

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLAS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

**“PRODUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA A  
PARTIR DE LÁMINAS DE POLÍMEROS RECICLADOS”**

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

***INGENIERO QUIMICO***

PRESENTA:

**JORGE HERNÁNDEZ JIMÉNEZ**

ASESOR:

**M.C. JOSÉ APOLINAR CORTÉS**

MORELIA, MICHOACÁN.

MARZO DE 2006

# AGRADECIMIENTOS

Antes que nada, quisiera agradecer a **DIOS**, por todas las bendiciones que he recibido en esta vida, y me refiero a los bienes espirituales y no a los materiales, porque es lo que cuenta al final, a veces me he preguntado el por qué de las cosas y la única respuesta que he encontrado que **EL** es perfecto, poderoso y sabe la razón de los males.

Todo el trabajo que he realizado hasta hoy se lo debo a una sola persona, simplemente a la persona que he amado más en toda mi vida y que sin ella hoy no sería nada, me refiero a **MI MADRE**, que en paz descanse, debo mencionar que en vida fue una mujer excepcional, que siempre puso antes que cualquier cosa a su familia, y que si ella estuviera conmigo se sentiría muy orgullosa de saber hasta donde he llegado, pues siempre fue mi soporte moral y emocional, una ayuda constante y un apoyo incondicional que en nadie más he sentido. Recuerdo claramente que ella era la única que me motivaba a seguir adelante con este trabajo pues lo había dejado en el olvido, mi motivo para terminarlo es la satisfacción que ella tendría al verlo realizado. ¿Por qué **DIOS** hace las cosas? No lo se, lo único que se es que su recuerdo es algo que llevaré siempre en mi corazón y por ella quiero ser una mejor persona día con día.

Quiero agradecer a los demás miembros de mi familia, **MI PADRE**, porque eres mi fuerza para seguir adelante, a pesar de los problemas que podamos tener a veces, tengo que decirte que **TE QUIERO DEMASIADO**, y que gracias a ti he logrado mis metas, reconozco que fui muy rebelde y merecía castigos cuando era joven, ahora te agradezco que me hayas reprendido a tiempo porque con ello pude reconocer la diferencia entre lo malo y lo bueno.

A mi hermano **ALBERTO**, que eres un pilar dentro de la familia, pues muchas cosas están basadas en ti, por ti también puedo continuar, pues como te dije una vez, en ti veo una parte viva de mi mamá y anhelo cuidarte, protegerte y aunque siempre tengamos diferencias, créeme que en el fondo eres una persona muy importante para mí.

Quiero dar las gracias a mis tíos y tías que han estado conmigo y me han apoyado en momentos difíciles, primero a mi tía **CELIA**, que representa una segunda madre para mí, mi tía **TERESA**, una ayuda incondicional, mi tío **JESUS**, al cual respeto y admiro porque siempre está ahí para ayudarme cuando lo necesito, mi tío **JAVIER**, que es un hombre que quiero mucho porque me ha enseñado muchas cosas en la vida, mi tío **JOSE LUIS**, que es y ha sido un soporte familiar, quiero mencionar especialmente a mi abuela **JUSTINA**, pues aún con sus regaños y quejas, me ha servido de figura de respeto y la quiero mucho desde que era un niño. Tengo que mencionar a una tía muy especial que es mi tía **MARGARITA**, pues la considero un consuelo y alivio cada vez que estoy con ella. Me ha dado consejos que he tomado en cuenta y han sido de mucha utilidad.

Por otro lado están mis amigos, que son y que han sido una ayuda en mi formación, en mis penas y alegrías, **HOLGER, VICTOR, HORACIO, JUAN CARLOS, JOSE LUIS, JESUS, TEO, GAMALIEL, MARCOS**, y disculpen los que me faltaron.

Quisiera nombrar a algunas personas especiales para mí hasta hoy, por haberme brindado su compañía, comprensión y cariño, **VERO, LUPITA, MAYELA, LLUVIA, LETICIA, TERE y LORENA RUBI**. Gracias por todo.

No podía terminar estas líneas sin agradecer a mis profesores que me han formado durante toda la carrera, quiero nombrar a los que me han inculcado además de conocimientos, valores que no se me han de olvidar, deseo mencionarlos sin algún orden en particular, pues todos tienen para mí una enseñanza de la cual tengo que aprender: **M.C. LUIS NIETO, M.C. SALVADOR PEREZ, DRA. ANA MARIA NUÑEZ, DR. RICARDO RANGEL, ING. J. CRUZ CASTILLO, M.C. DELIA MORENO, DR. MEDARDO SERNA** y muy especialmente a mi asesor de tesis, el **M.C. JOSE APOLINAR CORTES**, que es una persona que me ha tenido mucha paciencia y dedicación para que pueda concluir este proyecto.

**"PRODUCCIÓN DE UN CALENTADOR  
SOLAR DE AGUA A PARTIR  
DE LÁMINAS DE  
POLIMEROS RECICLADOS"**

# CONTENIDO:

<b>NOMBRE DE LA TESIS.....</b>	<b>1</b>
<b>INDICE GENERAL.....</b>	<b>2</b>
<b>RELACIÓN DE TABLAS Y FIGURAS.....</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>A) CAPTADORES SOLARES.....</b>	<b>4</b>
<b>B) EFECTO INVERNADERO.....</b>	<b>7</b>
<b>C) ENERGIA SOLAR.....</b>	<b>14</b>
<b>D) RADIACIÓN SOLAR.....</b>	<b>18</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>23</b>
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>32</b>
<b>OBJETIVO.....</b>	<b>33</b>
<b>HIPOTESIS.....</b>	<b>34</b>
<b>DESARROLLO DEL TRABAJO.....</b>	<b>36</b>
<b>CORRIDAS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>47</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>78</b>
<b>ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>79</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>81</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>SUGERENCIAS PARA TRABAJO FUTURO.....</b>	<b>84</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>85</b>

## **RELACIÓN DE TABLAS Y FIGURAS:**

<b>TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EL DÍA 13-06-2005.....</b>	<b>47</b>
<b>GRAFICA DEL DATOS DEL DIA 13-06-2005.....</b>	<b>48</b>
<b>TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EL DÍA 14-06-2005.....</b>	<b>49</b>
<b>GRAFICA DEL DATOS DEL DIA 14-06-2005.....</b>	<b>50</b>
<b>TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EL DÍA 15-06-2005.....</b>	<b>51</b>
<b>GRAFICA DEL DATOS DEL DIA 15-06-2005.....</b>	<b>52</b>
<b>TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EL DÍA 16-06-2005.....</b>	<b>53</b>
<b>GRAFICA DEL DATOS DEL DIA 16-06-2005.....</b>	<b>54</b>
<b>TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EL DÍA 17-06-2005.....</b>	<b>55</b>
<b>GRAFICA DEL DATOS DEL DIA 17-06-2005.....</b>	<b>56</b>
<b>TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EL DÍA 20-06-2005.....</b>	<b>57</b>
<b>GRAFICA DEL DATOS DEL DIA 20-06-2005.....</b>	<b>58</b>
<b>TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EL DÍA 21-06-2005.....</b>	<b>59</b>
<b>GRAFICA DEL DATOS DEL DIA 21-06-2005.....</b>	<b>60</b>
<b>TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EL DÍA 22-06-2005.....</b>	<b>61</b>
<b>GRAFICA DEL DATOS DEL DIA 22-06-2005.....</b>	<b>62</b>
<b>TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EL DÍA 23-06-2005.....</b>	<b>63</b>
<b>GRAFICA DEL DATOS DEL DIA 23-06-2005.....</b>	<b>64</b>
<b>TABULACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EL DÍA 24-06-2005.....</b>	<b>65</b>
<b>GRAFICA DEL DATOS DEL DIA 24-06-2005.....</b>	<b>66</b>
<b>FOTOGRAFÍAS DEL EQUIPO ARMADO.....</b>	<b>67</b>
<b>GRAFICA DE DENSIDAD DEL AGUA VS. TEMPERATURA.....</b>	<b>80</b>

# **INTRODUCCIÓN:**

## **TEMAS RELACIONADOS CON EL PROYECTO:**

Los siguientes cuatro temas que se tratarán a continuación, están relacionados entre sí. La finalidad es comprender el concepto del trabajo. En el primer tema de captadores solares nos señala los tipos de captadores que existen, sus ventajas tanto económicas como ecológicas y muestra el tipo de operación básica en un captador solar. En el tema siguiente de efecto invernadero nos indica un panorama amplio de las consecuencias para el medio ambiente que trae consigo la constante quema de combustibles fósiles como medio de generación de energía, las posibles consecuencias en un futuro cercano si se continua con ese gasto excesivo y algunas alternativas para la disminución de gases que contribuyen a este efecto. El siguiente tema es el de energía solar, aquí se revisarán las aplicaciones que puede tener la energía proveniente del sol y para finalizar en el tema de radiación solar se describe a grandes rasgos la composición de los rayos ultravioleta, longitudes de onda y una gráfica de la irradiancia promedio en algunas ciudades del país.

## **A) CAPTADORES SOLARES:**

La mayor parte de la energía que consumimos hoy en día, procede de la utilización de fuentes de energía agotable, normalmente procedentes de derivados del petróleo o del carbón. Este hecho, junto con que su combustión comporta emisiones de gases perjudiciales, como el CO<sub>2</sub>, que debido a sus características son un agravante del cambio climático, demuestra la necesidad de la utilización de unas fuentes de energía que, a diferencia de las convencionales, no se acaben y no sean contaminantes. Las energías renovables proceden de fuentes de energía que no se agotan, haciendo que disminuya la factura medioambiental que comportan las necesidades energéticas.

Los captadores solares son actualmente el medio más económico para el suministro de agua caliente corriente. Unos pocos metros cuadrados por familia permiten garantizar un suministro abundante de agua caliente y un considerable ahorro de energías convencionales. Los captadores solares también pueden utilizarse para sistemas de calefacción de edificios, piscinas, procesos industriales, granjas, etc.

Los captadores solares más comunes son los denominados planos. Están constituidos por una placa absorbente, que debe ser oscura para tener el máximo índice de absorción y el mínimo de reflexión, esto es, aprovechar al máximo la energía de los rayos del sol y minimizar las pérdidas.

El aprovechamiento térmico de la energía solar no es ningún concepto nuevo en su utilización para el agua caliente sanitaria y la calefacción de espacios. Su funcionamiento es bastante sencillo, un elemento llamado captador, permite que en su interior circule un fluido que hará de transmisor del calor solar hacia donde se quiera aprovechar.

El agua caliente es uno de los principales consumos de energía del sector doméstico y de servicio. Si esta aplicación se cubre con energía solar en lugar de la utilización de energías convencionales (electricidad, gas, gasoil, etc.) la reducción del gasto energético y de la contaminación producida pueden ser realmente importantes. Es por este motivo que no deberíamos desaprovechar la energía calorífica gratuita que nos ofrece el sol

La base de funcionamiento de un sistema de aprovechamiento de la energía solar térmica es el captador solar, que básicamente los podríamos diferenciar según:

- Captadores solares de baja temperatura, hasta temperaturas de 80°C,
- Captadores solares de mediana temperatura, para temperaturas inferiores a 200°C.
- Captadores solares de alta temperatura, desde temperaturas de 200°C.

La tarea que realizan estos elementos es para todos la de captar, como dice el nombre, la radiación solar de la manera más efectiva posible y transmitirla allí donde nos interese. Si nos centramos en las viviendas, el sistema más utilizado es el de baja temperatura.

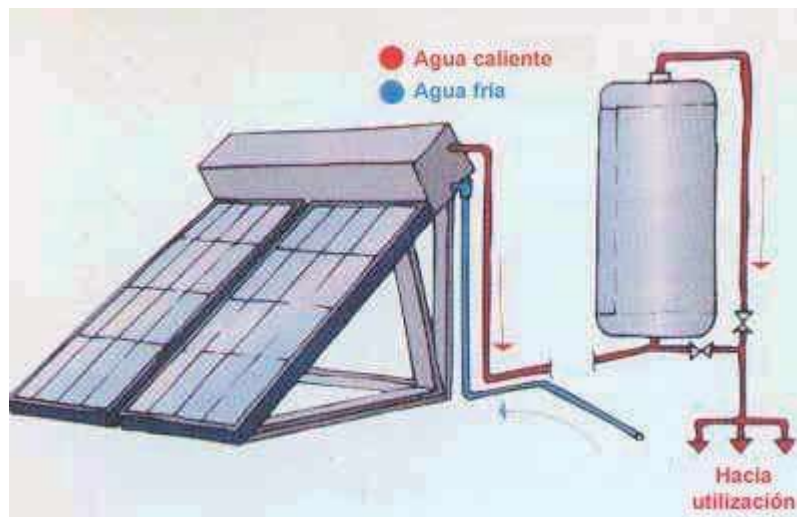
La producción de agua caliente sanitaria es la aplicación de la energía solar que, hoy por hoy, resulta más extendida y rentable. A causa de la relativa constancia de la demanda de agua caliente sanitaria, la instalación solar está en servicio durante todos los meses del año, hecho que permite amortizarla más rápidamente que en el caso de aplicaciones de calefacción, en que el sistema sólo se utiliza durante la temporada invernal. Por esta aplicación, los tipos de captadores más utilizados son los planos de cubierta vidriada, sin cubierta, o los de vacío.

Los captadores solares de vacío incluyen una innovación: se ha hecho el vacío en el espacio que queda entre el cristal protector y la superficie absorbente. Con este cambio se consigue eliminar las pérdidas por convección interna, ya que internamente no hay aire que pueda transferirlas, y aumentar así la temperatura de trabajo y el rendimiento.

Si se quiere ahorrar al máximo en la producción de agua caliente sanitaria, los equipos termosifónicos no consumen energía eléctrica, ya que funcionan sin bomba. Esta capacidad ayuda a disminuir el consumo energético de una vivienda y convierte a los equipos en autónomos: siguen funcionando aunque el sistema eléctrico falle. El hecho de ser autónomos hace muy atractiva su aplicación en aquellos lugares remotos donde no llega la red eléctrica. Así, se puede producir agua caliente aunque el grupo generador eléctrico esté desconectado.



Los equipos termosifónicos funcionan por gravedad. El sol calienta el fluido que está en su interior, éste aumenta de temperatura disminuyendo su densidad y fluye hacia la parte superior, dejando que el fluido más frío ocupe su lugar para calentarse.



**CAPTADOR SOLAR PLANO**

Este es un equipo de captación solar convencional, están los elementos básicos para su funcionamiento, es decir, una placa absorbente de energía solar, la base de captación inclinada y dirigida, la entrada de agua fría por un extremo y la salida del agua caliente por el otro, además de un almacenador de agua caliente que la distribuye.

## **B) EFECTO INVERNADERO:**

La temperatura de nuestro planeta es perfecta para la vida. Ni demasiado fría, como Marte, ni demasiado caliente, como Venus. Gracias a estas condiciones, la vida se extiende por todos los sitios. La Tierra recibe el calor del Sol. Algunos gases de la atmósfera la retienen y evitan que parte de este calor se escape de retorno al espacio. Hoy día esta situación de equilibrio delicado esta en peligro a causa de la contaminación de la atmósfera, que provoca que los gases retengan mucho calor cerca de la superficie. Las temperaturas de todo el planeta han aumentado en el último siglo y esto podría provocar un cambio climático a nivel mundial. El aumento del nivel del mar y otros cambios en el medio ambiente representan una amenaza para todos los seres vivos. El termino efecto invernadero hace referencia al fenómeno por el cual la Tierra se mantiene caliente y también al calentamiento general del planeta. Para mantener las condiciones ambientales óptimas para la vida es indispensable que entendamos las relaciones complejas que se establecen entre la Tierra y la atmósfera.

La capa más baja de la atmósfera, conocida como troposfera, contiene a los gases que son responsables, en gran parte, de la temperatura del planeta y, por lo tanto, de crear condiciones aptas para la vida. Se denomina efecto invernadero a la absorción, por parte de la atmósfera, de emisiones infrarrojas impidiendo que escapen al espacio exterior, aumentando por tanto las temperaturas medias del planeta.

El efecto invernadero evita que el calor del sol deje la atmósfera y vuelva al espacio. Esto calienta la superficie de la tierra con lo cual se produce el efecto de invernadero. Existe una cierta cantidad de gases de efecto de invernadero en la atmósfera necesaria para calentar la tierra. Actividades como la quema de combustible fósil emiten gases (especialmente, dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>) que actúan impidiendo que escape el calor. Muchos científicos consideran que como consecuencia se está produciendo el calentamiento global. Otros gases que contribuyen al problema incluyen los clorofluorocarburos (CFC), el metano, los óxidos nitrosos y el ozono.

Cuando la energía del Sol llega a la superficie de la Tierra, ésta se calienta. La energía absorbida es reemitida como radiación infrarroja. Sin embargo, no toda esta radiación puede escapar de vuelta al espacio, ya que una parte es absorbida de nuevo por la atmósfera (alrededor de un 90%), siendo un fenómeno similar al que mantiene la temperatura cálida en el interior de un invernadero, fenómeno del cual recibe su nombre. De este modo, el equilibrio térmico se establece a una temperatura superior a la que se obtendría sin este efecto. La importancia de los efectos de absorción y reemisión de radiación en la atmósfera son fundamentales para el desarrollo de la vida tal y como la conocemos. De hecho, si no existiera este efecto, la temperatura media de la Tierra sería entre 30°C y 40°C menor, situándose a casi 20°C bajo cero.

Prácticamente toda la energía que nos llega del Sol está constituida por radiación infrarroja, ultravioleta y luz visible. Mientras que la atmósfera absorbe la radiación infrarroja y ultravioleta, la luz visible llega a la superficie de la Tierra. Una parte muy pequeña de esta energía que nos llega en forma de luz visible es utilizada por las plantas

verdes para producir hidratos de carbono, en un proceso químico conocido con el nombre de fotosíntesis. En este proceso, las plantas utilizan dióxido de carbono y luz para producir hidratos de carbono (nuevos alimentos) y oxígeno. En consecuencia, las plantas verdes juegan un papel fundamental para la vida, ya que no sólo son la base de cualquier cadena alimenticia, al ser generadoras de alimentos sino que, además, constituyen el único aporte de oxígeno a la atmósfera.

En la fotosíntesis participa únicamente una cantidad muy pequeña de la energía que nos llega en forma de luz visible. El resto de esta energía es absorbida por la superficie de la Tierra que, a su vez, emite gran parte de ella como radiación infrarroja. Esta radiación infrarroja es absorbida por algunos de los componentes de la atmósfera (los mismos que absorben la radiación infrarroja que proviene del Sol) que, a su vez, la remiten de nuevo hacia la Tierra. El resultado de todo esto es que hay una gran cantidad de energía circulando entre la superficie de la Tierra y la atmósfera, y esto provoca un calentamiento de la misma.

Para comprender el efecto invernadero es necesario describir brevemente como funciona el balance de energía de nuestro sistema climático:

**Balance De Energía En Nuestro Sistema Climático:** De cada 100 unidades del flujo total de radiación solar (o de onda corta) que llega al tope de la atmósfera, 23 unidades son absorbidas por ésta: el O<sub>3</sub> estratosférico y el vapor de agua troposférico absorben 19 unidades, y el agua líquida en las nubes 4 unidades. La superficie de los océanos y los continentes absorben 46 unidades. Las 31 unidades restantes son reflejadas hacia el espacio exterior: las nubes reflejan 17 unidades, la superficie del planeta 6 unidades, y los gases que componen la atmósfera dispersan hacia el espacio exterior 8 unidades. Estas últimas 31 unidades no participan en los procesos e interacciones del sistema climático. La energía absorbida por éste (69 unidades) es convertida en calor, movimiento de la atmósfera y de los océanos (energía cinética), y energía potencial.

El protocolo de Kyoto es un convenio internacional que intenta limitar globalmente las emisiones de gases de efecto invernadero. El protocolo surge de la preocupación internacional por el calentamiento global que podrían incrementar las emisiones descontroladas de estos gases.

Los denominados gases de efecto invernadero o gases invernadero, responsables del efecto descrito son:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- Metano (CH<sub>4</sub>)
- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)
- Ozono (O<sub>3</sub>), y
- Clorofluorocarburos (*artificiales*).

LOS GASES COMUNES DE EFECTO INVERNADERO, SUS ORIGENES Y LA CONTRIBUCIÓN AL CALENTAMIENTO DE LA ATMÓSFERA		
GAS *	FUENTES PRINCIPALES	CONTRIBUCIÓN AL CALENTAMIENTO
Dióxido de Carbono	*Quema de Combustibles Fósiles (77%)  *Deforestación	55%
Clorofluorocarbonos (CFC)  Gases afines (HFC)	*Diversos usos industriales: refrigeradores, aerosoles de espuma, solventes  *Agricultura Intensiva	24%
Metano (CH <sub>4</sub> )	*Minería de Carbón  *Fugas de gas,  *Deforestación,  *Respiración de plantas y suelos por efectos del calentamiento global  *Fermentación entérica	15%
Oxido Nitroso	*Agricultura y Forestería Intensiva  *Quema de biomasa  *Uso de fertilizantes  *Quema de combustibles fósiles	6%

Los gases que producen el efecto invernadero, provocan que la radiación infrarroja del sol se retenga en el ambiente. Esto ocasiona que se caliente la superficie de la Tierra y la parte inferior de la atmósfera. Desde principios de siglo hasta hoy, la temperatura ya se ha incrementado en 0,5 grados centígrados. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el gas más importante de efecto invernadero. Las actividades humanas comunes, fundamentalmente la quema de combustibles fósiles -carbón, petróleo y gas- y la destrucción de los bosques, son las principales fuentes actuales de emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. La generación de energía es la actividad que más combustibles fósiles consume en el mundo. Hace relativamente poco tiempo que se ha reconocido que la deforestación es una causa que contribuye a

agregar una carga importante de dióxido de carbono y metano a la atmósfera. Esta situación se ve agravada por la rápida desaparición que están sufriendo las selvas tropicales. Sin embargo, durante muchos años, la desaparición de los bosques templados de los países desarrollados contribuyó enormemente a la emisión de gases de efecto invernadero. Una fuente adicional de emisiones de metano y CO<sub>2</sub> a la atmósfera es la estimulación de la respiración de los suelos y la descomposición de la materia orgánica, que se verán aumentadas por el efecto del calentamiento de la atmósfera. La importancia de esta tercera causa de expulsión de gases es lo suficientemente importante para acelerar el calentamiento de la Tierra de forma apreciable.

Otros gases de potente efecto invernadero son el metano, cuyas principales fuentes son, además de las explicadas anteriormente, la agricultura y forestería intensiva, la minería de carbón y los escapes de gas en gasoductos, los Clorofluorcarbonados (CFC) y sus derivados, que tienen como fuentes principales algunos productos industriales, y los óxidos de nitrógeno, que se producen por multitud de causas, principalmente por la quema de combustibles fósiles y la utilización de fertilizantes químicos.

El calentamiento en los trópicos traerá un aumento leve en las temperaturas, pero se prevé una modificación sustancial en la cantidad y regularidad de las lluvias. Se supone que el calentamiento será continuo y durará un tiempo indefinido, a menos que lo detenga la acción humana directa: los científicos del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), han demostrado que si no se pone remedio inmediatamente, la Tierra se encamina hacia un período de cambio rápido y continuo del clima, marcado por un calentamiento global a una velocidad extraordinaria.

