

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE LAS VARIABLES RELACIONADAS CON EL DISEÑO DE UN  
CALENTADOR SOLAR PARA CLIMATIZAR PISCINAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JUAN MIGUEL ECHEVERRÍA BARRIOS**

ASESORADO POR JUAN FRANCISCO GÓMEZ C.

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA AGOSTO 2004  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

## FACULTAD DE INGENIERÍA



### NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

|                   |                                      |
|-------------------|--------------------------------------|
| <b>DECANO</b>     | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| <b>VOCAL I</b>    | Ing. Murphy Olympo Paíz Recinos      |
| <b>VOCAL II</b>   | Lic. Amahán Sánchez Alvarez          |
| <b>VOCAL III</b>  | Ing. Julio David Galicia Celada      |
| <b>VOCAL IV</b>   | Bach. Kenneth Issur Estrada Ruiz     |
| <b>VOCAL V</b>    | Bach. Elisa Yazminda Vides Leiva     |
| <b>SECRETARIO</b> | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco   |

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

|                   |                                      |
|-------------------|--------------------------------------|
| <b>DECANO</b>     | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| <b>EXAMINADOR</b> | Ing. Juan Luis Obiols                |
| <b>EXAMINADOR</b> | Ing. Roberto Guzmán                  |
| <b>EXAMINADOR</b> | Ing. Carlos Figueroa                 |
| <b>SECRETARIO</b> | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco   |

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ANÁLISIS DE LAS VARIABLES RELACIONADAS CON EL DISEÑO DE UN CALENTADOR SOLAR PARA CLIMATIZAR PISCINAS.**

Tema que me fuera asignado por la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Mecánica con fecha 26 de Marzo de 2003.

Juan Miguel Echeverría Barrios

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ingeniero químico Otto Raúl De León Por compartir sus conocimientos de una manera desinteresada y por su constante búsqueda de nuevas alternativas para el uso de la energía solar.

Al ingeniero mecánico Francisco Gómez Cristiani Por la paciencia e interés mostrado para la realización de este trabajo de graduación, además de sus consejos.

# ÍNDICE GENERAL

|  |          |
|--|----------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES                                      | iii      |
| GLOSARIO   | v        |
| RESUMEN  | ix       |
| OBJETIVOS  | xi       |
| INTRODUCCIÓN   | xiii     |
| <b>1. POR QUÉ DEL USO DE LA ENERGÍA SOLAR</b>                | <b>1</b> |
| 1.1 Uso de fuentes de energía no renovables                  | 2        |
| 1.2 Uso de fuentes de energía renovables                     | 3        |
| <b>2. SISTEMAS PASIVOS PARA CALEFACCIÓN DE PISCINAS</b>      | <b>5</b> |
| 2.1 Piscina sin cubierta                                     | 7        |
| 2.2 Cubiertas solares  | 9        |
| 2.3 Cubierta y contracubierta                                | 12       |
| 2.4 Color de fondo y paredes de la piscina                   | 15       |
| 2.5 Combinación de las anteriores                            | 18       |
| 2.5.1 Cubierta solar y color de fondo                        | 18       |
| 2.5.2 Color de fondo y paredes con cubierta y contracubierta | 21       |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3. SISTEMAS ACTIVOS PARA CALEFACCIÓN DE PISCINAS</b>                            | <b>25</b> |
| 3.1 Sistemas activos para calefacción de piscinas de baja tecnología               | 27        |
| 3.1.1 Espiral colectora al desnudo   | 28        |
| 3.1.2 Espiral colectora con aislamiento y cubierta transparente                    | 30        |
| 3.1.3 Espiral colectora entre loza de concreto                                     | 34        |
| <b>4. COMBINACIÓN DE SISTEMAS ACTIVOS Y PASIVOS</b>                                | <b>39</b> |
| 4.1 Espiral colectora al desnudo con cubierta en el tanque                         | 40        |
| 4.2 Espiral colectora con aislamiento y cubierta con cubierta<br>sobre el tanque   | 41        |
| 4.3 Poliducto en loza con cubierta sobre el tanque                                 | 43        |
| 4.4 Poliducto en loza con aislamiento y cubierta con cubierta<br>sobre el tanque   | 46        |
| <b>5 COMPARACIÓN DE DATOS OBTENIDOS Y<br/>CÁLCULO DE EFICIENCIAS</b>               | <b>51</b> |
| <b>6 SISTEMA ÓPTIMO PARA CALEFACCIÓN DE PISCINAS BASADO<br/>EN DATOS RECABADOS</b> | <b>55</b> |
| <b>CONCLUSIONES</b>  | <b>59</b> |
| <b>RECOMENDACIONES</b>   | <b>61</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>  | <b>63</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>  | <b>65</b> |
| <b>ANEXOS</b>  | <b>67</b> |
| <b>APÉNDICES</b>   | <b>69</b> |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Curvas de temperatura piscina sin cubierta  | 10 |
| 2  | Curvas de temperatura cubierta solar  | 13 |
| 3  | Curvas de temperatura cubierta y contracubierta   | 16 |
| 4  | Curvas de temperatura color de paredes y fondo  | 19 |
| 5  | Curvas de temperatura cubierta solar y color de fondo   | 22 |
| 6  | Curvas de temperatura color de fondo con cubierta y contracubierta                              | 24 |
| 7  | Curvas de temperatura espiral colectora al desnudo  | 31 |
| 8  | Curvas de temperatura espiral colectora con aislamiento y cubierta                              | 33 |
| 9  | Curvas de temperatura espiral colectora en loza de concreto                                     | 37 |
| 10 | Curvas de temperatura espiral colectora al desnudo con cubierta en tanque                       | 42 |
| 11 | Curvas de temperatura espiral colectora con aislamiento y cubierta con cubierta en tanque       | 44 |
| 12 | Curvas de temperatura poliducto en loza con cubierta sobre el tanque                            | 47 |
| 13 | Curvas de temperatura poliducto en loza con aislamiento y cubierta con cubierta sobre el tanque | 49 |
| 14 | Comparación colector en loza – colector desnudo   | 57 |

### TABLAS

|   |  |    |
|---|--|----|
| I | Tabla de eficiencia de los sistemas para calefacción de piscinas | 54 |
|---|--|----|





## GLOSARIO

- Calor aceptado** Cantidad de energía que un cuerpo transforma en calor del total que recibe procedente del sol. No puede medirse directamente por lo que se emplea la fórmula termodinámica  $Q=mc_p dt$  para calcularlo.
- Calor recibido** Cantidad de energía proveniente del sol que llega a un cuerpo ubicado en la superficie terrestre. Depende de las condiciones atmosféricas. Equivale a la insolación por unidad de área.
- Capacidad calorífica específica** Es la cantidad de calor necesario para que un material eleve su temperatura en un grado centígrado, o es el calor que un material que ha sido previamente calentado, cederá al ambiente al enfriarse.
- Caudal** Cantidad de volumen de un fluido que circula en un punto en un tiempo determinado. Se le conoce también como gasto.
- Colector solar** Dispositivo que capta la energía proveniente del sol y la transforma en calor, el cual se emplea para calentar fluidos como agua o aire, para climatizar ambientes.
- Cuerpo negro** Cuerpo que tiene la característica de captar toda la energía que llega hacia él.
- Densidad** Masa que un cuerpo tiene respecto al volumen que ocupa.
- Ductos** Tuberías que se emplean para la circulación de fluidos como el agua o el aire.

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>Eficiencia</b>          | Medida del aprovechamiento de la energía que un cuerpo recibe o produce con relación a la energía que se le aplica.   |
| <b>Grado efectivo</b>      | Número adimensional que se emplea para calcular la temperatura que puede lograrse con un colector solar dependiendo de la cantidad de calor que recibe.                                 |
| <b>Insolación</b>          | Cantidad de energía proveniente del sol que se recibe en una superficie por unidad de tiempo. Depende de las condiciones ambientales y puede medirse directamente con un medidor solar. |
| <b>Latitud</b>             | Se refiere a la distancia medida en grados de un punto al ecuador de la tierra.   |
| <b>Pérdida convectiva</b>  | Pérdida de calor debido al movimiento de un fluido, generalmente aire o agua, el cual arrastra el calor en la superficie del cuerpo.  |
| <b>Pérdida evaporativa</b> | Pérdida de calor debido a la evaporación del agua, en la cual el calor necesario para dicha evaporación es obtenido del cuerpo caliente, produciendo una disminución de temperatura.    |
| <b>Polietileno</b>         | Materia plástica derivada de la polimerización del propileno, se emplea para fabricación de bolsa plástica, lámina y otros usos.  |
| <b>Poliducto</b>           | Polímero empleado para la fabricación de tubería para circulación de agua o conducción eléctrica. Posee cierta flexibilidad y dureza dependiendo del espesor que posea.                 |

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Polipropileno</b>         | Fibra sintética obtenida por la polimerización del propileno. Se emplea para fabricación de cuerdas, láminas y otros usos.   |
| <b>Recurso no renovable:</b> | Recurso natural que se encuentra en forma de yacimientos, su cantidad disponible depende del nivel de extracción y consumo, por ejemplo el petróleo y gas natural.                                 |
| <b>Recurso renovable</b>     | Recurso natural que administrado de manera racional es ilimitado, ya que la cantidad disponible no depende del nivel de extracción ni del consumo, por ejemplo la energía solar, eólica y biomasa. |
| <b>Serpentín</b>             | Espiral enrollada que se emplea como colector solar, por el que circula agua, la cual se desea calentar.   |
| <b>Sistema activo</b>        | Sistema de calefacción solar que utiliza un dispositivo mecánico o eléctrico, tal como bomba o ventilador, para poner en movimiento el fluido que se desea calentar mediante acción solar.         |
| <b>Sistema pasivo</b>        | Sistema de calefacción solar que no utiliza ningún dispositivo que no funcione con energía renovable para poner en circulación el fluido que se desea calentar mediante acción solar.              |



## RESUMEN

Para climatizar piscinas haciendo uso de la energía solar existen 2 formas, una forma pasiva, la cual es la más económica; la otra forma es la activa, la cual es la más eficaz.

Los sistemas pasivos comprenden tanque sin cubierta, cubierta solar, cubierta y contracubierta, color de paredes y fondo y la combinación de todos los anteriores. Estos sistemas tienen una transferencia de calor bastante lenta y no logran temperaturas muy altas.

Los sistemas activos de baja tecnología comprenden colector al desnudo, colector con aislamiento y cubierta y colector en loza de concreto. Éstos transfieren rápidamente el calor al agua, pero su funcionamiento requiere del consumo de energía eléctrica, siendo poco económicos.

La otra alternativa comprende la combinación de los 2 sistemas anteriores, la cual es la mejor y más eficiente alternativa.

Para analizar todos los sistemas se procedió a probar cada uno por separado en un modelo de prueba, donde se midieron las variables: insolación, temperatura ambiente, temperatura del agua en la parte superior, media e inferior del tanque. También se registraron las condiciones ambientales a cada hora.

Algunos sistemas se analizaron por varios días, para poder contar con suficiente información sobre el proceso de captación y almacenamiento de calor en el agua, observando la respuesta del sistema.



# OBJETIVOS

## General

Analizar las variables relacionadas con el diseño de un calentador solar para climatizar piscinas.

## Específicos

1. Comparar los métodos existentes para climatizar piscinas teniendo en cuenta al medio ambiente.
2. Analizar en un modelo de prueba los sistemas pasivos y activos para climatizar piscinas, probando cuál es el más adecuado.
3. Combinar ambos tipos de sistemas para climatizar piscinas para que de una manera eficiente proporcionen los mejores resultados.
4. Basar la información obtenida y calcular la eficiencia de cada sistema y recomendar el óptimo.
5. Diseñar una tabla que ayude a proyectistas de piscinas a seleccionar el mejor sistema para climatizarla; basándose en los datos que se conocen del lugar donde se ubicará.





## INTRODUCCIÓN

Debido al aumento de la temperatura ambiente el uso de piscinas en Guatemala está dejando de ser exclusivamente para sitios recreativos y turicentros, extendiéndose su uso en la mayoría de departamentos del país.

