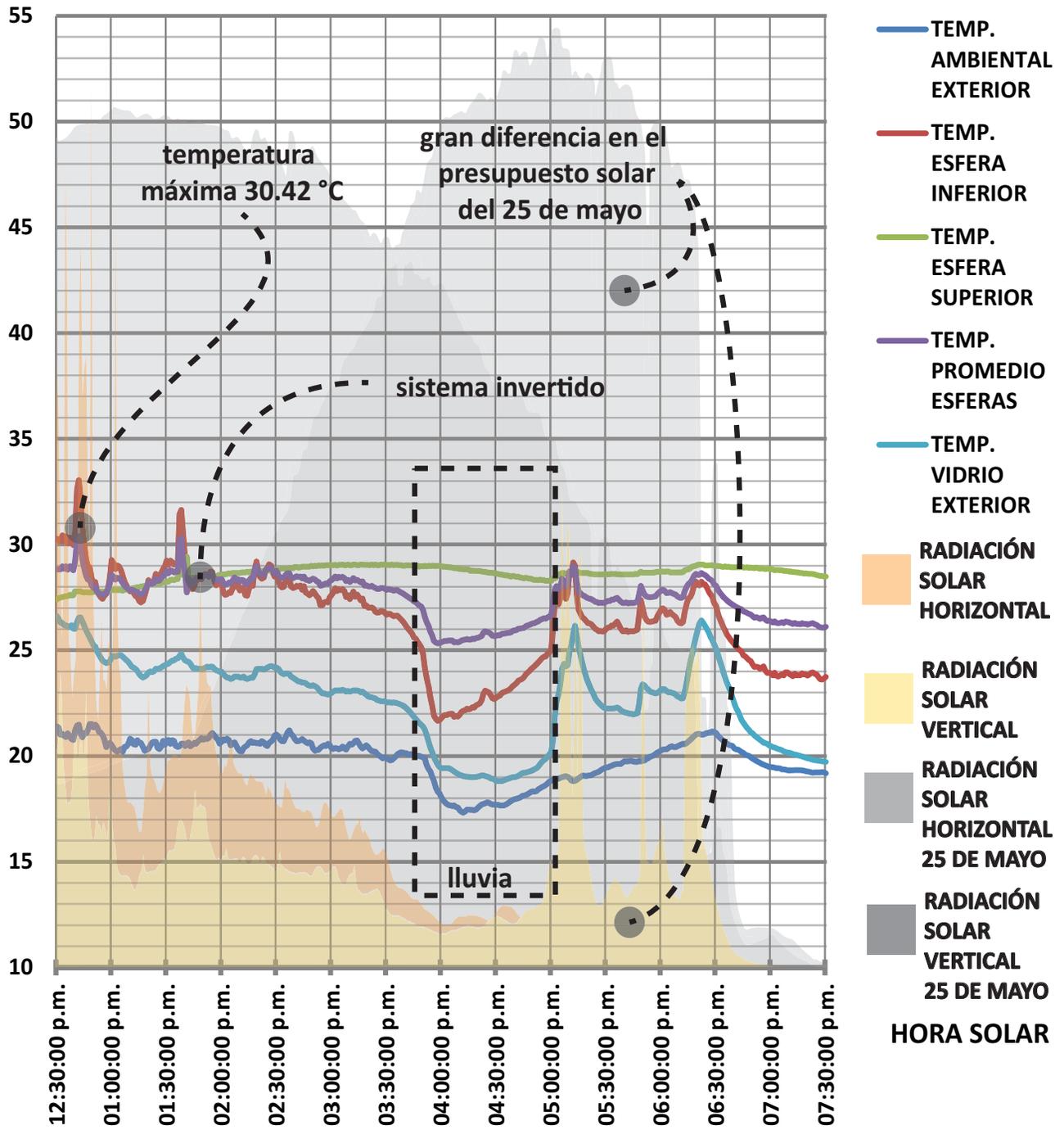
A3. Dentro de este intervalo se muestra la gran diferencia entre el 25 de mayo y el 6 de junio. Como se puede observar en la gráfica 16, la radiación solar tiene un decrecimiento radical contra el comportamiento en las horas anteriores (A2), donde la nubosidad es más constante y por periodos prolonga-

dos, con una temperatura ambiental que no sobrepasa los $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante las primeras 3 horas, esto se refleja claramente en la ganancia energética de las esferas, en donde tanto la superior como la inferior mantienen una paridad importante en cuanto a su temperatura, mientras que el vidrio exterior representa un descenso constante. Al no existir en su mayor tiempo incidencia de radiación indirecta debido a la nubosidad y lluvia, el momento de mayor temperatura se refleja a las 12:42 hrs. tan solo 17 minutos después de la temperatura máxima registrada en el A2, incrementando tan solo en $1.58\text{ }^{\circ}\text{C}$, registrando $30.42\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el promedio de las esferas, a partir de este instante, y durante las 3 horas siguientes se mantendrá constante la temperatura con pequeños picos a la alta y a la baja, en los cuales también se presenta el sistema invertido; sin embargo a las 3:30 hrs, se presenta un cambio brusco a la temperatura de todas las variables debido a una lluvia de aproximadamente una hora, la única variable que no representa este cambio brusco es la temperatura de la esfera superior que por termosifón mantiene la mayor calor. Posteriormente a la lluvia la radiación solar vuelve a incrementarse, sin embargo no representa mayores cambios positivos hasta el final del periodo. Debido al compor-

A3. RADIACIÓN GLOBAL

COMPORTAMIENTO TÉRMICO 06 DE JUNIO DE 12:30 PM A 7:30 PM

°C



Gráfica 16, A3 del 06 de junio.

tamiento de la radiación en este intervalo solo captaron 0.48 KJoules, y si tomamos la temperatura máxima de este intervalo de 30.42 °C para el promedio de las esferas y el final del mismo con 26.54 °C se disiparon 3.88 °C.

A4. Una vez que el sol haya entrado al ocaso y exista una ganancia nula, se presenta de igual manera la tendencia a disipar energía que en el 25 de mayo pasando de 26.54 °C a 17.42 °C, perdiendo 396.4 kJoules de energía con un ritmo de 0.82 °C/hra; si comparamos que el 25 de mayo en el mismo de tiempo se perdía energía con una frecuencia de 2.1 °C/hra, el ritmo de disipación mayor se debe a la cantidad de energía colectada frente a la temper-

atura ambiental y todos los elementos en contacto directo con el prototipo, a mayor diferencia entre el promedio de las esferas y la temperatura de su contexto, mayor disipación existirá en menor tiempo.

Cálculo de la eficiencia del prototipo 6 de junio

Utilizando el mismo metodo que el 25 de mayo, se calculó el presupuesto energético de irradiación solar para el 6 de junio, obteniendo 698.13 Kjoules durante todo el intervalo, mientras que la cantidad de energía colectada fue de 444.76 Kilojoules, por lo que se obtiene una eficiencia de 63.7 %.

FECHA	RANGO HORARIO	RADIACIÓN VERTICAL PONIENTE (WATT/M2)	JOULES DE ENERGÍA TÉRMICA	SUPERFICIE DE COLECCIÓN VERTICAL PONIENTE (M2)	JOULES EFECTIVOS EN PLANO VERTICAL	RADIACIÓN HORIZONTAL (WATT/M2)	JOULES DE ENERGÍA TÉRMICA	SUPERFICIE DE COLECCIÓN HORIZONTAL (M2)	JOULES EFECTIVOS EN PLANO HORIZONTAL
06/06/2016	6:30 HRS - 12:49 HRS	49895.002	2993700.12	0.10125	303112.1372		0	0.0824	0
06/06/2016	12:50 HRS - 15:09 HRS		0	0.10125	0	40869.11	2452146.41	0.0824	202056.8642
06/06/2016	15:10 HRS - 19:30 HRS	31763.494	1905809.64	0.10125	192963.2261		0	0.0824	0

FECHA	IRRADIANCIA TOTAL SEGÚN RELACIÓN RADIACIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL	UNIDAD	CANTIDAD DE ENERGÍA COLECTADA EN EL APARATO	UNIDAD
06/06/2016	698132.23	JOULES	444766.06	JOULES

EFICIENCIA DEL PROTOTIPO 63.7%

RESULTADOS DEL ANÁLISIS TÉRMICO DEL 06	CANTIDAD	UNIDAD
JOULES COLECTADOS	444.77	Kjoules
CANTIDAD NECESARIA DE JOULES VERANO	31588	Kjoules
PORCENTAJE CUBIERTO	1.41	%
CANTIDAD DE MÓDULOS NECESARIOS	71.0	unidades
ÁREA EN FACHADA POR CUBRIR	11.58	m2

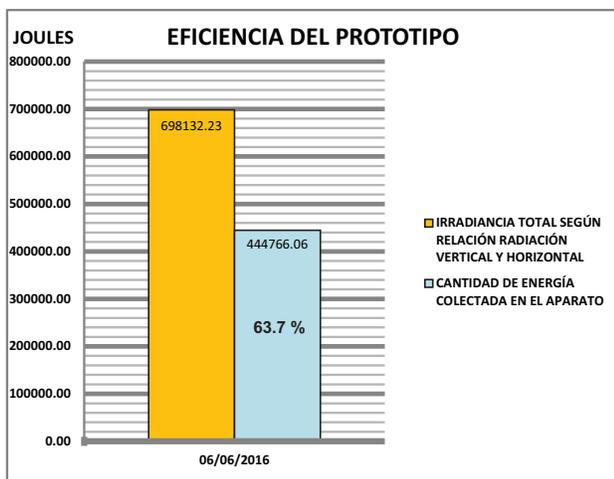
RESULTADOS DEL ANÁLISIS TÉRMICO DEL 06	CANTIDAD	UNIDAD
JOULES COLECTADOS	444.77	Kjoules
CANTIDAD NECESARIA DE JOULES VERANO	31588	Kjoules
PORCENTAJE CUBIERTO	1.41	%
CANTIDAD DE MÓDULOS NECESARIOS	71.0	unidades
ÁREA EN FACHADA POR CUBRIR	11.58	m2

Tabla 20, Cálculo del presupuesto solar para el 6 de junio.

SUMA DE POTENCIAS VERTICAL Y HORIZONTAL	UNIDAD
698132.23	JOULES

698132.23	JOULES
-----------	--------

Tabla 21 Cálculo de la eficiencia del prototipo para el 6 de junio



Gráfica 17, Eficiencia del prototipo en el 06 de junio.

Con este coeficiente de eficiencia considerando nuevamente el presupuesto energético obtenido este día, serían necesarios 71 módulos iguales al sometido a experimentación con un área de 11.58 m² sobre la fachada. Si comparamos la cantidad de módulos necesarios en estas condiciones con las condiciones de mayor eficiencia existe una diferencia de 30 módulos extras para satisfacer la demanda energética de la vivienda, sin embargo, estos días en particular considerados dentro del análisis como los de mayor y menor colección energética, no refleja la constante climática en un periodo mayor de tiempo, por lo que para hacer un análisis objetivo sobre la eficiencia del prototipo se tomarán en cuenta los 30 días de duración del experimento para obtener un promedio con mayores condiciones climáticas.

Eficiencia global del prototipo

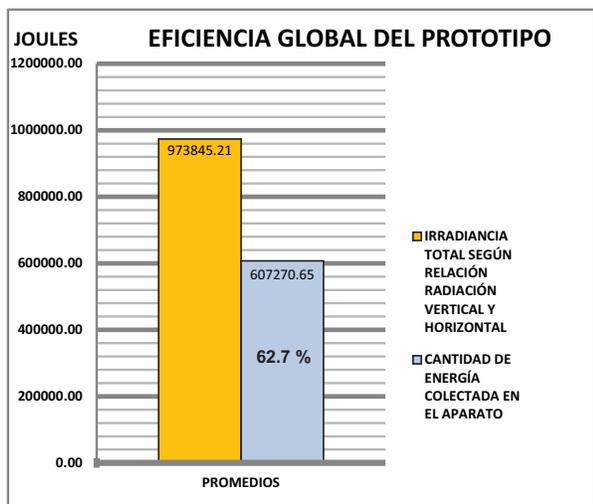
Como se mencionó anteriormente, el experimento térmico tuvo una duración de 30 días para su análisis, una vez identificados los días máximos y mínimos que representan el rango de funcionamiento en condiciones climáticas óptimas y adversas en los cuales, el resto de los días se desarrollan dentro de este rango, y para obtener un cálculo de la eficiencia con mayores muestras se tomará el completo experimento mencionado. Con este método de análisis se obtendrá el coeficiente de eficiencia global del prototipo según los datos registrados del 19 de Mayo al 17 de junio del 2016, y así calcular el coeficiente del promedio de todas estas días de muestra con los siguientes datos. Ver tabla 23. El promedio de la energía colectada fue de 607.27 KJoules, mientras que el promedio de irradiación fue de 973.845 kJoules, por lo que el promedio de la eficiencia global del prototipo se concluye de 62.7 %, con lo que serán necesarios 52 módulos en un área de 8.48 m² para satisfacer la demanda energética de la vivienda.