Los climatólogos y biólogos son capaces de predecir los efectos del aumento de la temperatura en la Tierra en 1 o 2 grados Centígrados. Sin embargo un aumento mayor en la temperatura lanzará al mundo a ámbitos climáticos que rebasan la experiencia -y las predicciones- de la ciencia y de los científicos. Nadie puede predecir con detalle, por ejemplo, cómo se modificarán las corrientes oceánicas, o cuál será el alcance de que el Océano Ártico pierda los hielos, sobre todo en los climas de otros lugares. Tampoco se puede saber con detalles los efectos sobre los peces y la pesca, en la distribución de la tierra cultivable, ni los por menores de las consecuencias en los bosques, en los animales, o en la distribución de los parásitos humanos y de las enfermedades. Sin embargo, las predicciones -generales, incompletas y muy a corto plazo- de los expertos del segundo de los tres grupos de trabajo del IPCC viene a confirmar que los impactos pueden ser catastróficos.

El aparente mínimo aumento de la temperatura del Planeta de 1,5 a 2 °C que se prevé en el escenario más optimista, traería consigo, a nivel general, el incremento del nivel de los mares, con la consiguiente desaparición de ecosistemas costeros completos; las reservas de agua dulce se verían seriamente afectadas, se alterarían los patrones de pesca y aumentarían las enfermedades. Las consecuencias negativas las sufrirían todas las personas del mundo, en especial aquellas que viven en territorios vulnerables. Sin embargo, es impracticable resolver estos problemas que se plantean en un futuro cercano, si no se toman acciones inmediatas, drásticas y concretas.

Las consecuencias no serán uniformes geográficamente. El ciclo hidrológico se verá alterado por la mayor evaporación del agua (que a su vez refuerza el calentamiento), se prevé un aumento de las lluvias en las latitudes altas durante el invierno, e intensificación de las sequías del 5% de frecuencia actual a un 50% para el 2050.

Posiblemente se afecte la estabilidad de los bosques tropicales y su diversidad biológica, debido a su alto grado de vulnerabilidad a cambios en el equilibrio ambiental, siendo sustituidos por ecosistemas más degenerados.

Los arrecifes de coral contienen la mayor diversidad genética después de los bosques tropicales, incluyendo un tercio de todas las especies de peces que se conocen. La mayor parte se encuentran en aguas cuyas temperaturas promedios se aproximan al máximo tolerable sin que se presenten cambios en su equilibrio simbiótico. Si la temperatura del mar aumenta en 2 0 3 °C, la estabilidad de algunos corales se vería amenazada. Los aumentos previstos en el nivel del mar también afectarían su capacidad de sobrevivencia, pues la estabilidad de los arrecifes de coral se encuentra asociada al mantenimiento de una cierta distancia de la superficie del agua.

El efecto invernadero ha sido así transformado por el hombre en una amenaza a su propia seguridad. Los más afectados serán los más pobres, los que son víctima de la injusticia social, los marginados económicos, los que soportan más directamente el impacto de la degradación ambiental. Esto es, la mayor parte de la humanidad. Probablemente se acentuarían tanto la intensidad como la frecuencia de huracanes y ciclones en la zona tropical, y se extenderían a latitudes hoy poco afectadas o fuera del alcance de estos fenómenos naturales.

El clima en la Tierra es muy difícil de predecir, porque existen muchos factores para tomar en cuenta: lluvia, luz solar, vientos, temperatura... Por eso, no se puede definir exactamente qué efectos acarreará el Calentamiento Global. Pero, al parecer, los cambios climáticos podrían ser muy severos.

Una primera consecuencia, muy posible, es el aumento de las sequías: en algunos lugares disminuirá la cantidad de lluvias. En otros, la lluvia aumentará, provocando inundaciones. Una atmósfera más calurosa podría provocar que el hielo cerca de los polos se derritiera. La cantidad de agua resultante elevaría el nivel del mar. Un aumento de sólo 60 centímetros podría inundar las tierras fértiles de Bangladesh, en India, de las cuales dependen cientos de miles de personas para obtener alimentos. Las tormentas tropicales podrían suceder con mayor frecuencia.

Conocemos las consecuencias que podemos esperar del efecto invernadero para el próximo siglo, en caso de que no vuelva a valores más bajos:

- Aumento de la temperatura media del planeta.
- Aumento de sequías en unas zonas e inundaciones en otras.
- Mayor frecuencia de formación de huracanes.

- Progresivo deshielo de los casquetes polares, con la consiguiente subida de los niveles de los océanos.
- Incremento de las precipitaciones a nivel planetario pero lloverá menos días y más torrencialmente.
- Aumento de la cantidad de días calurosos, traducido en olas de calor.

La única defensa razonable ante el cambio climático es la reducción drástica de emisiones de dióxido de carbono cambiando el sistema energético y por tanto el económico, renunciando a la devoradora filosofía de desarrollo sin límites. Se ha calculado que la estabilización de la concentración efectiva de CO<sub>2</sub> en la atmósfera requiere la reducción de emisiones de origen energético al 70% del nivel de 1990 para el año 2020, y aun así dicha estabilización sólo tendría lugar una década después con una cantidad de dióxido de carbono un 8% mayor que en 1990. Sin embargo, no es menos cierto que la satisfacción de las necesidades básicas del Tercer Mundo, formado por el 80% de la humanidad y donde tiene lugar el 90% del aumento de población, conlleva un crecimiento de la demanda energética que podría alcanzar un 4 o 5% anual en las actuales condiciones. Para dar salida a ambas prioridades hay que aplicar simultáneamente dos estrategias: el ahorro de energía mediante la racionalización del uso y el empleo de tecnologías eficientes, y obtención de la energía imprescindible por métodos renovables de bajo impacto ambiental. Todo ello dentro de un necesario cambio de modos de vida, reduciendo el consumo en el Norte para que el Sur tenga margen para aumentar el suyo hasta niveles dignos.

Las crisis del petróleo de los años 1973 y 1979 demostraron que el ahorro puede considerarse en sí mismo una fuente de energía: la intensidad energética (energía necesaria para producir una unidad de PIB) de la CE se redujo en un 25% (en el estado español sólo un 3%). El informe de la Comisión Mundial para el Desarrollo y Medioambiente (informe Brundtland) señala que es posible reducir a la mitad el consumo de energía de los países Ricos y crecer simultáneamente un 3% anual. Requiere un considerable esfuerzo la reconversión de las economías occidentales para aprovechar el potencial de ahorro, aunque, irónicamente, algunos analistas sostienen que en un verdadero mercado libre, no deformado por la presión de grupos de interés, sería la opción natural pues la obtención y quema de un barril de petróleo, por ejemplo, es más cara que la implantación de medios de eficiencia que evitarían necesitarlo.

Es fundamental que la demanda energética de los países en vías de desarrollo se satisfaga con tecnologías eficientes, la utilización de la mejor tecnología disponible podría proporcionar, en ciertos países, un nivel de servicios similar al de Europa en los 70 con un consumo de energía solo un 20% superior al que tenían en los 80. Además la eficiencia reduce el número de centrales necesarias, por tanto libera capital y disminuye la sensibilidad al coste de suministros.

Las medidas aplicables para disminuir el impacto del transporte son, esencialmente, maximizar la eficiencia de los vehículos mediante normas de obligado cumplimiento para fabricante y usuarios (límites de velocidad) y reducir su utilización fomentando una amplia

red de transporte público con incentivos para el tren, y una política urbanística que favorezca el uso de la bicicleta y cierre el paso del coche al centro de la ciudad (todo lo contrario a la construcción de aparcamientos subterráneos). También planificación del territorio para disminuir las necesidades del transporte y la dependencia del coche privado en el urbanismo disperso.

No faltan vías de solución a los problemas que enfrenta el planeta, sino voluntad política de llevarlas a cabo, como ejemplo véase que a lo largo de los últimos diez años menos del 1% de los préstamos del Banco Mundial se han dirigido a proyectos de eficiencia.

Las posibilidades de alcanzar metas que permitan minimizar los efectos del cambio climático implícito en el proceso actual de desarrollo, dependen de un esfuerzo concertado entre todos los países de la Tierra. La distribución de las cargas deberá basarse en principios de justicia y equidad, tomando en consideración la responsabilidad acumulada hasta la fecha, la capacidad de cada país de contribuir al alcance de las metas que se tracen, y el derecho de todos los pueblos del mundo al disfrute de una vida digna. La deuda ambiental que han generado los países industrializados debería traducirse en asistencia tecnológica y financiera, para que el avance social y económico de los países en desarrollo no desemboque en una mayor destrucción de los recursos naturales del mundo, y en los aumentos previstos en las emisiones de gases que amenazan la estabilidad planetaria. No hay mucho tiempo para la duda, el panorama con que se presenta el nuevo siglo es muy sombrío y nuestra capacidad para modificarlo disminuye con la acumulación de CO<sub>2</sub>. Cuanto más se retrase la adopción de nuevas tecnologías energéticas eficientes y blandas más difíciles serán las medidas a tomar.



## **C) ENERGIA SOLAR:**

El Sol, fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado desde los albores de la Historia, puede satisfacer todas nuestras necesidades si aprendemos cómo aprovechar, de manera racional, la luz que continuamente derrama sobre el planeta. El sol es una masa de materia gaseosa caliente, que irradia a una temperatura efectiva de unos 5700°C y está a una distancia de 149, 490,000 kilómetros de la tierra. Ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia.

Durante el presente año, el Sol arrojará sobre la Tierra cuatro mil veces más energía que la que vamos a consumir. No sería racional no intentar aprovechar, por todos los medios técnicamente posibles, esta fuente energética gratuita, limpia e inagotable, que puede liberarnos definitivamente de la dependencia del petróleo o de otras alternativas poco seguras o, simplemente, contaminantes.

Sin embargo, es preciso señalar que existen algunos problemas que debemos afrontar y superar. Aparte de las dificultades que una política energética solar avanzada conllevaría por sí misma, hay que tener en cuenta que esta energía está sometida a continuas fluctuaciones y a variaciones más o menos bruscas. Así, por ejemplo, la radiación solar es menor en invierno, precisamente cuando más la necesitamos. Por esto es de vital importancia proseguir con el desarrollo de la incipiente tecnología de captación, acumulación y distribución de la energía solar, para conseguir las condiciones que la hagan definitivamente competitiva, a escala planetaria.

La energía solar, como recurso energético terrestre, está constituida simplemente por la porción de la luz que emite el sol y que es interceptada por la tierra. La constante solar, es decir la intensidad media de radiación medida fuera de la atmósfera en un plano normal la radiación es aproximadamente 2.26 kW/m<sup>2</sup>. México es un país con alta incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio; la zona norte es de las más soleadas del mundo. La intensidad de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra se reduce por varios factores variables, entre ellos, la absorción de la radiación, en intervalos de longitud de onda específicos, por los gases de la atmósfera, dióxido de carbono, ozono, etc., por el vapor de agua, por la difusión atmosférica por la partículas de polvo, moléculas y gotitas de agua, por reflexión de las nubes y por la inclinación del plano que recibe la radiación respecto de la posición normal de la radiación.

El total de la energía solar que llega a la tierra es enorme. Los EE.UU., por ejemplo, reciben anualmente alrededor de 1500 veces sus demandas de energía total. En un día de sol de verano, la energía que llega al tejado de una casa de tipo medio sería más que suficiente para satisfacer las necesidades de energía de esa casa por 24 horas.

Usos posibles de la energía solar: En una lista parcial de posibles usos de la energía solar, figuran:

- Calefacción domestica
- Refrigeración
- Calentamiento de agua
- Destilación
- Generación de energía
- Fotosíntesis
- Hornos solares
- Cocinas
- Evaporación
- Acondicionamiento de aire
- Control de heladas
- Secado de hierbas y frutas

Se han ensayado todos los usos citados de la energía solar en escala de laboratorio, pero pocos se han llevado a la escala industrial. En muchos casos, el costo de la realización de estas operaciones con energía solar no pueden competir con el costo cuando se usan otras fuentes de energía por la gran inversión inicial que es necesaria para que funcionen con energía solar y por ello la mayor parte de los estudios de los problemas de utilización de esta energía esta relacionado con problemas económicos.

Algunas aplicaciones de energía solar podrán competir en el futuro económicamente con otras fuentes de energía en algunas zonas de países industrializados, si los adelantos técnicos en este campo o los cambios en el costo de la energía de otras fuentes llegan a alterar su costo relativo y si la humanidad reconoce las ventajas ecológicas de las energías renovables.

A continuación se mostrarán algunas de las aplicaciones de la energía solar:

**Directa:** Una de las aplicaciones de la energía solar es directamente como luz solar, por ejemplo, para la iluminación de recintos. En este sentido, cualquier ventana es un colector solar. Otra aplicación directa, muy común, es el secado de ropa y algunos productos en procesos de producción con tecnología simple.

**Térmica:** Se denomina "térmica" la energía solar cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio. La climatización de viviendas, calefacción, refrigeración, secado, etc., son aplicaciones térmicas.

**Fotovoltaica:** Se llama "fotovoltaica" la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas, capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin pasar por un efecto térmico.

Básicamente, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, podemos obtener calor y electricidad.

El calor se logra mediante los colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados módulos fotovoltaicos.

En los sistemas de aprovechamiento térmico, el calor recogido en los colectores puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a nuestros hogares, hoteles, colegios, fábricas, etc. Incluso se pueden climatizar las piscinas y permitir el baño durante gran parte del año.

También, y aunque pueda parecer extraño, otra de las más prometedoras aplicaciones del calor solar será la refrigeración durante las épocas cálidas, precisamente cuando más soleamiento hay. En efecto, para obtener frío hace falta disponer de un "foco cálido", el cual puede perfectamente tener su origen en unos colectores solares instalados sobre el techo.

Las aplicaciones agrícolas son muy amplias. Con invernaderos solares pueden obtenerse mayores y más tempranas cosechas; los secaderos agrícolas consumen mucha menos energía si se combinan con un sistema solar, y, por citar otro ejemplo, pueden funcionar plantas de purificación o desalinización de aguas sin consumir ningún tipo de combustible. Las "células solares", dispuestas en paneles solares, ya producían electricidad en los primeros satélites espaciales. Actualmente se perfilan como la solución definitiva al problema de la electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, pues, al carecer los paneles de partes móviles, resultan totalmente inalterables al paso del tiempo, no contaminan ni producen ningún ruido en absoluto, no consumen combustible y no necesitan mantenimiento. Además, y aunque con menos rendimiento, funcionan también en días nublados, puesto que captan la luz que se filtra a través de las nubes.

La electricidad que se obtiene de esta manera puede usarse de manera directa (por ejemplo para sacar agua de un pozo o para regar, mediante un motor eléctrico), o bien ser almacenada en acumuladores para usarse en las horas nocturnas. Incluso es posible inyectar la electricidad sobrante a la red general, obteniendo un importante beneficio.

**Hornos solares:** Los hornos solares son una aplicación importante de los concentradores de alta temperatura. El mayor, situado en Odeillo, en la parte francesa de los Pirineos, tiene 9.600 reflectores con una superficie total de unos 1.900 m<sup>2</sup> para producir temperaturas de hasta 4.000 °C. Estos hornos son ideales para investigaciones, por ejemplo, en la investigación de materiales, que requieren temperaturas altas en entornos libres de contaminantes.

**Receptores centrales:** La generación centralizada de electricidad a partir de energía solar está en desarrollo. En el concepto de receptor central, o de torre de potencia, una matriz de reflectores montados sobre helióstatos controlados por computadora refleja y concentran los rayos del Sol sobre una caldera de agua situada sobre la torre. El vapor generado puede usarse en los ciclos convencionales de las plantas de energía y generar electricidad.

**Enfriamiento solar:** Se puede producir frío con el uso de energía solar como fuente de calor en un ciclo de enfriamiento por absorción. Uno de los componentes de los sistemas estándar de enfriamiento por absorción, llamado generador, necesita una fuente de calor. Puesto que, en general, se requieren temperaturas superiores a 150 °C para que los dispositivos de absorción trabajen con eficacia, los colectores de concentración son más apropiados que los de placa plana.

**Electricidad fotovoltaica:** Las células solares hechas con obleas finas de silicio, arseniuro de galio u otro material semiconductor en estado cristalino, convierten la radiación en electricidad de forma directa. Ahora se dispone de células con eficiencias de conversión superiores al 30%. Por medio de la conexión de muchas de estas células en módulos, el coste de la electricidad fotovoltaica se ha reducido mucho. El uso actual de las células solares se limita a dispositivos de baja potencia, remotos y sin mantenimiento, como boyas y equipamiento de naves espaciales.

**Energía solar en el espacio:** Un proyecto futurista propuesto para producir energía a gran escala propone situar módulos solares en órbita alrededor de la Tierra. En ellos la energía concentrada de la luz solar se convertiría en microondas que se emitirían hacia antenas terrestres para su conversión en energía eléctrica. Para producir tanta potencia como cinco plantas grandes de energía nuclear (de mil millones de vatios cada una), tendrían que ser ensamblados en órbita varios kilómetros cuadrados de colectores, con un peso de más de 4000 t; se necesitaría una antena en tierra de 8 m de diámetro. Se podrían construir sistemas más pequeños para islas remotas, pero la economía de escala supone ventajas para un único sistema de gran capacidad.

**Dispositivos de almacenamiento de energía solar:** Debido a la naturaleza intermitente de la radiación solar como fuente energética durante los periodos de baja demanda debe almacenarse el sobrante de energía solar para cubrir las necesidades cuando la disponibilidad sea insuficiente. Además de los sistemas sencillos de almacenamiento como el agua y la roca, se pueden usar, en particular en las aplicaciones de refrigeración, dispositivos más compactos que se basan en los cambios de fase característicos de las sales eutécticas (sales que se funden a bajas temperaturas). Los acumuladores pueden servir para almacenar el excedente de energía eléctrica producida por dispositivos eólicos o fotovoltaicos. Un concepto más global es la entrega del excedente de energía eléctrica a las redes existentes y el uso de éstas como fuentes suplementarias si la disponibilidad solar es insuficiente. Sin embargo, la economía y la fiabilidad de este proyecto plantean límites a esta alternativa.

## D) RADIACIÓN SOLAR:

Se conoce por radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas que son emitidas por el Sol. Éstas van desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. La unidad práctica que describe la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia, o unidad de potencia por metro cuadrado [ $\text{W}/\text{m}^2$ ].

La radiación solar incidente en la tierra puede aprovecharse por su capacidad para calentar o directamente a través del aprovechamiento de la radiación en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es un tipo de energía verde. La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es superior a los  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$  a nivel de la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia.

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es aquella que está presente en la atmósfera gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar de las nubes, y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas direcciones.

La irradiancia directa normal (o perpendicular a los rayos solares), fuera de la atmósfera recibe el nombre de constante solar y tiene un valor medio de  $1354 \text{ W}/\text{m}^2$  (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de  $1395 \text{ W}/\text{m}^2$  y un valor mínimo en el afelio de  $1308 \text{ W}/\text{m}^2$ .) El perihelio es el límite de la órbita de la tierra con respecto al sol en la cual, la distancia es mínima y el afelio es el punto de la órbita de la tierra que más dista del sol.

La radiación solar es la energía radiante producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión. Llega a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres. La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, si se considera que la Tierra está a su distancia promedio del Sol, se llama constante solar, y su valor medio es  $1,37 \times 10^6 \text{ erg}/\text{s}/\text{cm}^2$ , o unas  $2 \text{ cal}/\text{min}/\text{cm}^2$ . Sin embargo, esta cantidad no es constante, ya que parece ser que varía un 0,2% en un periodo de 30 años. La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera.

La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra depende, de forma complicada pero predecible, del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía solar que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor.

La recogida natural de energía solar se produce en la atmósfera, los océanos y las plantas de la Tierra. Las interacciones de la energía del Sol, los océanos y la atmósfera, por ejemplo, producen vientos, utilizados durante siglos para hacer girar los molinos. Los sistemas modernos de energía eólica utilizan hélices fuertes, ligeras, resistentes a la intemperie y con diseño aerodinámico que, cuando se unen a generadores, producen electricidad para usos locales y especializados o para alimentar la red eléctrica de una región o comunidad.

Casi el 30% de la energía solar que alcanza el borde exterior de la atmósfera se consume en el ciclo del agua, que produce la lluvia y la energía potencial de las corrientes de montaña y de los ríos. La energía que generan estas aguas en movimiento al pasar por las turbinas modernas se llama energía hidroeléctrica.

Gracias al proceso de fotosíntesis, la energía solar contribuye al crecimiento de la vida vegetal (biomasa) que, junto con la madera y los combustibles fósiles que desde el punto de vista geológico derivan de plantas antiguas, puede ser utilizada como combustible. Otros combustibles como el alcohol y el metano también pueden extraerse de la biomasa.

Asimismo, los océanos representan un tipo natural de recogida de energía solar. Como resultado de su absorción por los océanos y por las corrientes oceánicas, se producen gradientes de temperatura. En algunos lugares, estas variaciones verticales alcanzan 20 °C en distancias de algunos cientos de metros. Cuando hay grandes masas a distintas temperaturas, los principios termodinámicos predicen que se puede crear un ciclo generador de energía que extrae energía de la masa con mayor temperatura y transferir una cantidad a la masa con temperatura menor. La diferencia entre estas energías se manifiesta como energía mecánica (para mover una turbina, por ejemplo), que puede conectarse a un generador, para producir electricidad. Estos sistemas, llamados sistemas de conversión de energía térmica oceánica (CETO), requieren enormes intercambiadores de energía y otros aparatos en el océano para producir potencias del orden de megavatios.

La recogida directa de energía solar requiere dispositivos artificiales llamados colectores solares, diseñados para recoger energía, a veces después de concentrar los rayos del Sol. La energía, una vez recogida, se emplea en procesos térmicos o fotoeléctricos, o fotovoltaicos. En los procesos térmicos, la energía solar se utiliza para calentar un gas o un líquido que luego se almacena o se distribuye. En los procesos fotovoltaicos, la energía solar se convierte en energía eléctrica sin ningún dispositivo mecánico intermedio. Los colectores solares pueden ser de dos tipos principales: los de placa plana y los de concentración.

En los procesos térmicos los colectores de placa plana interceptan la radiación solar en una placa de absorción por la que pasa el llamado fluido portador. Éste, en estado líquido o gaseoso, se calienta al atravesar los canales por transferencia de calor desde la placa de absorción. La energía transferida por el fluido portador, dividida entre la energía solar que incide sobre el colector y expresada en porcentaje, se llama eficiencia instantánea del colector. Los colectores de placa plana tienen, en general, una o más placas cobertoras transparentes para intentar minimizar las pérdidas de calor de la placa de absorción en un

esfuerzo para maximizar la eficiencia. Son capaces de calentar fluidos portadores hasta 82 °C y obtener entre el 40 y el 80% de eficiencia.