Con el diseño de nuevas piscinas se nos presenta otro problema, acondicionar el agua a una temperatura agradable, sin que implique gastos extras, tales como la compra de combustibles o de energía eléctrica para calentar el agua de la piscina.

Debido al aumento de los precios de los combustibles y de la energía eléctrica, actualmente se están retomando antiguos métodos sobre la climatización del agua de la piscina. Uno de estos métodos es el empleo de la energía solar, como recurso renovable y no contaminante.

El uso de este tipo de energía involucra el uso de dispositivos llamados colectores solares, necesarios para transformar la energía solar en energía térmica. Éstos pueden variar en precios, dependiendo de la tecnología y materiales que empleen.

En este trabajo de graduación únicamente se analizarán los colectores de baja tecnología, los cuales comienzan desde los sistemas pasivos para climatizar piscinas, hasta el uso de colectores de baja tecnología.



## 1. POR QUÉ DEL USO DE LA ENERGÍA SOLAR

El sol es una fuente de energía renovable, que emite energía en forma de ondas electromagnéticas, de entre las cuales las más importantes son la radiación ultravioleta, radiación infrarroja y el espectro visible. Esta energía proporcionada por el sol en forma de radiación, puede ser transformada en energía eléctrica, por medio del empleo de celdas fotoeléctricas, que transforman la luz solar en un potencial eléctrico, sin pasar por un efecto térmico.

La luz solar puede también transformarse en energía térmica, mediante un proceso de captación, concentración y calentamiento de algún medio, esta conversión es la más sencilla y ha sido empleada desde hace cientos de años para la calefacción de ambientes, refrigeración y secado.

La captación y conversión de luz solar en energía térmica dependerá de la cantidad de energía por unidad de área que se recibe en el lugar donde se desea la conversión, conocida como insolación.<sup>1</sup> Esta cantidad de energía solar que se recibe en la superficie terrestre (insolación), depende de la nubosidad en el cielo, de la altura sobre el nivel del mar y latitud del lugar en donde se captará la energía.

La capacidad para captar energía solar y transformarla en energía térmica dependerá de las características del material sobre el cual se absorberá la energía, como por ejemplo el grado de pulimento, espesor, etc. Las características más importantes para captar y almacenar calor son la capacidad calorífica específica o calor específico del material y la densidad.<sup>2</sup>

La primera se refiere a la cantidad de calor necesario para elevar un grado la temperatura de una unidad de masa del material. Un kilogramo de agua necesita una caloría para elevar su temperatura un grado centígrado. Es decir, se necesitan 4186 Joules de energía para elevar en 1 grado centígrado la temperatura de 1 Kg de agua. La densidad es la masa que tiene un cuerpo respecto al volumen que ocupa. Es importante para hacer cálculos en flúidos o cuerpos en los que no se conoce la masa pero sí el volumen que ocupan.

La captación de la energía solar también dependerá del área sobre la cual se recibirá dicha energía. Se sabe bien que a mayor área mayor captación. Para calefacción activa de piscinas se maneja una relación del área del colector al área de la piscina de 0.5 a 1, sin embargo, la relación que debe manejarse para poder mantener la temperatura del agua es del área del colector al volumen de la piscina,<sup>3</sup> ya que puede llegar a tenerse piscinas de una gran profundidad pero no así de una gran área, con lo que no se podrá satisfacer la necesidad de calentamiento del agua.

### **1.1 Uso de fuentes de energía no renovables**

Se dice que un recurso es no renovable cuando la cantidad existente de este recurso está limitada a su consumo y ritmo de extracción. Las fuentes de energía no renovable se encuentran generalmente en el subsuelo en forma de yacimientos, como por ejemplo el petróleo, gas y carbón mineral.

Para la climatización de piscinas el uso de fuentes de energía no renovable está muy difundido y es actualmente el más utilizado. En el mercado existe gran variedad de calentadores que utilizan gas propano como combustible para el calentamiento de agua, también se emplean pequeñas calderas para el mismo fin, empleando como combustible gasolina o diesel.

La eficiencia de éstos sistemas de calefacción es bastante elevada, pudiendo llegar al 70%, sin embargo, el incremento anual de los precios de éstos combustibles hacen esta opción de calefacción cada vez menos atractiva, además de liberar gases contaminantes al medio ambiente, como el monóxido y dióxido de carbono.

## **1.2 Uso de fuentes de energía renovables**

Se dice que un recurso es renovable, cuando administrado de forma adecuada, puede ser explotado ilimitadamente, su cantidad disponible no depende de la medida en que se aproveche o explote.<sup>4</sup> Son ejemplos de esta clase de energía la energía solar, eólica, biomasa e hidráulica.

Para la climatización de piscinas el uso de la energía solar se populariza cada vez más, dando buenos resultados con eficiencias aceptables, debido al desarrollo de nuevos materiales para cubiertas y placas de absorción en los colectores solares, las otras fuentes de energía renovable no han sido explotadas para calefacción de piscinas, además, de no ser tema de este trabajo de graduación, por lo que no se analizarán aquí.



## **2. SISTEMAS PASIVOS PARA CALEFACCIÓN DE PISCINAS**

Un sistema es pasivo cuando no emplea ningún tipo de energía externo del sistema para lograr la circulación del fluido que se desea calentar, es decir, no requiere el uso de un ventilador o bomba para mover el fluido que se desea calentar.

El tipo de almacenamiento de energía usado en estos sistemas es a través de calor sensible o cambios de temperatura de los materiales de los que se compone el recinto a calentar,<sup>5</sup> en el caso de piscinas se hace referencia al agua misma de la piscina, a las paredes y al piso, pero como siendo el agua el material que almacenará energía en mayor cantidad, debido a que su capacidad de captación térmica es mayor que la del concreto, ladrillo o piedra, del cual podrían estar construidas las paredes y piso.

Como característica general, los sistemas pasivos pueden dejarse instalados en la piscina cuando ésta no esté en uso, ya que no consumen energía de ningún tipo, sino únicamente mejoran la captación y retención del calor que es absorbido por un material, en este caso, el agua.

La captación y retención del calor, procedente del sol estará limitada a factores ambientales, como temperatura ambiente, velocidad del viento, humedad ambiental, etc. y a factores geográficos, como altura sobre el nivel del mar, latitud, etc.<sup>6</sup>

Para este trabajo de graduación se realizaron las pruebas para una piscina ubicada a una altura de 1360 metros sobre el nivel del mar y a una latitud de 14° 30' 00", el cual corresponde al municipio de San Miguel Petapa, departamento de Guatemala.

Los sistemas pasivos que se analizaron son los de uso más difundido para la climatización de piscinas, para el cálculo de las variables relacionadas con el diseño del calentador se utilizó un tanque construido de cemento, al que llamaremos piscina de prueba, de largo 1.0 m por 0.85 m de ancho por 0.51 m de profundidad, el cual tiene un área de 0.85 m<sup>2</sup> y un volumen de 0.436 metros cúbicos.

Esta piscina de prueba tiene todas las características de una piscina ordinaria y se empleó para obtener resultados de una manera más rápida. Ya que el volumen es menor que el de una piscina ordinaria, y además, para que el experimento no fuera afectado por personas que pudieran hacer uso del agua, caso que afectaría los resultados.

Para la medición de temperaturas se emplearon 2 termómetros, uno de alcohol y uno de mercurio, ambos calibrados para registrar la misma temperatura. Se utilizaron 2 bobinas de alambre enrolladas alrededor de un núcleo hueco, por el que podía circular el fluido a calentar, en este caso agua. Se utilizó el principio que “ la resistencia de un conductor varía directamente con la temperatura”. Utilizando un termómetro se tabularon datos de resistencia y temperatura para un rango de 13 a 50 grados centígrados, para luego utilizar ambas bobinas como sensores térmicos.



Cada una de estas bobinas se encontraban instaladas en el tanque, para medir la temperatura del agua a profundidades en que no podría leerse un termómetro, como en el caso del fondo y en medio del tanque. El termómetro de alcohol midió la temperatura en la superficie del tanque, y el de mercurio la temperatura ambiente.

Se midió la resistencia de las bobinas con un multímetro digital; la insolación, se midió con un medidor solar marca *Dodge Products* modelo 776, tomando las lecturas en langley/hora, donde 1 langley = 41858.52 Joule/m<sup>2</sup>.

La medición de la insolación se realizó en posición completamente horizontal. Los datos se tabularon diariamente tomándolos cada hora, principiando a la hora en que los rayos del sol llegaban a la piscina de prueba.

## **2.1 Piscina sin cubierta**

A este sistema pasivo se le conoce también con el nombre de tanque desnudo, ya que no cuenta con ningún elemento que le ayude a captar o retener el calor de algún modo. Las grandes limitantes para lograr el calentamiento del agua en un tanque sin ningún tipo de aislante, son las pérdidas de calor por radiación a los alrededores o al ambiente; por conducción de las paredes del tanque al suelo y por cambio de fase líquida a gaseosa, o evaporación de la parte superior del tanque, que es la región con temperatura mayor. Dicha evaporación aumenta con temperaturas mayores del agua y en días con velocidad de viento elevada.

Para este sistema pasivo se tomaron mediciones durante dos días consecutivos, los cuales se presentan en la figura 1, los datos tomados corresponden a los días 24 y 25 de mayo de 2003. Para observar el efecto en días fríos puede consultar el apéndice 1, donde aparecen datos tomados durante noviembre de 2002.

Para el primer día se observa que la temperatura del agua es mayor que la ambiental al inicio del día, luego sube al aumentar la insolación, lo mismo pasa con la temperatura ambiente. Llega un momento, en horas de la tarde, en que la temperatura ambiental sobrepasa la temperatura del agua, esto debido a la mala captación de calor del sistema pasivo.

Para el segundo día se observa que el agua amanece a la misma temperatura que el día anterior, esto debido a las pérdidas de calor sufridas en la piscina de prueba durante la noche, debido a que no existe una barrera que limite o impida las pérdidas de calor; de donde se concluye que para el análisis de sistemas pasivos sin aislantes o barreras para evitar las pérdidas de calor basta hacer un análisis de un día.

En el transcurso del día la temperatura del agua subirá más que el primer día, esto se debe a las condiciones ambientales diferentes de los 2 días, el primero con velocidad moderada del viento y el segundo con viento ligero.

Los mismos datos muestran que de 1 a 2 horas después de alcanzarse la máxima insolación se alcanzaba la temperatura máxima del agua, es decir, se tiene un proceso de captación y pérdida de calor casi simultáneo, además de un proceso de captación de calor bastante malo. La temperatura mayor del agua era siempre en la porción superior.

La temperatura máxima del agua respecto a la temperatura ambiente se obtenía al inicio del día. Esto debido al mismo proceso de captación y liberación de calor, pero que el calor captado por el agua no se libera completamente durante la noche, por lo que el agua permanece a una temperatura mayor que la temperatura ambiental al inicio del día.