RESULTADOS TÉRMICO PROMEDIO	CANTIDAD	UNIDAD
JOULES COLECTADOS	607.27	Kjoules
CANTIDAD NECESARIA DE JOULES VERANO	31588	Kjoules
PORCENTAJE CUBIERTO	1.92	%
CANTIDAD DE MÓDULOS NECESARIOS	52.0	unidades
ÁREA EN FACHADA POR CUBRIR	8.48	m ²

Tabla 22 Cálculo de la eficiencia del prototipo global del experimento.

FECHA	JOULES COLECTADOS	JOULES DISIPADOS	IRRADIACIÓN SOLAR (PRESUPUESTO) Joules	EFICIENCIA DEL PROTOTIPO
19/05/2016	638155.91	-578639.57	1163486.17	0.548
20/05/2016	591797.42	-517746.25	1072862.30	0.552
21/05/2016	726282.93	-779679.34	1190314.98	0.610
22/05/2016	660799.66	-627905.02	1125509.84	0.587
23/05/2016	495102.50	-596846.37	809155.05	0.612
24/05/2016	713125.08	-669061.57	1204811.61	0.592
25/05/2016	767745.47	-676099.49	1261625.09	0.609
26/05/2016	496173.49	-684361.40	760511.36	0.652
27/05/2016	629894.00	-585830.49	972625.04	0.648
28/05/2016	703945.18	-678394.46	1123128.08	0.627
29/05/2016	642286.86	-654985.72	1029808.18	0.624
30/05/2016	664777.61	-691093.32	1045525.44	0.636
31/05/2016	585218.50	-585371.50	936041.58	0.625
01/06/2016	655291.72	-593939.40	979900.18	0.669
02/06/2016	530751.10	-589043.46	985695.68	0.538
03/06/2016	612758.19	-591185.43	899863.68	0.681
04/06/2016	571295.65	-662482.64	874368.58	0.653
05/06/2016	542990.97	-578945.57	804690.46	0.675
06/06/2016	444766.06	-396418.60	698132.23	0.637
07/06/2016	565022.72	-548039.91	894305.62	0.632
08/06/2016	563645.74	-549263.90	820996.44	0.687
09/06/2016	464349.84	-407128.48	704514.44	0.659
10/06/2016	563798.74	-586901.48	823468.23	0.685
11/06/2016	554312.84	-547427.92	906080.15	0.612
12/06/2016	638461.91	-628823.01	977344.37	0.653
13/06/2016	684667.39	-672274.53	1073358.85	0.638
14/06/2016	615206.16	-629435.01	933995.19	0.659
15/06/2016	693541.29	-633259.96	1137073.19	0.610
16/06/2016	617807.14	-670897.55	1137102.33	0.543
17/06/2016	584147.51	-525702.16	869061.87	0.672
PROMEDIOS	607270.65	-604572.78	973845.21	0.627

Tabla 23. Resultado de los 30 días de experimentación.



Gráfica 18, Eficiencia global del prototipo.

Resultados generales del experimento térmico

Según el artículo “Estudio de evaluación de eficiencia de un calentador solar de tubos al vacío con tanque acumulador”⁶², en donde estudian la eficiencia de un calentador solar de tubos al vacío, la eficiencia encontrada en estos tipos de calentadores se encuentra en un promedio máximo del 69.97 % sobre el presupuesto solar, mientras que los resultados del prototipo concluyeron en 62.7 % por lo que este se encuentra en niveles competitivos con los calentadores de azotea existentes.

	Cantidad de KJoules colectados	Cantidad de módulos para satisfacer la demanda energética	KJoules contenidos en un kg de gas LP	Kilos de Gas LP equivalentes en colección solar
por día	607.27	52	45636.12	0.69
por mes	18218.1196	52	45636.12	20.76
por año	221653.788	52	45636.12	252.56

Tabla 24. Cantidad de gas ahorrado por la colección solar.

Para comprender el impacto que los resultados del comportamiento térmico del prototipo, Según el artículo “Factibilidad del uso del biogas como combustible”⁶³ el poder calórico del Gas LP es de 10907.14 Kcal/kg, siendo equivalente a 45635.47 KJ por Kg., este valor se tomó en cuenta para obtener la equivalencia de la energía acumulada y los kg de gas LP que habrá que quemarse para obtener la energía colectada, ver tabla 24 por lo que diariamente se evita la quema de 0.69 Kg. Siendo el equivalente al mes de 20.76 kg. Y anualmente se ahorrarán 252.56 kg de combustible fósil

62 Montoya A & Palo T. & Cabana W & Soria L. (2011). ESTUDIO DE EVALUACION DE EFICIENCIA DE UN CALENTADOR SOLAR DE TUBOS AL VACIO CON TANQUE ACUMULADOR, DE LA EMPRESA D’SOL. 2016

63 Gomez C & Ferrera N & Moreira J. (2014, abril 06). FACTIBILIDAD DEL USO DE BIOGAS COMO COMBUSTIBLE EN LA INDUSTRIA LADRILLERA DEL MUNICIPIO DE CHIAPA DE CORZO, CHIAPAS, MEXICO. AIDIS, 44-33, 7

4.2.- Experimento térmico del muro como envolvente

Objetivo del experimento

Determinar el intercambio energético entre el exterior, el aparato colector y el interior del módulo de experimentación, para obtener un coeficiente de conductividad térmica en el muro colector solar.

Espacio de experimentación

Al igual que el experimento anterior, se utilizó el módulo de experimentación fabricado especialmente para esta prueba, y está compuesto de una serie de aislamientos térmicos con el propósito de evitar la transmitancia térmica con el ambiente exterior. Este tratamiento está dispuesto en 5 caras del cubo, destinando parcialmente 1 cara a la colocación del prototipo en experimentación. La ubicación del módulo y fechas de la prueba corresponden a las mismas condiciones mencionadas en el “Experimento Térmico del Colector Solar como Aparato”.

VARIABLES DE LA EXPERIMENTACIÓN

- A) La orientación del prototipo
- B) La latitud, y Longitud del experimento

- C) La cantidad de energía incidida del espectro electromagnético (irradiación vertical y horizontal) (W/m^2)
- D) La temperatura ambiental ($^{\circ}C$)
- E) La velocidad y dirección del viento.
- F) Los materiales y sistemas del prototipo, (sistema colector y sistema aislante interior).

Instrumentos

- A) Cable Termistor de superficie 110PV. 1 unidades
- B) Cable termistor tipo probeta para medición ambiental. 1 unidad.
- C) Cable termopar de superficie tipo “E” modelo TC-6E. 2 unidades.
- D) Adquisidor de datos Marca Campbell Scientific. Modelo CR10X. 1 unidad.

Método de experimentación

Previamente al desarrollo del experimento se tuvo que realizar primeramente un estudio del comportamiento térmico del módulo cerrado en todas sus caras, obteniendo el “Coeficiente Global de transferencia de calor” de $0.2211 W/m^2K$, mientras que para el prototipo del colector solar se obtuvo un valor de $0.35 W/m^2k$, con esto se pudo estimar la cantidad de energía transmitida por cada uno de sus elementos.

Adquisidor de datos
Measurement and control
module CR10X, Marca
Campbell Scientific Inc.

COLOCACIÓN DE INSTRUMENTOS

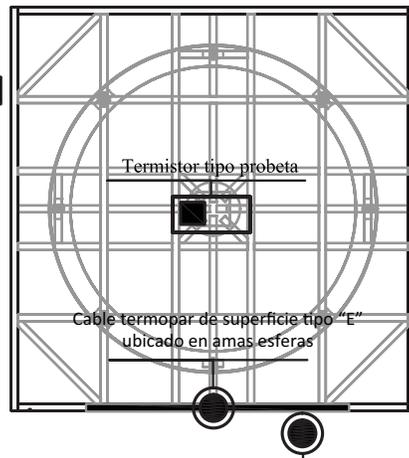


Ilustración 80. Esquema de la colocación de instrumentos. Imagen propia

Termistor de superficie en
la parte exterior del vidrio



Ilustración 81. Colocación de instrumentos interiores. Imagen propia

Para esta prueba se colocaron los cables termistores de superficie en cada una de las caras interiores del módulo de experimentación. El termistor de probeta para temperatura ambiental se colocó en el centro del módulo tanto para los ejes X, Y y Z. Ver ilustraciones 80 y 81.

Se colocaron los termopares de temperatura en las esferas superior e inferior, para obtener el promedio de las mismas y así calcular la temperatura del agua en el interior de las esferas, y por otro lado en la superficie exterior del prototipo se colocó el último termistor de superficie.

Con esto se registraron las temperaturas en los diferentes componentes tanto interior como exterior. A pesar de que el experimento tuvo una duración paralela al estudio térmico



Ilustración 82. Colocación de termistor en vidrio exterior. Imagen propia

del aparato colector de 30 días, el comportamiento térmico del interior del módulo de experimentación no mostró gran variación en sus mediciones, por lo que para este reporte solo se incluyeron del 19 al 28 de mayo con un registro de datos a cada minuto, obteniendo los siguientes resultados.

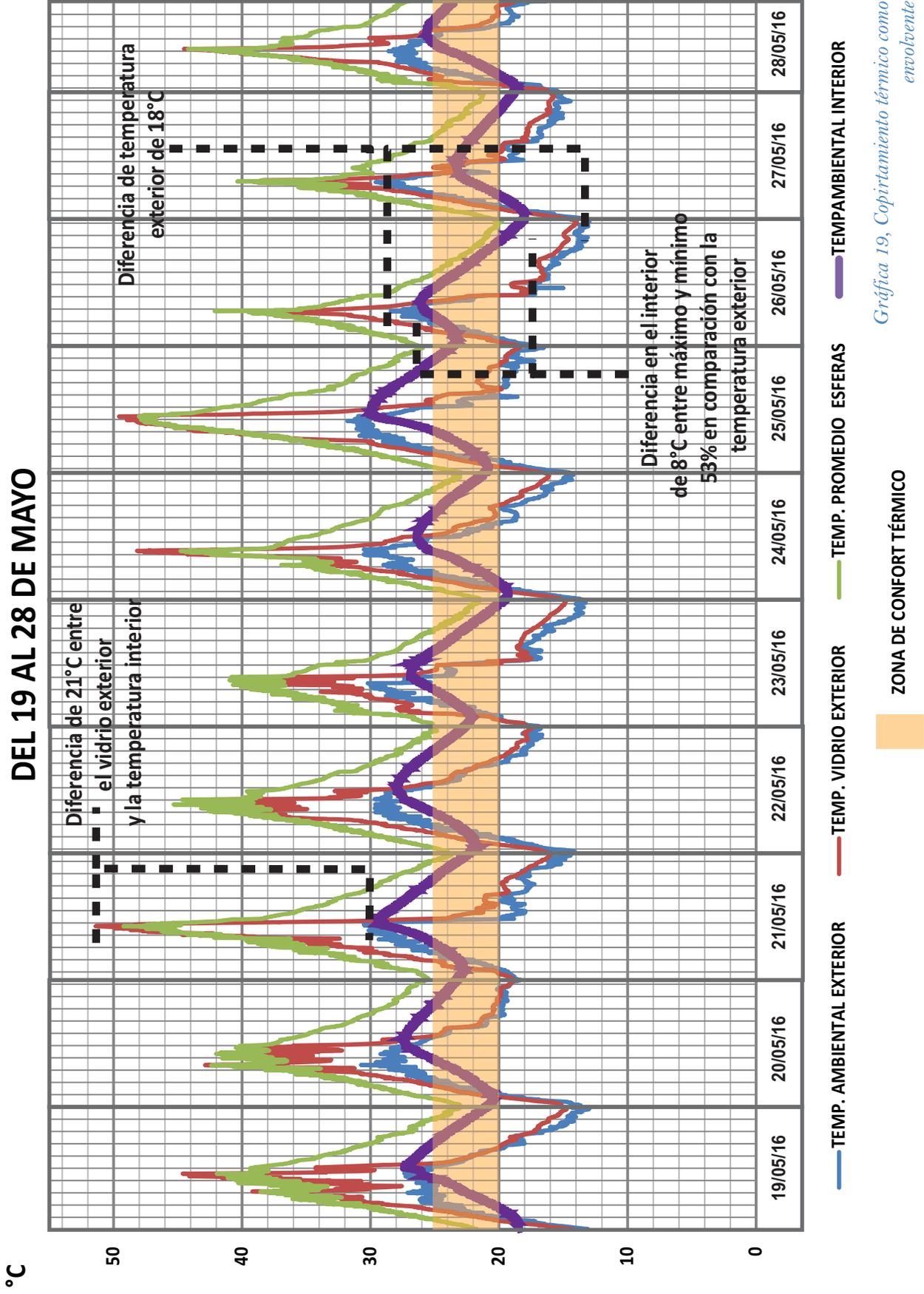
Como se puede apreciar en la gráfica 19 durante el intervalo de experimentación y a pesar de los cambios de temperatura en un día de 13°C a 32°C (25 de mayo) la temperatura del aire interior del módulo de experimentación se mantuvo en un 76% dentro del rango de confort térmico. Existen 2 fenómenos importantes dentro del comportamiento térmico.