Los colectores de placa plana se han usado de forma eficaz para calentar agua y para calefacción. Los sistemas típicos para casa-habitación emplean colectores fijos, montados sobre el tejado. En el hemisferio norte se orientan hacia el Sur y en el hemisferio sur hacia el Norte. El ángulo de inclinación óptimo para montar los colectores depende de la latitud. En general, para sistemas que se usan durante todo el año, como los que producen agua caliente, los colectores se inclinan (respecto al plano horizontal) un ángulo igual a los 15° de latitud y se orientan unos 20° latitud S o 20° de latitud N.

Además de los colectores de placa plana, los sistemas típicos de agua caliente y calefacción están constituidos por bombas de circulación, sensores de temperatura, controladores automáticos para activar el bombeo y un dispositivo de almacenamiento. El fluido puede ser tanto el aire como un líquido (agua o agua mezclada con anticongelante), mientras que un lecho de roca o un tanque aislado sirven como medio de almacenamiento de energía.

## Composición de la energía solar

### a) Antes de atravesar la atmósfera

La energía que llega a la parte alta de la atmósfera es una mezcla de radiaciones de longitudes de onda ( $\lambda$ ) entre 200 y 4000 nm. Se distingue entre radiación ultravioleta, luz visible y radiación infrarroja.

### b) En la superficie de la Tierra

La atmósfera absorbe parte de la radiación solar.

En unas condiciones óptimas con un día perfectamente claro y con los rayos del sol cayendo casi perpendiculares, como mucho las tres cuartas partes de la energía que llega del exterior alcanza la superficie. Casi toda la radiación ultravioleta y gran parte de la infrarroja son absorbidas por el ozono y otros gases en la parte alta de la atmósfera. El vapor de agua y otros componentes atmosféricos absorben en mayor o menor medida la luz visible e infrarroja. La energía que llega al nivel del mar suele ser radiación infrarroja un 49%, luz visible un 42% y radiación ultravioleta un 9%.

En un día nublado se absorbe un porcentaje mucho más alto de energía, especialmente en la zona del infrarrojo.

Cosecha solar en lugares selectos de la Republica Mexicana en el año 2004

Resultado en kWh/m<sup>2</sup> por día

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom.
Sonora	Hermosillo	4.0	4.6	5.4	6.6	8.3	8.6	6.9	6.6	6.7	6.0	4.7	3.9	6.0
Sonora	Guaymas	4.5	5.7	6.5	7.2	7.3	6.8	5.9	5.8	6.3	5.9	5.1	5.6	6.0
Chihuahua	Chihuahua	4.1	4.9	6.0	7.4	8.2	8.1	6.8	6.2	5.7	5.2	4.6	3.8	5.9
Coahuila	Piedras Negras	3.1	3.6	4.2	4.5	4.8	6.0	6.7	6.3	4.9	4.1	3.3	2.9	4.5
Coahuila	Saltillo	3.8	4.2	4.8	5.1	5.6	5.9	5.9	5.6	5.2	4.4	3.6	3.3	4.8
Nuevo León	Monterrey	3.2	3.6	4.1	4.3	4.8	5.5	6.1	5.6	5.0	3.8	3.3	3.0	4.4
San Luis Potosí	Río Verde	3.6	4.0	4.6	4.9	5.4	5.6	5.8	5.8	5.1	4.3	3.7	3.3	4.7
San Luis Potosí	San Luis Potosí	4.3	5.3	5.8	6.4	6.3	6.1	6.4	6.0	5.5	4.7	4.2	3.7	5.4
Zacatecas	Zacatecas(la bufa)	4.9	5.7	6.6	7.5	7.8	6.2	6.2	5.9	5.4	4.8	4.8	4.1	5.8
Campeche	Campeche	4.0	4.1	5.5	5.8	5.5	4.9	4.9	5.1	4.7	4.4	4.2	3.7	4.7
Guanajuato	Guanajuato	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6.0	6.0	5.9	5.8	5.2	4.8	4.6	5.6
Colima	Colima	4.4	5.1	5.3	5.8	6.0	5.2	4.9	5.0	4.6	4.4	4.4	3.9	4.9
Aguascalientes	Aguascalientes	4.5	5.2	5.9	6.6	7.2	6.3	6.1	5.9	5.7	5.1	4.8	4.0	5.6
Guerrero	Chilpancingo	4.1	4.5	4.9	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	4.7	4.4	4.1	3.8	4.7
Guerrero	Acapulco	4.8	5.3	6.1	5.9	5.6	5.1	5.3	5.4	4.9	5.2	5.0	4.7	5.3
Nayarit	Tepic	3.9	4.3	4.8	5.5	6.1	5.3	4.9	5.3	4.4	4.4	4.0	4.8	4.8
Veracruz	Tuxpan	3.1	3.8	4.4	4.8	4.7	4.4	4.7	5.5	4.4	4.1	3.4	3.1	4.2
Veracruz	Córdoba	3.1	3.3	3.6	3.8	4.1	4.4	4.6	4.5	4.1	3.5	3.1	2.8	3.7
Veracruz	Orizaba	3.3	3.5	3.9	4.2	4.9	4.4	4.5	4.6	4.3	3.6	3.3	3.1	4.0
Veracruz	Jalapa	3.2	3.5	3.8	4.3	4.6	4.4	4.9	5.0	4.4	3.7	3.3	3.0	4.0
Veracruz	Veracruz	3.7	4.5	4.9	5.1	5.1	4.8	4.7	5.1	4.6	4.8	4.1	3.6	4.6
Chiapas	Comitán	4.1	4.4	4.8	4.9	5.1	4.8	5.5	5.5	4.8	4.0	4.0	3.7	4.6
Chiapas	Arriaga	5.1	5.4	5.5	5.9	5.6	5.2	5.9	5.5	5.1	5.3	5.1	4.7	5.4
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	3.8	4.4	4.6	4.8	5.3	5.1	5.4	5.3	4.9	4.4	4.1	3.7	4.7



Chiapas	San Cristóbal	4.0	4.3	4.5	4.5	4.8	4.7	5.4	5.3	4.6	4.2	3.9	3.7	4.5
Chiapas	Tapachula	5.4	4.9	4.8	4.6	4.7	4.7	5.2	5.1	4.6	4.1	4.3	4.1	4.7
Quintana Roo	Chetumal	3.9	4.7	5.4	5.7	5.3	4.7	4.9	5.0	4.5	4.4	4.0	3.7	4.7
Quintana Roo	Cozumel	3.9	4.6	5.3	5.7	5.2	4.8	4.9	4.9	4.6	4.4	4.0	3.8	4.7
Oaxaca	Salina Cruz	5.4	6.3	6.6	6.4	6.1	5.0	5.6	5.9	5.2	5.9	5.7	5.2	5.8
Oaxaca	Oaxaca	4.9	5.7	5.8	5.5	6.0	5.4	5.9	5.6	5.0	4.9	4.8	4.4	5.3
Jalisco	Colotlán	4.6	5.7	6.5	7.5	8.2	6.6	5.8	5.6	5.8	5.3	4.9	4.1	5.9
Jalisco	Lagos de Moreno	4.5	5.3	6.1	6.7	7.2	6.1	5.8	5.6	5.5	5.0	4.7	4.0	5.5
Jalisco	Guadalajara	4.6	5.5	6.3	7.4	7.7	5.9	5.3	5.3	5.2	4.9	4.8	4.0	5.6
Durango	Durango	4.4	5.4	6.5	7.0	7.5	6.8	6.0	5.6	5.7	5.1	4.8	3.9	5.7
Tamaulipas	Soto la Marina	3.4	4.2	4.9	4.9	5.1	5.3	5.4	5.4	4.9	4.6	3.7	3.2	4.6
Tamaulipas	Tampico	3.3	4.1	4.7	6.4	5.0	4.9	4.9	4.9	4.6	4.6	3.7	3.2	4.5
Yucatán	Progreso	4.1	4.9	5.4	5.5	5.3	5.1	5.3	5.3	5.0	5.0	4.4	4.0	4.9
Yucatán	Valladolid	3.7	4.1	3.1	5.4	5.7	5.3	5.4	5.4	4.9	4.2	3.8	3.5	4.5
Yucatán	Mérida	3.7	4.0	4.6	5.2	5.7	5.5	5.7	5.5	5.0	4.2	3.8	3.4	4.7
Baja California	La Paz	4.4	5.5	6.0	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	5.7
Baja California	San Javier	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	3.7	5.5
Baja California	Mexicali	4.1	4.4	5.0	5.6	6.6	7.3	7.0	6.1	6.1	5.5	4.5	3.9	5.5
Sinaloa	Mazatlán	3.9	4.8	5.4	5.7	5.7	5.6	4.8	4.9	4.7	5.0	4.5	3.9	4.9
Sinaloa	Culiacán	3.6	4.2	4.8	5.4	6.2	6.2	5.4	5.1	5.2	4.6	4.2	3.4	4.9
Querétaro	Querétaro	5.0	5.7	6.4	6.8	6.9	6.4	6.4	6.4	6.3	5.4	5.0	4.4	5.9
D.F.	Tacubaya	4.4	5.2	5.8	5.8	5.7	5.1	4.9	4.9	4.7	4.4	4.2	3.8	4.9
México	D.F.						5.2						4.3	
México	Toluca	4.4	4.9	5.3	5.4	5.2	5.2	4.9	4.9	4.6	4.4	4.2	3.9	4.8
México	Chapingo	4.5	5.1	5.6	5.8	5.9	5.4	5.2	5.2	5.0	4.7	4.6	3.9	5.1
Tlaxcala	Tlaxcala	4.6	5.1	5.5	5.4	5.6	5.2	5.3	5.2	5.1	4.9	4.7	4.0	5.1
Puebla	Puebla	4.9	5.5	6.2	6.4	6.1	5.7	5.8	5.8	5.2	5.0	4.7	4.4	5.5
Hidalgo	Pachuca	4.6	5.1	5.6	6.8	6.0	5.7	5.9	5.8	5.3	4.9	4.6	4.2	5.4
Michoacán	Morelia	4.2	4.9	5.5	5.8	5.9	5.2	5.0	5.1	4.9	4.6	4.3	3.7	4.9

# ANTECEDENTES:

## I. INTRODUCCIÓN AL POLIPROPILENO

### POLIPROPILENO

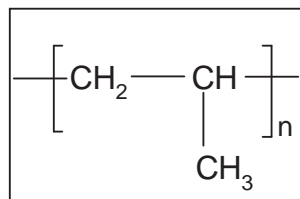
Con el paso del tiempo, el hombre ha ido desarrollando diversos materiales, para poder obtener nuevos productos, donde, algunos son analizados, pero otros, simplemente son obviados sin detenerse a ver de donde provienen, de qué están compuestos, qué ventajas o desventajas se pueden extraer de ellos.

Los materiales plásticos hoy en día, representan un inmenso grupo que se distingue casi en su totalidad, por el hecho de ser desarrollados por el hombre, y son consideradas sustancias macromoleculares y en su mayoría orgánicas, además de ser utilizados cada día más, en diferentes y nuevos campos de aplicación.

Uno de estos materiales es sin duda el polipropileno, el cual tiene un gran número de aplicaciones en la vida cotidiana, pues cumple una doble tarea, como plástico y como fibra, ya que posee características físicas, químicas y mecánicas que lo hacen uno de los materiales más utilizados en la actualidad. A continuación se describirá a grandes rasgos lo referente a este material.

#### ¿Qué es el Polipropileno?

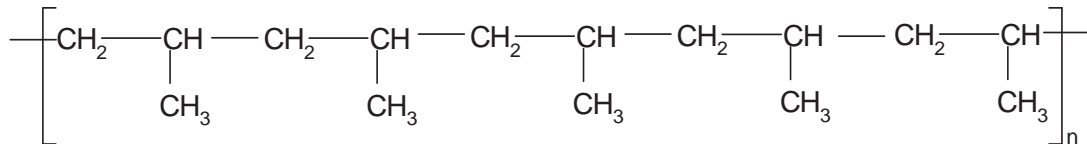
El polipropileno es un polímero formado de enlaces simples carbono-carbono y carbono-hidrógeno, pertenece a la familia de las poliolefinas (polietilenos entre otros) y su estructura molecular consiste de un grupo metilo ( $\text{CH}_3$ ) unido a un grupo vinilo ( $\text{CH}_2$ ).



Por medio del arreglo molecular, se logra obtener diferentes configuraciones estereoquímicas (isotáctico, sindiotáctico y atáctico); en orden de cristalinidad y ordenamiento de las moléculas, en primer lugar se encuentra la configuración isotáctica (mas usado en el polipropileno), luego la sindiotáctica y por ultimo la atáctico que presenta un alto grado de desorden en la estructura molecular (mayor porcentaje amorfa que cristalina).

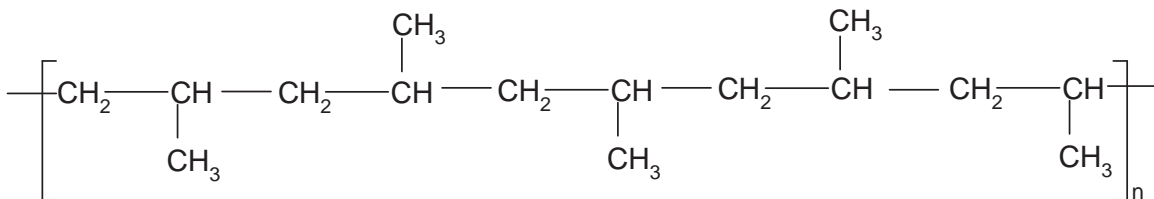
Los más usados son el polipropileno isotáctico y el atáctico.

Se está llevando a cabo una investigación acerca del empleo de la polimerización catalizada por metallocenos en la síntesis del polipropileno. La polimerización catalizada por metallocenos es la que produce diversas tacticidades. El polipropileno que se utiliza es en su mayor parte isotáctico. Esto significa que todos los grupos metilos de la cadena están del mismo lado, de esta forma:



POLIPROPILENO ISOTÁCTICO

También se produce el polipropileno atáctico. Atáctico significa que los grupos metilos están distribuidos al azar a ambos lados de la cadena, de este modo:



POLIPROPILENO ATÁCTICO

Sin embargo, usando catalizadores especiales tipo metalloceno, se pueden hacer copolímeros en bloque, que contengan bloques de polipropileno isotáctico y bloques de polipropileno atáctico en la misma cadena polimérica.

Este polímero es parecido al caucho y es un buen elastómero. Esto es porque los bloques isotácticos forman cristales. Pero dado que los bloques isotácticos están unidos a los bloques atácticos, cada pequeño agrupamiento de polipropileno cristalino isotáctico quedaría fuertemente enlazado por hebras del dúctil y gomoso polipropileno atáctico. El

polipropileno atáctico sería parecido a la goma sin ayuda de los bloques isotácticos, pero no sería muy fuerte.

Los bloques isotácticos rígidos mantienen unido al material atáctico gomoso, dándole más resistencia. La mayoría de los tipos de caucho deben ser entrecruzados para darles fuerza, pero eso no ocurre con los elastómeros del polipropileno.

El polipropileno elastomérico, como es llamado este copolímero, es una clase de elastómero termoplástico.

El polipropileno, puede categorizarse ampliamente como homopolímero, o como copolímero.

El homopolímero polipropileno es un polímero en el que su estructura molecular esta hecha de solo propileno, es altamente cristalino, con alta temperatura de fusión (160 °C), buena rigidez y uno de los plásticos más livianos, Se utilizan en aplicaciones que requieren alta resistencia a la tensión y con alto brillo, tiene una dureza y una resistencia térmica superiores a las del polietileno de alta densidad, pero una resistencia al impacto inferior y se vuelve quebradizo por debajo de 0°C.

Las aplicaciones para los homopolímeros se dan en envolturas de aparatos eléctricos, embalajes, estuches de cintas, fibras, monofilamentos, empaques rígidos difíciles de colapsar, empaques que necesitan baja resistencia al impacto, no es recomendado para volúmenes mayores a 1 L en envases soplados, así mismo para uso a temperaturas inferiores a 5°C, en cambio es recomendado para llenado a altas temperaturas. Los homopolímeros son empleados ampliamente para extrusión de lámina, envases soplados, película, soplado, TWQ, BOPP, fibra, multifilamentos, inyección de alta rigidez, entre otros.

Existen 2 tipos de copolímeros el Polipropileno copolímero Random y el Polipropileno copolímero de impacto.

El Polipropileno copolímero Random es un polímero en el que su estructura molecular esta hecha de Propileno y Etileno (menos del 10%), éste ultimo le imparte mejor transparencia, resistencia al impacto, baja cristalinidad, baja temperatura de fusión (115°C 150 °C) y baja rigidez, algunas aplicaciones son: empaques de mejor transparencia, y que requieran buena resistencia al impacto, son recomendado para toda clase de volúmenes (hasta 20 L), para temperaturas superiores a -5 °C y para procesos especialmente extrusión soplo, inyección, inyector soplado, inyector estirado soplado, aplicaciones como película monoorientada, inyección de productos con alta transparencia, envases soplados de alta transparencia y resistencia al impacto.

El Polipropileno copolímero de impacto es un polímero en el que su estructura molecular esta formada una parte de homopolímero y la otra de un copolímero de etileno-propileno. Es una mezcla íntima de un caucho de etileno-propileno y un homopolímero de

propileno, Ofrece un balance entre rigidez y resistencia al impacto especial para artículos inyectados tales como cuñetes para pinturas, bases para sillas de oficina, baldes, empaques sin requisitos de transparencia, con excelente resistencia al impacto.

Recomendado para toda clase de volúmenes (hasta 20 L), para uso a temperaturas muy bajas, en proceso como extrusión sople, extrusión de tubería, compresión molding, inyección de cuñetes, inyección de pared delgada etc.

El polipropileno como copolímero, posee otro monómero oleofino, generalmente etileno, para el impacto mejorado u otras propiedades, por lo tanto las calidades copoliméricas son preferidas para aplicaciones que exponen a condiciones de frío. Además tienden a ser más difíciles de fabricar, pero la nueva tecnología se ha ido encargando de que esto desaparezca y no se convierta en un ningún problema.

También cabe destacar que en esta familia se encuentra el polipropileno isotáctico, el cual posee semicristalinidad y se fabrica por polimerización, mientras que el polipropileno atáctico, apenas tiende a ser cristalino dado que carece de ordenamiento espacial.

En su estructura, al pasar del polietileno, al polipropileno, la sustitución de un grupo de metilo cada dos átomos de carbono de la cadena polimétrica principal, restringe la rotación de las otras cadenas, produciendo así un material más duro y menos flexible. Es blanco, semiopaco, elaborado en una amplia variedad de calidades y modificaciones Por pertenecer al grupo metilo, sus cadenas aumentan la temperatura de transición vítrea, y por ello el polipropileno tiene temperaturas de fusión y de deformación por calor, mayores a las del polietileno.

Por pertenecer, como se dijo anteriormente al grupo de los termoplásticos, el polipropileno posee la capacidad de fundirse a una temperatura determinada, además posee un comportamiento visco elástico que proporciona ante los ensayos de tracción, compresión, flexión y torsión, resultados satisfactorios.

Es un material desarrollado también, bajo el manejo de un excelente control de calidad, brindando así una plena seguridad de uso en sus diferentes aplicaciones. Es un polímero, además obtenido por la polimerización de propeno en presencia de catalizadores y en determinadas condiciones de presión y temperatura.

Dentro del gran sin número de propiedades que maneja este material, deben destacarse unas que en especial son de mucha importancia como son:

### **PROPIEDADES FÍSICAS:**

- La densidad del polipropileno, esta comprendida entre 0.90 y 0.93 gr. /cm<sup>3</sup>. Por ser tan baja permite la fabricación de productos ligeros.
- Es un material más rígido que la mayoría de los termoplásticos. Una carga de 25.5 kg. por cm<sup>2</sup>, aplicada durante 24 horas no produce deformación apreciable a temperatura ambiente y resiste hasta los 70 grados C.
- Posee una gran capacidad de recuperación elástica.
- Tiene una excelente compatibilidad con el medio.
- Es un material fácil de reciclar.
- Posee alta resistencia al impacto.

### **PROPIEDADES MECÁNICAS:**

- Puede utilizarse en calidad de material para elementos deslizantes no lubricados.
- Tiene buena resistencia superficial.
- Tiene buena resistencia química a la humedad y al calor sin deformarse.
- Tiene buena dureza superficial y estabilidad dimensional.

### **PROPIEDADES ELÉCTRICAS:**

- La resistencia transversal es superior a 10<sup>16</sup> Ω/cm.
- Por presentar buena polaridad, su factor de perdidas es bajo.
- Tiene muy buena rigidez dieléctrica.

### **PROPIEDADES QUÍMICAS:**

- Tiene naturaleza apolar, y por esto posee gran resistencia a agentes químicos.
- Presenta poca absorción de agua, por lo tanto no presenta mucha humedad.
- Tiene gran resistencia a soluciones de detergentes comerciales.
- El polipropileno como los polietilenos tiene una buena resistencia química pero una resistencia menor a los rayos UV (salvo estabilización o protección previa).

El polipropileno al ser considerado un polímero amorfo es un polímero que posee desorden en la estructura molecular, parecida a un plato de espaguetis, este desorden le imparte la misma alta flexibilidad, baja rigidez y alta resistencia al impacto, todos los polímeros tienen regiones amorfas dentro de su estructura y por ende ningún polímero es denominado polímero cristalino sino polímeros semicristalinos.

La transparencia en un polímero es el porcentaje de luz que el espécimen de prueba deja pasar a través del sin variarle mayormente la dirección con respecto a la fuente lumínica. En general los plásticos amorfos presentan mayor transparencia que los semicristalinos.

La opacidad en un polímero es el porcentaje de luz dispersada en un ángulo mayor a  $2.5^\circ$  con respecto al rayo incidente cuando este pasa a través de un espécimen de prueba.

La cristalinidad es el ordenamiento de las cadenas del polímero en forma de lamellas (una paralela a la otra) que contrario a lo que se piensa le imparte al polímero opacidad debido a que las moléculas presentan mayor empaquetamiento y por lo tanto impiden el paso de la luz por medio de ellas, es decir, que entre más sean en un polímero menos transparencia, esta cristalinidad le imparte al polímero alta rigidez y temperaturas de fusión elevadas entre otras propiedades.

Otra forma de obtener cristalinidad es por medio de aditivos nucleantes, el cual proporciona centros activos o sitios donde el polímero puede comenzar a cristalizar formando centros nucleados denominados esferulitas, dependiendo del grado de nucleación se obtendrá una mayor o menor rigidez, teniendo como beneficio adicional una mayor resistencia al impacto debido a que son muchos centros pequeños de cristales rodeados de sitios amorfos y por lo tanto ayuda a obtener mayor resistencia al impacto y a su vez aumentar la transparencia del mismo.

Para conocer el peso molecular del Polipropileno se utiliza el método llamado Melt Flow, que es una manera amplia de medir el peso molecular, mide el peso en gramos de resina que pasa por un orificio normalizado bajo un peso y temperatura determinada durante 10 minutos, para el polipropileno el peso es de 2.16 Kg. y la temperatura de  $230^\circ\text{C}$ . Los números bajos indican altos pesos moleculares y resinas más viscosas y viceversa. Se conoce como MFR y es usada por convención para el polipropileno.

Los diferentes procesos que se le pueden aplicar al polipropileno, son fundamentalmente inyección, extrusión, moldeo por soplado y calandrado. Es apto para el termo conformado y conformado en frío.