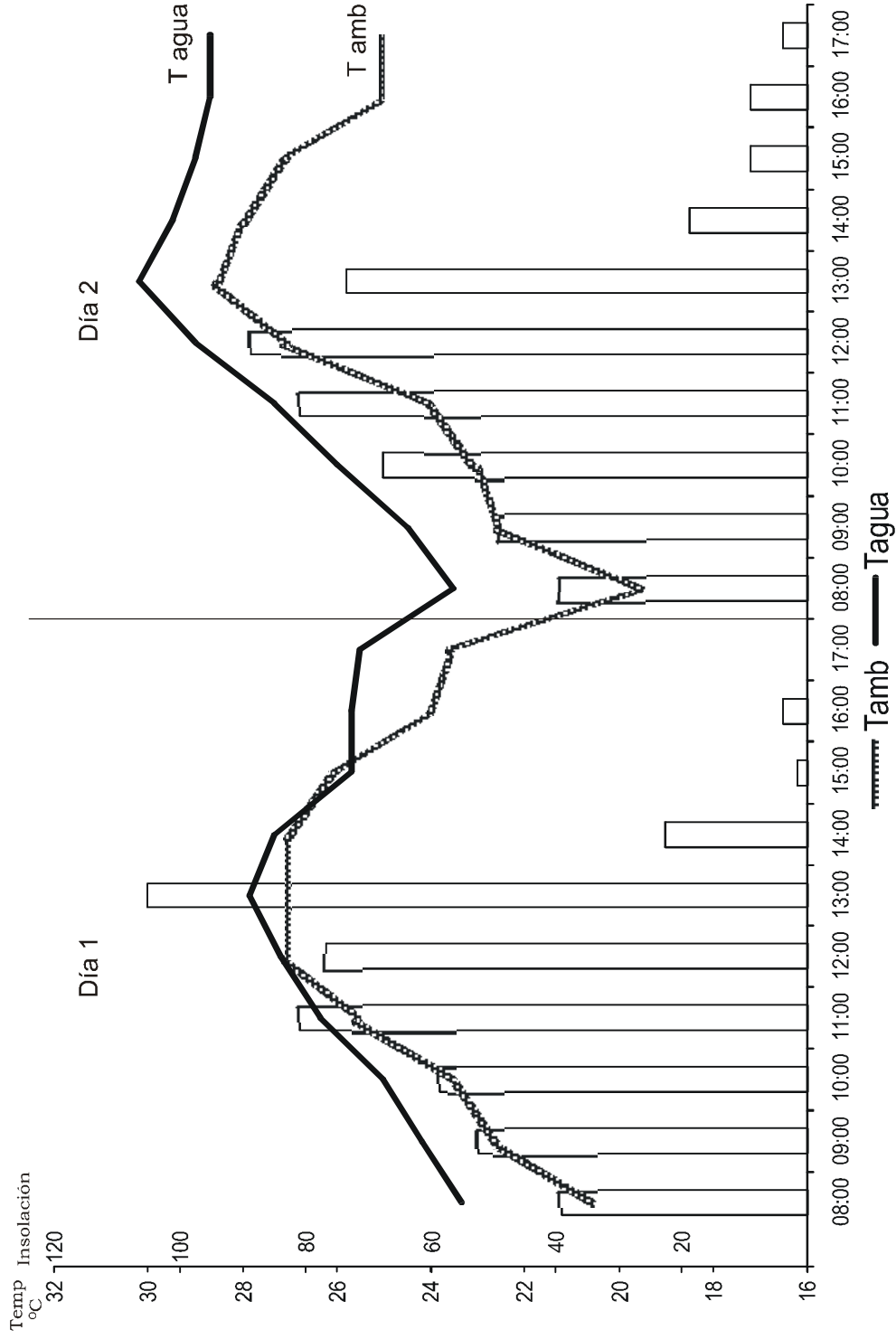
En la figura 1 la gráfica de columnas corresponde a la insolación medida en langley y las curvas son las de la temperatura ambiental y del agua. La temperatura del agua se toma en promedio de la temperatura de las porciones superior, media y de fondo, y no de agitar el agua de la piscina de prueba y luego tomar la temperatura del agua. El eje x representa la hora del día, la temperatura en grados centígrados y la insolación se presentan en el eje y.

## **2.2 Cubiertas solares**

El fin principal de las cubiertas solares es eliminar o al menos disminuir las pérdidas de calor en la piscina, principalmente las pérdidas por evaporación, que se considera son las mayores pérdidas de calor en piscinas.<sup>7</sup> Este proceso de calentamiento se limita a piscinas que reciben gran cantidad de sol, y no a las que se encuentran techadas o que reciben sombras de los alrededores.

Como características de este sistema pasivo tenemos que es de costo bajo, no necesita mantenimiento, ni requiere mano de obra especializada para instalarla, sin embargo, por acción del sol, agua y productos químicos añadidos al agua de la piscina, se deteriora y es necesario reemplazarla. No logra aumentar la temperatura del agua en más de 3 o 4 grados centígrados que el sistema anterior.

**Figura 1. Piscina sin cubierta.**



Tomada los días 24 y 25 de mayo de 2003.  
 Insolación en Langley / hr temperatura en grados centígrados.

Existen en el mercado cubiertas flotantes para piscina, pero que tienen la característica de estar construidas de 2 láminas de polipropileno, con burbujas de aire, pero la cubierta que está en contacto con el agua es opaca, y no permite el paso de la luz solar, lo que reduce aún más la captación de calor en el agua de la piscina.

Para el estudio de este tipo de calentamiento pasivo se empleó una cubierta de polietileno transparente, la cual se colocó a ras del agua, sin ningún tipo de fijamiento o anclaje, y se hizo un análisis de 4 días consecutivos, debido a que con este sistema pasivo, al reducirse la pérdida de calor, se logra un almacenamiento de calor en el agua de un día a otro, lo que produce una subida en la temperatura del agua de un día a otro.

Los datos obtenidos muestran que no pudo obtenerse la temperatura deseada de 33° C, que es la temperatura ideal para piscinas, ya que a esta temperatura el cuerpo siente comodidad.

La temperatura máxima alcanzada es en la parte superior del agua, al igual que con el sistema pasivo anterior, pero con una diferencia mucho mayor, debido a la acción del polietileno que reduce la pérdida de calor. Los datos muestran que a partir del segundo día de prueba, debido al almacenamiento de calor, la temperatura ambiente no pudo sobrepasar la temperatura del agua.

La temperatura máxima del agua se logró 3 horas después de alcanzarse la máxima insolación, lo que demuestra una mala captación y un proceso de transferencia de calor muy lento, debido a las características propias del sistema.

Al igual que con el tanque al desnudo la máxima diferencia de temperatura respecto de la temperatura ambiente se dió en las primeras horas de la mañana, debido, a que se retenía calor durante la noche, el cual se añadía al captado durante el día, por lo que se elevaba la temperatura.

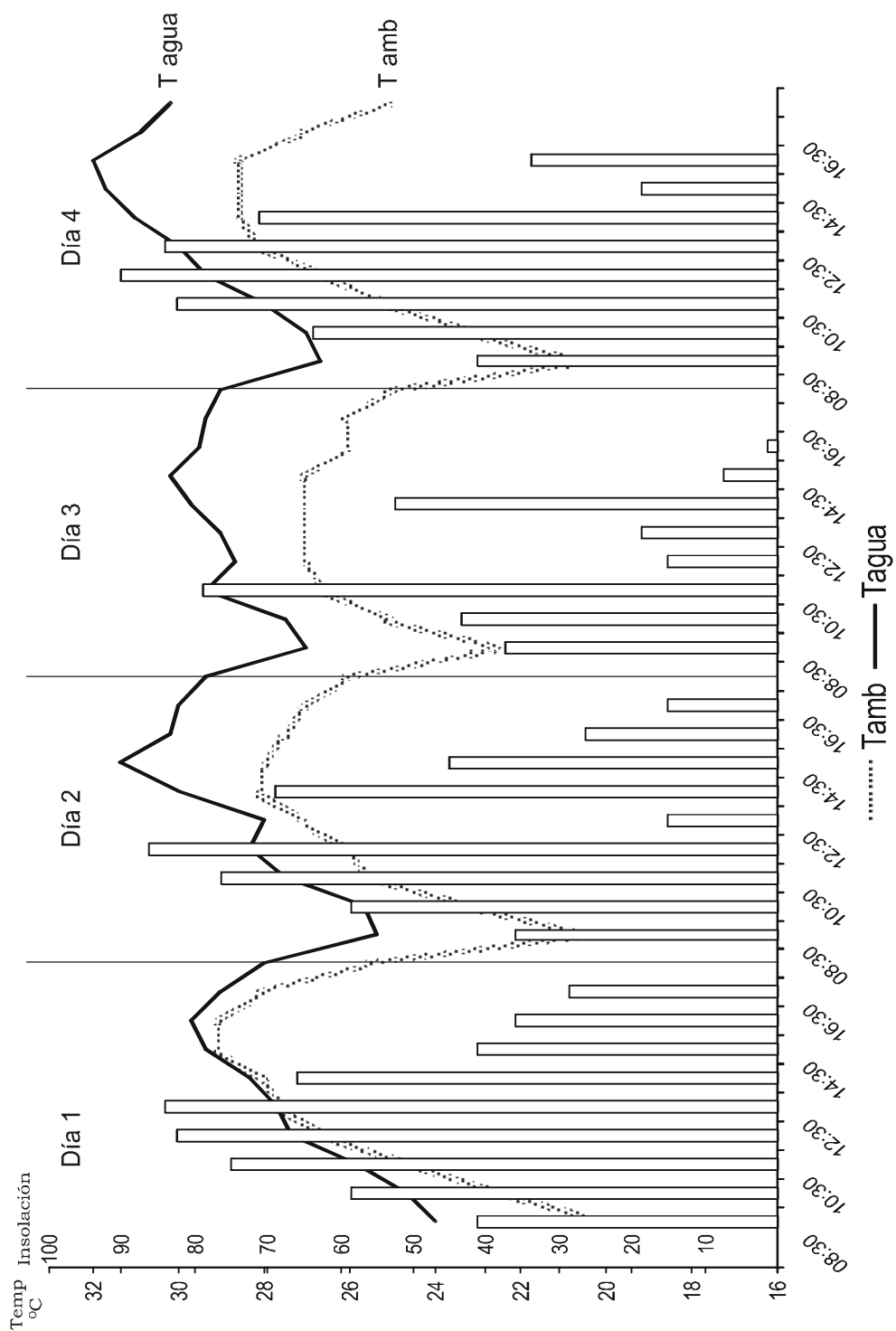
Al hacer el análisis para días consecutivos se obtiene que la curva presenta cada día una pendiente menos pronunciada, sobre todo en la porción superior del tanque, para el día 2 la temperatura del agua superó a la temperatura ambiente en todo momento y al día 3 presentaba un mejor comportamiento. En general puede decirse que este método de calefacción pasivo es mucho mejor que el anterior, pero no alcanza a satisfacer las necesidades.

En la figura 2 se observa las curvas para este tipo de calefacción solar, los datos fueron tomados del día 22 al 25 de abril de 2003. La gráfica de columnas representa la insolación en langley y las curvas son las correspondientes de la temperatura ambiental y del agua. Para días fríos puede consultar el apéndice 2, en los cuales se analizan algunos días del mes de noviembre de 2002.

### **2.3 Cubierta y contracubierta**

Este método de calentamiento pasivo consiste en añadir una cubierta extra al sistema anterior, con esto logramos un mejor almacenamiento de energía en forma de calor, ya que además de reducir las pérdidas, que todavía podrían existir con la cubierta simple, se logra una transferencia de calor por convección del aire atrapado entre ambas cubiertas, con lo que logramos mayores temperaturas del agua en la piscina de prueba.

**Figura 2. Cubierta solar**



Tomada los días 22, 23, 24 y 25 de abril de 2003.  
 Insolación en Langley / hr temperatura en grados centígrados.

El proceso de instalación es difícil, debido a que la cubierta superior debe fijarse para que no caiga sobre la primera, ya que para tramos largos y sobre todo cuando la cubierta superior se calienta tiende a caer sobre la primera, reduciendo la distancia entre ambas, y por lo tanto se reduce la cantidad de aire que puede quedar atrapado entre ellas y así disminuye la transferencia de calor por convección.

En el mercado existen cubiertas para piscinas, construidas con lámina de polipropileno, con burbujas de aire, que podría tomarse para su análisis como un método de calefacción pasiva de cubierta y contracubierta, sin embargo, el problema con estas cubiertas es que generalmente se construyen en colores opacos que no permiten el paso de la luz solar a través de ellas, lo que reduce la capacidad del agua de la piscina de captar el calor proveniente del sol.

Otra desventaja de este tipo de calefacción solar pasiva es que se hace necesario un mantenimiento diario, sobre todo en la primera cubierta, ya que se pudo observar en nuestra piscina de prueba que cada mañana esta cubierta se llenaba de pequeñas gotas de rocío, el cual se hacía necesario limpiar para así evitar que los rayos del sol se reflejaran y así se redujera la cantidad de energía solar que llega al agua.