1.- La temperatura máxima de cada día se obtiene aproximadamente entre las 6:00 hrs y las 7:00 hrs, lo que tiene dos aseveraciones, por un lado la transmisión de energía de las esferas al interior del módulo se obtiene por efecto retardado y es sumado a la acumulación de todas las ganancias que tiene el módulo de experimentación, y segundo, al existir este fenómeno cuando el sol está en la altitud más baja, el plato colector de energía se desfasa del foco del efecto lupa que las esferas crean, de ser así se asume a un defecto constructivo en el ensamblado donde el plato se encuen-

tre desnivelado, y este no evite el ingreso de la energía concentrada al interior del módulo. Sin embargo a pesar de esto, en todos los días la temperatura interior tiene una diferencia significativa con la cantidad de energía tanto en las esferas como en el vidrio exterior, existiendo hasta una diferencia de 21°C entre el vidrio exterior y el ambiente interior, por lo que el sistema de cámaras de aire entre los vidrios reciclados de frontera interior cumplen una función importante de aislamiento térmico.

2.- Durante la madrugada momentos antes del amanecer, a pesar de que la temperatura ambiental exterior descienda hasta los 13°C , en el interior del módulo de experimentación aún se muestra en los límites de confort térmico de 18.56°C en el 26 de mayo (día con menor temperatura interior), por lo que para este intervalo se muestra una diferencia de temperatura exterior de 15°C por los rangos de 28°C máxima y mínima de 13°C , mientras que la temperatura interior muestra una diferencia de 8°C teniendo como máxima 26°C y mínima de 18°C , por lo que si comparamos ambas mediciones, en el interior del módulo existe 53% del cambio de temperatura que en el exterior.

COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE MURO ENVOLVENTE DEL 19 AL 28 DE MAYO



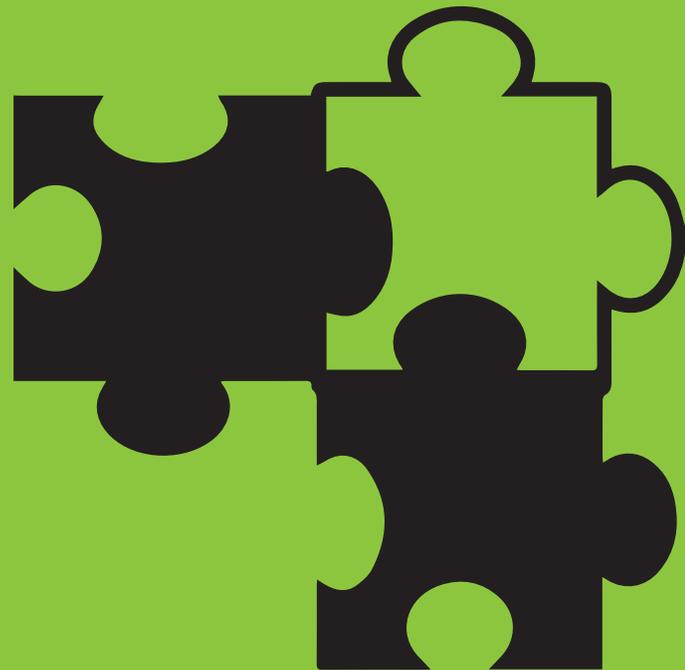
Gráfica 19, Copirtamiento térmico como envolvente

Resultados generales del comportamiento térmico interior.

El comportamiento térmico como envolvente del prototipo muestra resultados alentadores con respecto a su conductividad térmica, si bien aún pueden ser mejoradas las propiedades de aislamiento térmico, si comparamos el coeficiente global de transferencia de calor del prototipo de $0.35 \text{ W/m}^2\text{k}$ contra el de un muro de ladrillo de $0.80 \text{ W/m}^2\text{k}$, el Coeficiente del prototipo representa solo el 43 % de la capacidad de transferencia de calor del ladrillo, por lo que se muestra como un mejor aislante térmico contra las inclemencias del ambiente así como para la cantidad de energía colectada dentro de las esferas, sin embargo este coeficiente tendrá que mejorar en futuras propuestas para garantizar en todo momento rangos de “confort térmico”.⁶⁴

⁶⁴ Rango de confort térmico de 20 a 25 °C, propuesto en las cartas psicométricas de “Olgyay”

CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

Al inicio de esta investigación, se analizaron diferentes problemáticas, las cuales dieron pie a la búsqueda de nuevas soluciones tecnológicas que se desarrollen paralelamente a los contemporáneos y futuros retos que la evolución de la ciudad conlleva. Su cambio de geometría de horizontal a vertical, la creciente demanda energética y el consumo de combustibles fósiles, el aumento de los desechos en los basureros municipales, fueron los ejes rectores para esta investigación.

La evolución de la geometría de la Ciudad de México de horizontal a vertical, demanda nuevas tecnologías que se adapten a las demandas energéticas. La actual tecnología de calentamiento solar para agua, no responde de manera eficiente a estas características de ciudad vertical, debido a su recorrido de red hidráulica alejada de su destino final, por otro lado en una ciudad altamente densificada, todos los espacios son muy valiosos ¿Por qué no destinar los espacios de azotea utilizados para las instalaciones como espacios habitables en azoteas verdes?. El diseño de “Muro Colector Solar para Vivienda Vertical” surge a base de cuestionamientos sobre el actual manejo de los espacios y el recurso energético, este busca fomentar la

autosuficiencia energética de la vivienda mediante recursos renovables, y de igual manera aprovechar material de reciclaje para su fabricación. Por lo que se tiene como objetivo demostrar que se puede generar tecnología desarrollada desde un inicio con principios sanos, que mejore la calidad de vida, y respondan de manera más responsable en la interacción de la cultura humana y el medio ambiente.

La utilización de materia de desperdicio fue uno de los ejes rectores en el diseño del prototipo, por lo que se aprovechó las propiedades ópticas de las botellas de cerveza para reflejar los rayos UV en la frontera interior del prototipo y así evitar su ingreso al espacio habitable. El uso de este material significó el aprovechamiento de 12.1 kg/m² de botellas, o bien 102.60 kg de botellas en los 8.48 m² de superficie por cubrir por vivienda, por lo que si este sistema llega a replicarse en numerosas viviendas, el impacto positivo es significativo, reduciendo los desperdicios en los rellenos sanitarios, evitando la extracción de materia prima virgen e incentivando la rezagada industria del reciclaje en México. El vidrio al ser altamente reciclable y al no perder las propiedades mecánicas en este proceso, se considera que al final del ciclo de vida del prototipo, la suma del vidrio reciclado y el boro

silicato utilizado en las esferas y la frontera exterior recuperan alrededor de 228.8 Kg por vivienda de material reciclable.

Por otro lado, al sintetizar elementos constructivos como muro envolvente, con instalaciones especiales como colector solar, y contenedor de agua, el prototipo no requiere ningún otro elemento en la superficie de la fachada, este es capaz de fungir como estos 3 elementos sin la necesidad de construir una segunda fachada, por lo que sustituye en el plano vertical volumen de muro, y al contener alrededor de 364 lts de agua, los tinacos ubicados en azotea pueden disminuir su capacidad al sustituir parcialmente el volumen de agua necesaria para cubrir las necesidades de la vivienda reduciendo su tamaño y la cantidad de plásticos utilizados para la contención de agua. Debido a la propiedades y características antes mencionadas, el sistema no puede considerarse como un sistema ligero, pesando alrededor de 235.57 Kg /m² cuando el sistema esta abastecido de agua, a pesar de esto, si es comparado con el peso de un muro de tabique rojo recocido con un peso de 381.75 kg /m², el prototipo es 146.8 kg/m² más ligero, y además de esto, el peso del agua contenida en el prototipo debe reducirse en el peso de cargas en la

azotea, por lo que resulta aún más favorable.

Los resultados de los experimentos “Térmico del Colector Solar como Aparato” cuantificaron una eficiencia global del 62.7 % con respecto al presupuesto solar disponible, mientras que los colectores solares de tubos al vacío muestran una eficiencia del 70 %, por lo que el “Muro Colector Solar” se encuentra cerca de los rangos de eficiencia de otras tecnologías. A pesar de que la orientación en vertical obtiene irradiación global en menores rangos que una disposición horizontal, la geometría esférica del “Ojo” combina parte de la irradiación horizontal contra la vertical, por lo que el presupuesto energético que incide en el prototipo es mayor que si solo se considerara en un plano vertical, además de esto, el prototipo demostró su funcionamiento incluso solo con luz difusa. Si tomamos en consideración el promedio global de energía colectada dentro de las esferas de 607.27 KJoules, esta equivale a la quema anual de 252.56 kg. de gas LP para la obtención de la misma energía por lo que a mediano y largo plazo, evita la liberación de una gran cantidad de gases de efecto invernadero.

El funcionamiento como frontera entre el interior y exterior fue

puesto a prueba en el “Experimento Térmico del Muro como Envolvente”, el cual concluyó en un coeficiente global de transferencia de calor de $0.35 \text{ W/m}^2\text{k}$ contra el de un muro de ladrillo de $0.80 \text{ W/m}^2\text{k}$, el coeficiente del prototipo representa solo el 43 % de la capacidad de transferencia de calor del ladrillo. Y a pesar de contener una gran cantidad de energía en las esferas, el aislante diseñado ofrece en un 75 % rangos de habitabilidad en el interior de la vivienda.

Los resultados de los experimentos fueron favorables, sin embargo, existen muchas mejoras que hacer al prototipo para evitar la disipación de la energía colectada, lamentablemente el prototipo no pudo ser construido en su totalidad como el diseño estaba planeado, el diseño al vacío tuvo que ser omitido por su complejidad constructiva, a lo cual, su implementación puede favorecer mejor el comportamiento térmico del aparato, y a la par de esto, se puede considerar la implementación de un termotanque como complemento para evitar dicha disipación energética.

Por otro lado y como característica adicional, debido a su diseño traslucido, este permite la entrada de luz natural, por lo que puede considerarse que cumple con la función de

ventana en cuanto la iluminación natural, por lo que mientras exista radiación directa o indirecta, las longitudes de onda visibles del espectro electromagnético ingresarán al interior de la vivienda.

La aplicación del sistema puede ser en cualquier edificio del vivienda mayor a 4 niveles para evitar la obstrucción de la luz directa, a pesar de que el prototipo demostró funcionar con condiciones de luz indirecta, lo óptimo para aprovechar su mayor funcionamiento es que se encuentre ubicado en zonas de la fachada vertical donde no existan sombras de elementos de su contexto, como árboles o edificios contiguos, por lo que para su aplicación deberá existir un análisis previo de la bóveda celeste con respecto a su contexto físico, análisis que cualquier aplicación de tecnología solar requiere, por lo que esto no refleja una desventaja del prototipo.

A pesar de que los resultados de la experimentación del diseño concluyó con resultados favorables, cabe aclarar que la propuesta aquí realizada solo es la primera imagen del prototipo, por lo a través del proceso de diseño, construcción y experimentación, brotaron posibles mejoras dentro del mismo, por lo que este tendrá que evolucionar para alcanzar

una mayor eficiencia, factibilidad económica y constructiva del “Muro Colector solar”.

A través de este trabajo, se enfrentaron grandes retos desde la investigación de tecnologías similares, ya que actualmente no existe este tipo de tecnologías que ofrezcan una eficiencia óptima en latitudes como la de la Ciudad de México, por lo que tuvo que estudiarse tecnologías análogas utilizadas en latitudes altas con condiciones solares diferentes, que su simple traslado a la Ciudad de México no hubiera funcionado al perder su eficiencia. Debido a esto, se diseñó un sistema nuevo a partir de la referencia del funcionamiento del ojo humano, obteniendo un prototipo biomimético, través del análisis geométrico, óptica de los materiales que demuestra se puede potencializar el uso de los planos verticales para el aprovechamiento del recurso solar, por lo que esta propuesta abre un panorama de posibilidades para la generación de nuevas tecnologías de colección solar vertical, que fomenten la autosuficiencia energética de las viviendas.

continuará...



BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE CONSULTA

BIBLIOGRAFIA Y FUENTES DE CONSULTA

Artículos

- 1.- Medeiros M Camargo N. (2013). Optimizing a mixed heating system (solar and electric). *Acta Scientarium*, vol. 35, pp 74-69.
- 2.- Bracamonte J. Baritto M. (junio 2013). Análisis de las irreversibilidades en colectores solares de placas planas no isotérmicos para calentamiento de aire utilizando un modelo adimensional. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. XIV, pp 247-237.
- 3.- Marroquín J. & Olivares J. & Jiménez O. (Diciembre 2013). Análisis de flujo y de la transferencia de calor en un colector solar plano con geometría rectangular y cilíndrica utilizando CFD. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. XIV, pp 561-553.
- 4.- Santillán N. & García S. & Ojeda N. & Velázquez L. (Mayo 2013). Greenhouse gases mitigation against climate change: United States-Mexico border study case. *Atmosfera*, vol. 26, pp. 499 507 -.
- 5.- Ruelas J. & Velázquez L. & Beltrán R. (Diciembre 2011). Diseño de un Concentrador Solar Acoplado a un Motor Stirling Fijo. *Ingeniería Mecánica Tecnología y Desarrollo*, Vol. 4, pp. 22 - 15.
- 6.- Alvarez M. & Fernandez J. (Abril 2011). Anodizado y coloreado negro del aluminio para colectores solares planos. *Ecosolar*, vol. XIV, pp. 72 - 58.
- 7.- Salomón A. (Julio 2003). La industria del vidrio en México. *Comercio Exterior*, vol. 53, pp. 676-667
- 8.- Benzilla A. (Febrero 2014). Solar Absorption infrared spectroscopic measurements over México City. *Atmosfera*, vol.27, pp. 94 - 78
- 9.- Ruelas J. & Velazquez L. (2011). Diseño de un concentrador solar acoplado a un motor Stirling fijo. *Revista Mexicana de Física*, Vol. 55, pp. - 107 115.
- 10.- Obregón S. & Molina V. & Salvo N. (Junio 2006). Simulación térmica y fluido dinámica del comportamiento de un muro Trombe aplicando el método de elementos finito. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 10, pp. 98-91.
- 11.- Neimark J. (2008). Plastic People of the universe. *Discover, Better Planet Special Issue*, Mayo 46 ,2008.

- 12.- Björn-Ola Linnér and Henrik Selin, *The Thirty Year Quest for Sustainability: The Legacy of the 1972 UN Conference on the Human Environment*, Ponencia presentada en la Convención Anual de la Asociación de Estudios Internacionales, de Portland, Oregón, EE.UU., 25 de febrero - 01 de marzo 2003
- 13.- Goodland R, *Desarrollo económico sostenible: avances sobre el informe brundtland*. Tercer Mundo Editores en coedición con Ediciones Uniandes, Santafé de Bogotá.
- 14.- Ramos G., & Montenegro F. (Noviembre 2012). *La generación de energía eléctrica en México*. XXII Congreso Nacional de Hidráulica, 8-5, 2012
- 15.- Fernández, J., Herrera J., Ojeda O. (2011). *Balance Nacional de Energía*. 2014, de Secretaria de Energía Sitio web: http://sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/B-NE_2011.pdf
- 16.- Bohórquez J. (2012). *Muro Trombe*. Universidad de los Andes D.C, Departamento de Ingeniería Mecánica, pp. 4-1.
- 17.- Vilches, A. & Gíl, D. (2008). *La construcción de un futuro sostenible en un planeta en riesgo*. Universidad de Valencia, marzo, pp8.
- 18.- Instituto Politécnico Nacional. (2007). *Energías Alternativas y Cambio Climático*. 2014, de Coordinación del programa ambiental Sitio web:<http://www.escatp.ipn.mx/documents/comiteambiental/energias-alternativas.pdf>
- 19.- Inspiration. (2009). *El efecto invernadero*. 2014, de Inspiration por un mundo libre de pobreza Sitio web: <https://www.inspiration.org/cambio-climatico/efecto-invernadero>
- 20.- Delle, M. (2012). *Glass Recycling rate 2014*. 2012, de The European Container Glass Federation Sitio web: <http://www.feve.org/FEVE-Glass-Recycling-Stats-Year2012/>
- 21.- Montoya A & Palo T. & Cabana W & Soria L. (2011). *Estudio de evaluación de eficiencia de un calentador solar de tubos al vacío con tanque acumulador, de la empresa D'SOL*. 2016
- 22.- Gomez C & Ferrera N Moreira J. (2014, abril 06). *Factibilidad del uso de biogás como combustible en la industria ladrillera del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México*. *aidis*, 33, 7

Tesis

- 1.- Conde M. & Ramos Z. (2014). Diseño de un calentador solar de placa de calor para el calentamiento de agua para uso doméstico. México D.F.: Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería UNAM.
- 2.- García D. (2014). La energía solar como elemento arquitectónico en fachada para edificio de vivienda. Protecciones solares con calentamiento de agua. México, D.F.: Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura UNAM.
- 3.- Díaz P. (2013). Metodología con criterios sustentables para lograr el ahorro energético bajo un sistema integral de control térmico. México D.F.: Programa de maestría y doctorado en arquitectura UNAM.
- 4.- Ceballos F. (2012). Metodología para la sustentabilidad energética: La vivienda net zero energy. México D.F.: Programa de maestría y doctorado en arquitectura UNAM
- 5.- Vargas G. (2008). Sistemas en Fachadas Hacia la bioclimática Vertical en la ciudad de México. México D.F.: Programa de maestría y doctorado en arquitectura UNAM.
- 6.- Ortega G. (2005). Tecnología del vidrio Una guía para el diseño industrial. México D.F.: Programa de maestría y doctorado Diseño Industrial UNAM.
- 7.- Navani A.. (2002). Tecnología del vidrio, un material de vanguardia. México D.F.: Programa de maestría y doctorado en arquitectura UNAM.
- 8.- Monroy, M. (2006). Análisis Térmico de Cerramientos Soleados. España: Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

Libros

- 1.- El Vidrio en Iberoamérica: industria, investigación y formación / Madrid : Red Iberoamericana sobre Ciencia y Tecnología de Materiales Vitreos, 1998
- 2.- Duran A. & Galliano P. & Solier C. (1999). El reciclado de vidrio en Iberoamérica. Madrid: Red iberoamericana sobre Ciencia y Tecnología de Materiales Vítreos.
- 3.- Berge B. (2009). The Ecology of Building Materials. Oxford UK: El Siever, Architectural Press.
- 4.- American Society of heating. (2001). ASHRAE HANDBOOK FUN-

DAMENTALS. Atlanta Georgia EU: ASHRAE.

5.- Efecto isla de calor urbano (2004) Sebastián Wypych, Anita Bokwa, Jagiellonian University, Cracovia, Polonia

6.- Braungart M McDonough W. (2005). Cradle to Cradle. España: Mc Graw Hill.

7.- Henry, J. Glynn Heinke, Gary W . (1989). Population and Economic Growth Enrironmental. Science and Engineering. Prentice Hall. New Jersey.

Páginas web

INFONAVIT

http://portal.infonavit.org.mx-wps/wcm/connect/infonavit/trabajadores/saber+para+decidir/cuido_mi_casa/ahorro+y+cuido+el+medio+ambiente

CATALOGO VERDE

<http://www.catalogoverde.cl/certificacion-leed2->

THE EUROPEAN CONTAINER GLASS FEDERATION

<http://www.feve.org/>

CALENTADORES BOSCH

http://www.bosch.com.mx/content/language1/downloads/diptico_sel_OK.pdf

PROCURADORIA GENERAL DEL CONSUMIDOR

<http://www.consumidor.gob.mx-wordpress/wp-content/uploads/04/2012/RC-264-Calentadores-para-agua.pdf>

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

Comisión Federal de Electricidad (CFE), Subdirección de Generación, Estadísticas año 2011, www.cfe.gob.mx.

SECRETARIA DE ENERGÍA

http://www.sener.gob.mx/portal/Default_Intermedia.aspx?id=2616

SCHLUMBERGER EXCELLENCE IN EDUCATION DEVELOPMENT

Schlumberger W. (2014). Fuentes de energía alternativa: Energía Solar. 2014, de Schlumberger Excellence in Education Development (SEED), Inc. Sitio web: <http://www.planetseed.com/es/relatedarticle/fuentes-de-energia-alternativa-energia-solar>.

COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE LA ENERGÍA

Jiménez R. (Octubre 2007). Energía Solar: Estado Actual en México. 20014, de Comisión Nacional para el ahorro de Energía Sitio web: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/taller_ener_ren_08.pdf

PASSIVE SOLAR HOME

Pittsley, T. (2010). Passive solar home. 2014, de Tom Pittsley Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=ZRyMnaDqzUs>

Max J. (2011). Instalaciones Hidráulicas. 2014, de Universidad Mariano Gálvez Sitio web: http://es.scribd.com/doc/160734524/instalacione-si-111011023831-phpapp#01force_seo

GLOSARIO



GLOSARIO

A

Albedo: Porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma. Las superficies claras tienen valores de albedo superiores a las oscuras, y las brillantes más que las mates. El albedo medio de la tierra es de %39-%37 de la radiación que proviene del sol” .

Acimut: Ángulo que con el meridiano forma el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo. Es el ángulo con respecto al plano horizontal de la trayectoria del sol.

Altitud: Es el ángulo del sol perpendicular a la línea de horizonte.

Angulo cenital: El ángulo cenital solar representa la posición del sol relativa a la hora local. Toma valores de 0° a 90°

Angulo de declinación: Ángulo que forman el vector tierra-sol y el plano ecuatorial.

Absortancia: Relación entre el flujo energético absorbido por un elemento de una superficie y la radiación incidente

de los materiales a evitar la transmisión de energía a través de sus partículas. Los valores de transmisión de energía de cada material van del 0 al 1, siendo entre más elevado el número mayor aislamiento térmico. Los materiales más aislantes son los que tienen menor densidad, ocupando los espacios entre partículas por aire, que es un buen aislante, mientras que los materiales con mayor densidad tienen un coeficiente de aislamiento menor.

C

Convección: Es el proceso de transferencia de energía entre un sólido y un fluido, se caracteriza principalmente por el movimiento del fluido que es responsable de transportar la energía del sólido. El movimiento de fluido puede realizarse en forma natural o por acción de un agente externo. El primer caso se denomina “convección natural” mientras que el segundo se llama “convección Forzada” . Existe un tercer caso, intermedio entre los dos anteriores, en que las fuerzas actuantes, debidas a la variación de la densidad y las acciones exteriores (viento), son de magnitud parecida, produciéndose una superposición de los efectos de la convección libre y forzada, y que se denomina convección mixta. Es el caso más general por que en la práctica siempre hay variación de

densidad y además el aire no está en reposo absoluto.

Conducción: La conducción de calor o transmisión de calor por conducción es un proceso de transmisión de calor basado en el contacto directo entre los cuerpos, sin intercambio de materia, por el que el calor fluye desde un cuerpo a mayor temperatura a otro a menor temperatura que está en contacto con el primero. La propiedad física de los materiales que determina su capacidad para conducir el calor es la conductividad térmica. La propiedad inversa de la conductividad térmica es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor. La transmisión de calor por conducción, entre dos cuerpos o entre diferentes partes de un cuerpo, es el intercambio de energía interna, que es una combinación de la energía cinética y energía potencial de sus partículas microscópicas: moléculas, átomos y electrones. La conductividad térmica de la materia depende de su estructura microscópica: en un fluido se debe principalmente a colisiones aleatorias de las moléculas; en un sólido depende del intercambio de electrones libres (principalmente en metales) o de los modos de vibración de sus partículas microscópicas (dominante en los materiales no metálicos).

Contaminación: Es el deterioro o desequilibrio de los componentes habituales de las esferas físicas de la tierra (atmósfera, hidrosfera troposfera) por la adición de materias extrañas, o bien la desaparición anómala de sus componentes normales, causada por la intervención del hombre al ciclo natural del ambiente.

Cambio climático: El término 'cambio climático' suele usarse de forma poco apropiada, para hacer referencia tan solo a los cambios climáticos que suceden en el presente, utilizándolo como sinónimo de calentamiento global. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático define: Por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparable .

Colección y cosecha de energía solar: Los sistemas de colección solar son aquellos que concentran y retienen la energía del espectro electromagnético, entendiéndose como cosecha la utilización de esta energía colectada para un fin específico. Existen 4 grandes ramas de colectores solares,

los fotovoltaicos, los de concentradores de energía, los de placa plana y los cilíndricos. A pesar de que todos colectan la energía del espectro electromagnético, su cosecha tiene propósitos diferentes, como la generación de energía eléctrica, la calefacción pasiva de interiores o el calentamiento de fluidos.

Concentradores de energía solar: Son tecnologías que direccionan el espectro electromagnético en un punto focal para su colección y cosecha. Estos sistemas son utilizados principalmente para la generación de energía eléctrica, al transformar la radiación a energía térmica para calentar algún fluido que posteriormente hará funcionar un generador eléctrico. Existen 2 tipos principalmente, los de torre central y los de motor Stirling, y son sistemas que pueden abastecer la energía necesaria para una región.

Calor útil: Energía que de manera efectiva se aprovecha en un proceso para incrementar la temperatura de un fluido de trabajo, después de convertir la energía solar disponible en energía térmica.

Calor Específico: Es la magnitud física que se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la

unidad de masa de una sustancia o sistema termodinámico, para elevar su temperatura en una unidad. Por lo tanto el calor específico es el cociente entre la capacidad calorífica y la masa.

Capacidad calorífica: La capacidad calorífica de un cuerpo 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.

D

De la cuna a la tumba: Terminología para describir un proceso lineal. El proceso de fabricación de materiales que en su mayoría de los productos que hoy se producen son diseñados sin la preocupación de que es lo que pasa con estos al acabar su vida útil. Vivimos en una cultura de consumo y desecho, volviéndose un problema de gran magnitud la cantidad de desechos generados por la humanidad que terminan como relleno sanitario, contaminando la tierra el suelo y el agua.