En estos procesos, el polímero debe llegar a una temperatura elevada para lograr llevar a cabo cada proceso.

La temperatura de fusión es la temperatura en la cual los cristales empiezan a fundirse y existe un movimiento total de las moléculas, esta temperatura es la que marca una de las primeras temperaturas de proceso. Esta temperatura se encuentra para los Homopolímeros alrededor de  $160^\circ\text{C}$  (alta Cristalinidad), de  $115$  a  $150^\circ\text{C}$  para los Copolímeros Random y de  $150^\circ\text{C}$  para los Copolímeros de impacto.

La temperatura de transición vítrea es la temperatura en la cual existe el primer movimiento molecular y marca el paso del polímero de zona vítrea a la zona pseudoplástica. Para el polipropileno es de  $-20^\circ\text{C}$  y nos ayuda a determinar la temperatura mínima en la cual una aplicación puede trabajar antes de producirse fragilización en la pieza dada.

## **INFORMACIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN:**

Este proceso es el más utilizado para el laminado de polímeros termoplásticos como el polipropileno.

Existen varios componentes o equipos que llevan a cabo la extrusión del polipropileno, llamado proceso TWQ.

Los componentes que incluyen el proceso TWQ son:

La extrusora, la cabeza circular, la corona de aire, calibrador o baño de agua, placas deflectoras, rodillos colapsadores, tratador de corona y bobinadores

Uno de los equipos en los que se logra el moldeo del polipropileno es una extrusora, la cual tiene un tornillo (24:1 a 28:1) capaz de fundir, mezclar y homogeneizar el Polipropileno y entregar la resina adecuadamente fundida, mezclada y homogeneizada. Consta de tres secciones: alimentación, compresión y dosificación. Después de salir del husillo, la extrusora tiene una sección donde se alojan los filtros, estos deben ser tres, dos bastos para soporte, de 60 mesh y uno fino 100 o 120 mesh.

Los perfiles de temperaturas de la extrusora pueden ser ascendentes o planos empezando en la zona 1ª con 180°C y concluyendo en la 3ra zona con temperaturas de 215°C hasta 230°C, esta última temperatura, se mantiene igual en las zonas de cabezal, filtros y dado.

En la cabeza circular la resina fundida de la extrusora pasa por el formador o dado el cual produce una película tubular. Este dado debe estar centrado y galgado para que la regularidad del espesor sea óptima.

La corona de aire es un sistema que toma aire del medio ambiente y lo pasa por un sistema de laberinto y arroja contra la película. Trabaja a temperaturas de 45°C a 60°C y genera "piel" en la película para evitar que el peso de la burbuja sobre una sección completamente fundida la rompa y se descuelgue. Su distancia del dado debe estar entre 5 y 10 cms. El aire corre por los laberintos, esto hace que la presión y caudal contra la película sea muy uniforme y no la golpee bruscamente. El aire de cada uno de los sopladores es regulado mediante unos sistemas de cortinas, son elementos que una vez cuadrados no necesitan rectificaciones constantes.

El anillo de aire, es responsable en la uniformidad del espesor, no debe tener demasiado caudal de aire y este debe ser aire del medio ambiente y no aire enfriado.

El calibrador o baño de agua es un aro circular en el cual la película entra en contacto con agua a baja temperatura, sus distancia desde el dado debe ser amplia para permitir algún tipo de orientación. Su centrado y nivelación deben ser extremos y exigentes.



El ingreso del agua a este calibrador debe hacerse mediante un tubo o corona anular y perforada que arroja los chorros contra la pared del calibrador y no directamente contra la película a si el flujo de agua llega a la película de manera abundante pero laminar. Si en flujo de agua choca la película directamente se forman líneas blancas en el sentido del proceso.

Es importante poder manejar y regular la temperatura del baño de agua tiene una decidida influencia en las propiedades ópticas y mecánicas de la película, los enfriamientos rápidos generan cristales pequeños lo cual incrementa la transparencia, brillo y una mayor rigidez.

Las placas deflectoras son láminas generalmente metálicas que reciben la película a la salida del calibrador y la van cerrando convirtiendo el tubular en una película cerrada. Estos elementos deberán estar muy bien centrados y el ángulo de cerrado debe entregar la película justo en el NIP o rodillos colapsadores, todas las desviaciones generarán arrugas indeseables en la película

Los rodillos colapsadores tienen la función de halar la película, cerrarla y eliminar el exceso de agua de enfriamiento que pueda conducir la película. Deben estar muy bien nivelados y centrados respecto al eje de dado, anillo de aire, calibrador y placas deflectoras.

Los tratadores de corona permiten aumentar la tensión superficial de la película facilitando su impresión, son elementos eléctricos que generan corrientes de muy alto voltaje y bajo amperaje, lo cual polariza la superficie de la película, el nivel de intensidad del tratador usualmente se mide por el consumo de amperaje del tratador, y es directamente proporcional al ancho de la película y de la velocidad de bobinado.

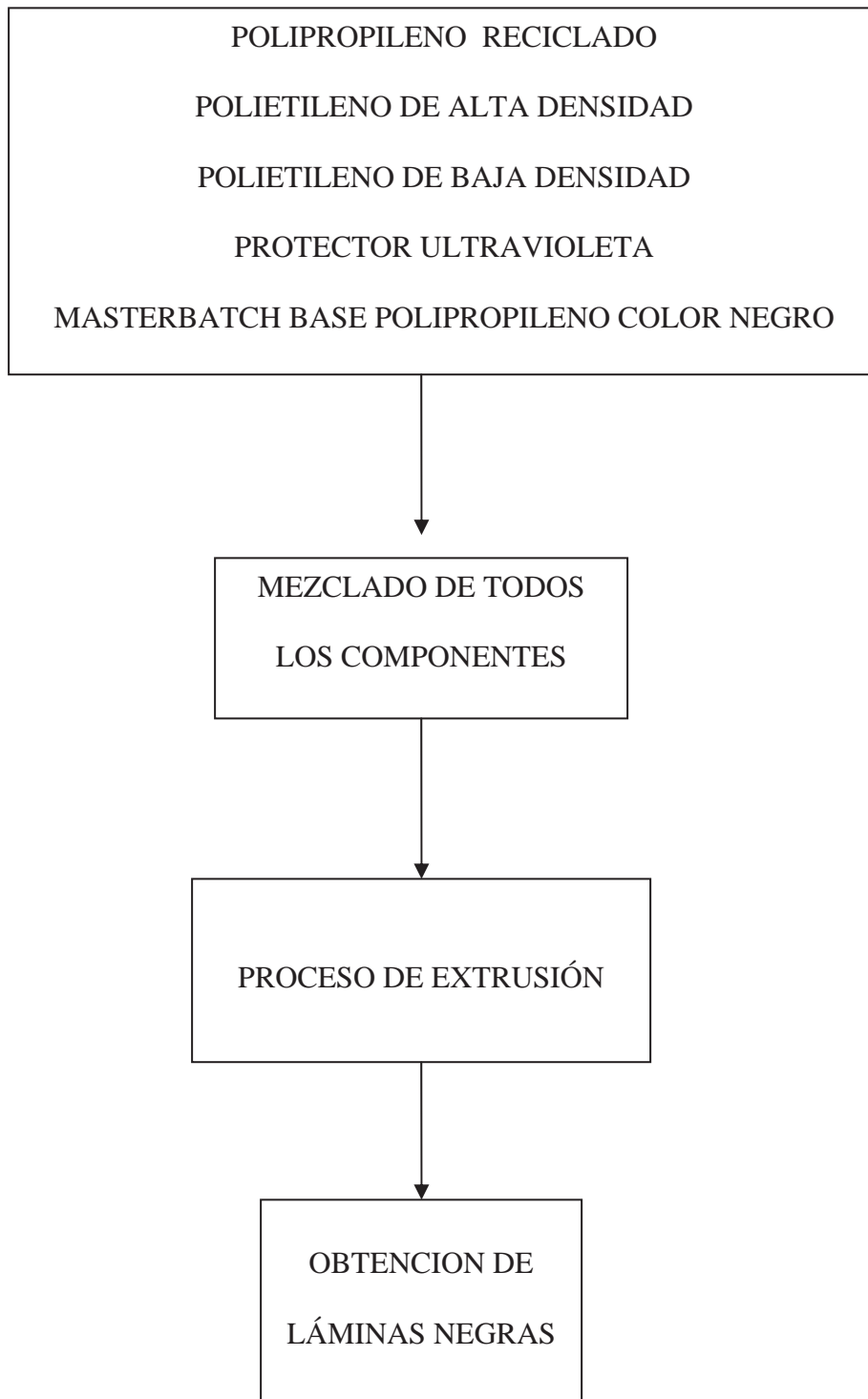
Siempre las películas deben ser tratadas en línea y lo más cerca de la extrusión, tratamientos posteriores al proceso de extrusión no son buenos porque actúan sobre el aditivo deslizante no directamente sobre la superficie.

Las películas fabricadas por el proceso TWQ requieren tratamientos entre 3,5 y 5 amperios lo cual genera tensiones superficiales de 38 a 42 dinas, tratamientos por debajo de 38 dinas no generan un buen anclaje de las tintas.

Las películas tratadas adecuadamente pueden ser impresas en sistemas de flexografía o rotograbado. Tratamientos excesivos generan bloqueo en la película o tratamiento sobre la cara no tratada.

Los bobinadores están al final del proceso de extrusión y producen las bobinas que luego seguirán los procesos posteriores de impresión corte y empaque. Deben garantizar una tensión uniforme y constante a pesar del incremento del diámetro, las bobinas no deberán estar ni apretadas ni flojas en ambos casos presentarán problemas en los procesos posteriores.

El siguiente es un diagrama básico de los componentes de las láminas de polipropileno:



## **JUSTIFICACIÓN:**

El presente trabajo está basado en el aprovechamiento de un material considerado como desecho para darle un valor agregado. Este material es el polipropileno, un plástico utilizado en bastantes artículos de uso cotidiano, algunos ejemplos pueden ser envases para alimentos, fibras, etc. y que al cumplir con su objetivo de brindar un servicio, tiene la característica de ser reciclado.

El uso que se propone es el de construir un captador solar basado en láminas de polipropileno negro reciclado.

La justificación del proyecto es que se obtendría un producto ecológico, porque al ser el polipropileno un derivado del petróleo y ser reutilizado nuevamente, ya no se convertirá en basura de una población, además con el uso como captador de energía, permitirá el ahorro de combustibles fósiles y contribuirá a una disminución de la emisión de gases que provocan el efecto invernadero. Además de obtener un captador solar que estará libre de mantenimiento, pues no será necesario pintar con frecuencia la superficie de absorción debido a que el polipropileno contará con aditivos que retienen el color y protegen al material de los rayos ultravioleta.

## **OBJETIVO:**

El objetivo general de este proyecto es obtener un equipo que sea capaz de absorber energía solar y que se le pueda dar una aplicación térmica que sea eficiente y práctica, pues se abordarán temas relacionados con los polímeros, el reciclaje, el medio ambiente y los sistemas de captación. Se pretende armar un captador de energía solar con láminas negras de polipropileno, que será utilizado para calentar agua para el uso doméstico principalmente.

Un objetivo en particular será observar la viabilidad del polipropileno como un material de construcción alternativo para un captador solar.

# HIPOTESIS:

Los materiales reciclados base polipropileno negro pueden ser utilizados para la captación de energía solar.

# PROPUESTA

Con el presente trabajo, se pretende obtener un sistema que sea capaz de captar la energía solar y transformarla en energía térmica por medio de un conjunto de placas de un material plástico o polímero reciclado llamado polipropileno, además de un almacenador de energía que llamaremos Termotanque, el cual deberá mantener por un tiempo considerable la energía que se obtuvo del captador.

Se armará un equipo a nivel laboratorio que captará la energía solar y ésta a su vez calentará unas láminas negras de polipropileno reciclado, posteriormente cederán parte de esta energía a una porción de agua que fluirá dentro de una caja perfectamente sellada permitiendo un tiempo de residencia para que el agua que entre por un conducto a temperatura ambiente en un costado del captador y salga por otro lado en la parte superior por medio de la densidad del agua a una temperatura mayor, enseguida el agua caliente fluirá a un Termotanque aislado donde se almacenará para usos posteriores, se tendrán varios fenómenos como el efecto invernadero, un termosifón y el autobombeo del agua por medio de la energía obtenida.

Para ver como cambia la densidad del agua con respecto a la temperatura se anexa una gráfica, en la cual podemos observar que a mayor temperatura del agua líquida, la densidad va disminuyendo, en este fenómeno está basado el termosifón, pues un líquido con una densidad menor tiende a subir, desplazando a su vez a un fluido con una densidad mayor, con esto se está consiguiendo una convección natural, la cual aprovecharemos para bombear el agua que sale del captador con una temperatura elevada hacia el Termotanque donde se almacenará.

La transferencia de calor por convección implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Además con frecuencia incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido. Conviene aclarar que hay una diferencia entre la transferencia de calor por convección forzada en la que se provoca el flujo de un fluido sobre una superficie sólida por medio de una bomba, un ventilador, u otro dispositivo mecánico, y la convección libre o natural, en la cual un fluido más caliente o más frío que está en contacto con la superficie sólida causa una circulación debido a la diferencia de densidades que resulta del gradiente de temperaturas en el fluido.

La base de esta hipótesis está fundamentada en varios puntos que se considerarán ampliamente en la descripción del polipropileno; a continuación se presentan las características básicas del producto que se pretende lograr.

El área de captación de la energía solar estará formado por láminas negras de polipropileno (PP) al 90% , adicionado con 4% de polietileno de baja densidad (LDPE), 4% de polietileno de alta densidad (HDPE) y 2% de un protector solar Ultravioleta (UV) que estarán pigmentadas por una sustancia conocida con el nombre trivial de Master batch, este aditivo está en forma de perlas que son producidas por negro de humo finamente molido en una base de polipropileno, el cual en este caso será de un color negro mate para que la base de la lámina sea muy opaca capaz de absorber la mayor cantidad de energía posible y que refleje al exterior una mínima cantidad.

La finalidad de la propuesta es obtener una lámina que sea:

Reciclable. Representa con esto una alternativa para el reuso de los polímeros y por lo tanto un menor costo.

Color Negro Mate. Este color es capaz de absorber una mayor cantidad de energía porque casi no tiene reflexión de luz.

Aditivos Integrados. Esta es una de las más grandes ventajas del producto que se maneja porque con esto, la lámina queda libre de mantenimiento, es decir, ya no se tiene que pintar una lámina con pintura de aerosol frecuentemente para que pueda seguir absorbiendo energía, se cuenta con un aditivo UV al 2% en peso que bloqueará o protegerá a material de los dañinos rayos ultravioleta, los demás aditivos como el HDPE y el LDPE son para proporcionarle a la lámina de polipropileno cierta flexibilidad, ya que en el caso de que las láminas fueran cercanas al 100% de PP serían muy quebradizas y no soportarían esfuerzos

El hecho de utilizar un material polimérico reciclado tiene los siguientes efectos positivos sobre el ambiente:

El polipropileno es un derivado del petróleo, con el cual se pueden fabricar envases para alimentos que soporten altas temperaturas, tapas de recipientes y refrescos, refacciones para la industria automotriz, fibras, filamentos, etc. Todos estos productos cuando ya cumplieron su finalidad de brindar un servicio son desechados y hecho de que puedan ser reciclados, se podrían utilizar todos estos materiales para formar nuevas láminas y con esto se evitará que se conviertan en basura de una población al poder darles un nuevo uso y obtener de ello un producto con valor agregado. Con ello se contribuirá a reducir el consumo de combustibles como el petróleo, carbón, gas, etc. y con ello una disminución en las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero.

## **DESARROLLO DEL TRABAJO:**

### **CONSTRUCCIÓN DEL CAPTADOR**

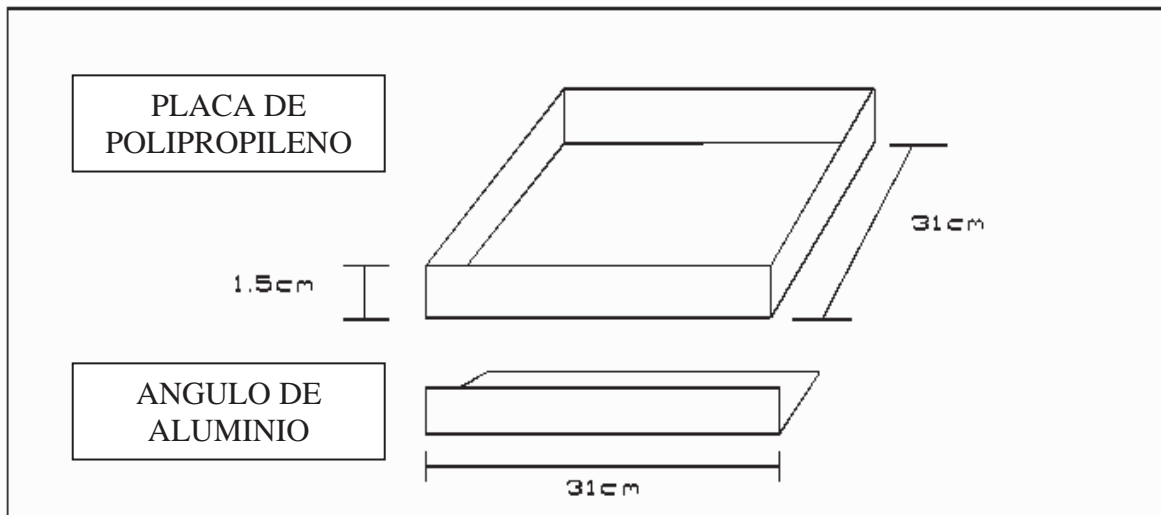
#### **PROTOTIPO DE UN CAPTADOR SOLAR BASADO EN UNA LÁMINA DE POLIPROPILENO NEGRO**

1. Para empezar, se requieren 2 bases para construir un captador en forma de cuadro, visto en 3ª dimensión será formado por un cubo, el cual necesita una base mayor y una menor.
2. La base más grande se pondrá en la parte exterior con un soporte metálico de aluminio en forma de ángulo de 90° de  $\frac{3}{4}$ " X  $\frac{3}{4}$ "
3. La base interior necesita ser un poco más pequeña que la exterior con tan solo el espesor de la lámina multiplicado por 2. Esta base no llevará soportes de aluminio.
4. Ambas bases estarán unidas por 5 puntos fijos en forma de cruz con un material muy resistente llamado Nylamid de  $\frac{1}{2}$  de diámetro con la finalidad de brindar más rigidez al captador.
5. Posteriormente se perforarán las láminas por los 2 costados para introducir las válvulas de entrada y salida. El sentido de los orificios se hará en forma cruzada para que pueda existir un mejor flujo del agua y en consecuencia mejor transferencia de calor.

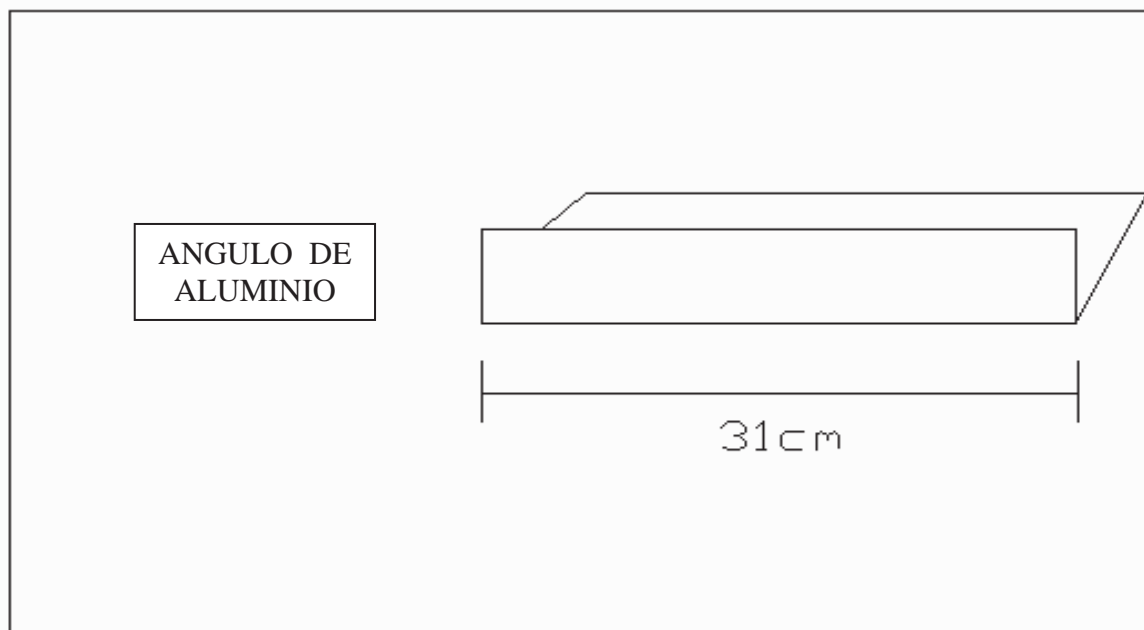
#### **CONSTRUCCIÓN DE LAS BASES:**

- a) La base mayor será el soporte del captador y tendrá que ser un poco más grande que la base menor, para cuantificar qué tan grande, es necesario verificar el espesor de la lámina multiplicado por 2 para que al juntar ambas bases, entren y embonen sin dificultad.
- b) La base mayor estará rodeada de 4 ángulos de aluminio de  $\frac{3}{4}$ " para tener buena rigidez. Cada ángulo de aluminio tendrá la medida exterior de la base mayor y será pegado con silicón, para darle firmeza y también evitar fugas.
- c) A continuación se presenta la base mayor con sus medidas y detalles; debido a que se está en función de un área de exposición de 30 X 30 cm., y el soporte de fibra de 0.5 cm. por lado.

- d) Teniendo en cuenta que el espesor de la lámina de polipropileno es de 2 mm. Se deberá añadir el doble de esta cantidad para introducir la base menor en la mayor, es decir 0.4 cm. más a la placa
- e) Se tiene que construir una base de 31 cm. + 1.5cm + 1.5 cm. + 0.4 cm. = 34.4 cm.
- f) Se cortará la lámina de 34.4 cm. para que al doblarla tenga un área de 31.0 cm. por 31.0 cm.