Para el análisis de este tipo de calefacción solar se tomaron datos para 4 días consecutivos. Se encontró que este método pasivo es superior en captación y almacenamiento de calor que el método de una sola cubierta, manteniendo la temperatura en la parte superior del agua mucho mayor que la lograda con el método anterior y además de mantener la temperatura promedio del agua de un modo uniforme, presentando la curva de temperaturas una pendiente más suave para cada día, esto debido al mejor almacenamiento y retención del calor.



La temperatura máxima se dió con una diferencia de 1 hora después de alcanzarse la máxima insolación, lo que indica una mejor transferencia de calor que con los sistemas de calefacción pasiva anteriores, ya que se obtiene una velocidad de respuesta mayor. La máxima diferencia de temperaturas entre la temperatura ambiental y la temperatura del agua se logró 2 horas antes de obtener la máxima insolación, y no a primera hora del día, como era el caso de los sistemas pasivos anteriores, lo que indica una mejor captación del calor.

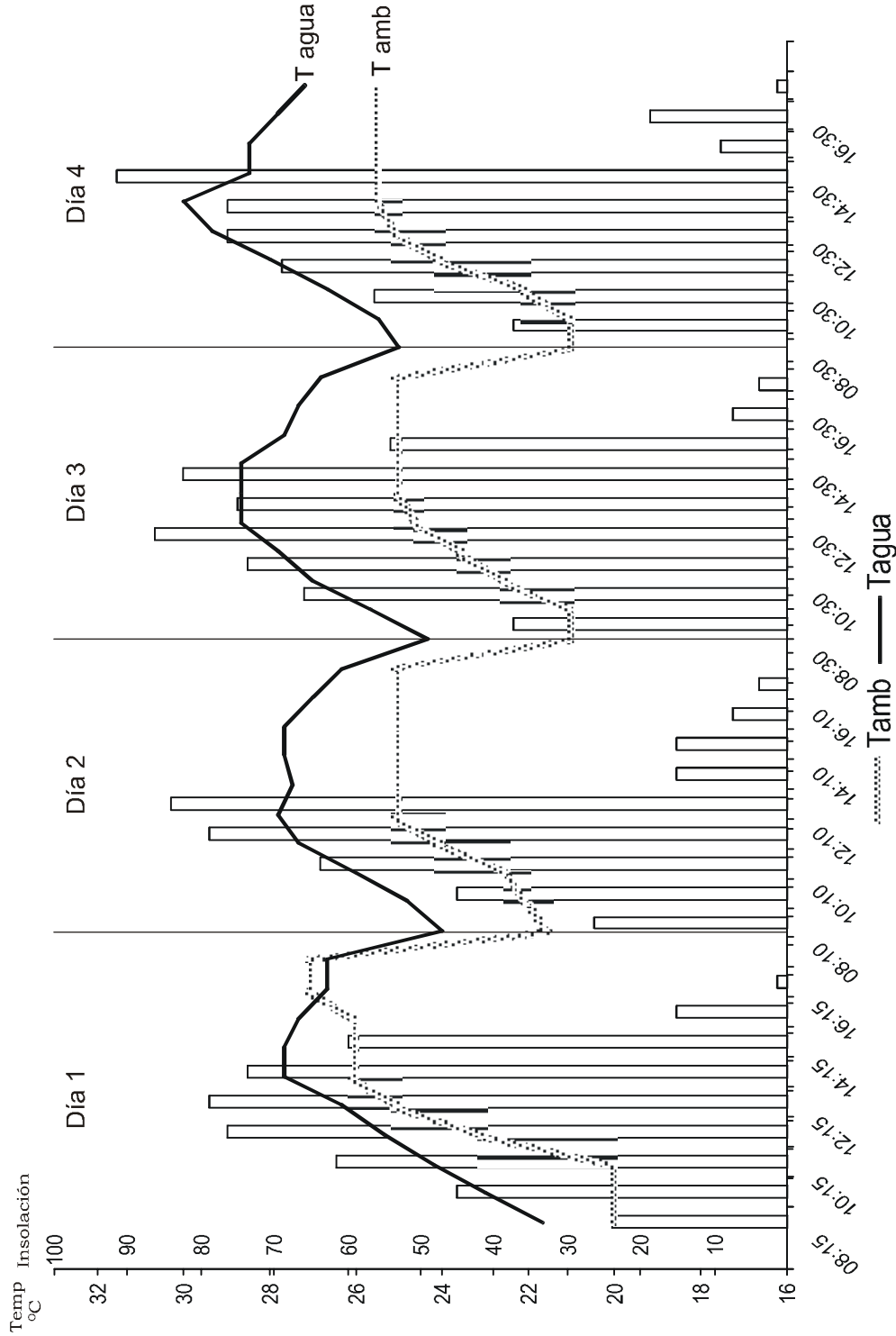
Al final del día 2 la temperatura promedio del tanque logró igualar la temperatura ambiente y al día 3 y 4 la sobrepasó en todo momento, en general puede decirse que la temperatura del agua tiene menor variación que la presentada con los métodos pasivos anteriores. No se pudo alcanzar los 33 grados centígrados fijados como temperatura agradable.

En la figura 3 aparece la curva característica de este tipo de calefacción, al igual que con las 2 gráficas anteriores se presenta la insolación con una gráfica del tipo columna, y las curvas representan la temperatura en grados centígrados de la temperatura ambiente y la temperatura del agua. Dicha gráfica fue tomada del día 5 al 8 de diciembre de 2002. Consulte el apéndice 3 para observar la temperatura superior, de en medio e inferior del agua.

#### **2.4 Color de fondo y paredes de la piscina**

Un cuerpo negro es un cuerpo que recibe toda la energía solar que llega a él y la convierte en calor, pero no se puede llegar a tener un cuerpo negro que capte toda la energía solar, ya que una parte de la radiación será reflejada. Esto nos da la idea que los colores oscuros son los que mejor captan la radiación solar, ya que absorben la mayor cantidad de la radiación solar.

**Figura 3. Cubierta y contracubierta**



Tomada los días 5, 6, 7 y 8 de diciembre de 2003.  
 Insolación en Langley / hr temperatura en grados centígrados

En el caso de piscinas el color negro en fondo y paredes resultaría desagradable, sin embargo resulta interesante hacer el análisis de lo que pasa al utilizar este color para transformar la energía solar en energía térmica, usando como fluido de transferencia el agua.

Para la toma de datos se colocó una lámina de polietileno de color negro en el fondo del tanque, la cual se fijó para evitar que flote. El tanque no tenía cubierta, por lo que se hizo el análisis para varios días, no consecutivos, ya que por no tener el tanque un aislamiento que evitara las pérdidas de calor en el agua, se perdería una gran cantidad de calor, sobre todo en la noche. Para observar lo que sucede en días distintos puede consultar el apéndice 4.

Los datos obtenidos muestran que a diferencia de los métodos pasivos anteriores, la temperatura máxima se alcanzaba en la porción inferior de la piscina de prueba, donde la luz solar era captada por la lámina de polietileno negra, que transformaba la radiación solar que llegaba hasta el fondo del agua en calor, el cual ascendía por un método natural de cambio de densidad, donde la porción más caliente del agua, por ser menos densa que la porción fría, se sitúa en la parte superior.

Los datos muestran un comportamiento muy similar al sistema de tanque desnudo, aunque se logran temperaturas mayores del agua. No se logró alcanzar los 33° centígrados que se fijó como temperatura agradable del agua. La máxima diferencia de temperaturas respecto a la temperatura ambiente se dió a las primeras horas del día, lo que indica una mala captación y retención del calor.

En la figura 4 puede observarse que la temperatura del agua fue mayor en casi todo el día, pero en horas de la tarde decayó rápidamente y entonces la temperatura ambiente sobrepasó a la del agua, debido a la mala retención del calor y a las pérdidas de calor del agua al ambiente mediante evaporación y convección, debido a que no se contaba con una cubierta que impidiera estas pérdidas de calor. La temperatura máxima del agua se logró con una diferencia de 2 a 3 horas después de la insolación máxima, lo que implica una transferencia de calor más lenta que los métodos anteriores.

En la figura 4 se presenta la curva para este proceso de calefacción pasiva. Los datos fueron tomados el 13 de noviembre de 2002. Al igual que con las gráficas anteriores, la gráfica de tipo columna representa la insolación a la hora indicada; en langley. La gráfica de curvas representa la temperatura del agua y del ambiente en grados centígrados.

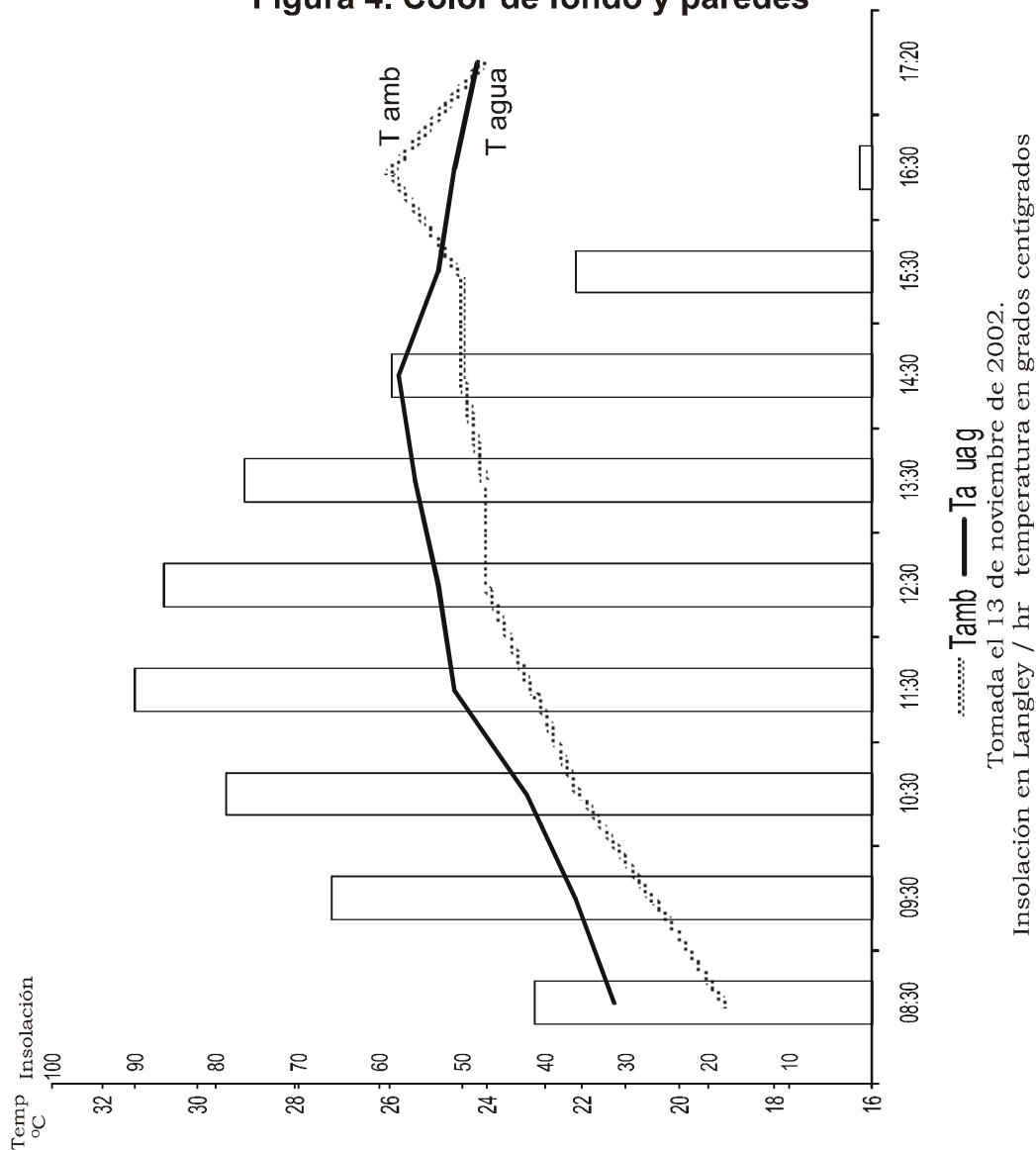
## **2.5 Combinación de las anteriores**

### **2.5.1 Cubierta solar y color de fondo**

Este sistema de calefacción pasiva consiste en agregar cubierta solar al tanque pintado de negro, con el fin de reducir las pérdidas de calor al sistema, la porción superior del agua, que es la que se encuentra a mayor temperatura.