E

Emitancia: cociente entre la energía emitida por la superficie y la energía que emitiría un cuerpo negro a la misma temperatura.

Efecto invernadero: “El efecto invernadero es un fenómeno por el cual los gases que se encuentran en la atmósfera retienen el calor emitido por la Tierra. Este calor proviene de la natural radiación solar, pero cuando rebota sobre la superficie terrestre queda atrapado por la barrera de gases. Al quedarse estos gases entre suelo y atmósfera, sin poder quedar liberados al espacio, el efecto producido a escala planetaria es muy similar al de un invernadero. El efecto invernadero es la principal causa del calentamiento global. Los gases responsables de este efecto son principalmente el dióxido de carbono y el metano. Estos gases, junto a otros, han existido desde los orígenes de la Tierra. Pero su presencia en la atmósfera empezó a multiplicarse durante la Revolución Industrial, momento en el que los avances tecnológicos obligaron al uso de combustibles fósiles. A partir de entonces, esta dinámica no ha hecho más que incrementarse, alcanzando un %35 más de dióxido de carbono que en los niveles pre-industriales. La dependencia casi total de un modelo energético basado en el carbón, el gas y el petróleo nos está conduciendo a unas alteraciones en el clima de efectos desastrosos para la vida en el planeta. Las emisiones de gases aumentan en torno al %0,4 anual y seguirán hacién-

dolo si no modificamos nuestro abastecimiento de energético” .

Ecoeficiencia: La ecoefectividad fue creada por los industriales en la década de los 90’s y toma aspectos de “hacer más con menos” La ecoeficiencia pretende transformar la industria humana de un sistema que toma, produce y tira (de la cuna a la tumba), a otro que integraría preocupaciones económicas, ambientales y éticas. La ecoeficiencia tiene el objetivo de cambiar los procesos industriales sin afectar los intereses económicos de las industrias remplazando la tecnología obsoleta por una con mayor eficiencia y menos generación de contaminantes en la fabricación de productos, a su vez de cambiar los materiales peligrosos por algún sustituto no nocivo.

Ecotecnologías: Tecnologías que utilizan en mayor medida los recursos materiales y energéticos naturales con el objetivo de ofrecer algún beneficio a los espacios y la calidad de vida de los seres vivos a través del adecuado y racionalizado uso de los recursos naturales, con la responsabilidad de obtener un costo beneficio y un menor impacto ambiental.

Envoltente de un edificio: Se entiende como envoltente de un

dolo si no modificamos nuestra interacción directa con los factores del ambiente exterior. La función primordial de la envolvente de un edificio es controlar la interacción con el medio ambiente con el objetivo de brindar protección y nivel de confort al interior para que los espacios interiores tengan características óptimas de habitabilidad y confort, térmico, acústico, lumínico, ventilación y calidad del aire. Está compuesta de elementos opacos y translúcidos, vanos y macizos para cumplir esta función, y puede ser estructural o simplemente divisoria.

G

Gases GEI: Los Gases de efecto invernadero (GEI) son los fluidos cuya presencia en la atmósfera contribuyen al efecto invernadero. Son presentados de manera natural, sin embargo la presencia de la actividad humana han incrementado su cantidad principalmente en las grandes ciudades. Los principales GEI son el CO₂ (dióxido de carbono), CH₄ (Metano), O₃ (Ozono), CFC (Clorofluorocarbonos) y Vapor de agua.

Grafica solar: Es la proyección del sol en forma de grafica de un lugar determinado, proporcionando datos de todos los ángulos y proyecciones del sol durante todo el año. Se obtendrán

datos como la latitud y acimut del sol, útiles para saber el comportamiento del sol para el adecuado diseño de envolventes y sistemas colectores solares.

H

Huella de carbono: Es la totalidad de gases de efecto invernadero GEI emitidos por efecto directo e indirecto de un individuo, organización, evento o producto. Tal impacto ambiental es medido llevando a cabo un inventario de emisiones de GEI o un análisis del ciclo de vida según la tipología de la huella, siguiendo normativas internacionales reconocidas, tales como ISO 14064, PAS 2050 o GHG Protocol. La huella de carbono se mide en masa de CO₂ equivalente.

I

Isla de Calor Urbana: La isla de calor es una situación urbana, de acumulación de calor por la inmensa cantidad de materiales con una masa térmica alta como el concreto o el asfalto y demás materiales absorbentes de calor a través de su masa térmica. Se presenta en las grandes ciudades y consiste en la dificultad de la disipación del calor durante las horas nocturnas, cuando las áreas no urbanas, se enfrían notablemente por la

falta de acumulación de calor. El centro urbano, donde los edificios y el asfalto desprenden por la noche el calor acumulado durante el día, provoca vientos locales desde el exterior hacia el interior. Comúnmente se da el fenómeno de elevación de la temperatura en zonas urbanas densamente construidas causado por una combinación de factores tales como la edificación, la falta de espacios verdes, los gases contaminantes o la generación de calor. Se ha observado que el fenómeno de la isla de calor aumenta con el tamaño de la ciudad y que es directamente proporcional al tamaño de la mancha urbana .

M

Masa térmica: La masa térmica es el valor de la capacidad potencial de almacenamiento de calor en un conjunto o sistema, conforme a su disposición molecular y propiedades físicas de absorbancia y emitancia de sus componentes.

R

Radiación: Se denomina radiación térmica o radiación calorífica a la emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética, siendo su intensidad dependiente de la tempe-

ratura y de la longitud de onda considerada. En lo que respecta a la transferencia de calor la radiación relevante es la comprendida en el rango de longitudes de onda de $0,1\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$, abarcando por tanto parte de la región ultravioleta, la visible y la infrarroja del espectro electromagnético. La transmisión de calor por radiación se caracteriza por que la energía se transporta de una superficie a otra en forma de ondas electromagnéticas, que se propagan en línea recta a la velocidad de la luz y no requiere de un medio físico para transportarse.

Reciclado: Proceso en el cual una materia de desecho es reinsertada al ciclo de vida de los materiales útiles, conservando o modificando sus propiedades químicas o físicas para la reinsertación con su misma o diferente función a la inicial.

Refracción: La refracción es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Solo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad de propagación de la onda señalada.

Reflectancia: la reflectividad es la fracción de radiación incidente reflejada por una superficie. En general debe tratársela como una propiedad direccional, en función de la dirección reflejada, de la dirección incidente, y de la longitud de onda incidente. Sin embargo comúnmente es también promediada sobre el hemisferio reflejado para dar la reflectividad especular

S

Síntesis de conceptos arquitectónicos dentro de un sistema: Contempla la suma de compatibilidades de funcionamientos de dos o más sistemas creando un aparato integral. En el tema de esta tesis se entenderá como la suma de funcionamiento de muro en fachada, contenedores de agua y colector solar dentro de un mismo elemento multifuncional.

T

Termodinámica: la termodinámica ofrece un aparato formal aplicable únicamente a estados de equilibrio, definidos como aquel estado hacia el que todo sistema tiende a evolucionar y caracterizado porque en el mismo todas las propiedades del sistema quedan determinadas por factores intrínsecos y no por influencias externas previamente aplicadas. Tales estados terminales de equilibrio son,

por definición, independientes del tiempo, y todo el aparato formal de la termodinámica “todas las leyes y variables termodinámicas”, se definen de tal modo que podría decirse que un sistema está en equilibrio si sus propiedades pueden describirse consistentemente empleando la teoría termodinámica. Los estados de equilibrio son necesariamente coherentes con los contornos del sistema y las restricciones a las que esté sometido. Por medio de los cambios producidos en estas restricciones (esto es, al retirar limitaciones tales como impedir la expansión del volumen del sistema, impedir el flujo de calor, etc.), el sistema tenderá a evolucionar de un estado de equilibrio a otro; comparando ambos estados de equilibrio, la termodinámica permite estudiar los procesos de intercambio de masa y energía térmica entre sistemas térmicos diferentes.

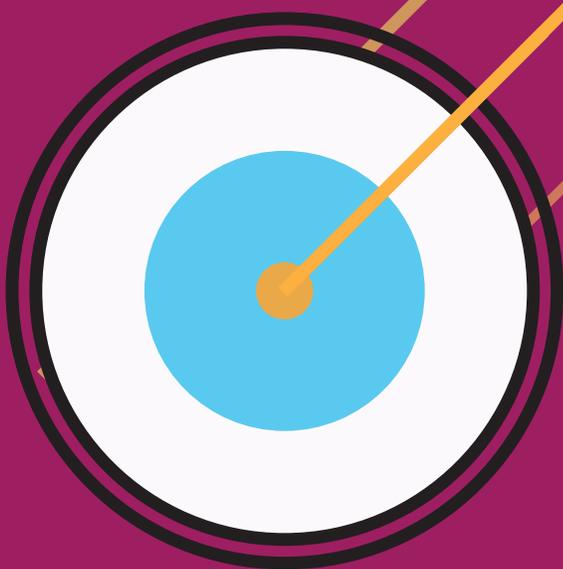
Termosifón: El efecto termosifón o tiro térmico es un fenómeno que se produce en los fluidos cuando se calientan. Las sustancias al calentarse se dilatan y entonces disminuye su densidad. Por lo que existe un desplazamiento de las partículas calientes hacia la superficie, mientras que las frías por tener mayor densidad que las otras, se desplazan al fondo. Los sistemas de calentadores solares

utilizan esta fenómeno físico para el funcionamiento entre el tanque colector y el colector de energía. Teniendo un ciclo natural de desplazamiento del agua por el diferencial de temperaturas.

Transmitancia: La transmitancia óptica que se define como la fracción de luz incidente, a una longitud de onda especificada, que pasa a través de un material.

V

Vacío: El vacío es la ausencia total de material en un determinado espacio o lugar, también es considerada la condición de una región donde la densidad de partículas es muy baja. El espacio exterior, o una cavidad cerrada donde la presión del aire u otros gases es menos que la atmosfera son ejemplos de sistemas al vacío. Algunos sistemas de colección de energía trabajan al vacío permitiendo el libre paso de la radiación solar con la ventaja de que no hay partículas que retengan la energía en este vacío, igualmente su perdida por conducción es prácticamente nula al no tener fluidos como el aire que transmitan dicha energía.



ANEXOS

ANEXO 1**I.- Mediciones espectrométricas del vidrio reciclado (UPC)**

Se realizó el experimento fotométrico previo al diseño del prototipo. Dicho experimento tiene el objetivo de determinar los valores de transmitancia, reflectancia y absortancia del vidrio reciclado debido a la carencia de dicha información, y siendo la misma de utilidad para calcular el flujo de energía teórico.

Debido a que la producción de vidrio con propiedades ópticas se encuentra dentro de la industria embotelladora, se seleccionaron los materiales con mayor producción en México, siendo los siguientes los que se someterán a experimentación:

- 1.- Vidrio de botella con Sulfato de Fierro (color ámbar)
- 2.- Vidrio de botella con Óxidos de Fierro (color verde)

Al ser un materiales no convencionales para la construcción y siendo un material que a través del proceso de reciclado llega cíclicamente a la industria embotelladora, la dificultad de conseguir las muestras para sometimiento a laboratorio es considerable, el vidrio en forma de láminas se obtiene a partir de la técnica del vidrio flotado empleando maquinaria especializada (flotadoras) exclusivas de las grandes

fábricas de vidrio plano, por lo que al no contar con este medio, se analizó con expertos del vidrio como el Taller de vidrio artesanal “Aleph” la posibilidad de obtener las láminas con medios alternativos, llegando a los siguientes procesos:

1: Obtención de la materia prima en forma de botella. Se seleccionaron Vidrio de botella utilizados principalmente en botellas de cerveza y de vino.

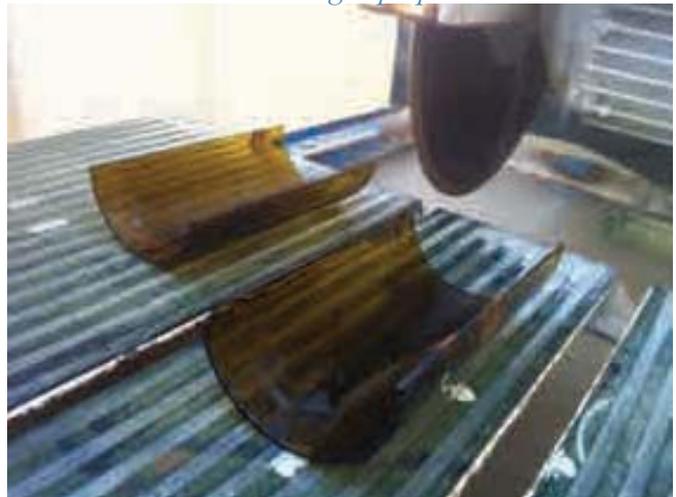
2.- Fundición de la materia prima en láminas: Sabiendo que el vidrio de botellas es un cilindro (ver ilustración 1) hecho de lámina de vidrio, se plantea la corte longitudinal de la botella retirando el fondo y la boquilla, con lo que si se obtienen 2 mitades de cilindro (ver ilustración 2 y 3). Utilizando el horno “PROVETRO GT4050” se puede someter las muestras al horneado a 800 °C , temperatura suficiente para cambiar el estado físico del vidrio y por gravedad caigan las láminas, este fue el proceso seleccionado por si simplicidad y obtención de superficies lo mayor lisa posible, obteniendo las láminas de vidrio con las características necesarias para el experimento de laboratorio. (ver ilustración 4 y 5).