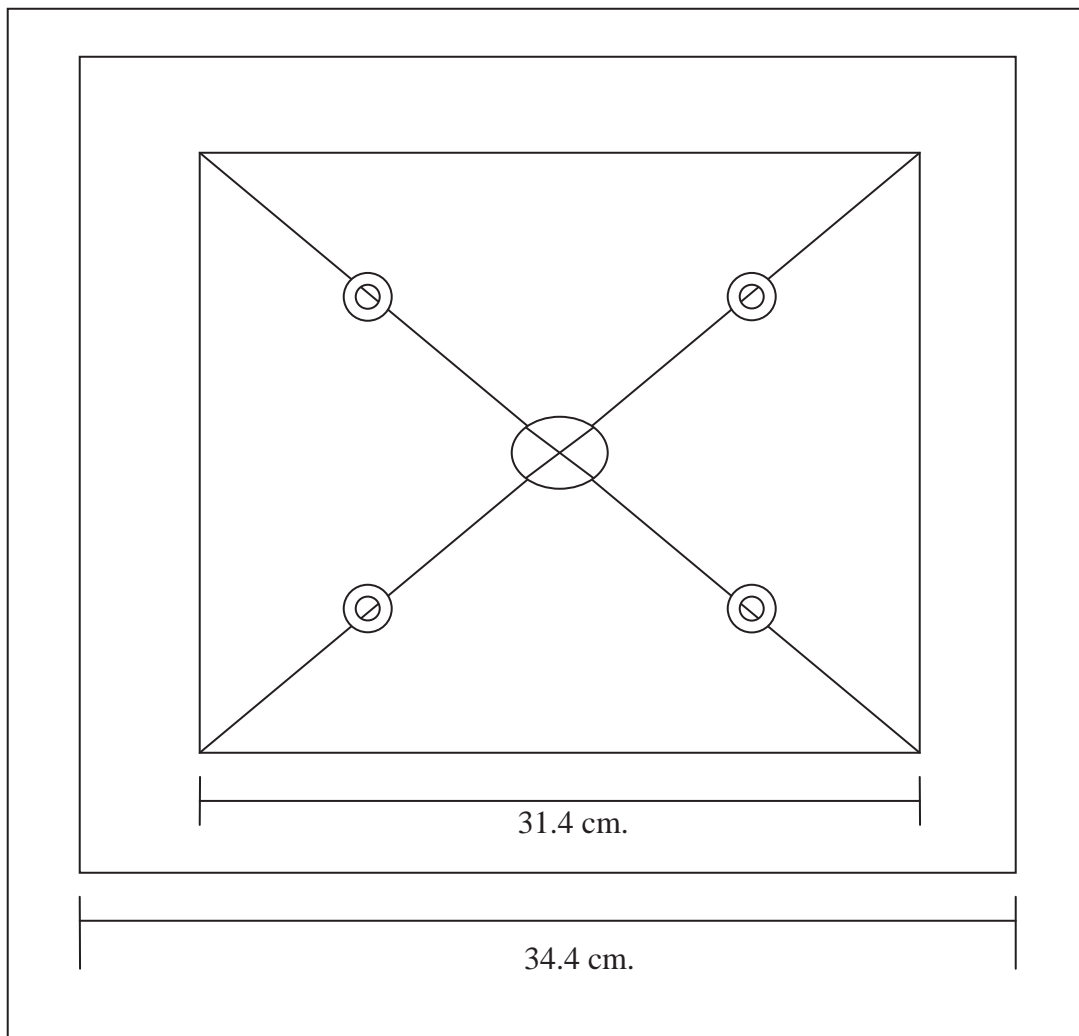


- g) A todos los ángulos de aluminio de 3/4" se les hará un corte en cada extremo de 45° para evitar que se encimen uno sobre otro. El esquema está a continuación.





- h) Para sujetar o pegar el ángulo de aluminio con la placa de polipropileno usaremos silicón transparente. Para hacer las pruebas de pegado, se seguirán las instrucciones impresas en el envase del silicón y posteriormente se procederá a intentar despegarlos para ver que tan buena adherencia se logró.
- i) La placa o base menor es similar en sus dimensiones a la base mayor, solamente sin los 4 mm. de espesor en ambos lados de la placa. Por lo tanto, ésta se cortará de 34.0 cm. para que se pueda introducir sin problemas en la base mayor.
- j) La ubicación de los soportes extras de Nylamid en el centro de las placas, estará dada por el esquema siguiente donde se aplicará el Teorema de Pitágoras.
- k) Se propone que sean 5 soportes de Nylamid de  $\frac{1}{2}$ " en el centro de las placas para lograr una mayor rigidez. Uno estará en el centro y los otros 4 en la mitad del centro a la esquina próxima.



## ARMADO Y SELLADO DEL CAPTADOR SOLAR

El captador solar está compuesto principalmente de 2 placas o láminas de polipropileno negro reciclado de 2 mm. de espesor, el cual probará su nivel de captación de energía y que posee ciertas propiedades físicas como flexibilidad y resistencia a esfuerzos, además de las propiedades químicas como: poco reactivo ante solventes, alta resistencia a los rayos UV y la degradación.

Estas láminas, serán dobladas con una resistencia de alambre “Nicromel”, aleación de Niquel y Cromo capaz de soportar altas temperaturas sin deformación, la cual será calentada para poder deformar las láminas y hacer el doblado de 90° requerido para obtener 2 placas en forma de caja y que puedan ser unidas entre sí. La forma de unir ambas placas ya “termoformadas” es sobreponer una lámina de menores dimensiones dentro de una un poco más grande con la finalidad de que pueda haber un buen sellado. La sujeción entre ellas, se hará mediante 5 puntos en forma de cruz, teniendo así un tornillo en el centro y otros 4, en la mitad del centro a cada una de las esquinas. Se pondrán tornillos de 3/16” dentro de unos soportes de Nylamid de 1/2” de diámetro. Este material se escogió porque es un material muy resistente al desgaste, es muy fácil de manejar, perforar y como no es metálico, no se oxida ni reacciona con el agua ni daña al polipropileno. Los 5 tornillos atravesarán las láminas de lado a lado, poniendo los soportes de Nylamid y asegurando con tuercas por el otro extremo. Se asegurará de poner un poco de hule de cámara en los 5 puntos con el objetivo de evitar fugas de agua por estos orificios.

Antes de sellar y cerrar las placas, se colocarán en el interior las tuercas de cobre de las válvulas de entrada y salida. Estas 2 láminas, antes de ser aisladas se pegarán con una base de ángulo de aluminio de 3/4” para brindarle mejor soporte al captador.

Para formar la base de aluminio, se cortaron 4 tramos de 32 cm. y se hizo un pequeño corte en las esquinas en forma de ángulo de 45° para que al unir las 4 bases no se encimarán entre sí.

Además del bastidor anterior, se colocaron 2 pequeños tramos de aluminio en la parte inferior para soportar mejor la base del captador.

Posteriormente se pegó con silicón transparente la base del captador con el bastidor de aluminio, teniendo en cuenta que se tenía que lijar un poco para obtener una buena adherencia entre ambos materiales.

Después de tener la base lista, se procederá a sellar todas las orillas con silicón transparente y se dejó reposar según las instrucciones del envase 24 horas, y a continuación se hizo la primera prueba de hermeticidad. Para esta prueba, se le agregó un “indicador” al interior del captador. En este caso, se escogió un anticongelante automotriz de color verde intenso con la finalidad de poder detectar las fugas más fácilmente. Luego de la primera prueba de hermeticidad, se observó que tenía muchas fugas, principalmente en las esquinas, por lo que se realizó la misma operación de sellar nuevamente con silicón transparente y se dejó secar por un periodo de 24 horas aproximadamente.

Se realizó la segunda prueba de hermeticidad y otra vez se notó que tenía pequeñas fugas por lo que se optó por escoger otro tipo de sellador. Para ello se consiguió un pegamento de contacto amarillo, y se colocó en todos los bordes del captador, se reposó alrededor de 48 horas aproximadamente. La tercera prueba de hermeticidad arrojó que ya solamente presentaba pequeñas burbujas de agua, por lo que otra vez se puso silicón blanco de secado lento. La cuarta prueba de hermeticidad ya resultó positiva, para esto se dejó reposar el silicón 48 horas de acuerdo a las instrucciones del envase.

Ya teniendo la base del captador se procedió a aislarlo en la parte inferior con cinta adhesiva tipo metálica para evitar en lo posible fugas de calor al ambiente. Enseguida se armó un bastidor de MDF (Medium Density Fiberboard) de 16 mm. para soportar el captador, se escogió MDF porque no se agrieta con el sol y es un buen aislante térmico, además de su facilidad de corte y perforación. Se cortaron 4 lados de MDF DE 32 cm. para guardar el captador, llevando en el lado superior un pequeño borde de ½ centímetro para colocar una lámina de acrílico transparente que hará la función de permitir el paso de los rayos del sol y evitando que salga el calor, formando un colchón de aire, llamado efecto invernadero, el cual mantendrá el mayor tiempo posible la temperatura en el interior del captador y teniendo unos gradientes mínimos de temperatura cuando se tenga la presencia de nubosidad o de aire muy frío que hiciera enfriar el captador más rápidamente.

Los 4 lados de MDF son de 32 cm. de largo por 10 cm. de ancho, con estos 10 cm. se asegura que se pondrá el captador que es de aprox. 3 cm. de espesor, las 2 bases de MDF que van sujetadas en la parte inferior, además de una base de Poliestireno (unicel) de 3 cm, quedando el resto, alrededor de 2 cm. de libertad entre el captador y la hoja de acrílico.

Debajo del captador, se colocarán unas bases metálicas de aluminio para que se logre levantar de un extremo. Se colocarán 2 láminas atornilladas que forman un ángulo entre la base y el suelo de 20° con la finalidad de que funcione según el principio de que los fluidos calientes suben por una densidad menor, es decir que se van desplazando hacia arriba porque son más ligeros. Además de las válvulas de entrada y salida, se le agregó al captador, un par de cables llamados termopares tipo K, que van conectados a un multímetro para hacer las mediciones de temperatura tanto en la entrada como en la salida del agua. Para hacer las conexiones, se utilizará tubería de plástico de 1/8", coples, niples y válvulas tipo aguja, también de 1/8" fabricados en cobre. Todos los puntos irán sellados donde va la rosca con cinta teflón de 1/2" para que aprieten mejor las conexiones y evitar fugas de agua. Se pintarán todas las bases de MDF con una pintura de color negro Mate en base aceite y se pulirá para una mejor presentación.

## ARMADO Y SELLADO DEL TERMOTANQUE

El Termotanque es un recipiente capaz de almacenar el agua caliente que sale del captador solar y conservarla sin una disminución tan grande en la temperatura por el mayor tiempo posible antes de ser utilizada.

El Termotanque que se armará será de construcción del tipo cilíndrica de volumen aproximado de  $1500 \text{ cm}^3$ , será con fines ilustrativos de latón, pudiendo ser éste de otro material como acero inoxidable o algún otro que no se oxide o presente daños con el agua y sus sales.

Este tanque llevará una entrada por la parte superior y una salida por el centro por la parte inferior. Para esto se perforará con una broca de 1/8" y se colocará un pedazo de hule de cámara para evitar fugas. Además de estos 2 orificios, llevará una "respiración" por la parte superior, la cual será con una tubería de cobre de 1/8".

Con la finalidad de registrar la temperatura en el interior del tanque y ver cómo varía ésta en el transcurso del tiempo, se colocará un termopar tipo k, teniendo la precaución de que la punta quede en el centro del tanque transversal y longitudinalmente para que la medición sea representativa de la temperatura medio del Termotanque.

La tapa del tanque y los orificios se sellarán posteriormente con silicón y se procede a forrarlo.

El aislante que se propuso es fibra cerámica de 1" de espesor, con dos forros, es decir 2" de fibra cerámica, porque es fácil de manejar y tiene una conductividad térmica muy baja, incluso inferior a la de la lana mineral.

Para forrarlo se toma en cuenta el diámetro del tanque y se multiplicara por  $\pi$  para obtener el perímetro.

Se cortará un tramo de fibra cerámica del tamaño resultante y se aplica pegamento de contacto a la lata, luego se sobrepone la fibra y se compacta manualmente, enseguida se coloca el otro tramo de fibra de 1" para que al final resulten 2" totales de aislante. En el caso de las tapas, también poner la misma cantidad de forros, tanto en la parte superior como en la inferior.

Después de forrar el tanque se procede a colocarle la cinta aislante adhesiva para tener menos fugas de calor al ambiente.

Se necesita también hacer una evaluación económica respecto al aislante, pues dependiendo del espesor del aislante es la pérdida de calor hacia el ambiente pero esto se ve reflejado en un incremento en el costo del equipo.

## CALCULOS DEL TERMOTANQUE

El Termotanque que se pretende realizar, va a tener la función de almacenar el agua caliente que va a ser recolectada por el captador solar.

El diseño del Termotanque va a depender de varias cosas:

- 1) Volumen de almacenamiento
- 2) Geometría del tanque
- 3) Tipo de aislante
- 4) Espesor del aislante
- 5) Gradientes de temperatura mínimos
- 6) Conservación de energía por periodos prolongados, es decir, calor liberado al ambiente mínimo.

### DISEÑO:

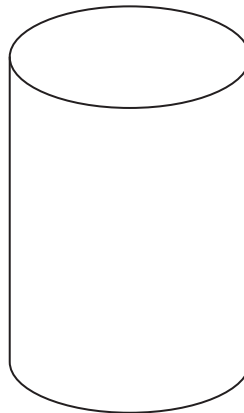
El volumen aproximado del captador solar es de:

$$V = A * h = (31\text{cm}) (31\text{cm}) (1.5\text{cm}) = 1441.5 \text{ cm}^3$$

Con el volumen del captador, podremos establecer el volumen del Termotanque.

En este caso, usaremos un volumen ligeramente mayor en el Termotanque para margen de error y servir de amortiguador con la presión de vapor de agua que va a desprender el captador.

- 1) Se propone un volumen de  $1500 \text{ cm}^3$ .
- 2) La geometría propuesta es la de un cilindro.



Diámetro = 11.5 cm.  
Altura = 14.5 cm.

Se cuenta con un bote de latón de diámetro 11.5 cm. y altura 14.5 cm.

A continuación se procederá a calcular el volumen de la lata:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

y

$$V = A * h$$

$$V = \frac{\pi}{4} (11.5cm)^2 * (14.5cm)$$

$$V = 1506.09cm^3 = 1.506L.$$

La propuesta de 1500 cm<sup>3</sup> y la obtenida de 1506.09 cm<sup>3</sup> son muy parecidas, por lo tanto se escoge la lata.

Ahora procederemos a conocer las áreas de transferencia de calor, las cuales son por los costados de la lata y por ambas tapas.

$$\text{Área del cilindro} = \pi D h = \mathbf{A_1}$$

$$\text{Área de las tapas} = 2 \left( \frac{\pi}{4} D^2 \right) = \mathbf{A_2}$$

$$\text{Área total} = \mathbf{A_1 + A_2 = A_T}$$

$$A_T = \pi * D(h + 0.5D) \quad \text{En función del diámetro}$$

$$A_T = 2\pi(rh + r^2) \quad \text{En función del radio}$$

3) Tipo de aislante: El aislante que se escoja, deberá tener una baja conductividad térmica para que logremos una conservación de energía por más tiempo.

El espesor del aislante es muy importante porque de esto depende tanto el sentido económico como el de eficiencia, pues si es muy delgado se baja el costo y por lo tanto la eficiencia, al contrario si es muy grueso, aumenta el costo pero también la eficiencia, por lo que tendremos que encontrar el óptimo con las ecuaciones de transferencia de calor y jugar con las variables de espesor de aislante y calor liberado al ambiente.

Existen muchos aislantes que se pueden utilizar y están en función del costo, disponibilidad, manejo y conductividad térmica.

A continuación se muestran varios materiales aislantes con sus respectivos valores de conductividad térmica.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TERMICA $\kappa$ (Btu/h ft <sup>2</sup> *°F/pie)
Aserrín	0.033
Cartón	0.037
Lana Animal	0.021
Lana Mineral	0.0225
Viruta de Madera	0.034
Fibra Cerámica	0.020

De acuerdo a la tabla anterior, los materiales con una baja conductividad térmica son la lana animal, lana mineral y la fibra cerámica, en este caso escogeremos la fibra cerámica por ser el que tiene una conductividad térmica menor.

Las ecuaciones de flujo de calor serán descritas a continuación:

- 1) Flujo de calor a través de una pared:

$$Q = \frac{\kappa A}{L} \Delta T$$

- 2) Flujo de calor a través de una pared compuesta, resistencia en serie:

$$Q = \frac{\Delta T}{R} = \frac{AT}{\left(\frac{La}{\kappa a A}\right) + \left(\frac{Lb}{\kappa b A}\right) + \dots}$$

Utilizando la ecuación 1) , es decir, si no se tuviera aislante y si fuera una pared simulada:

Datos:

T interna = 50°C

T externa = 18°C

$\kappa$  latón = 56 Btu/(h ft<sup>2</sup>)(°F/ft)

x= espesor=0.01 cm

Diámetro = 11.5 cm.

Altura = 14.5 cm.

$$D = \frac{11.5\text{cm}}{30.48\text{cm}} * \frac{1\text{ft}}{30.48\text{cm}} = 0.3772\text{ft}$$

$$h = \frac{14.5\text{cm}}{30.48\text{cm}} * \frac{1\text{ft}}{30.48\text{cm}} = 0.4757\text{ft}$$

$$x = \frac{0.01\text{cm}}{30.48} * \frac{1\text{ft}}{30.48} = 0.000328\text{ft}$$

$$T_{\text{int}} = 50^{\circ}\text{C} \quad ^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} * 1.8 + 32 \quad 50 * 1.8 + 32 = 122^{\circ}\text{F}$$

$$T_{\text{ext}} = 18^{\circ}\text{C} \quad 18 * 1.8 + 32 = 64.4^{\circ}\text{F}$$

$$A_r = \pi(Dh + 0.5D^2)$$

$$A_r = \pi(0.3772\text{ft} * 0.4757\text{ft} + 0.5 * 0.3772\text{ft}^2) = 0.9193\text{ft}^2$$

$$Q = \frac{56 \frac{\text{Btu}}{h * \text{ft}^2 * ^{\circ}\text{F} / \text{ft}} * 0.9193\text{ft}^2}{0.000328\text{ft}} * (122^{\circ}\text{F} - 64.4^{\circ}\text{F}) = 9038216.35 \text{Btu}/h$$

Es decir, si el bote de latón no tuviera ningún aislante y las temperaturas fueran en el interior de 50°C y 18°C en el exterior, éste, cedería al ambiente 9038216.35 Btu por hora.

Ahora, se procederá a aplicar la ecuación 2) donde se aplican la resistencia del aislante:

$$Q = \frac{\Delta T}{R} = \frac{AT}{\left(\frac{La}{\kappa a A}\right) + \left(\frac{Lb}{\kappa b A}\right) + \dots}$$

Datos:

T interna = 50°C

T externa = 18°C

La= espesor del recipiente

κa= coeficiente de conductividad del latón

Lb= espesor del aislante

κa= coeficiente de conductividad de la fibra cerámica

Si se utilizara el espesor del aislante de 1" = 0.0833 ft. = 2.54 cm. recubriendo a la lata



$$Q = \frac{\Delta T}{R} = \frac{(122^{\circ}F - 64.4^{\circ}F)}{\left( \frac{0.000328 \text{ ft}}{56 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{ft}^2 * ^{\circ}F / \text{ft}^2} * 0.9193 \text{ ft}^2} \right) + \left( \frac{0.08333 \text{ ft}}{0.020 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{ft}^2 * ^{\circ}F / \text{ft}^2} * 0.9193 \text{ ft}^2} \right)} = 12.7088 \text{ Btu/h}$$

La pérdida de calor al ambiente serían 12.7088 Btu/h

Si se utilizara el espesor del aislante de 2" = 0.1666 ft. = 5.08 cm. recubriendo a la lata

$$Q = \frac{\Delta T}{R} = \frac{(122^{\circ}F - 64.4^{\circ}F)}{\left( \frac{0.000328 \text{ ft}}{56 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{ft}^2 * ^{\circ}F / \text{ft}^2} * 0.9193 \text{ ft}^2} \right) + \left( \frac{0.166666 \text{ ft}}{0.020 \frac{\text{Btu}}{\text{h} * \text{ft}^2 * ^{\circ}F / \text{ft}^2} * 0.9193 \text{ ft}^2} \right)} = 6.3544 \text{ Btu/h}$$

La pérdida de calor al ambiente serían 6.3544 Btu/h

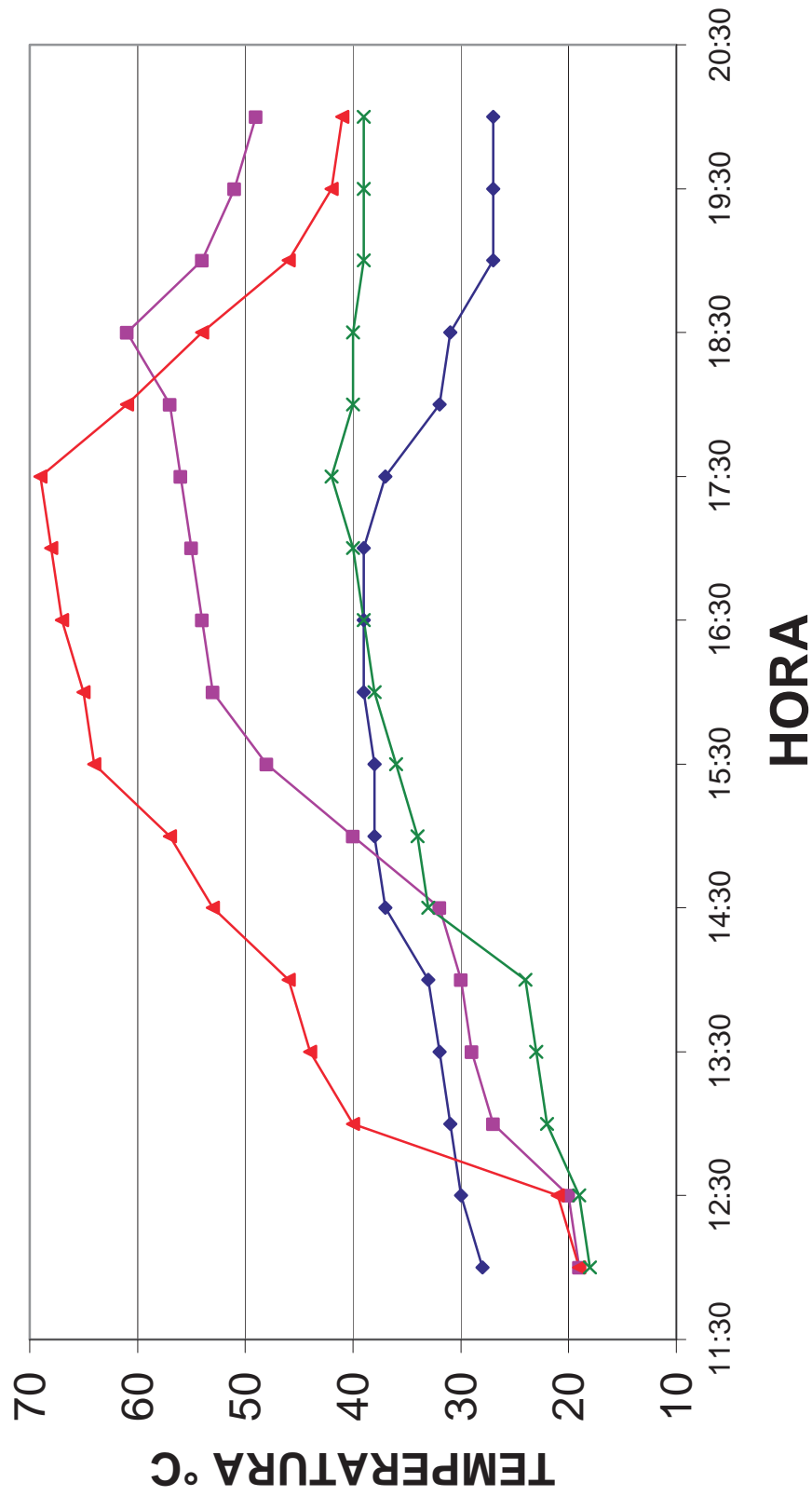
El espesor del aislante con fines de obtener un mantener por más tiempo el agua caliente se propone de 2".