Se hizo un análisis durante 3 días consecutivos, para poder observar el efecto que tiene la cubierta como barrera para la pérdida de calor y con los datos recabados puede observarse que la captación de calor no es únicamente en la porción superior del agua, sino también en la parte inferior. La parte de en medio está un poco más fría que la parte inferior. Esto puede observarse en las curvas presentadas en el apéndice 5.

Figura 4. Color de fondo y paredes



El efecto de la cubierta en el tanque influyó en tener una mejor retención del calor, que para días consecutivos logró aumentar la temperatura del agua al inicio del día, lo que contribuyó a tener una curva con pendiente cada día más pequeña, o sea, menor variación de temperatura.

No se logró alcanzar los 33 grados centígrados como temperatura agradable del agua, pero sí nos acercamos más que con los métodos pasivos anteriores. Al compararla con los métodos anteriores se observa que el proceso de captación y retención es bastante parecido al de doble cubierta, pero con este método combinado se logran temperaturas mayores, debido a la doble captación en la parte superior e inferior del tanque.

La diferencia de temperaturas del agua con la ambiental no se da a primeras horas sino una o dos horas antes de alcanzarse la máxima insolación, lo que demuestra una mejor captación de calor en la piscina de prueba. Para días consecutivos esta diferencia se redujo desde dos horas antes de la máxima insolación a la hora de arranque, lo que demuestra la ganancia de calor de días anteriores.

La máxima temperatura del agua se dió con una diferencia de 1 hora después de alcanzada la máxima insolación, lo que demuestra una mejor transferencia de calor, en comparación con los métodos anteriores.

Aunque la temperatura ambiente rebasó en algunos instantes a la temperatura de las porciones inferiores del tanque, puede decirse que en general el proceso de captación fue superior al de los sistemas anteriores, ya que se obtuvo una diferencia de 3 a 5 grados centígrados de la temperatura promedio del agua respecto a la temperatura ambiente.

En la figura 5 aparecen las curvas características de este proceso de calefacción pasiva. Al igual que con las gráficas anteriores la insolación se da en langley/hr y se presenta en la gráfica de tipo columna. Las curvas representan la temperatura ambiental y del agua en grados centígrados. Los datos se tomaron del día 11 al 13 de diciembre de 2002.

### **2.5.2 Color de fondo y paredes con cubierta y contracubierta**

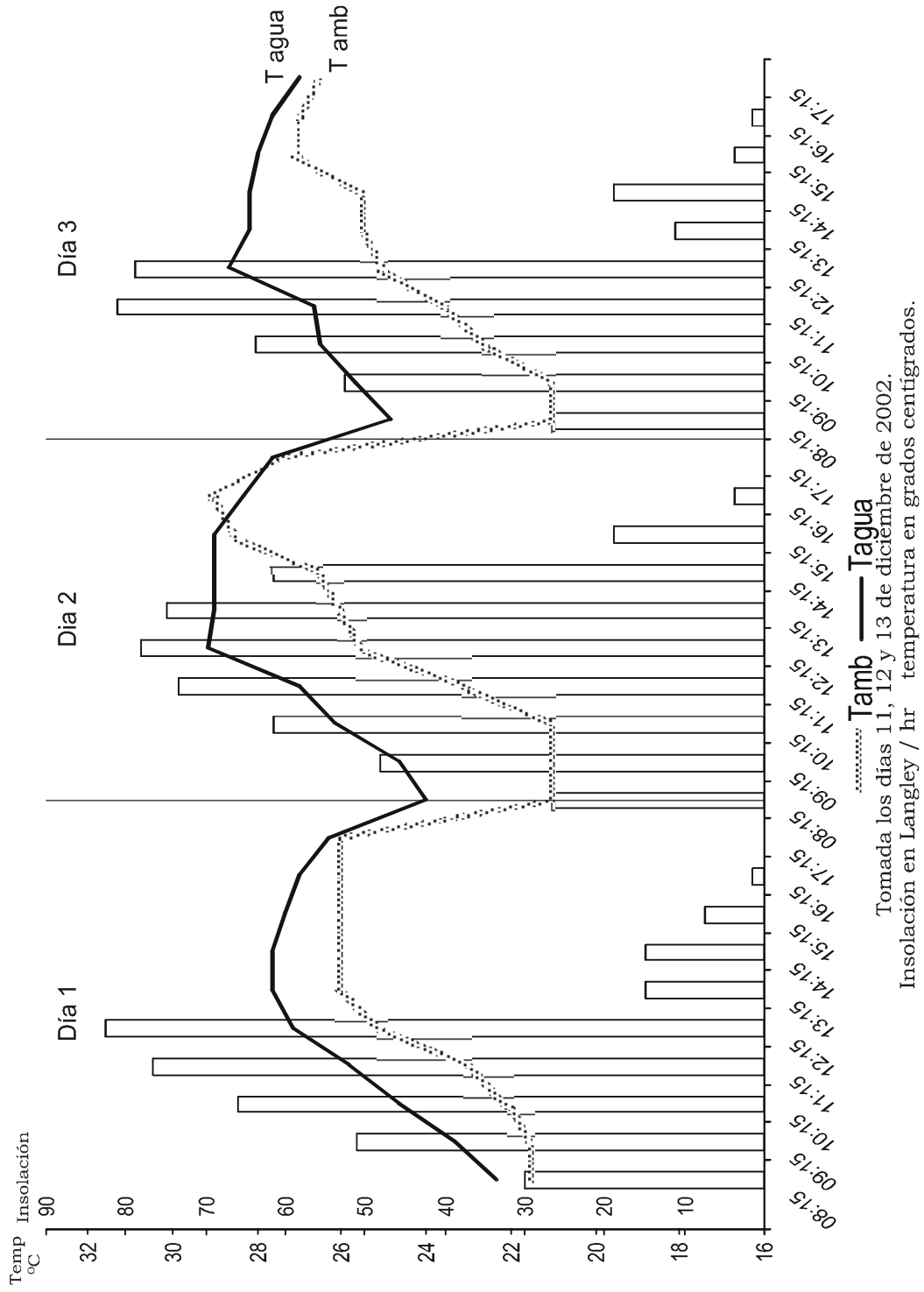
Este sistema de calefacción reúne a todos los sistemas pasivos anteriores, combinándolos en uno solo, o sea que tiene la característica de tener la máxima captación y retención de todos los sistemas pasivos.

Se realizó el análisis durante 3 días consecutivos, en los que influyó la acción de retención de calor de los días anteriores, que contribuyen al incremento de la temperatura del agua al inicio del día y por lo tanto reduce la pendiente de la curva de temperatura del agua. Por tener este sistema de calefacción pasiva la doble cubierta tiene las desventajas presentadas para el sistema pasivo de cubierta y contracubierta.

Para el primer día de prueba la velocidad de captación de calor del agua en la piscina de prueba es la misma velocidad de incremento de la temperatura ambiente, manteniendo la misma distancia las curvas de temperatura del agua y ambiental.

Para los días siguientes la velocidad de incremento de temperatura disminuyó, pero se logró a la hora de arranque una temperatura del agua mayor que la temperatura del día de inicio de toma de datos. Esto se puede observar en la figura 6.

Figura 5. Cubierta solar y color de fondo



Tomada los días 11, 12 y 13 de diciembre de 2002.

Insolación en Langley / hr temperatura en grados centígrados.



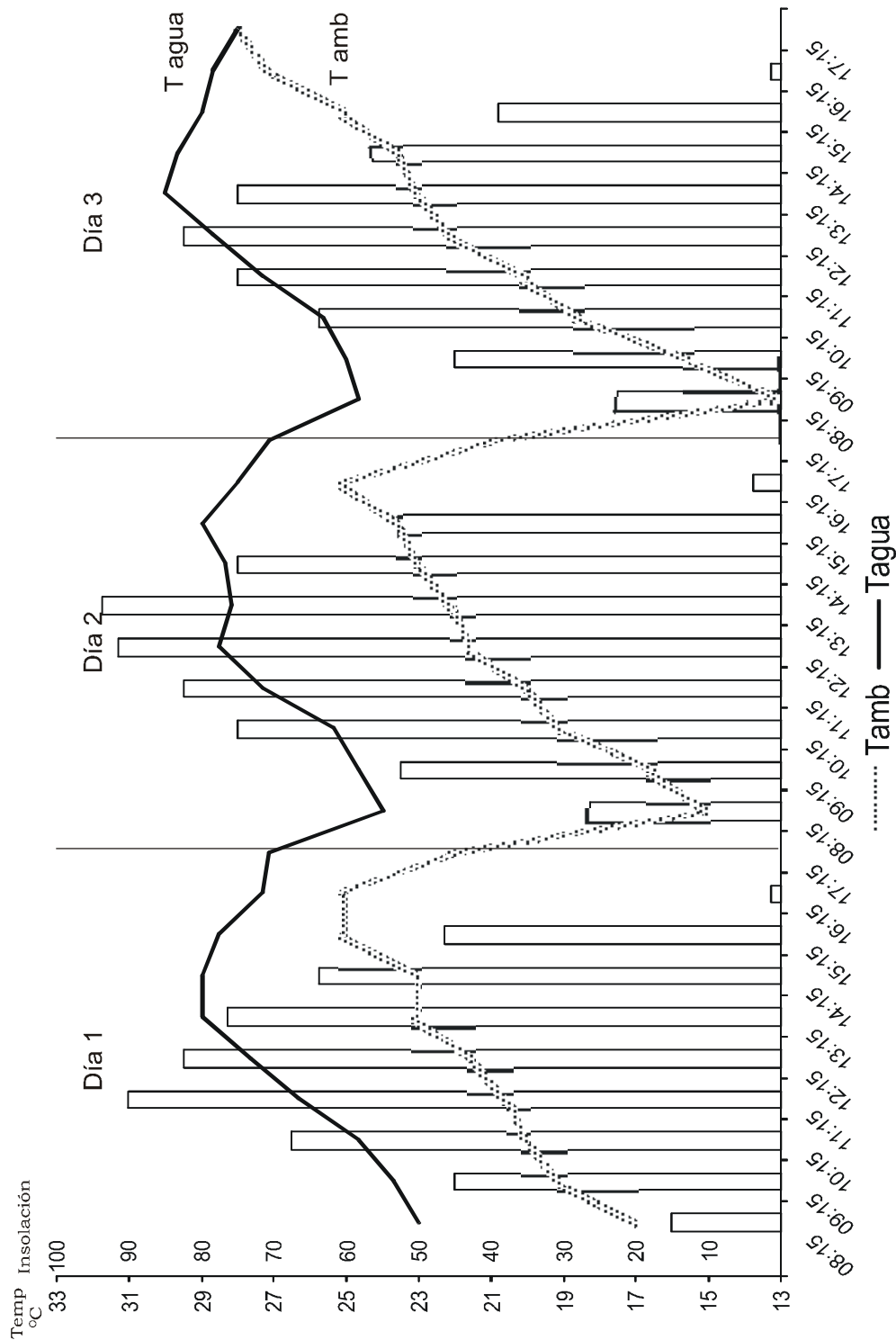
Como en el sistema anterior la captación de calor se da en las porciones superiores e inferiores del tanque, pero en este método se capta aún en mayor escala, logrando temperaturas mayores que con el método anterior. Dicha captación por arriba y abajo del tanque logra que la temperatura de la porción superior e inferior sean las mismas o muy próximas. Puede consultar el apéndice 6 para observar este efecto.

La máxima temperatura del agua se da una hora después de obtenerse la máxima insolación, lo que indica un proceso de transferencia de calor bastante rápido. Tampoco se logró alcanzar los 33 grados centígrados que se fijaron como temperatura agradable, sin embargo, sí se obtuvieron las temperaturas mayores logradas con los sistemas pasivos.