Ilustración 1. Muestra de botellas. Imagen propia



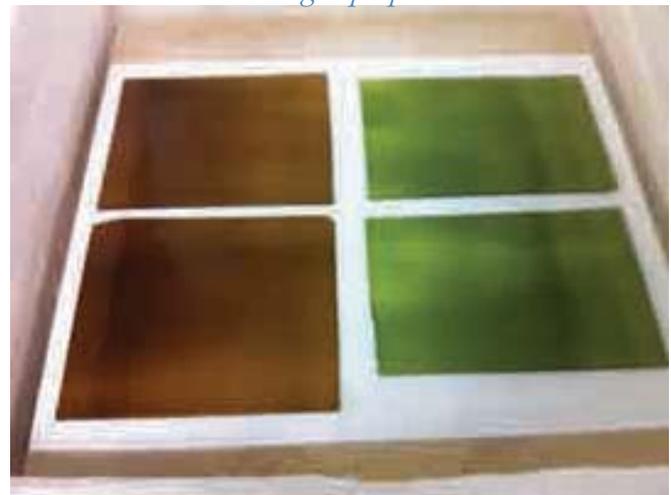
*Ilustración 2 y 3. Corte de botellas.
Imagen propia*



*Ilustración 5. Muestras posterior al horneado.
Imagen propia*



*Ilustración 4. Muestras anterior al horneado.
Imagen propia*



Para las pruebas de laboratorio se necesitarán las muestras de una medida de 3 cm x 2 cm y de 5 x 5 cm, ocupando 2 piezas por cada prueba. (Ver ilustración 6).

Se realizaron las pruebas de espectroscopia en el laboratorio del “CRNE (Centro de Investigación en Nanoingeniería) de la Universidad Politécnica de Catalunya” utilizando el siguiente equipo:

a) Espectrómetro Ultravioleta – visible – Nir Shimadzu 3600. Con los cuales se podrá determinar los coeficientes de reflectancia difusa o especular, de transmitancia del espectro electromagnético con las longitudes Ultravioletas y visibles y de la absorbancia de los materiales. (ver ilustración 7).

Las pruebas se llevaron a cabo el 27 de Noviembre del 2015, obteniendo los siguientes resultados. (ver gráfica 1).

El vidrio ámbar absorbe %18 transmite %59 de infrarrojo y de ultravioleta tiene una absorbancia de 6 % y 94 % de reflectancia, mientras q con oxido de fierro absorbe 16 % y transmite 55 % de infrarrojo y refleja el 90 % absorbe el 7 % y transmite el 3 % de ultravioleta. Siendo ambo vidrios óptimos por su reflectividad del espectro ultravioleta.



Ilustración 6. Espectrómetro Ultravioleta - visible Nir Shimadzu 3600, imagen obtenida con fines didácticos de CRNE de la UPC

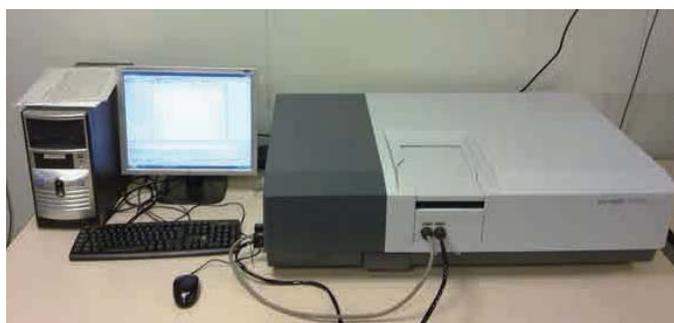
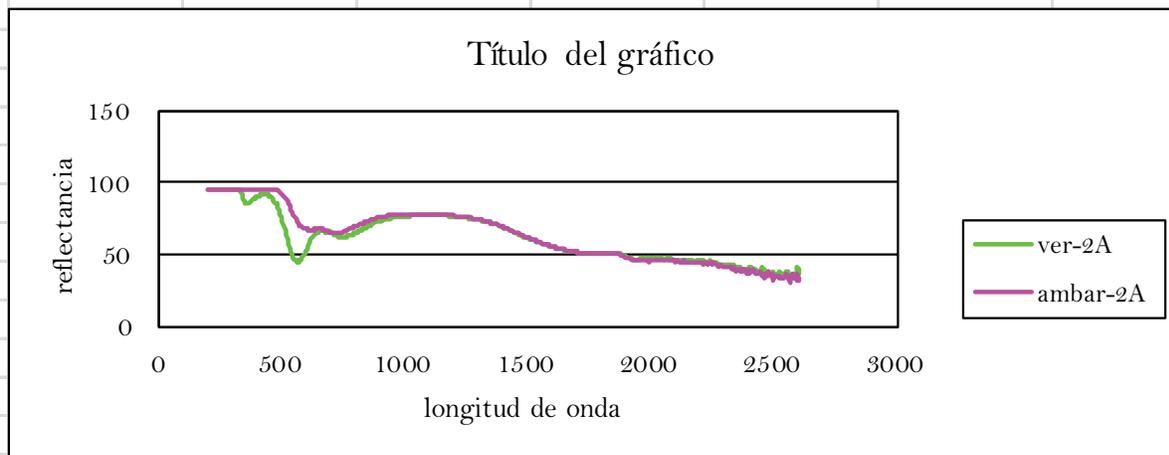
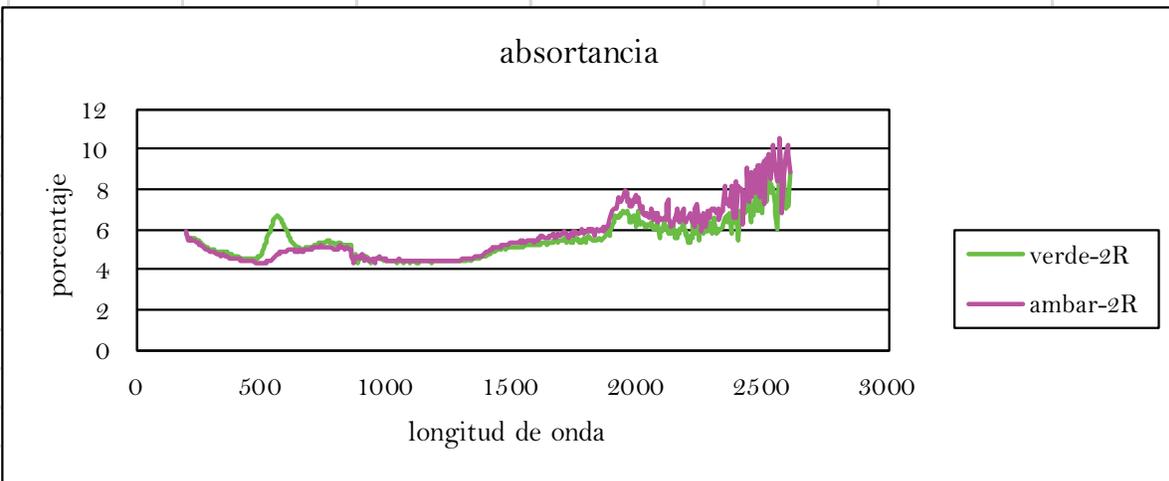
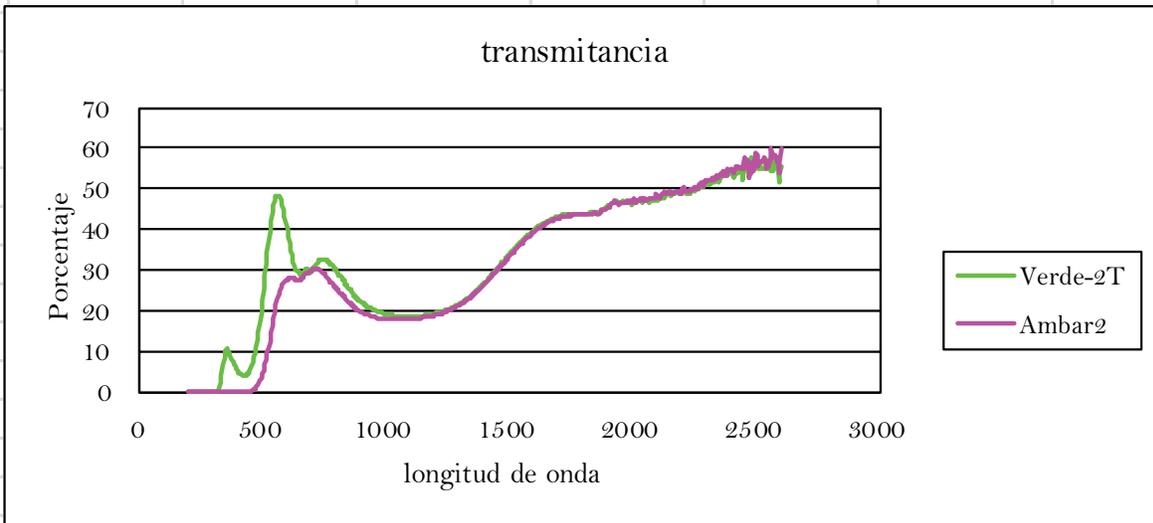


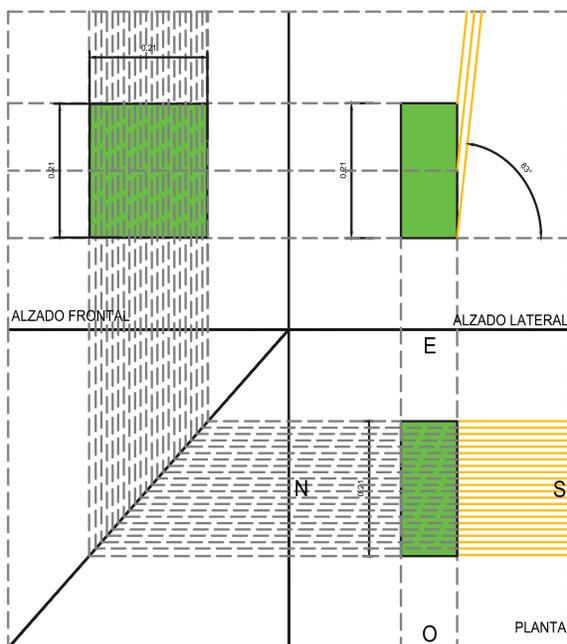
Ilustración 7. Espectrómetro Ultravioleta - visible Nir Shimadzu 3600, imagen obtenida con fines didácticos de CRNE de la UPC



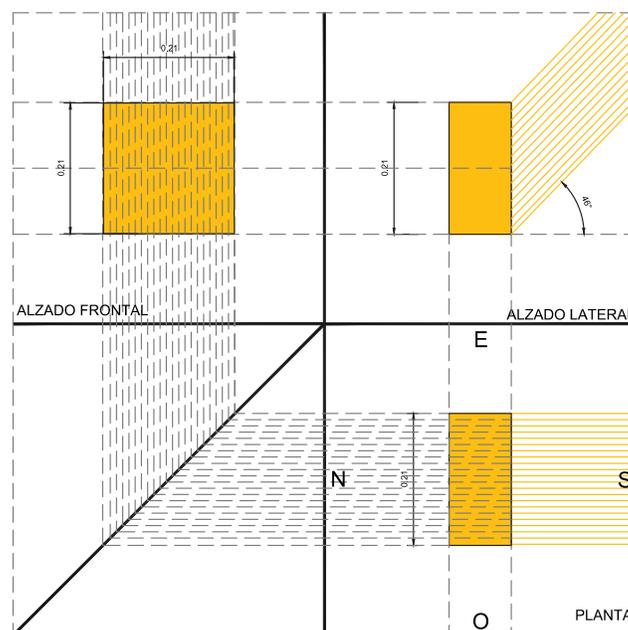
Gráfica 1. Resultados de experimento de laboratorio.