## CORRIDAS EXPERIMENTALES:

HORA	PRUEBAS			T TERMOTANQUE °C	LUNES 13/06/2005
	T AMB SOL °C	T ENTRADA °C	T SALIDA °C		
12:00	28	19	19	18	SOLEADO
12:30	30	20	20	19	SOLEADO
13:00	31	27	39	22	SOLEADO
13:30	32	29	43	23	SOLEADO
14:00	33	30	45	24	SOLEADO
14:30	37	32	52	33	SOLEADO
15:00	38	40	56	34	SOLEADO
15:30	38	48	63	36	SOLEADO
16:00	39	53	64	38	SOLEADO
16:30	39	54	66	39	SOLEADO
17:00	39	55	67	40	SOLEADO
17:30	37	56	69	42	SOLEADO, POCAS NUBES
18:00	32	57	61	40	POCO VIENTO, NUBLADO
18:30	31	61	54	40	MUCHO VIENTO, NUBLADO
19:00	27	54	46	39	MUCHO VIENTO, NUBLADO
19:30	27	51	42	39	VIENTO, TOTALMENTE NUBLADO
20:00	27	49	41	39	VIENTO, LLUVIA
20:00	27			39	
08:00				27	

NOTA: La Temperatura del Termotanque al cierre del circuito a las 20:00 horas fue de 39°C y a las 8:00 horas del día siguiente fue de 27°C, por lo que disminuyó 12°C en un lapso de 12 horas. Se colocó una capa de aislante térmico más al Termotanque con la finalidad de que conserve la temperatura del agua por más tiempo y tener menos pérdidas de calor al ambiente. En esta prueba no se tenía contemplado el tanque de agua fría, sino que solamente se registraron las temperaturas con la recirculación del sistema.

# PERFIL DE TEMPERATURAS 13-06-2005

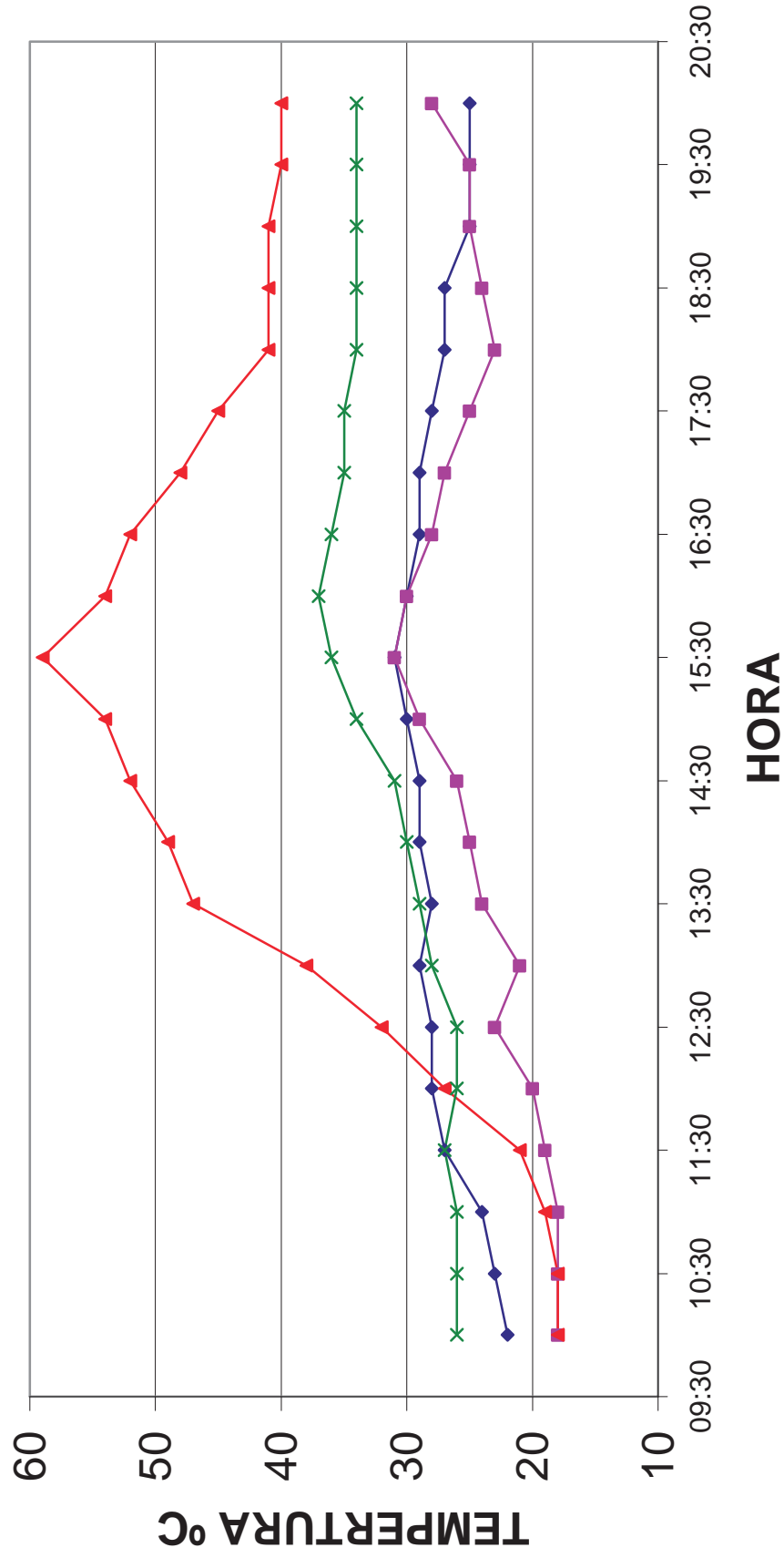


HORA	PRUEBAS			T SALIDA °C	T TERMOTANQUE °C	OBSERVACIONES
	T AMB SOL °C	T ENTRADA °C	T SALIDA °C			
10:00	22	18	18	26	SOLEADO	
10:30	23	18	18	26	SOLEADO	
11:00	24	18	19	26	SOLEADO	
11:30	27	19	21	27	SOLEADO	
12:00	28	20	27	26	SOLEADO	
12:30	28	23	32	26	SOLEADO	
13:00	29	21	38	28	SOLEADO	
13:30	28	24	47	29	SOLEADO	
14:00	29	25	49	30	SOLEADO, POCAS NUBES	
14:30	29	26	52	31	SOLEADO, POCAS NUBES	
15:00	30	29	54	34	SOLEADO, POCAS NUBES	
15:30	31	31	59	36	SOLEADO, POCAS NUBES	
16:00	30	30	54	37	NUBLADO	
16:30	29	28	52	36	MUCHO VIENTO, NUBLADO	
17:00	29	27	48	35	SOLEADO, MUCHO VIENTO	
17:30	28	25	45	35	SOLEADO, MUCHO VIENTO	
18:00	27	23	41	34	MUCHO VIENTO, NUBLADO	
18:30	27	24	41	34	MUCHO VIENTO, NUBLADO	
19:00	25	25	41	34	POCO VIENTO	
19:30	25	25	40	34	POCO VIENTO	
20:00	25	28	40	34	NUBLADO	

NOTA: Se revisaron las temperaturas al cierre del circuito a las 20:00 horas y a las 8:00 horas del día siguiente y fueron 34°C y 26°C respectivamente, por lo que disminuyó la temperatura del agua en el Termotanque 8 °C en un periodo de 12 horas.

# PERFIL DE TEMPERATURAS

## 14-06-2005

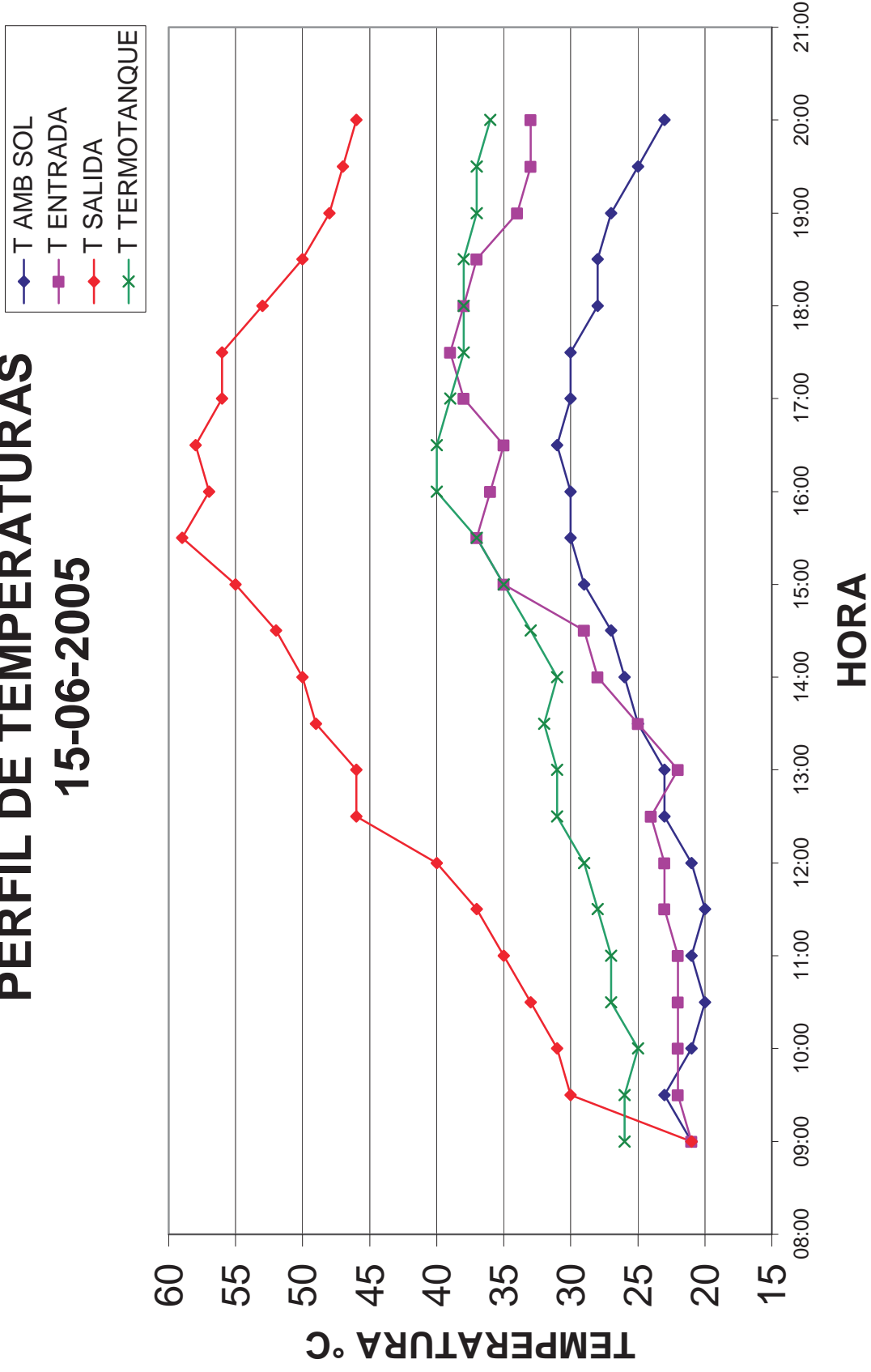


HORA	PRUEBAS		T SALIDA °C	T TERMOTANQUE °C	MERCORES 15/06/2005
	T AMB SOL °C	T ENTRADA °C			
09:00	21	21	21	26	SOLEADO, POCO VIENTO
09:30	23	22	30	26	SOLEADO, POCO VIENTO
10:00	21	22	31	25	SOLEADO, POCO VIENTO
10:30	20	22	33	27	SOLEADO
11:00	21	22	35	27	SOLEADO
11:30	20	23	37	28	SOLEADO
12:00	21	23	40	29	SOLEADO
12:30	23	24	46	31	SOLEADO, POCO VIENTO
13:00	23	22	46	31	SOLEADO
13:30	25	25	49	32	SOLEADO, POCO VIENTO
14:00	26	28	50	31	SOLEADO
14:30	27	29	52	33	SOLEADO
15:00	29	35	55	35	SOLEADO
15:30	30	37	59	37	SOLEADO, POCO VIENTO
16:00	30	36	57	40	NUBLADO
16:30	31	35	58	40	MUCHO VIENTO, NUBLADO
17:00	30	38	56	39	NUBLADO
17:30	30	39	56	38	SOLEADO
18:00	28	38	53	38	POCO VIENTO, NUBLADO
18:30	28	37	50	38	NUBLADO
19:00	27	34	48	37	NUBLADO
19:30	25	33	47	37	NUBLADO
20:00	23	33	46	36	NUBLADO

NOTA: Se cerró el sistema a las 20:00 horas y la temperatura en el Termotanque era de 36°C y al día siguiente a las 8:00 horas fue de 27°C por lo que se redujo 9°C en 12 horas

# PERFIL DE TEMPERATURAS

## 15-06-2005



HORA	PRUEBAS		T SALIDA °C	T TERMOTANQUE °C	JUEVES 16/06/2005
	T AMB SOL °C	T ENTRADA °C			
09:00	19	20	20	27	SOLEADO
09:30	21	21	25	27	SOLEADO
10:00	21	22	29	28	SOLEADO
10:30	21	23	33	28	SOLEADO
11:00	22	23	34	28	SOLEADO
11:30	22	25	36	28	SOLEADO
12:00	23	29	38	29	SOLEADO
12:30	23	30	44	32	SOLEADO
13:00	23	31	48	33	SOLEADO
13:30	26	32	51	35	SOLEADO
14:00	26	33	54	38	SOLEADO
14:30	27	34	56	42	SOLEADO, POCO VIENTO
15:00	29	35	58	43	SOLEADO, POCO VIENTO
15:30	30	36	60	45	SOLEADO, POCO VIENTO
16:00	30	36	61	46	SOLEADO
16:30	32	37	59	47	SOLEADO
17:00	30	35	55	46	POCO VIENTO, NUBLADO
17:30	30	33	55	45	POCO VIENTO, NUBLADO
18:00	28	32	53	43	POCO VIENTO, NUBLADO
18:30	27	31	50	41	POCO VIENTO, NUBLADO
19:00	27	29	46	39	NUBLADO
19:30	25	28	44	39	NUBLADO
20:00	24	28	41	39	NUBLADO

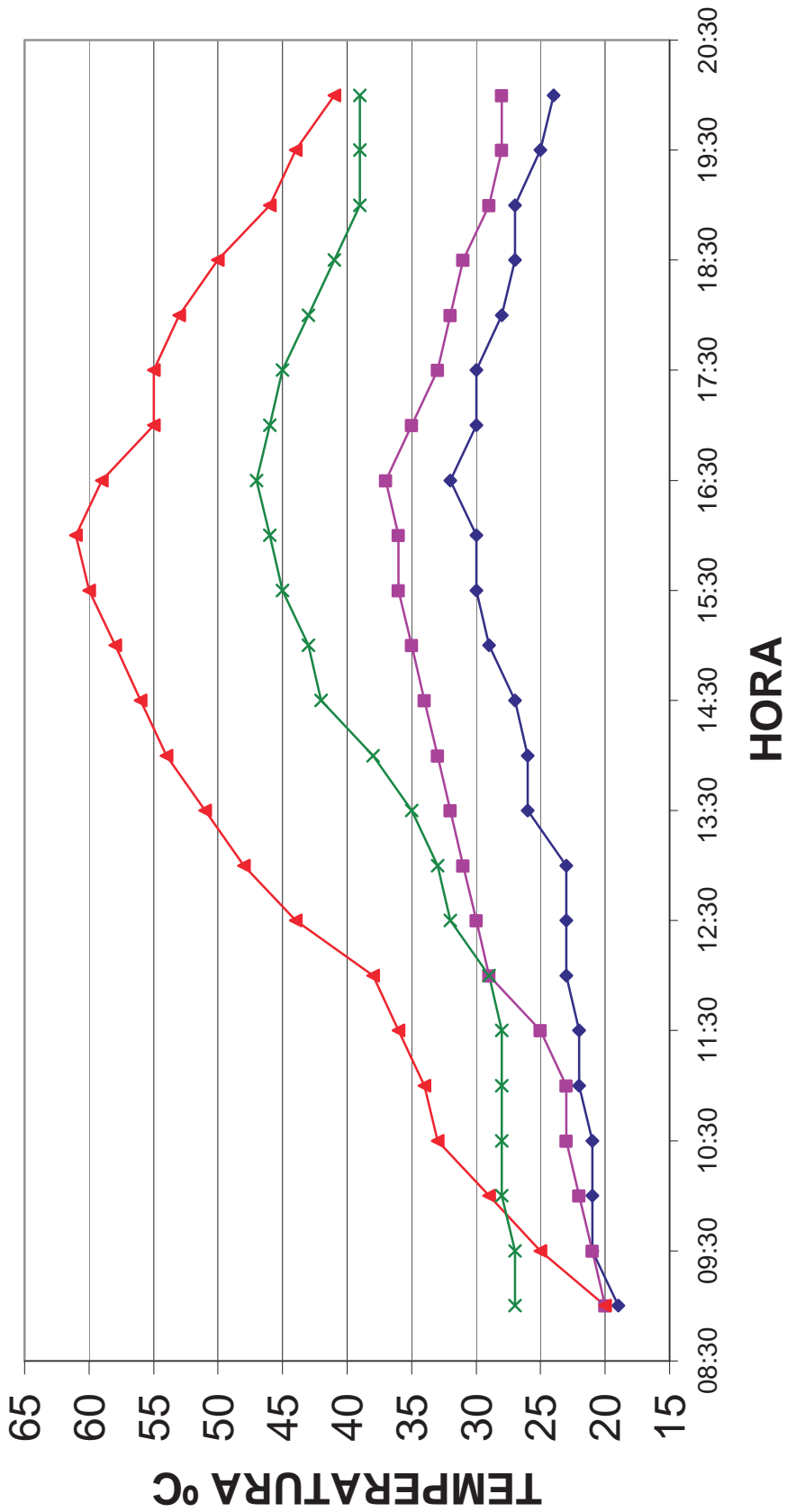
NOTA: El circuito se cerró a las 20:00 horas con una temperatura de 39°C y al día siguiente a las 8:00 horas se registró una temperatura de 30°C, por lo que disminuyó 9°C en 12 horas.



# PERFIL DE TEMPERATURAS

## 16-06-2005

- ◆ T AMB SOL
- T ENTRADA
- ▲ T SALIDA
- × T TERMOTANQUE



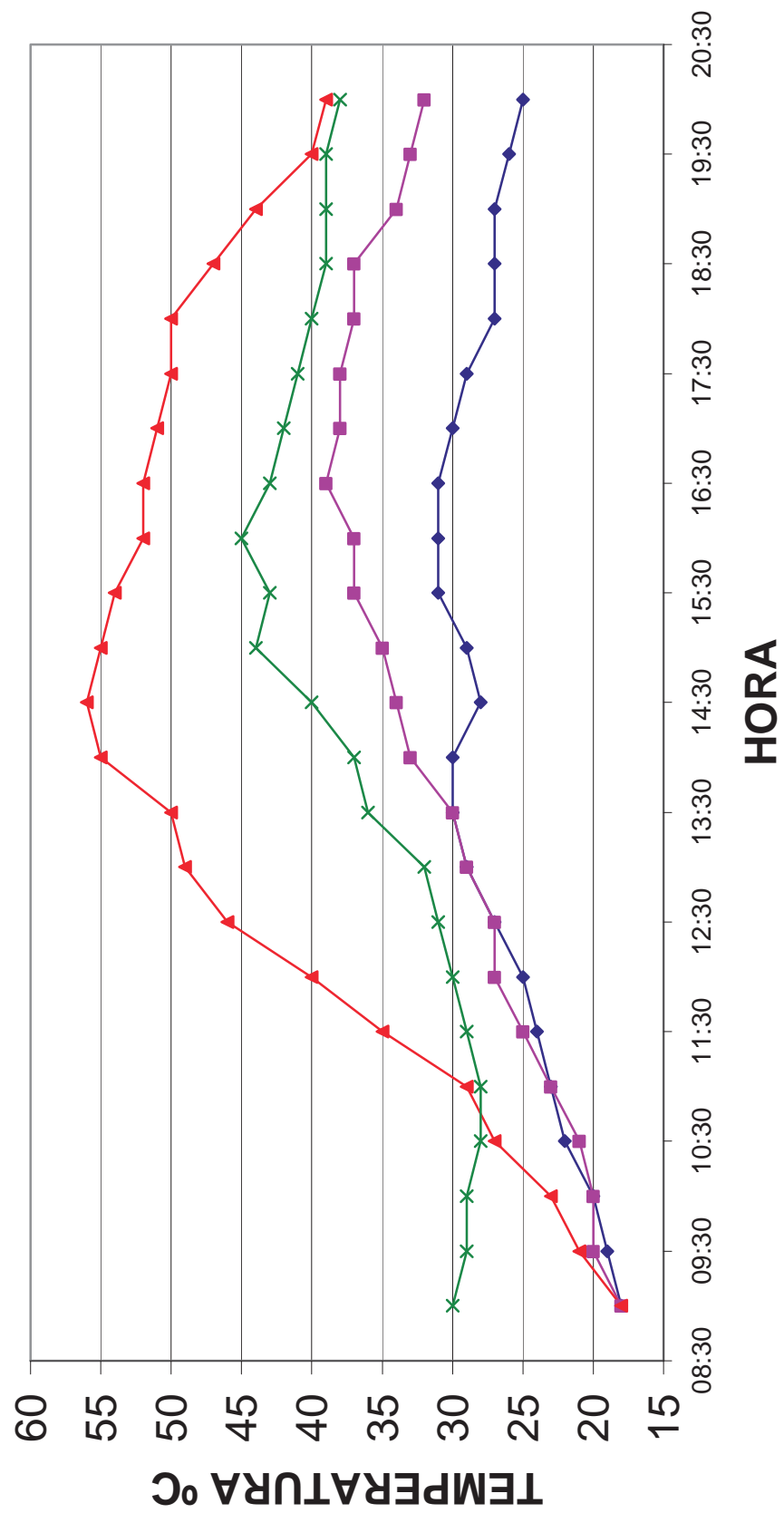
HORA	PRUEBAS		T SALIDA °C	T TERMOTANQUE °C	OBSERVACIONES
	T AMB SOL °C	T ENTRADA °C			
09:00	18	18	18	30	SOLEADO
09:30	19	20	21	29	SOLEADO
10:00	20	20	23	29	SOLEADO
10:30	22	21	27	28	SOLEADO
11:00	23	23	29	28	SOLEADO
11:30	24	25	35	29	SOLEADO
12:00	25	27	40	30	SOLEADO
12:30	27	27	46	31	SOLEADO
13:00	29	29	49	32	SOLEADO, POCAS NUBES
13:30	30	30	50	36	SOLEADO, POCAS NUBES
14:00	30	33	55	37	SOLEADO, POCAS NUBES
14:30	28	34	56	40	POCO VIENTO, NUBLADO
15:00	29	35	55	44	POCO VIENTO, NUBLADO
15:30	31	37	54	43	POCO VIENTO, NUBLADO
16:00	31	37	52	45	POCO VIENTO, NUBLADO
16:30	31	39	52	43	POCO VIENTO, NUBLADO
17:00	30	38	51	42	NUBLADO
17:30	29	38	50	41	SOLEADO, POCAS NUBES
18:00	27	37	50	40	SOLEADO, POCAS NUBES
18:30	27	37	47	39	POCO VIENTO, NUBLADO
19:00	27	34	44	39	NUBLADO
19:30	26	33	40	39	NUBLADO
20:00	25	32	39	38	NUBLADO

NOTA: Se registraron las temperaturas al cierre del sistema y fueron 38°C a las 20:00 horas y 29°C a las 8:00 horas, por lo que descendió la temperatura del agua en el Termotanque 9°C en 12 horas.  
Se cerrará el circuito y se continuarán con los experimentos el siguiente lunes.