La diferencia de temperaturas máxima entre la temperatura ambiente y la temperatura del agua se dió a primeras horas de la mañana, esto como ya se dijo antes, debido a la retención de calor de días anteriores. La figura 6 presenta la curva característica de este tipo de calefacción solar pasiva. Al igual que con las curvas anteriores la insolación se da en langley por hora y la temperatura en grados centígrados. Los datos de dicha gráfica fueron tomados del día 7 al 9 de enero de 2003.

Dicho sistema pasivo resulta poco atractivo para ponerlo en uso en piscinas de regular o gran tamaño, debido a la gran cantidad de desventajas que presenta, al igual que el método anterior. Sin embargo resulta interesante observar los resultados logrados, que podrían resultar útiles para otro tipo de calefacción de agua, por ejemplo la calefacción domiciliar de agua.

**Figura 6. Color de fondo con cubierta y contracubierta**



Tomada 7, 8 y 9 de enero de 2003.  
 Insolación en Langley / hr temperatura en grados centígrados.

### **3. SISTEMAS ACTIVOS PARA CALEFACCIÓN DE PISCINAS**

La característica principal de los sistemas activos es que éstos utilizan un dispositivo para poner en movimiento el fluido a calentar, como un ventilador para hacer circular aire o una bomba para hacer circular agua. Para este estudio se utilizó una bomba de agua, además de un dispositivo que capta el calor proveniente del sol de manera más eficiente que los sistemas pasivos, y luego lo transfiere al agua que circula a través de él.

Este dispositivo se conoce como colector solar. Generalmente se instala cerca del lugar donde se desea calentar agua y donde recibe la mayor cantidad de energía solar. Como norma se considera que el área de captación del colector solar no debe ser menor a la mitad del área de la piscina, es decir, debe mantenerse una relación del área de colector al área de la piscina de 0.5 a 1, lográndose mayor eficiencia del colector a mayor relación.<sup>8</sup>

Sin embargo, debe tenerse en cuenta también la profundidad de la piscina, ya que a mayor volumen mayor cantidad de agua a calentar y por lo tanto mayor calor necesario. Actualmente los colectores solares que se utilizan para calefacción de piscinas y acondicionamiento de agua para edificios son de 2 tipos, los de alta y los de baja tecnología.

Los de alta tecnología son aquellos que se fabrican en forma modular, con un alto costo inicial, pero también buen rendimiento, éstos emplean materiales de alta capacidad de captación de energía, como placas de aluminio, tubería de cobre y recubrimientos especiales.

Los de baja tecnología son aquellos que por lo general se fabrican en obra y que utilizan cualquier material que tenga la capacidad de captar y transmitir calor al fluido que circula por los ductos, ubicados en la placa de absorción.

Todo colector solar consta de 4 partes principales, las cuales son:

- a) Cubierta: hecha generalmente de vidrio o de cualquier material transparente que permita el paso de luz solar a través de él y que de algún modo sirva para retener el calor que se produce entre ésta y la placa de absorción
- b) Placa de absorción: es la base o fondo del colector, donde se ubican los tubos por los cuales circula el fluido que se desea calentar. Hecha de lámina de acero, aluminio o cualquier material que transforme en calor los rayos del sol. Generalmente, se pinta de color negro para aumentar la captación de calor.
- c) Tubos o ductos: es por donde circula el fluido a calentar, se pueden instalar en diferente configuración, como en cinta, con aletas, tipo oblea, etc. Están en contacto con la placa de absorción, para lograr un mejor calentamiento de ellos y a la vez del fluido que circula a través de ellos.
- d) Aislamiento: sirve para evitar las pérdidas de calor del sistema y lograr así una mayor eficiencia del sistema. Se instalan por la parte de abajo y en las paredes de la caja que forma al colector.

Para el análisis de sistemas activos para calefacción de piscinas, debe tenerse en cuenta que la captación de calor no es únicamente por medio del colector, sino es más bien acción combinada de la captación por medio del colector solar, más la captación y retención de calor del agua de la piscina.

### **3.1 Sistemas activos para calefacción de piscinas de baja tecnología**

Como se mencionó, la temperatura del agua para piscinas no debe ser muy elevada, por lo que un colector de baja tecnología puede ser lo suficientemente eficaz como para lograr el calentamiento del agua a la temperatura deseada. El estándar que se maneja para dicha temperatura es de 33° centígrados, aunque puede disminuir a 25 grados centígrados si la piscina tendrá un uso para competencia o práctica de natación.<sup>9</sup>

Además de no ser un requisito la temperatura elevada de agua para piscina, existen ciertas características que deben mantenerse en una piscina, tales como el ornato de los alrededores, ya que por ser un lugar público no pueden haber tuberías, vidrios ni espejos por doquier, ya que todo esto puede resultar muy poco atractivo para las personas que hacen uso de la piscina y de los alrededores, y además de representar un riesgo para la seguridad personal.

En base a lo anterior debe hacerse uso racional de la tecnología y de los materiales para lograr alcanzar el objetivo que se plantea, el cual es calentar el agua de la piscina, pero sin que nuestro objetivo nos obligue a modificar todo el entorno de la piscina, lo cual nos llevaría a modificaciones y costos elevados.

Entre los sistemas activos de baja tecnología se investigará el desempeño de 2 tipos de colector, el primero es un espiral fabricado con poliducto para agua, que por las características propias del material, capta el calor procedente del sol calentando el agua. El segundo colector igual al primero, pero entre una loza de cemento de 0.1 m de espesor.

Luego se harán mejoras de captación y concentración de calor para ambos tipos de colectores al agregarle cubierta transparente y aislante para lograr una mejor concentración y retención del calor ya captado.

### **3.1.1 Espiral colectora al desnudo**

Este colector consiste en un tubo poliducto de 1/2 pulgada de diámetro (0.0127 m), el cual se enrolló en espiral, sin espacio entre vueltas consecutivas. Tiene una estructura de madera que le proporcionaba la rigidez suficiente para hacerlo portátil.

Dicho colector es fácil de construir e instalar y no necesita de recubrimientos especiales para lograr la captación del calor, ya que el poliducto negro por sus características capta y aísla el calor.

Para este sistema activo y los que se analizarán posteriormente, se descubrió que debido a las características propias del sistema activo, el agua recibe tanto calor durante la puesta en marcha que no es posible que lo libere todo durante la noche, por lo que, aunque no se cuente con un sistema pasivo que evite las pérdidas convectivas y de evaporación del agua, se logra mantener el agua a temperaturas mayores.

A pesar de ser un sistema que logró mayor captación de calor que los sistemas pasivos, no se logró llegar a los 33° centígrados, pero sí se obtuvo una temperatura mucho mayor que la obtenida con los sistemas pasivos. Este sistema logró captar en un único día la energía que se captó en 3 o 4 días de los sistemas pasivos más eficientes, por lo que al hacer uso del mismo por más de 1 día se logran resultados satisfactorios.

En los sistemas activos existen muchas variables que afectan los resultados del experimento, entre estas variables está el caudal con el que circula el agua. Para analizar esta variable se instaló una llave de paso entre la bomba y el colector, pudiendo variar el caudal de un máximo a un mínimo. Para caudal máximo se obtuvo los mejores resultados, ya que por la elevada velocidad del fluido había una mejor transferencia del calor captado.

Para caudal mínimo se obtuvieron temperaturas del agua mucho menores que las obtenidas con un caudal máximo. Por esta razón el análisis de los incisos siguientes se realizaron a caudal máximo. Además de la variable del caudal el sistema también se ve afectado por las mismas variables de los sistemas pasivos, como son las características ambientales, insolación y velocidad del viento, pero lo afecta también la orientación del colector.

Para este análisis se ubicó el colector en posición completamente horizontal, al este de la piscina de prueba y a nivel del suelo. Como se mencionó antes la captación de calor se ve afectada también por el área del colector. Dicho colector tiene un diámetro exterior de 1.1 m y uno interior de 0.17 m con lo que obtenemos un área de colector de  $0.68 \text{ m}^2$  y lo que nos da una relación respecto al área de la piscina de prueba de 0.8.

Para los datos obtenidos se observó que la temperatura máxima del agua para días consecutivos no aumentaba en más de 3 grados centígrados a la alcanzada el primer día de prueba, donde la mayor eficiencia se logra el primer día. Las curvas de temperatura de las porciones inferior, media y superior del agua mantenían la misma trayectoria y casi la misma temperatura, debido a que la circulación del agua mezcla todas las porciones dándose una pequeña diferencia de temperaturas entre una y otra. Vea el apéndice 7.

La temperatura máxima del agua se logró 3 horas después de la insolación máxima, lo que implica una lenta transferencia o una pérdida demasiado rápida del calor. Como otro efecto de la variación del caudal, se tiene que al reducir el caudal se aumenta esta hora. La máxima diferencia de temperaturas entre la temperatura ambiental y la temperatura del agua se dió al final del día. Estos datos puede observarse en la figura 7.

### **3.1.2 Espiral colectora con aislamiento y cubierta transparente**

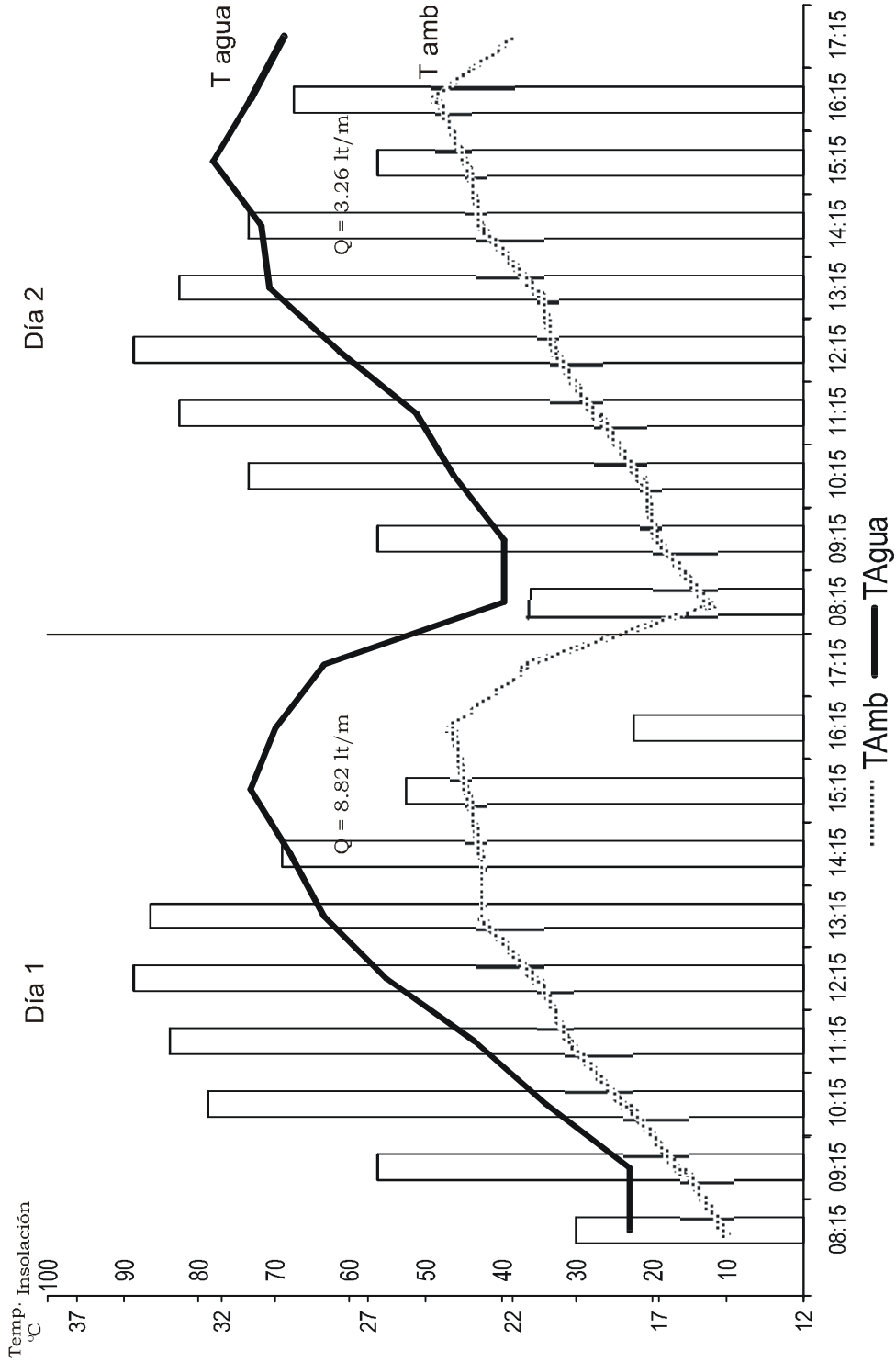
Este sistema activo tiene las mismas características que el sistema anterior, pero trata de minimizar las pérdidas de calor que puedan existir en el colector solar.