ANEXO 2

**2.-Estudio de reflectancia especu-
lar de las diferentes geometrias**



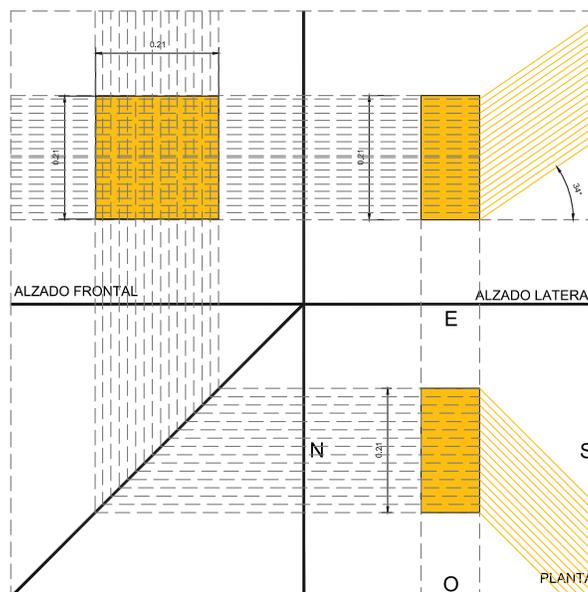
ÁREAS DE COLECCIÓN SOLAR
SEGÚN SU ÁNGULO
SUPERFICIE PLANA 90°, SOLSTICIO DE
VERANO 12:30 HRS



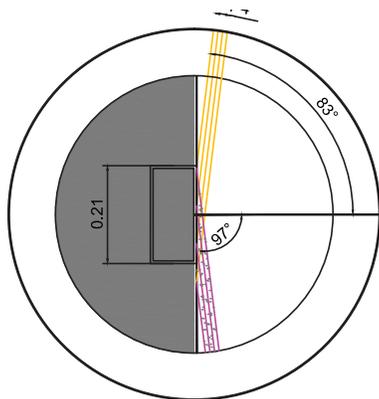
ÁREAS DE COLECCIÓN SOLAR
SEGÚN SU ÁNGULO
SUPERFICIE PLANA 90°, SOLSTICIO DE
INVIERNO 11:45 HRS

SIMBOLOGÍA

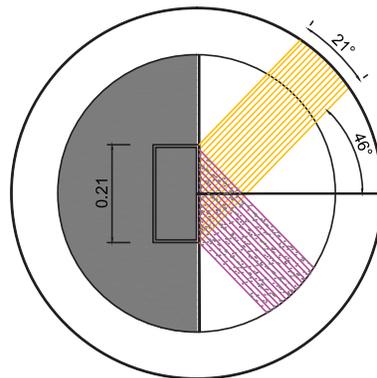
-  rayos incidentes
-  rayos perpendiculares a la superficie
-  proyecciones
-  rayos reflejados de 90° a 61°
-  rayos reflejados de 60° a 31°
-  rayos reflejados de 30° a 0°
-  área sin incidencia solar directa



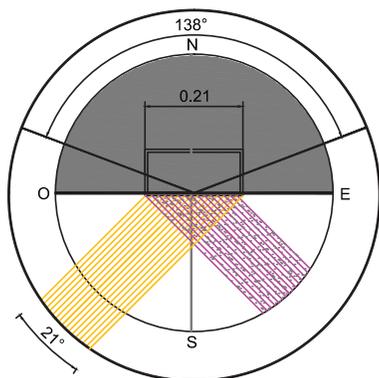
ÁREAS DE COLECCIÓN SOLAR
SEGÚN SU ÁNGULO
SUPERFICIE PLANA 90°, SOLSTICIO DE
INVIERNO 14:00 HRS



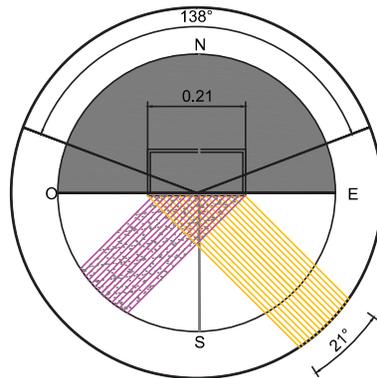
INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA A 90°
ALZADO EN SOLSTICIO DE VERANO 83.62°
PUNTO MÁXIMO



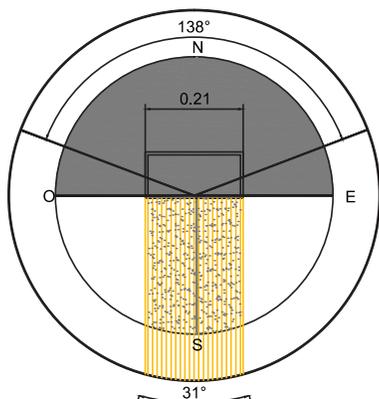
INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 90°
ALZADO EN SOLSTICIO DE INVIERNO 46.65°
PUNTO MÁXIMO



INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 90°
PLANTA EN SOLSTICIO DE VERANO 135°
PUNTO MEDIO



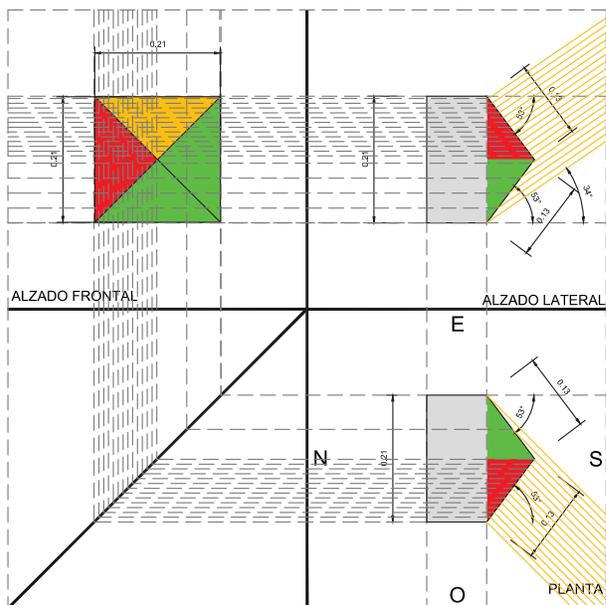
INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 90°
PLANTA EN SOLSTICIO DE VERANO 45°
PUNTO MEDIO



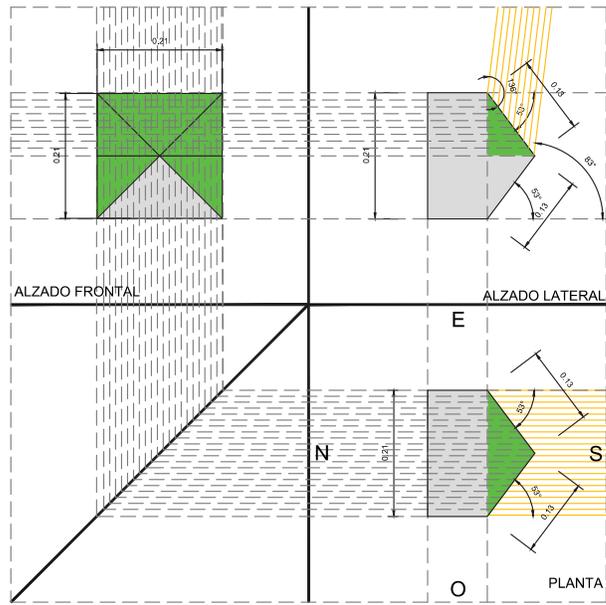
INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 90°
PLANTA EN SOLSTICIO DE VERANO 90°
PUNTO MAXIMO

SIMBOLOGÍA

- rayos incidentes
- rayos perpendiculares a la superficie tangente al ángulo de incidencia
- rayos reflejados
- rayos reflejados de 90° a 61°
- rayos reflejados de 60° a 31°
- rayos reflejados de 30° a 0°
- área sin incidencia solar directa



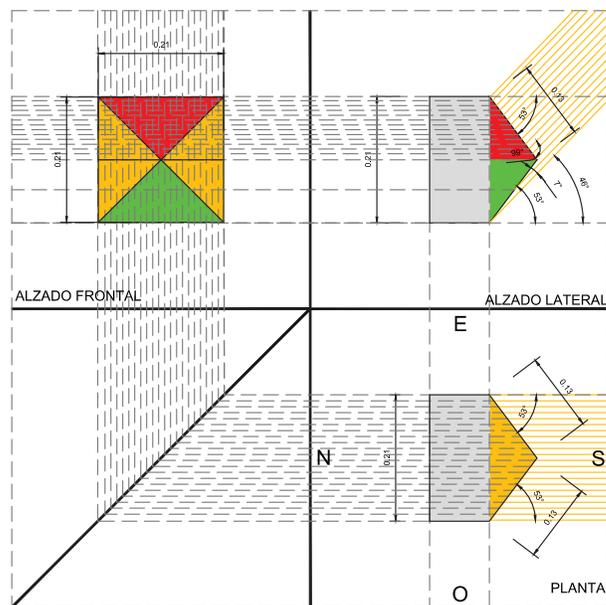
ÁREAS DE COLECCIÓN SOLAR
SEGÚN SU ÁNGULO
SUPERFICIE PLANA 53°, SOLSTICIO DE
INVIERNO 14:00 HRS



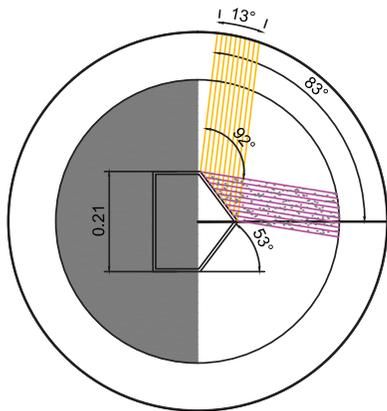
ÁREAS DE COLECCIÓN SOLAR
SEGÚN SU ÁNGULO
SUPERFICIE PLANA 53°, SOLSTICIO DE
VERANO 12:30 HRS

SIMBOLOGÍA

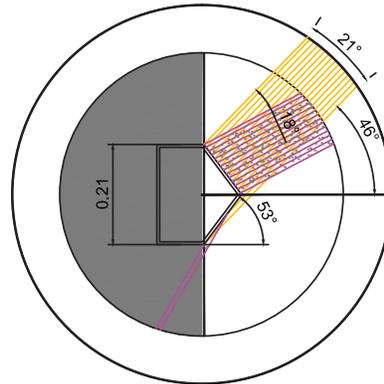
-  rayos incidentes
-  rayos perpendiculares a la superficie
-  proyecciones
-  rayos reflejados de 90° a 61°
-  rayos reflejados de 60° a 31°
-  rayos reflejados de 30° a 0°
-  área sin incidencia solar directa



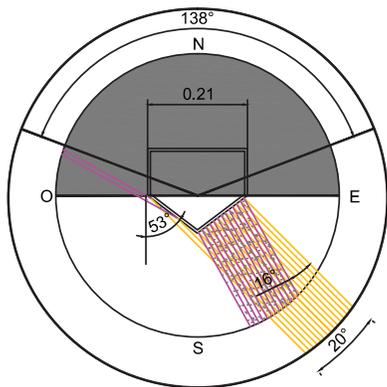
ÁREAS DE COLECCIÓN SOLAR
SEGÚN SU ÁNGULO
SUPERFICIE PLANA 53°, SOLSTICIO DE
INVIERNO 11:45 HRS



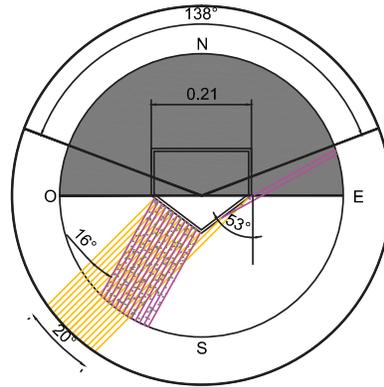
INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 53°
ALZADO EN SOLSTICIO DE VERANO 83.62°
PUNTO MÁXIMO



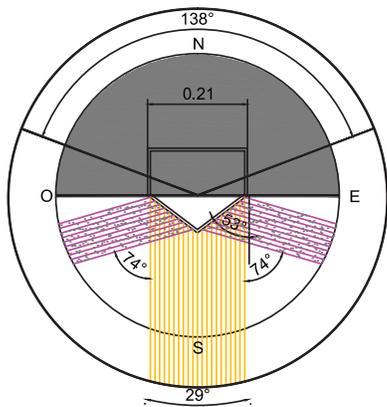
INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 53°
ALZADO EN SOLSTICIO DE INVIERNO 46.65°
PUNTO MÁXIMO



INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 53°
PLANTA EN SOLSTICIO DE VERANO 135°
PUNTO MEDIO



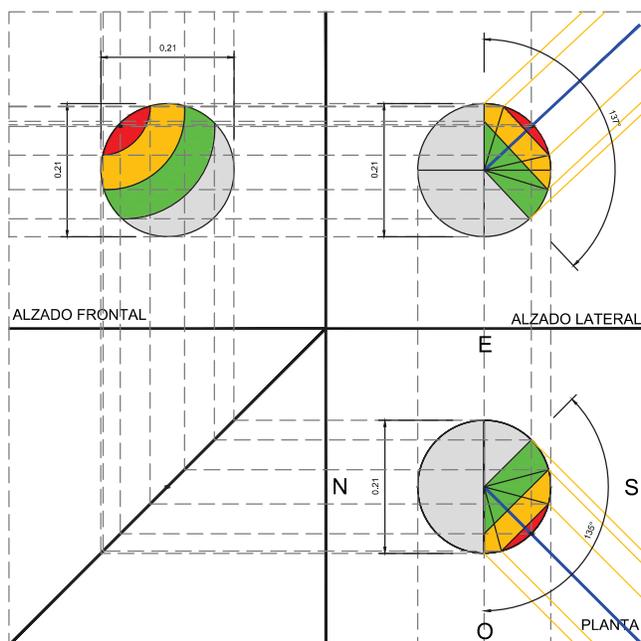
INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 53°
PLANTA EN SOLSTICIO DE VERANO 45°
PUNTO MEDIO