# PERFIL DE TEMPERATURAS

## 17-06-2005

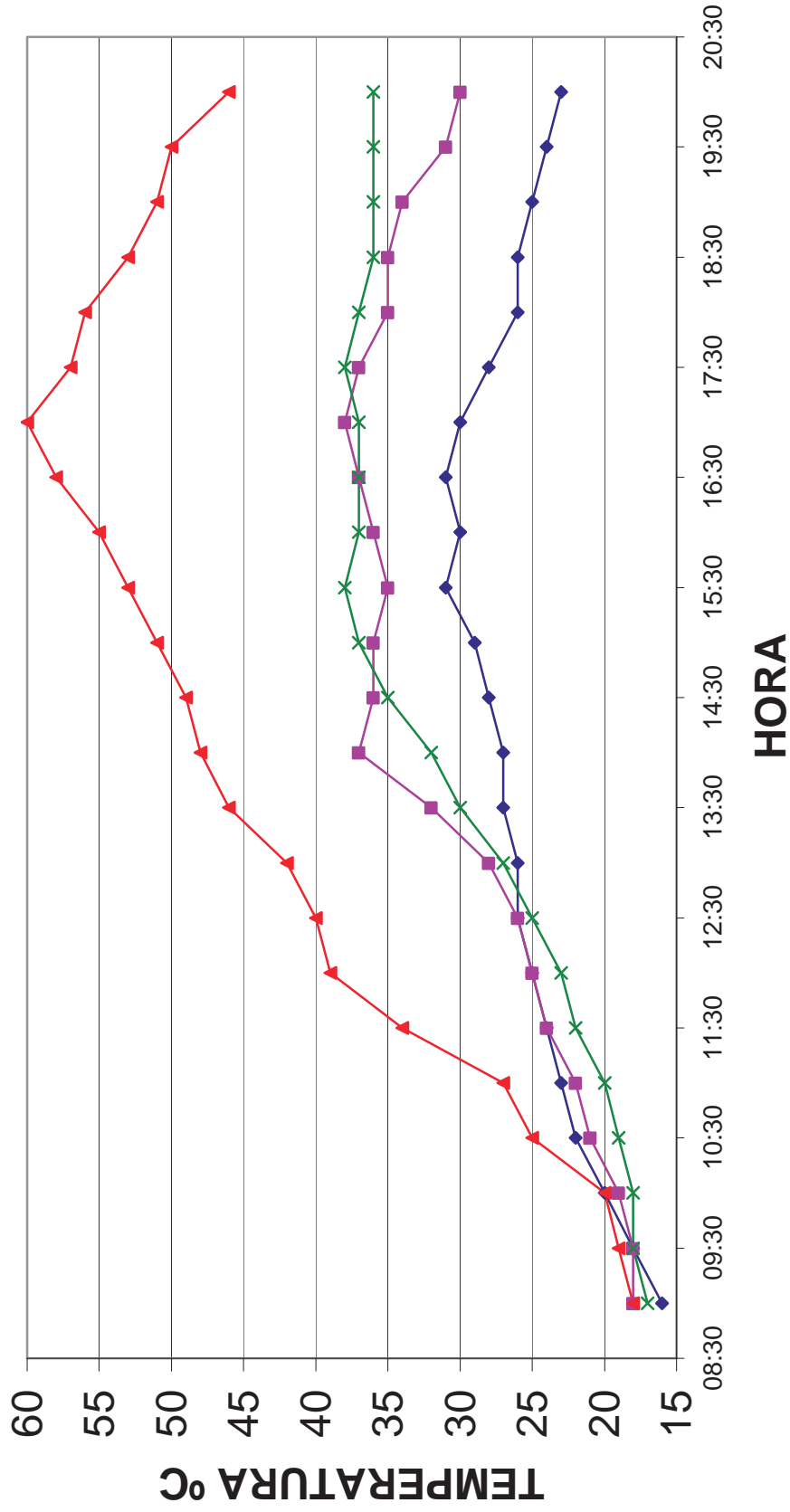
- ◆ T AMB SOL
- T ENTRADA
- ▲ T SALIDA
- ✕ T TERMOTANQUE



HORA	PRUEBAS			T TERMOTANQUE °C	LUNES 20/06/2005	
	T AMB SOL °C	T ENTRADA °C	T SALIDA °C		OBSERVACIONES	
09:00	16	18	18	17		SOLEADO
09:30	18	18	19	18		SOLEADO
10:00	20	19	20	18		SOLEADO
10:30	22	21	25	19		SOLEADO, POCAS NUBES
11:00	23	22	27	20		SOLEADO, POCAS NUBES
11:30	24	24	34	22		SOLEADO, POCAS NUBES
12:00	25	25	39	23		SOLEADO, POCAS NUBES
12:30	26	26	40	25		SOLEADO, POCAS NUBES
13:00	26	28	42	27		POCO VIENTO, NUBLADO
13:30	27	32	46	30		POCO VIENTO, NUBLADO
14:00	27	37	48	32		POCO VIENTO, NUBLADO
14:30	28	36	49	35		POCO VIENTO, NUBLADO
15:00	29	36	51	37		POCO VIENTO, NUBLADO
15:30	31	35	53	38		MUCHO VIENTO, NUBLADO
16:00	30	36	55	37		MUCHO VIENTO, NUBLADO
16:30	31	37	58	37		MUCHO VIENTO, NUBLADO
17:00	30	38	60	37		MUCHO VIENTO, NUBLADO
17:30	28	37	57	38		MUCHO VIENTO, NUBLADO
18:00	26	35	56	37		MUCHO VIENTO, NUBLADO
18:30	26	35	53	36		POCO VIENTO, NUBLADO
19:00	25	34	51	36		POCO VIENTO, NUBLADO
19:30	24	31	50	36		MUCHO VIENTO, NUBLADO
20:00	23	30	46	36		NUBLADO

NOTA: Se cerró el sistema a las 20:00 horas y se registraron 36°C a las 8:00 horas del día siguiente midió una temperatura de 28°C, por lo que la diferencia fueron 8°C en 12 horas.

# PERFIL DE TEMPERATURAS 20-06-2005



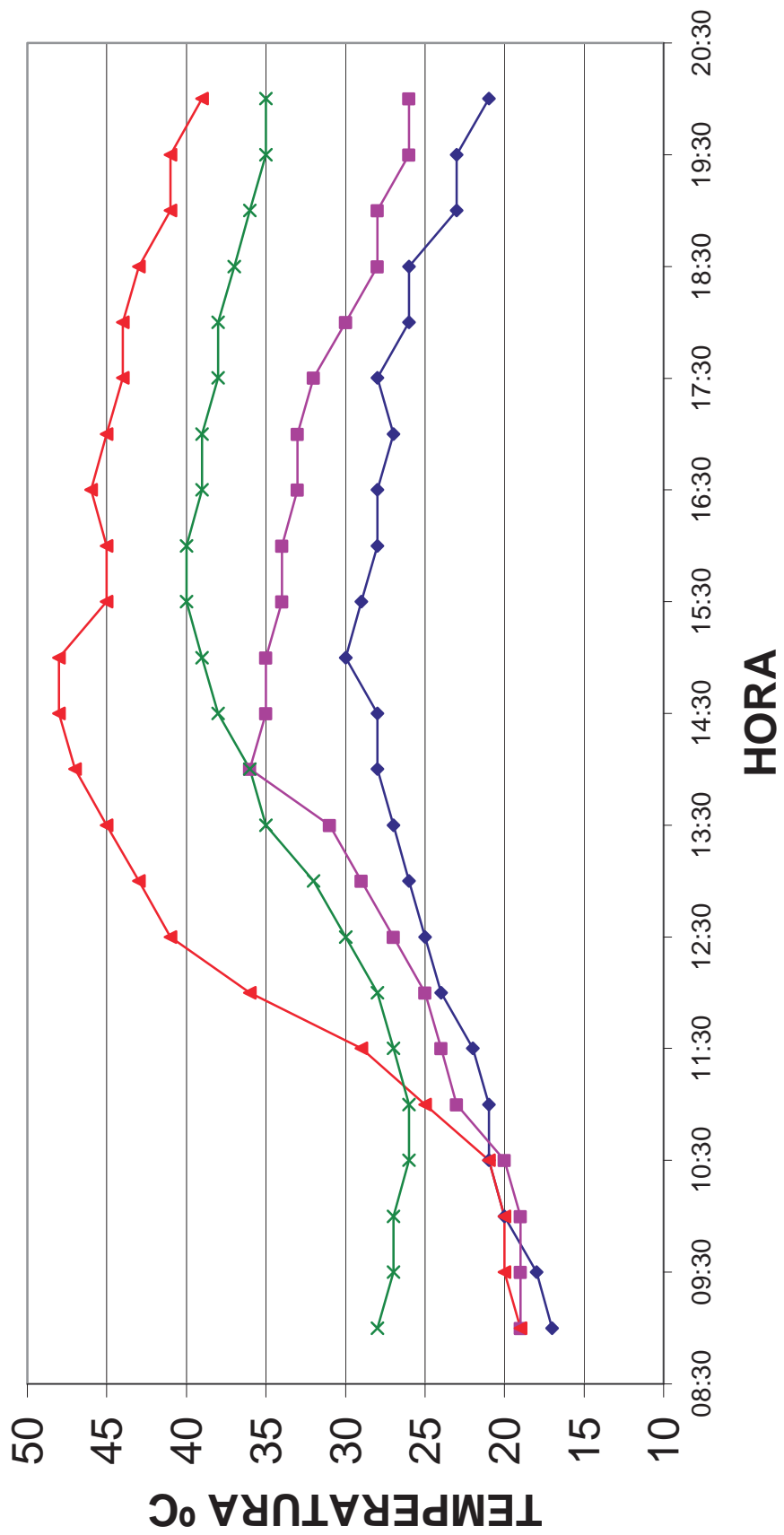
HORA	PRUEBAS		T SALIDA °C	T TERMOTANQUE °C	MARTES 21/06/2005
	T AMB SOL °C	T ENTRADA °C			
09:00	17	19	19	28	NUBLADO
09:30	18	19	20	27	POCO VIENTO, NUBLADO
10:00	20	19	20	27	POCO VIENTO, NUBLADO
10:30	21	20	21	26	SOLEADO, POCAS NUBES
11:00	21	23	25	26	SOLEADO, POCAS NUBES
11:30	22	24	29	27	SOLEADO, POCAS NUBES
12:00	24	25	36	28	POCO VIENTO, NUBLADO
12:30	25	27	41	30	MUCHO VIENTO, NUBLADO
13:00	26	29	43	32	MUCHO VIENTO, NUBLADO
13:30	27	31	45	35	POCO VIENTO, NUBLADO
14:00	28	36	47	36	POCO VIENTO, NUBLADO
14:30	28	35	48	38	MUCHO VIENTO, NUBLADO
15:00	30	35	48	39	POCO VIENTO, NUBLADO
15:30	29	34	45	40	MUCHO VIENTO, NUBLADO
16:00	28	34	45	40	MUCHO VIENTO, NUBLADO
16:30	28	33	46	39	POCO VIENTO, NUBLADO
17:00	27	33	45	39	POCO VIENTO, NUBLADO
17:30	28	32	44	38	POCO VIENTO, NUBLADO
18:00	26	30	44	38	MUCHO VIENTO, NUBLADO
18:30	26	28	43	37	POCO VIENTO, NUBLADO
19:00	23	28	41	36	POCO VIENTO, NUBLADO
19:30	23	26	41	35	POCA LLUVIA
20:00	21	26	39	35	POCA LLUVIA

NOTA: Se cerró el sistema a 35°C en el Termotanque a las 20:00 horas y se registraron 27°C a las 8:00 horas del día siguiente, disminuyó la temperatura 8°C.

# PERFIL DE TEMPERATURAS

## 21-06-2005

- ◆ T AMBI SOL
- T ENTRADA
- ▲ T SALIDA
- × T TERMOTANQUE



HORA	PRUEBAS		T SALIDA °C	T TERMOTANQUE °C	MIERCOLES 22/06/2005	
	T AMB SOL °C	T ENTRADA °C			OBSERVACIONES	
09:00	15	16	16	27		LLUVIA
09:30	17	17	17	27		POCO VIENTO, NUBLADO
10:00	20	18	20	27		POCO VIENTO, NUBLADO
10:30	21	19	21	27		NUBLADO
11:00	21	23	25	27		SOLEADO, POCAS NUBES
11:30	22	25	28	27		SOLEADO, POCAS NUBES
12:00	25	26	37	29		SOLEADO, POCAS NUBES
12:30	25	27	42	31		SOLEADO, POCAS NUBES
13:00	26	30	44	32		NUBLADO
13:30	25	31	44	33		POCO VIENTO, NUBLADO
14:00	25	32	48	33		POCO VIENTO, NUBLADO
14:30	26	32	49	35		SOLEADO, POCAS NUBES
15:00	27	33	50	36		SOLEADO, POCAS NUBES
15:30	28	34	50	37		SOLEADO, POCAS NUBES
16:00	26	34	49	38		POCO VIENTO, NUBLADO
16:30	25	33	48	38		POCO VIENTO, NUBLADO
17:00	25	32	46	38		MUCHO VIENTO, NUBLADO
17:30	23	31	40	38		POCO VIENTO, NUBLADO
18:00	23	30	40	38		MUCHO VIENTO, NUBLADO
18:30	22	28	39	38		MUCHO VIENTO, NUBLADO
19:00	21	28	38	37		MUCHO VIENTO, NUBLADO
19:30	20	26	35	37		NUBLADO
20:00	18	24	34	37		POCA LLUVIA

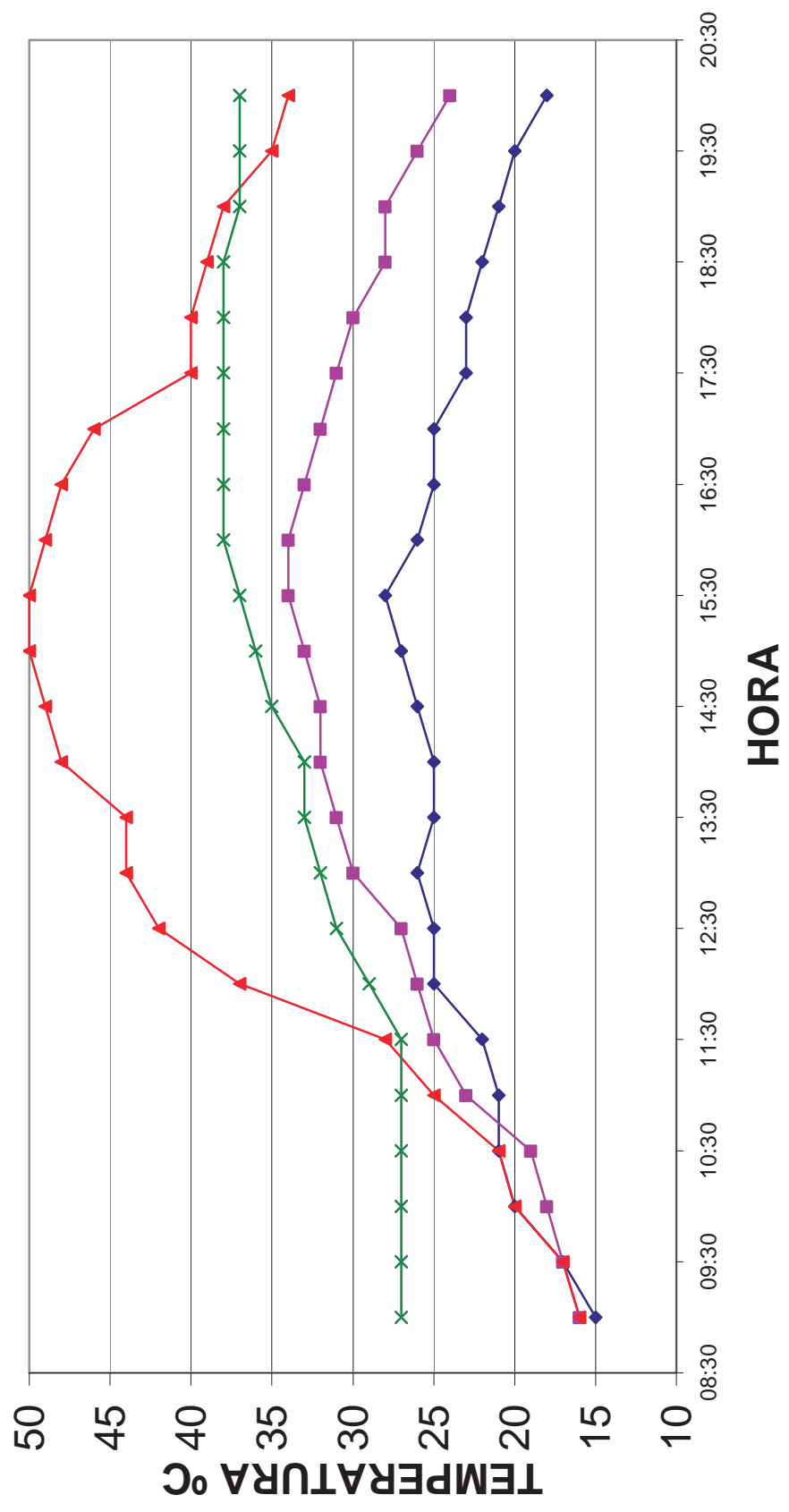
NOTA: Se cerró el circuito a las 20:00 horas con 37°C en el Termotanque teniendo la presencia de lluvia y al día siguiente se registró al inicio 28°C



# PERFIL DE TEMPERATURAS

## 22-06-2005

- ◆ T AMBI SOL
- T ENTRADA
- ▲ T SALIDA
- × T TERMOTANQUE



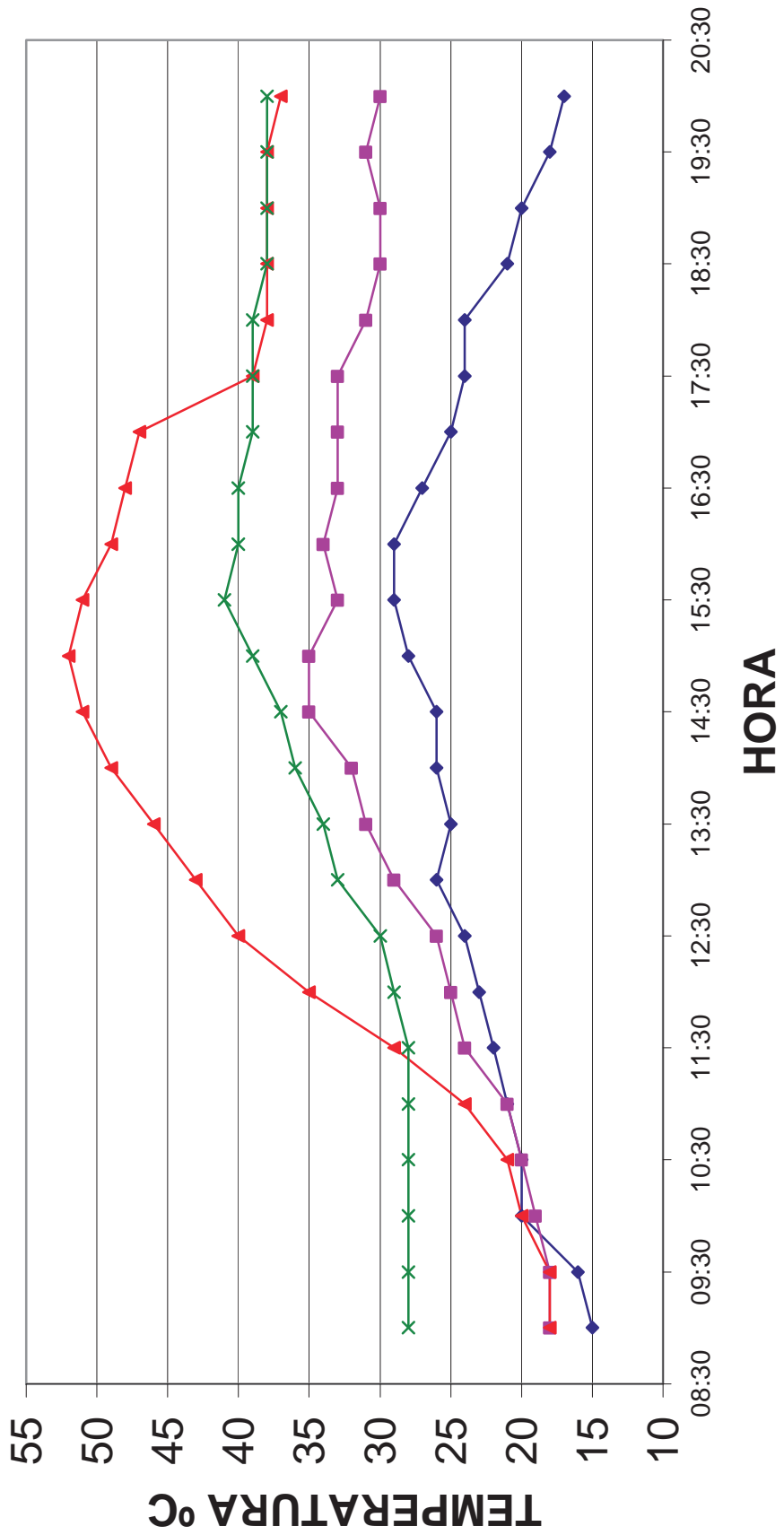
HORA	PRUEBAS		T SALIDA °C	T TERMOTANQUE °C	JUEVES 23/06/2005
	T AMB SOL °C	T ENTRADA °C			
09:00	15	18	18	28	NUBLADO
09:30	16	18	18	28	NUBLADO
10:00	20	19	20	28	POCO VIENTO, NUBLADO
10:30	20	20	21	28	NUBLADO
11:00	21	21	24	28	NUBLADO
11:30	22	24	29	28	POCO VIENTO, NUBLADO
12:00	23	25	35	29	SOLEADO, POCAS NUBES
12:30	24	26	40	30	SOLEADO, POCAS NUBES
13:00	26	29	43	33	NUBLADO
13:30	25	31	46	34	SOLEADO, POCAS NUBES
14:00	26	32	49	36	SOLEADO, POCAS NUBES
14:30	26	35	51	37	NUBLADO
15:00	28	35	52	39	POCO VIENTO, NUBLADO
15:30	29	33	51	41	SOLEADO, POCAS NUBES
16:00	29	34	49	40	POCO VIENTO, NUBLADO
16:30	27	33	48	40	POCA LLUVIA
17:00	25	33	47	39	POCA LLUVIA
17:30	24	33	39	39	POCO VIENTO, NUBLADO
18:00	24	31	38	39	MUCHO VIENTO, NUBLADO
18:30	21	30	38	38	MUCHO VIENTO, NUBLADO
19:00	20	30	38	38	NUBLADO
19:30	18	31	38	38	POCA LLUVIA
20:00	17	30	37	38	POCA LLUVIA

NOTA: La Temperatura al final del día en el Termotanque fue de 38°C con la lluvia, al día siguiente se midieron 29°C.