Las pérdidas hacia el suelo son de 2 tipos, una conductiva que se debe al contacto que existe entre el colector y el suelo. La evaporación es debido a la humedad propia del suelo, donde se pierde calor debido a la evaporación de la humedad. Ambas pérdidas son fácilmente reducibles al aplicar un aislante en la parte inferior del colector y tomar en cuenta que el aislamiento debe de soportar tanto calor como humedad.

Las pérdidas hacia el ambiente son pérdidas de calor por convección al aire, que arrastra el calor que se capta en las espiras del serpentín. Para reducir éstas pérdidas se colocó una cubierta de polietileno transparente sobre el colector, el cual mantenía el calor atrapado entre la cubierta y el colector.



Figura 7. Espiral colectora al desnudo



Tomada los días 25 y 26 de enero de 2003.  
 Insolación en Langley / hr temperatura en grados centígrados.

Al reducir ambas pérdidas de calor se logró obtener temperaturas del agua de la piscina de prueba mucho mayores que las del sistema sin aislamiento y sin cubierta. El caudal se graduó al máximo, por las razones que se mencionaron anteriormente. En el primer día de prueba se logró una temperatura del agua superior a los 34 grados centígrados, que sobrepasa a la temperatura que deseábamos alcanzar, lográndose resultados satisfactorios.

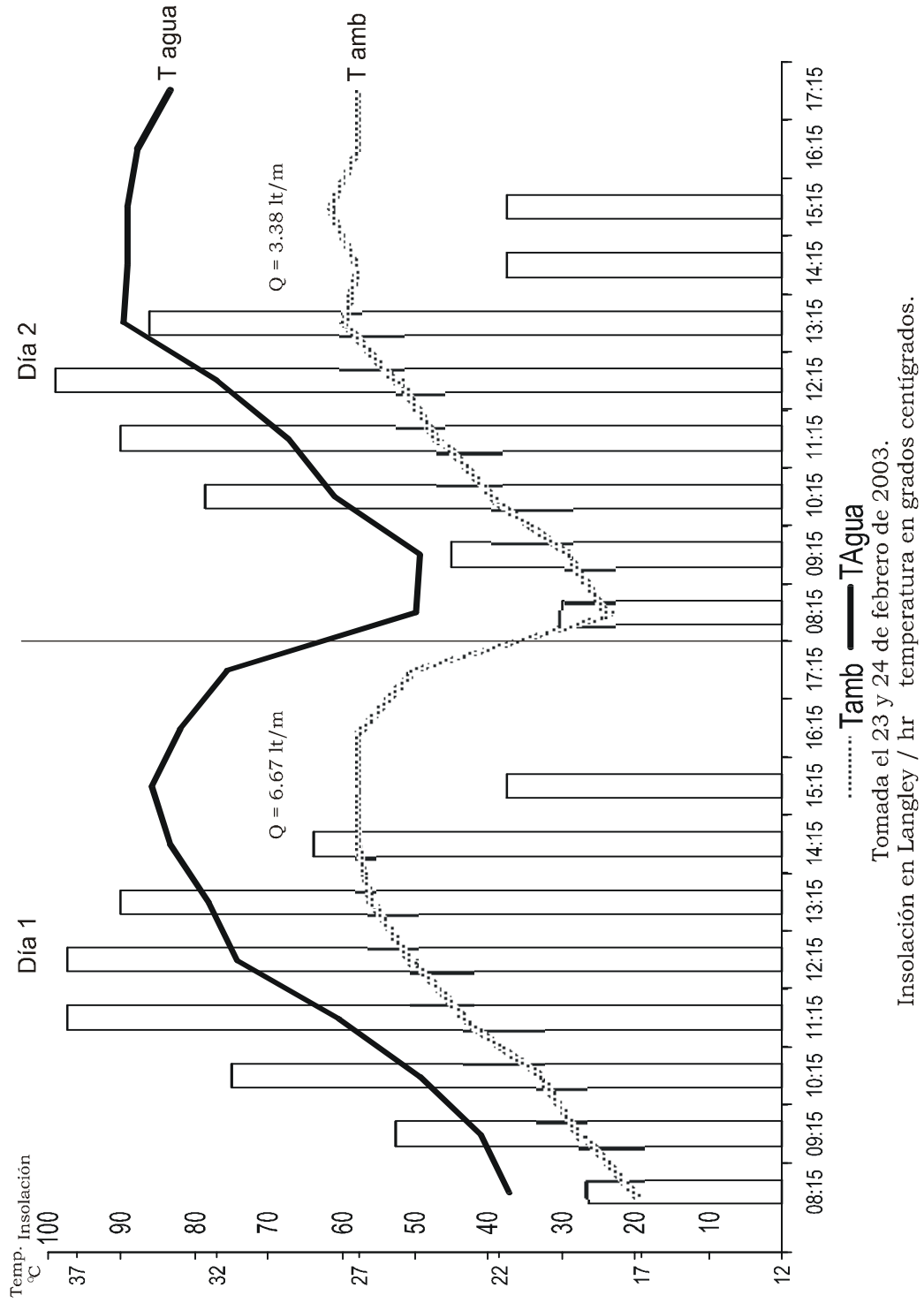
Para días consecutivos se tiene que la hora en que se obtiene la temperatura máxima del agua se aproxima a la hora de insolación máxima, debido a la retención de calor, que como en el caso anterior, el agua recibe tanta cantidad de calor que no es posible que la libere durante la noche, por lo que a pesar de que la piscina de prueba no tenga cubierta de ningún tipo, el agua amanece a mayor temperatura que el día anterior.

Las curvas de temperatura de las porciones superior, media e inferior del agua muestran que mantienen la misma trayectoria y que la diferencia entre una y otra curva es apenas de 2 grados centígrados, manteniéndose a mayor temperatura las porciones media e inferior del agua. Vea el apéndice 8.

La diferencia de temperaturas ambiental y del agua de la piscina se dan a la misma hora en que se da la temperatura máxima del agua, con una diferencia de 2 a 3 horas después de alcanzarse la máxima insolación. Esta hora se reduce hasta casi la hora de insolación máxima para días consecutivos, lo cual puede observarse en la figura 8.

En la figura 8 se observa que para el segundo día de prueba la temperatura del agua se mantiene durante más tiempo, presentando menor variación y comportándose de acuerdo a la insolación registrada.

Figura 8. Espiral colectora con aislamiento y cubierta transparente



Tomada el 23 y 24 de febrero de 2003.

Insolación en Langley / hr temperatura en grados centigrados.

### **3.1.3 Espiral colectora entre loza de concreto**

Cualquier persona que ha caminado descalzo en un día soleado y después de medio día por la acera de una piscina se ha dado cuenta que la acera permanece bastante caliente, que casi se hace imposible caminar un buen tramo, ésto se debe a que el concreto, al igual que el agua, absorbe una buena cantidad del calor procedente del sol en forma de radiación

El cemento, al igual que las piedras, se calienta por acción de la radiación solar, y permanece caliente un buen tiempo después de no recibir más la energía del sol. Por conducción el calor se transmite a todas las moléculas del cemento, pero que pasa sí una tubería se encuentra entre la loza de concreto, ¿será que se calienta a la misma temperatura que la loza de cemento?. Ésta hipótesis se tratará de resolver mediante el empleo del siguiente experimento.

Este colector es igual al empleado en los sistemas activos anteriores, con la diferencia de tener menor cantidad de espiras, debido a que el concreto necesita penetrar entre espira y espira para mantener su rigidez y así evitar una posible falla por ruptura con el transcurso del tiempo. El colector se construyó enrollando el poliducto en forma de espiral, con una separación entre espira y espira del diámetro del poliducto. Tiene una estructura de madera que le da rigidez.

Una de las ventajas de este tipo de colector solar es que debido a que el serpentín se encuentra entre la loza de cemento es fácil de esconder, ya que puede construirse en los alrededores de la piscina empleándolo como cancha poli deportiva, o puede emplearse la misma acera de la piscina, donde no representa ni riesgo ni obstáculo para la circulación de las personas,

Otra de las ventajas de este colector es que por encontrarse el poliducto entre la losa de concreto, no se deteriorará tan rápidamente como si estuviera expuesto a la radiación solar directa y al ambiente, ya que estas condiciones deterioran el poliducto con mayor rapidez.

Como desventaja de este sistema activo tenemos una respuesta a la transferencia de calor bastante lenta, ya que se hace necesario que el colector se caliente primero antes de poder comenzar a calentar el agua. Esto resulta también en una acumulación de calor al final de la tarde, el que luego se transfiere al agua, lográndose mantener la temperatura al final de la tarde en comparación con la caída de temperatura que presentan los sistemas anteriores.

Lo dicho anteriormente puede observarse al comparar las gráficas que aparecen en las figuras 7, 8 y 9, donde la figura 9 corresponde a los datos tomados para este sistema activo.

El colector construido de este tipo tiene 1.17 m de largo por 1.1 m de ancho, con un espesor de 0.1 m lo que nos da un área de  $0.9331 \text{ m}^2$  y una relación de área respecto al área de nuestra piscina de prueba de 1:1 del área del colector al área del tanque. Tiene dimensiones un poco mayores que el colector anterior.