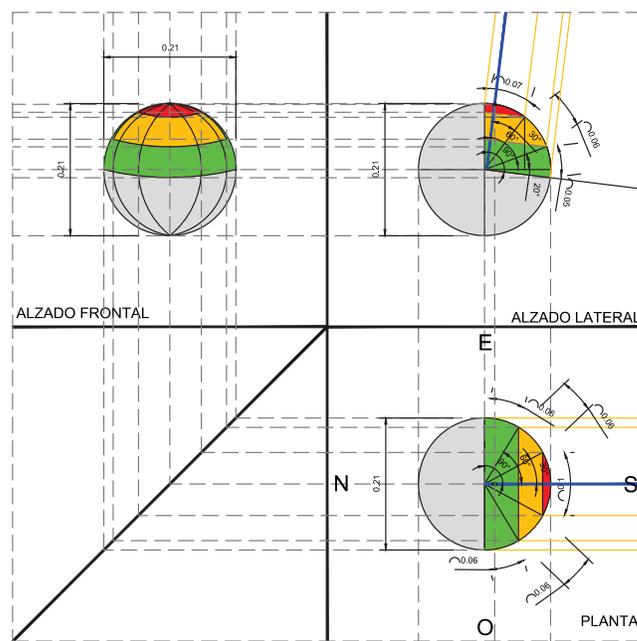
INCIDENCIA SOLAR SUPERFICIE PLANA 53°
PLANTA EN SOLSTICIO DE VERANO 90°
PUNTO MAXIMO

SIMBOLOGÍA

- rayos incidentes
- rayos perpendiculares a la superficie
- tangente al ángulo de incidencia
- rayos reflejados
- rayos reflejados de 90° a 61°
- rayos reflejados de 60° a 31°
- rayos reflejados de 30° a 0°
- área sin incidencia solar directa



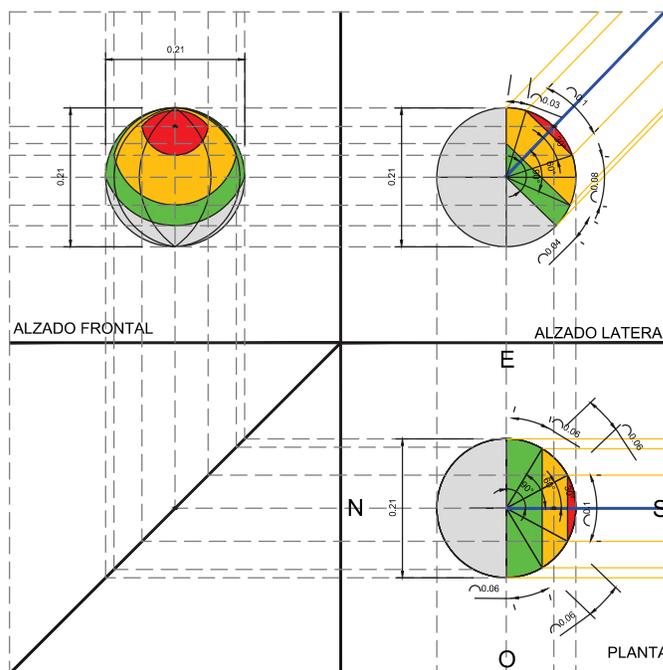
ÁREAS DE COLECCIÓN SOLAR
SEGÚN SU ÁNGULO
ESFERA SOLSTICIO DE INVIERNO 14:00 HRS



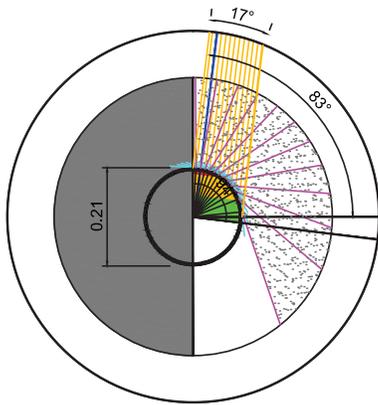
ÁREAS DE COLECCIÓN SOLAR
SEGÚN SU ÁNGULO
ESFERA SOLSTICIO DE VERANO 12:30 HRS

SIMBOLOGÍA

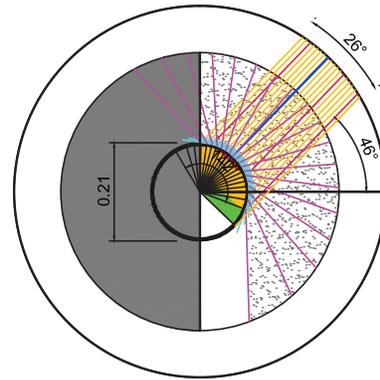
- rayos incidentes
- rayos perpendiculares a la superficie
- - - - - proyecciones
- rayos reflejados de 90° a 61°
- rayos reflejados de 60° a 31°
- rayos reflejados de 30° a 0°
- área sin incidencia solar directa



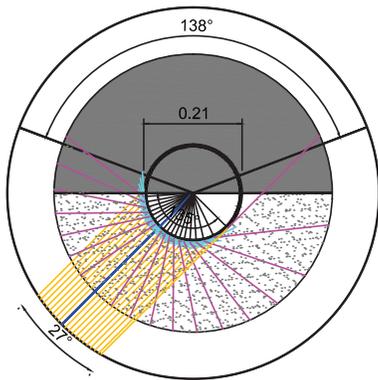
ÁREAS DE COLECCIÓN SOLAR
SEGÚN SU ÁNGULO
ESFERA SOLSTICIO DE INVIERNO 11:45 HRS



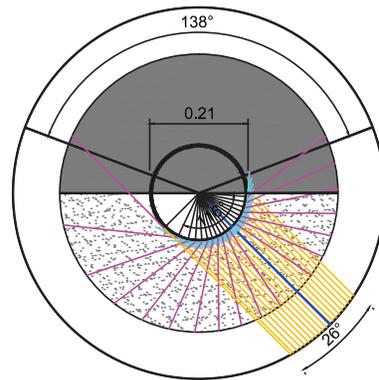
INCIDENCIA SOLAR ESFERA ALZADO
SOLSTICIO DE VERANO 83.62°
PUNTO MÁXIMO



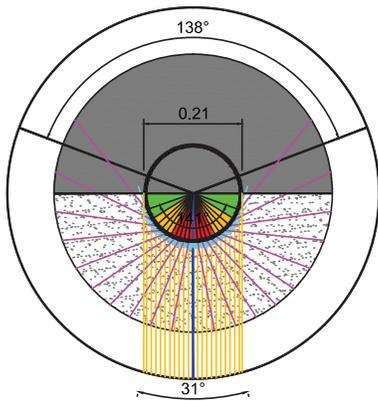
INCIDENCIA SOLAR ESFERA ALZADO
SOLSTICIO DE INVIERNO 46.65°
PUNTO MÁXIMO



INCIDENCIA SOLAR ESFERA PLANTA
SOLSTICIO DE VERANO 135°
PUNTO MEDIO



INCIDENCIA SOLAR ESFERA PLANTA
SOLSTICIO DE VERANO 45°
PUNTO MEDIO

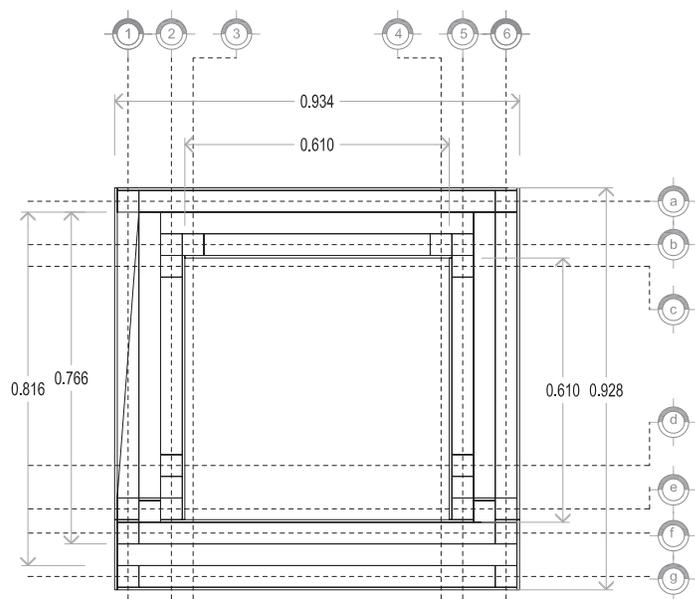


INCIDENCIA SOLAR ESFERA PLANTA
SOLSTICIO DE VERANO 90°
PUNTO MAXIMO

SIMBOLOGÍA

- rayos incidentes
- rayos perpendiculares a la superficie
- tangente al ángulo de incidencia
- rayos reflejados
- rayos reflejados de 90° a 61°
- rayos reflejados de 60° a 31°
- rayos reflejados de 30° a 0°
- área sin incidencia solar directa

2.-Módulo de experimentación



planta arquitectónica

ANEXO 3



Coeficiente Global de transferencia de calor (U)

Módulo de experimentación

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_i}}$$

(número de capas)

- donde:
- hi = coeficiente convección del aire interior
 - he = coeficiente convección del aire exterior (34.06 w/hm² °C)
 - e = Espesor del material por cada capa
 - k = Coeficiente de conductividad térmica (w/hm²°C)
 - hc = coeficiente de convección del aire interior entre muros
 - he = 17.03 W(hm²°C para superficies horizontales
 - hi = 9.36 w/hm²°C para losas y muros, 9.08 w/hm²°C para ventanas

Cálculo

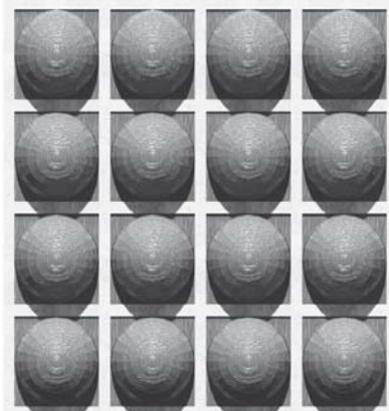
MURO EXTERIOR	U	=	$\frac{1}{\frac{1}{34.06} + \frac{0.001}{0.2} + \frac{0.005}{0.11} + \frac{0.15}{0.035} + \frac{0.005}{0.11} + \frac{0.001}{0.2} + \frac{1}{9.36}}$						
	U	=	$\frac{1}{0.029 + 0.005 + 0.0455 + 4.28571 + 0.04545 + 0.005 + 0.10684}$						
	U	=	$\frac{1}{4.523}$	U muro = 0.2211 W/m²K					

LOSA	U	=	$\frac{1}{\frac{1}{17.03} + \frac{0.001}{0.2} + \frac{0.005}{0.11} + \frac{0.15}{0.035} + \frac{0.005}{0.11} + \frac{0.001}{0.2} + \frac{1}{9.36}}$						
	U	=	$\frac{1}{0.059 + 0.005 + 0.0455 + 4.28571 + 0.04545 + 0.005 + 0.10684}$						
	U	=	$\frac{1}{4.552}$	U muro = 0.2197 W/m²K					

2.- Estudio de sombras

ANEXO 4

Solsticio de invierno 21 de diciembre 12:30 hr. solar

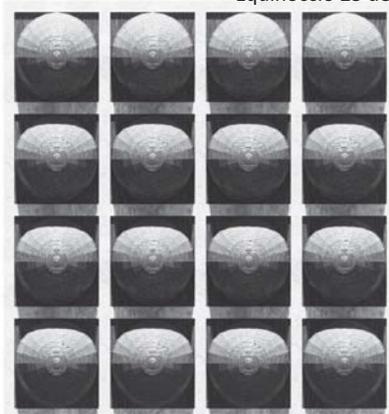


Modulo a °180

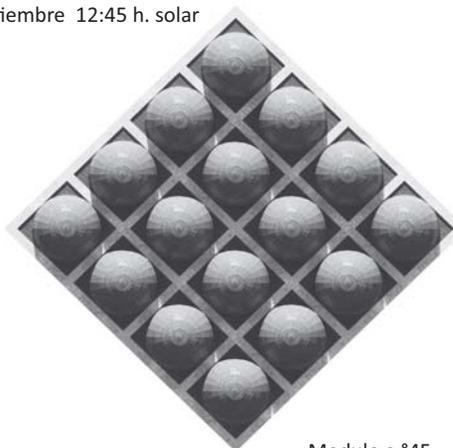


Modulo a °45

Equinoccio 23 de septiembre 12:45 h. solar



Modulo a °180



Modulo a °45

Solsticio de invierno 21 de diciembre 14:30 hr.solar