# PERFIL DE TEMPERATURAS

## 23-06-2005

- ◆ T AMB SOL
- T ENTRADA
- ▲ T SALIDA
- × T TERMOTANQUE

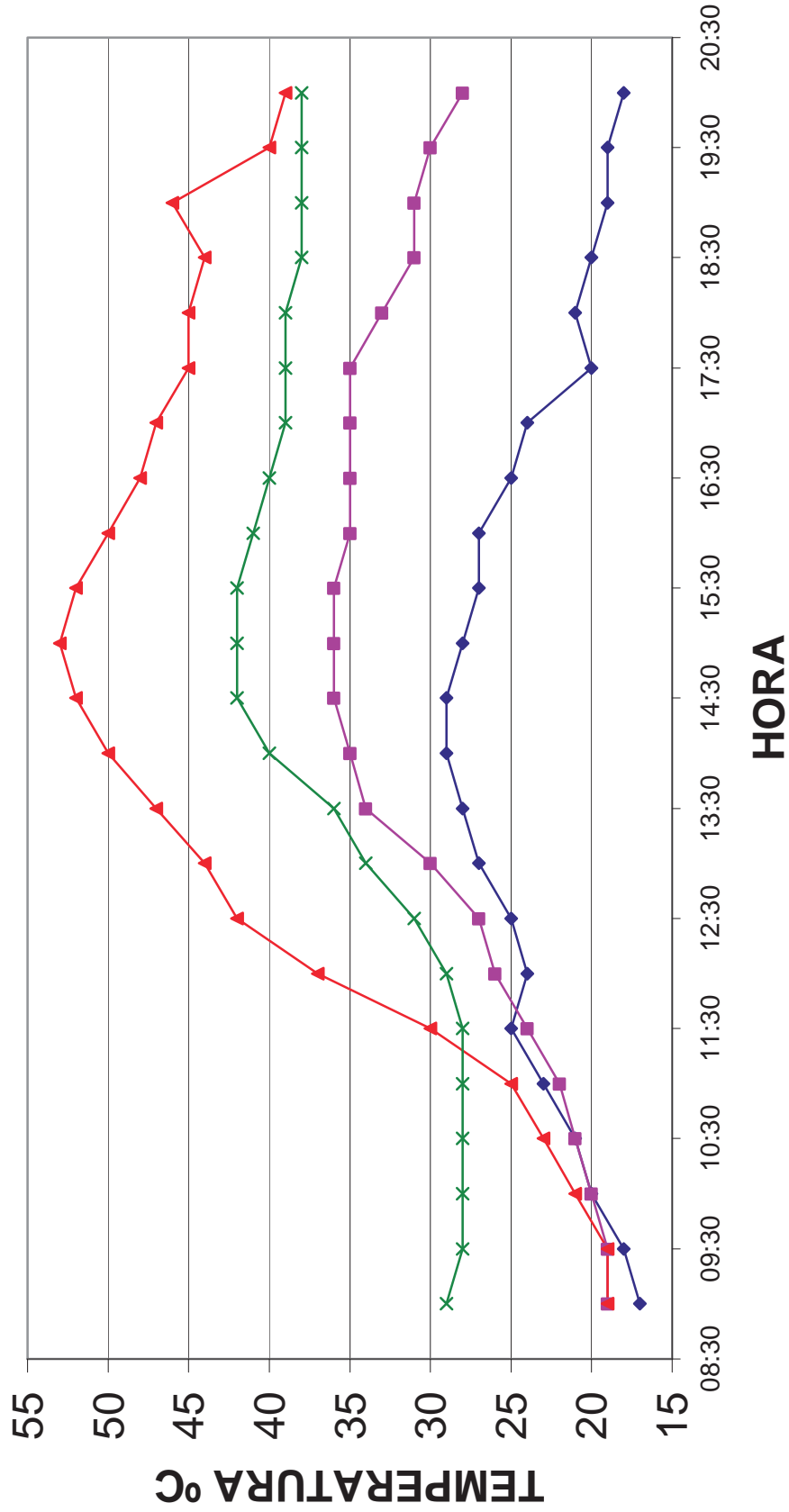


HORA	PRUEBAS		T SALIDA °C	T TERMOTANQUE °C	OBSERVACIONES
	T AMB SOL °C	T ENTRADA °C			
09:00	17	19	19	29	VIERNES 24/06/2005 NUBLADO
09:30	18	19	19	28	NUBLADO
10:00	20	20	21	28	SOLEADO, POCAS NUBES
10:30	21	21	23	28	SOLEADO, POCAS NUBES
11:00	23	22	25	28	SOLEADO, POCAS NUBES
11:30	25	24	30	28	POCO VIENTO, NUBLADO
12:00	24	26	37	29	SOLEADO, POCAS NUBES
12:30	25	27	42	31	POCO VIENTO, NUBLADO
13:00	27	30	44	34	SOLEADO, POCAS NUBES
13:30	28	34	47	36	SOLEADO, POCAS NUBES
14:00	29	35	50	40	SOLEADO, POCAS NUBES
14:30	29	36	52	42	SOLEADO, POCAS NUBES
15:00	28	36	53	42	POCO VIENTO, NUBLADO
15:30	27	36	52	42	SOLEADO, POCAS NUBES
16:00	27	35	50	41	SOLEADO, POCAS NUBES
16:30	25	35	48	40	NUBLADO
17:00	24	35	47	39	NUBLADO
17:30	20	35	45	39	POCA LLUVIA
18:00	21	33	45	39	POCA LLUVIA
18:30	20	31	44	38	MUCHO VIENTO, NUBLADO
19:00	19	31	46	38	NUBLADO
19:30	19	30	40	38	NUBLADO
20:00	18	28	39	38	NUBLADO

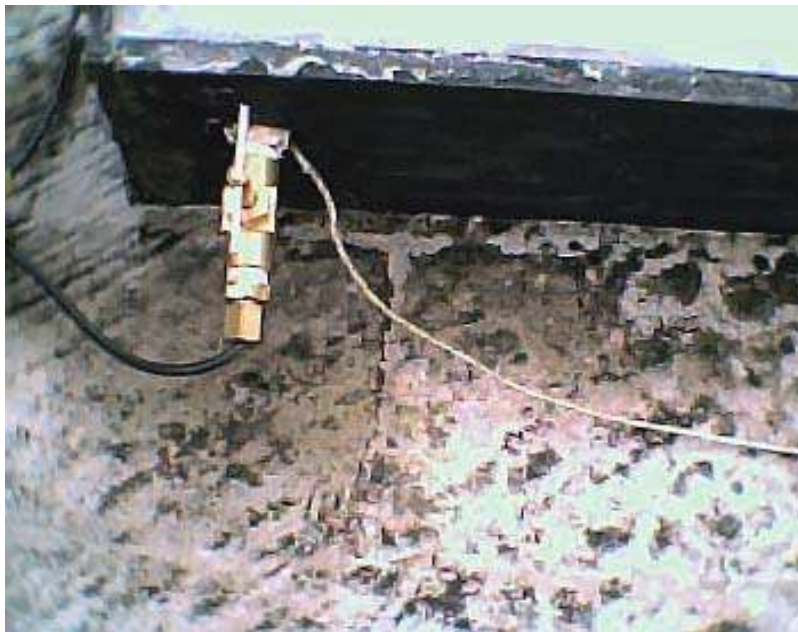
NOTA: Al finalizar el día, la temperatura en el Termotanque fue de 38°C a las 20:00 horas y al día siguiente se registraron a las 8:00 horas 30°C.

# PERFIL DE TEMPERATURAS

## 24-06-2005



## FOTOGRAFIAS DEL EQUIPO ARMADO:



























## **RESULTADOS:**

Los resultados obtenidos de todo el proyecto son:

- 1) Un captador solar de energía con placas de polipropileno negro reciclado.
- 2) Un Termotanque que almacena el agua caliente proveniente del captador
- 3) La tabulación de todos los registros de temperatura y variaciones que sufrió constantemente la temperatura del agua tanto en el interior del captador a la entrada, a la salida, y en el Termotanque, además de la temperatura del ambiente.
- 4) Las gráficas de todos los reportes diarios obtenidos de acuerdo a los datos registrados durante las horas que se operó el equipo.

NOTA: Las tablas de datos y las gráficas se encuentran en la parte de **CORRIDAS EXPERIMENTALES**

## ANALISIS DE RESULTADOS:

Para analizar los resultados obtenidos de las corridas experimentales será necesario basarse en las gráficas con la finalidad de ser más ilustrativo.

Las variables que se tabularon fueron:

- 1) Hora
- 2) Temperatura del ambiente al sol
- 3) Temperatura de entrada del agua al captador
- 4) Temperatura de salida del agua del captador
- 5) Temperatura media del agua en el Termotanque

Las mediciones de temperatura se registraron cada hora, partiendo a las 9:00 horas tomando el último registro a las 20:00 horas.

En el arranque del equipo, todas las temperaturas son muy similares, tanto en la entrada, salida y Termotanque, dependiendo solamente la temperatura del ambiente.

Al inicio las temperaturas de entrada y salida del agua son iguales debido a que debe tener un cierto tiempo de residencia para que empiece a incrementarse la temperatura.

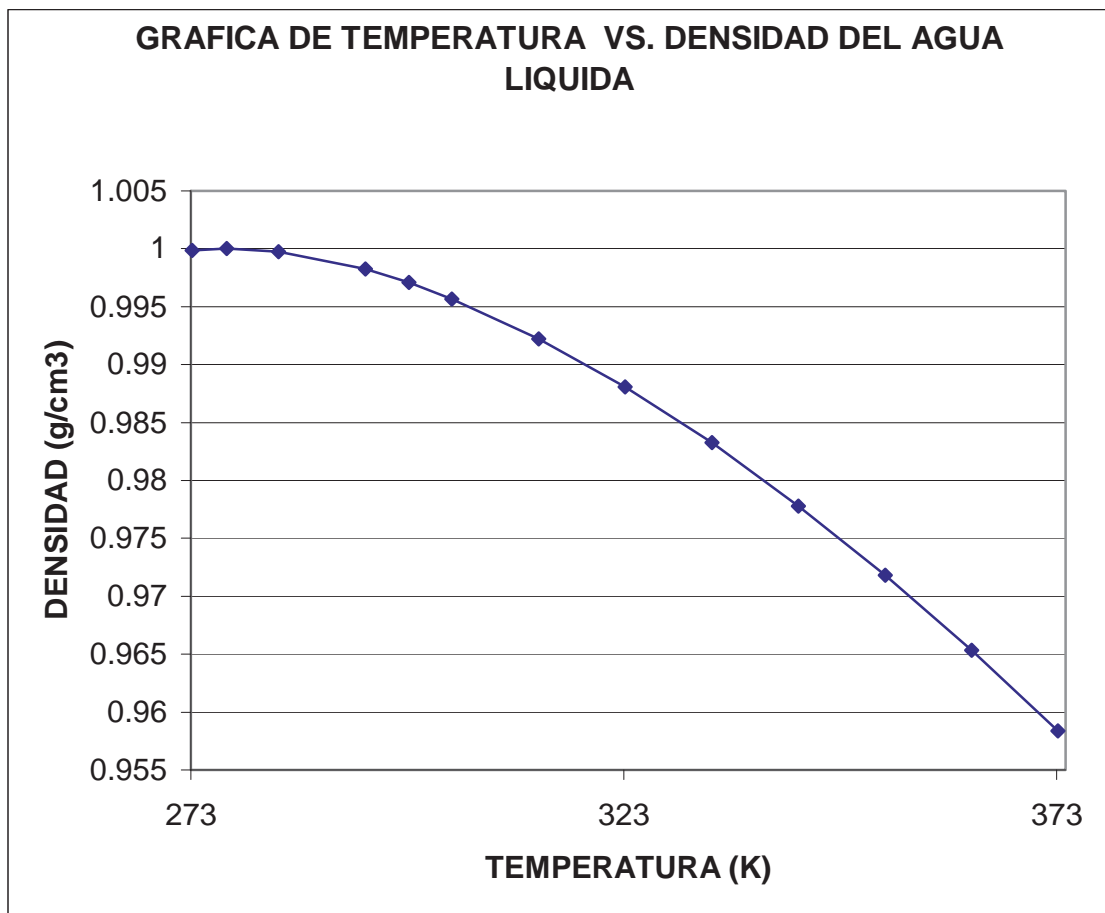
La temperatura de entrada del agua no presenta gran variación con respecto al tiempo en las primeras horas, pero la temperatura de salida del agua, solamente requiere unas horas para alcanzar su pico máximo que en algunos de los casos superó los 60°C, con lo cual se asegura que empiece a funcionar el termosifón y por lo tanto se bombee hacia el Termotanque.

La temperatura de salida del agua va decreciendo un poco después que llego a su máximo debido a la combinación con la entrada de agua con menor temperatura.

En el Termotanque se observó que al arrancar el equipo tuvo que pasar mucho tiempo para que éste lograra tener un cambio significativo, pero se notó que depende en gran medida de la temperatura de salida del captador, pues están ligados entre sí, y ya empezando a bombear agua caliente desde el captador hasta el Termotanque éste es capaz de mantener una temperatura casi constante durante todo el día, cuando se cierra el circuito en la noche, y se verifica la temperatura al día siguiente, se aprecia un descenso en la temperatura del Termotanque de aproximadamente 8°C menos.

Se puede observar también que al arrancar al día siguiente, la temperatura en el Termotanque es mucho mayor que las de entrada y salida, lo que significa que se puede tener agua caliente en la mañana, debido a que no es tan grande el descenso en la temperatura y que no es necesario esperar a que trabaje nuevamente el captador.

Dentro del análisis de resultados, debemos revisar la gráfica de densidad del agua contra temperatura, en la cual nos muestra el comportamiento descendente, pues a mayor temperatura, tenemos una menor densidad del agua, con lo cual, retomando el tema de convección natural, ésta es la variable que nos permite que exista un flujo con un termosifón.



## CONCLUSIONES:

De este trabajo se concluye que el Polipropileno negro reciclado sí es un buen material de construcción para un captador solar debido a los resultados obtenidos que se muestran en las gráficas.

Se puede notar que este material no se deformó cuando se expuso a los rayos solares ni presentó alguna variación o cuarteadora en su estructura. Por lo tanto si es capaz de soportar la temperatura que está en el rango de un captador solar para baja temperatura considerado doméstico, cuyo límite son 80°C.

Se concluye en el presente trabajo que el captador es capaz de brindar una temperatura de salida máxima alrededor de 60°C dependiendo las condiciones del clima, el tiempo de exposición y lo más importante que son las corrientes de aire.

Diariamente se llevaba un registro de las condiciones del clima observadas, y se anotaba en las observaciones cada hora.

Una variable que afectó un poco la temperatura del captador fue el aire, pues al tener una corriente de aire con una temperatura menor a la registrada en la salida, hacía que disminuyera ligeramente. Esto se ve reflejado en el descenso de temperatura en la salida del agua, mas no es tan marcada la diferencia con respecto al Termotanque debido al aislante que lo rodea.

Cabe mencionar que algunos días que se tomaron mediciones estaban muy nublados, con lo cual disminuyó un poco la captación de energía pero no fue tan significativa, pues al finalizar el día, en el Termotanque generalmente se alcanzaban temperaturas promedio de 38°C, sin importar la nubosidad registrada.

Un tema que es conveniente aclarar, es que el polipropileno que se utilizó para formar las láminas, es reciclable, con esto el costo del material reduce significativamente comparado si se hubiera utilizado solamente polímero virgen, por eso es importante resaltar que el reciclaje es una forma de reuso de los materiales considerados como desecho, se contribuye con la conservación de los recursos no renovables y se obtiene un producto más económico sin afectar su calidad.

## RECOMENDACIONES:

Para obtener un mejor desempeño en la captación de energía se recomienda tener una mayor área de exposición y un espesor en el captador menor.

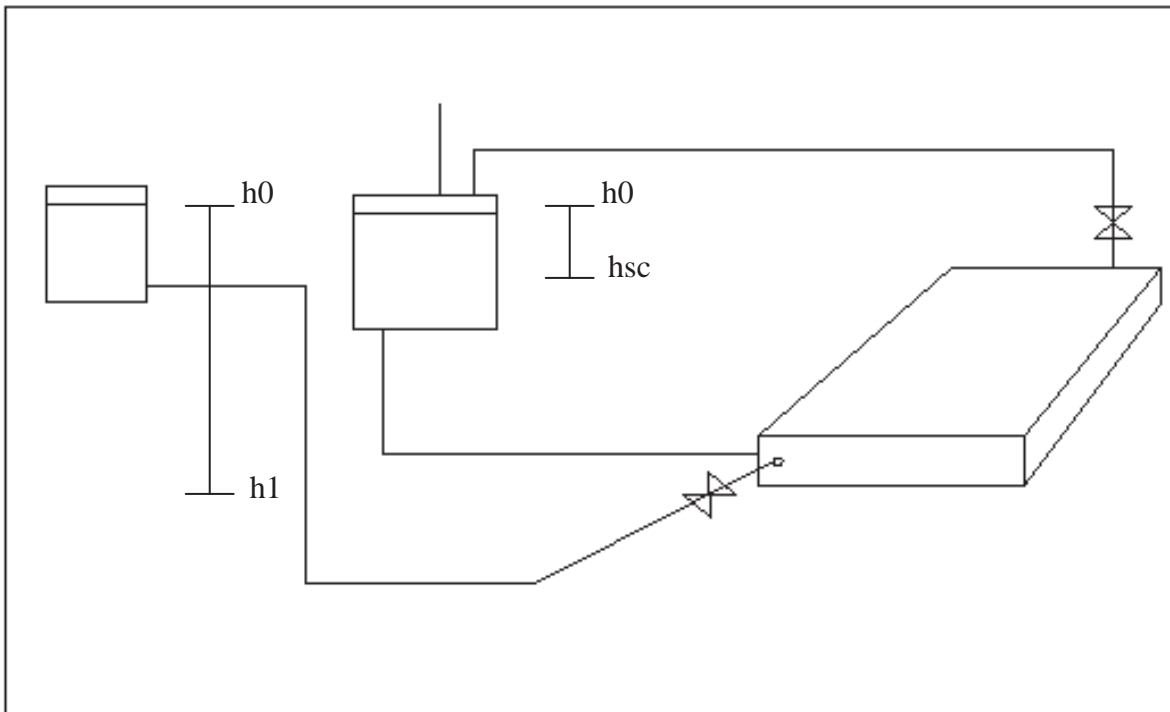
Una recomendación para el Termotanque es la de agregar más fibra aislante con la finalidad de conservar por más tiempo la energía obtenida.

Después de hacer un análisis a las gráficas obtenidas de las tabulaciones de los resultados, se puede observar que el cambio de temperatura en el Termotanque no es muy significativo luego de arrancar el equipo y exponerlo a la radiación, con esto se concluye que el termosifón es un poco lento, pues en algunos casos requiere de 2 o hasta 3 horas para que se haga notar un incremento en la temperatura, debido a esto, se proponen las siguientes recomendaciones para acelerar el termosifón natural:

1. Reducir la distancia entre las placas. Con esto se pretende que el espesor del captador que es de 1.5 cm. sea menor, pues al haber una menor masa en el interior de éste, por lo tanto la conductividad será mayor y por lo tanto el incremento de la temperatura se hará notar en un menor tiempo.
2. Disminuir el número de componentes que contribuyan a la fricción del fluido, con esto se espera que el diámetro de las tuberías sea mayor para que la fricción dentro sea menor de acuerdo a la tensión superficial del fluido, minimizar los accidentes que tengan las líneas de flujo, es decir, las válvulas y codos que obstruyan el paso del agua.
3. Incrementar las fuerzas que promueven el movimiento, estas son la densidad del agua en el interior del captador, pues al tener una menor densidad, el flujo es mayor en el sentido desde la salida hacia el Termotanque.
4. Reducir al máximo la carga hidráulica del captador, esto es, la altura desde la salida del captador hasta la entrada del Termotanque debe ser la mínima para obtener un menor gradiente y que exista un mejor flujo. Para revisar esto, se puede entender como:  $h_1 - h_{sc} \cong 0$  es decir la altura  $h_1$  representa el nivel dentro del Termotanque y la altura  $h_{sc}$  representa la altura a la salida del captador, entre ambas, la diferencia debe tender a cero para que la carga que venza el termosifón sea menor y se lleve a cabo en menor tiempo.

El diagrama de flujo se presenta a continuación:

## DIAGRAMA DE FLUJO DEL EQUIPO



**Donde:**

**$h_0$  es la altura del Termotanque**

**$h_1$  es la altura de entrada del agua al captador**

**$h_{sc}$  es la altura de salida del agua del captador**

**SE RECOMIENDA QUE:**

$$h_0 - h_{sc} \cong 0$$

## **SUGERENCIAS PARA TRABAJO FUTURO:**

El presente proyecto es un trabajo a nivel planta piloto, que fue probado y analizado, si se desea optimizarlo, se pueden revisar los siguientes aspectos:

- a) El Material de construcción del bastidor que es de MDF puede ser cambiado por otro de mayor resistencia.
- b) El Material del Termotanque deberá ser de acero inoxidable preferentemente
- c) Hacer una evaluación económica para el aislante del Termotanque.
- d) Evaluar completamente el proyecto y compararlo con los captadores solares que se encuentran actualmente en el mercado.

## BIBLIOGRAFÍA:

SPIRO, Thomas. William STIGLIANI

QUIMICA MEDIOAMBIENTAL

España.

2004.

Edit. Prentice Hall.

2a. Edición

479 pags.

HSIEH. Jui Sheng.

SOLAR ENERGY ENGINEERING

Estados Unidos.

1996

Edit. Prentice Hall.

1a. Edición.

553 pags.

GEANKOPLIS. C.j.

PROCESOS DE TRANSPORTE Y OPERACIONES UNITARIAS

México

1999

Edit. CECSA

3ª. Edición

1008 pags.

BILLMEYER, Fred.

TEXTBOOK OF POLYMER SCIENCE

Estados Unidos

1984

Edit. Wiley

1ª. Edic.

578 pags.

[www.propilco.com.mx](http://www.propilco.com.mx)

[www.indelpro.com.mx](http://www.indelpro.com.mx)

[www.captadoressolares.com.mx](http://www.captadoressolares.com.mx)

[www.ecopibes.com.ar](http://www.ecopibes.com.ar)