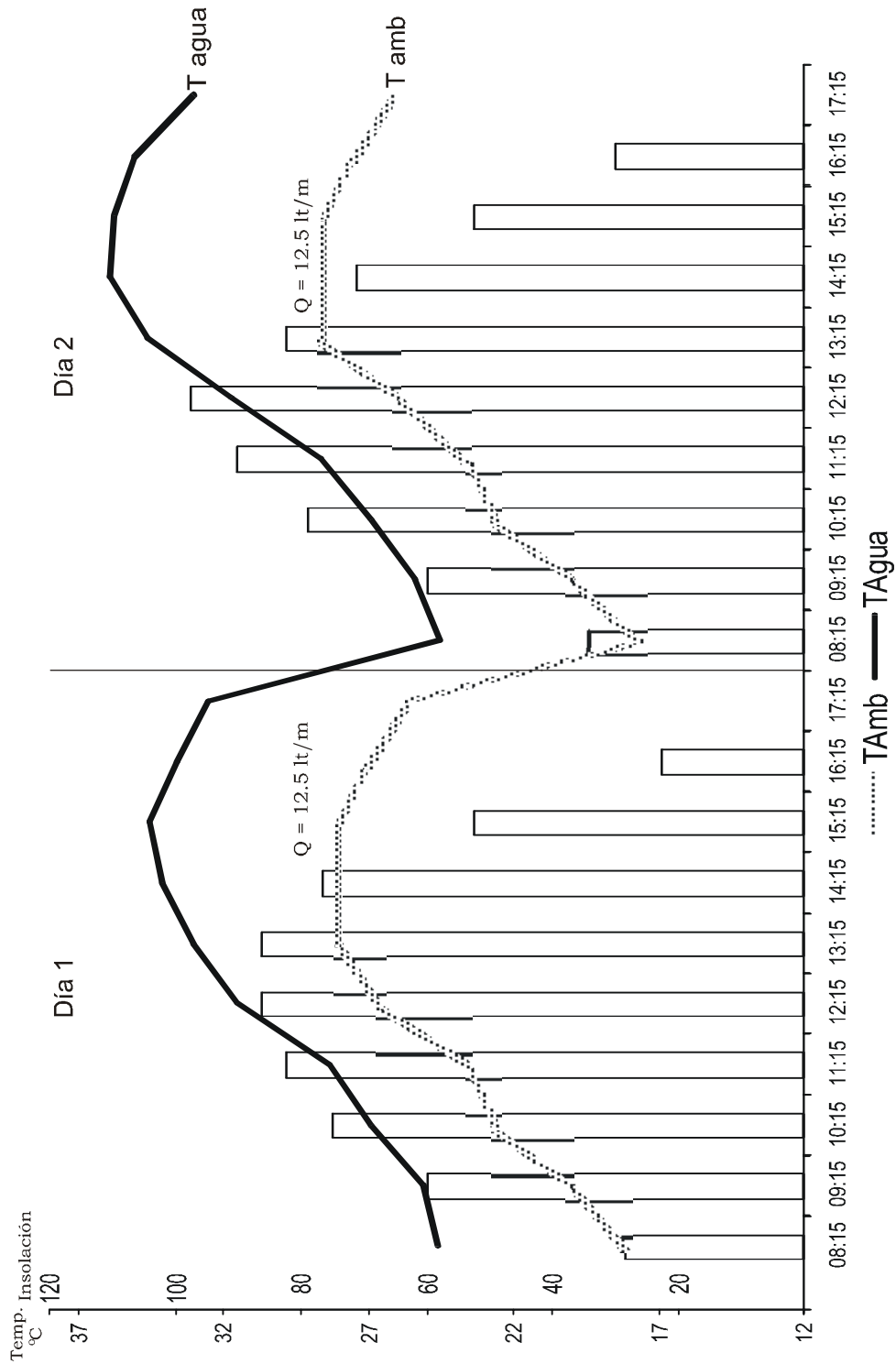
Al realizar las pruebas se trabajó con un caudal máximo, el colector se colocó con las mismas características que en los incisos anteriores, es decir al este de la piscina de prueba y en posición horizontal, el cemento se ennegreció con colorante para aumentar la capacidad de captación de calor.

Los datos recopilados muestran que los 33 grados centígrados se superaron en el primer día de prueba. La temperatura máxima del agua se logró 3 horas después de la máxima insolación, al igual que con los sistemas anteriores, pero a diferencia de esto, para días consecutivos no presentó mayor variación, donde puede observarse el retardo en la transferencia de calor debido a la masa de cemento, como se explicó anteriormente.

La diferencia de temperaturas entre la temperatura ambiente y la temperatura del agua fue máxima a última hora del día, y para días consecutivos no presentó mayor variación, donde puede observarse que el concreto retiene el calor captado durante el día y lo cede a medida que se enfría. Al hacer el análisis gráfico, se puede observar un comportamiento de las curvas, muy similar al del colector desnudo.

Las porciones superior, media e inferior del agua permanecen con una diferencia de temperatura no mayor a 3 grados centígrados, donde la porción superior mantiene la temperatura menor. Vea el apéndice 9.

Figura 9. Espiral colectora entre loza de cemento



Tomada los días 4 y 5 de marzo de 2003.  
 Insolación en Langley / hr temperatura en grados centigrados





## 4. COMBINACIÓN DE SISTEMAS ACTIVOS Y PASIVOS

Como se ha visto, los sistemas activos son superiores en captación a los sistemas pasivos, pero esta cantidad de calor que se captará y transferirá al agua dependerá del tiempo que permanezca en funcionamiento el sistema activo, la desventaja es el consumo de energía eléctrica y los costos que representa, además de la pérdida de calor del sistema.

Los sistemas pasivos tienen la ventaja de ser relativamente baratos en costos de adquisición, reemplazo y mantenimiento, trabajan durante todo el tiempo que se encuentran instalados y no consumen energía eléctrica, por lo que resultan económicos, pero poco eficaces si trabajan solos.

Un adecuado balance resulta del empleo de ambos sistemas combinados, que resultará en una buena captación y retención de calor. Los sistemas pasivos más complejos captarán y retendrán mejor el calor que un sistema sencillo, el problema resulta de lo complicado de la instalación del sistema, que a veces tarda varias horas. Por el contrario, un sistema sencillo tardará unos 15 o 30 minutos en instalarse, pero no captará suficiente calor por sí solo para calentar el agua a la temperatura deseada.

El sistema activo captará el calor de una mejor manera que un sistema pasivo complejo, y el sistema pasivo sencillo se utilizará únicamente para retener el calor que el sistema activo ha captado, así se reducirán pérdidas de calor innecesarias, logrando mantener el agua a una temperatura agradable por más tiempo sin necesidad de prolongar el uso del sistema activo.

Por ejemplo podemos utilizar el sistema activo de espiral colectora entre loza de cemento para captar el calor, y el sistema pasivo de cubierta solar para retener el calor captado. Utilizaremos la combinación de ambos sistemas el día viernes, el sábado permanecerá instalado el sistema pasivo sin necesidad de poner en funcionamiento el sistema activo, y el día domingo el agua permanecerá a una temperatura agradable, economizando la energía eléctrica que se hubiera necesitado el día sábado, resultando en un buen funcionamiento sin costos elevados.

Los sistemas combinados activo - pasivo que se analizaron son los sistemas de espiral al desnudo, espiral con cubierta y aislamiento, espiral entre loza y espiral entre loza con aislamiento y cubierta, todos con el sistema pasivo de cubierta simple, el cual es el más económico y más usado en piscinas.

#### **4.1 Espiral colectora al desnudo con cubierta en el tanque**

En los incisos anteriores se ha visto que el colector de espiral al desnudo sin el uso de cubierta en el tanque es capaz de elevar la temperatura del agua arriba de los 33 grados centígrados, sin embargo las pérdidas de calor son considerables y pueden reducirse empleando una barrera que reduzca las pérdidas por convección y evaporación, esta barrera es el sistema pasivo de cubierta simple.

Como se puede observar en la figura 7 para días consecutivos hay un descenso en la temperatura del agua al inicio del segundo día. Esto se debe a la pérdida de calor que sufrió el agua de nuestra piscina de prueba durante la noche. En la figura 10 puede observarse que el empleo de la cubierta simple reduce la pérdida de calor durante la noche, permaneciendo a una temperatura aceptable.

Para el segundo día la curva de temperatura del agua empieza 4° centígrados arriba de la del día anterior, esto debido a la reducción de las pérdidas de calor. Durante el día puede emplearse el sistema activo para captar más calor o simplemente puede dejarse instalado el sistema pasivo para que éste evite que continúen las pérdidas de calor durante el día y mantenga la temperatura del agua a un nivel aceptable.

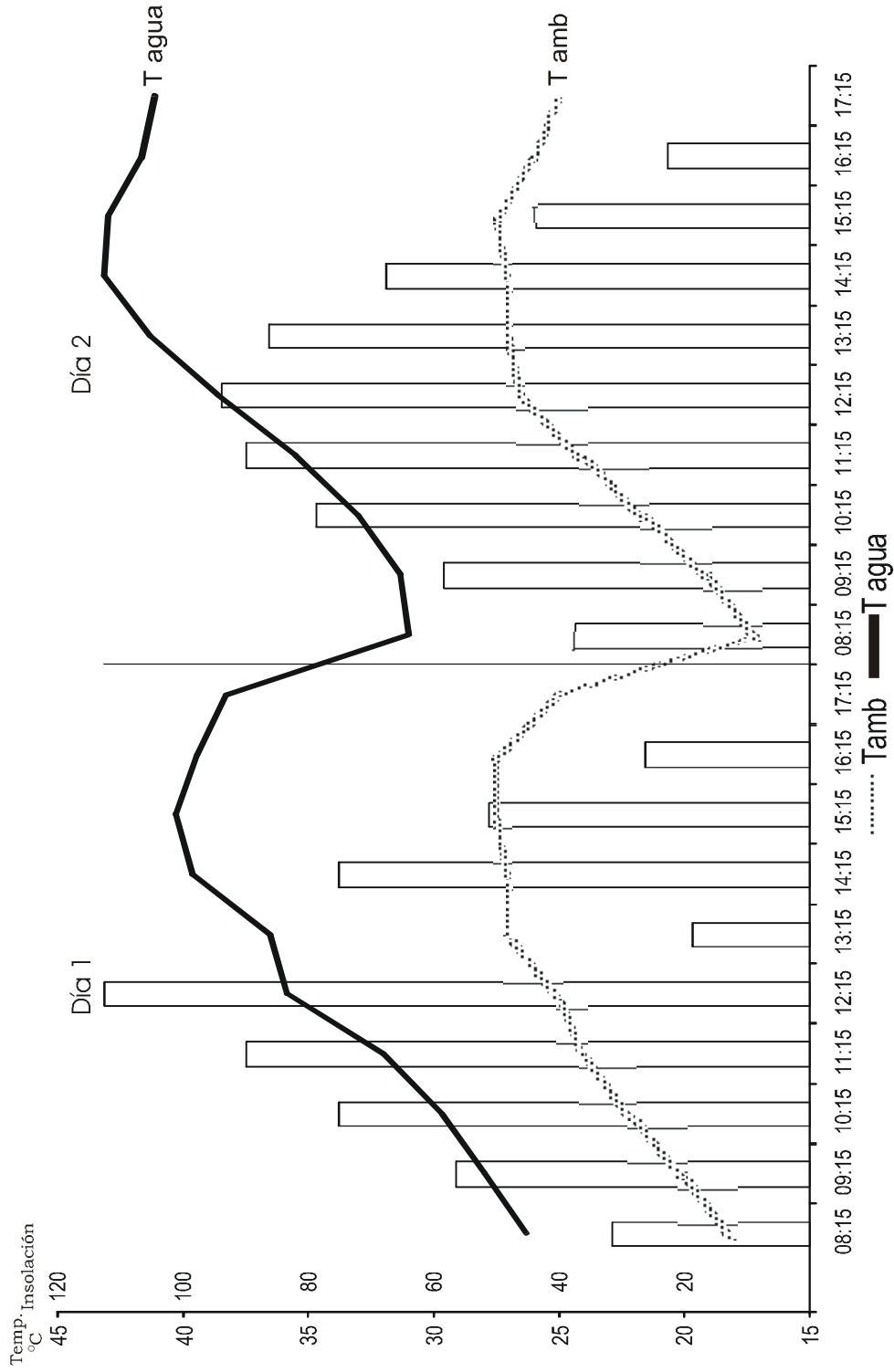
Los datos obtenidos son para 2 días consecutivos tomados el 1 y 2 de marzo de 2003. La temperatura máxima del agua se logró 3 horas después de alcanzar la insolación máxima. Para el segundo día la hora de temperatura máxima del agua se aproxima a la hora de insolación máxima, debido al aislamiento de calor logrado con el sistema pasivo de una sola cubierta.

La diferencia máxima de temperatura entre la ambiental y la temperatura del agua ocurrió a las últimas horas del día, como es característica de los sistemas activos. Para días consecutivos esta hora coincide con la hora en que se logra la temperatura máxima del agua, esto debido a la mayor acumulación de calor mediante el empleo de la cubierta simple.

#### **4.2 Espiral colectora con aislamiento y cubierta con cubierta sobre el tanque**

Este sistema combinado es el que logró las mayores temperaturas de todos los sistemas activos y pasivos. Los datos se obtuvieron el día miércoles 26 de febrero de 2003, constan de un solo día pero puede observarse en la figura 11 el ascenso en la temperatura del agua que le proporciona el sistema.

**Figura 10. Espiral colectora al desnudo con cubierta sobre el tanque**



Tomada los días 1 y 2 de marzo de 2003.  
 Insolación en Langley / hr temperatura en grados centígrados

Lo que hace superior a este sistema de los demás, es que se reducen tanto las pérdidas de calor en la piscina de prueba como las pérdidas en el colector, debido al aislamiento y a la cubierta, lo que ayuda a retener mayor cantidad de calor y lograr así mayores temperaturas del agua.

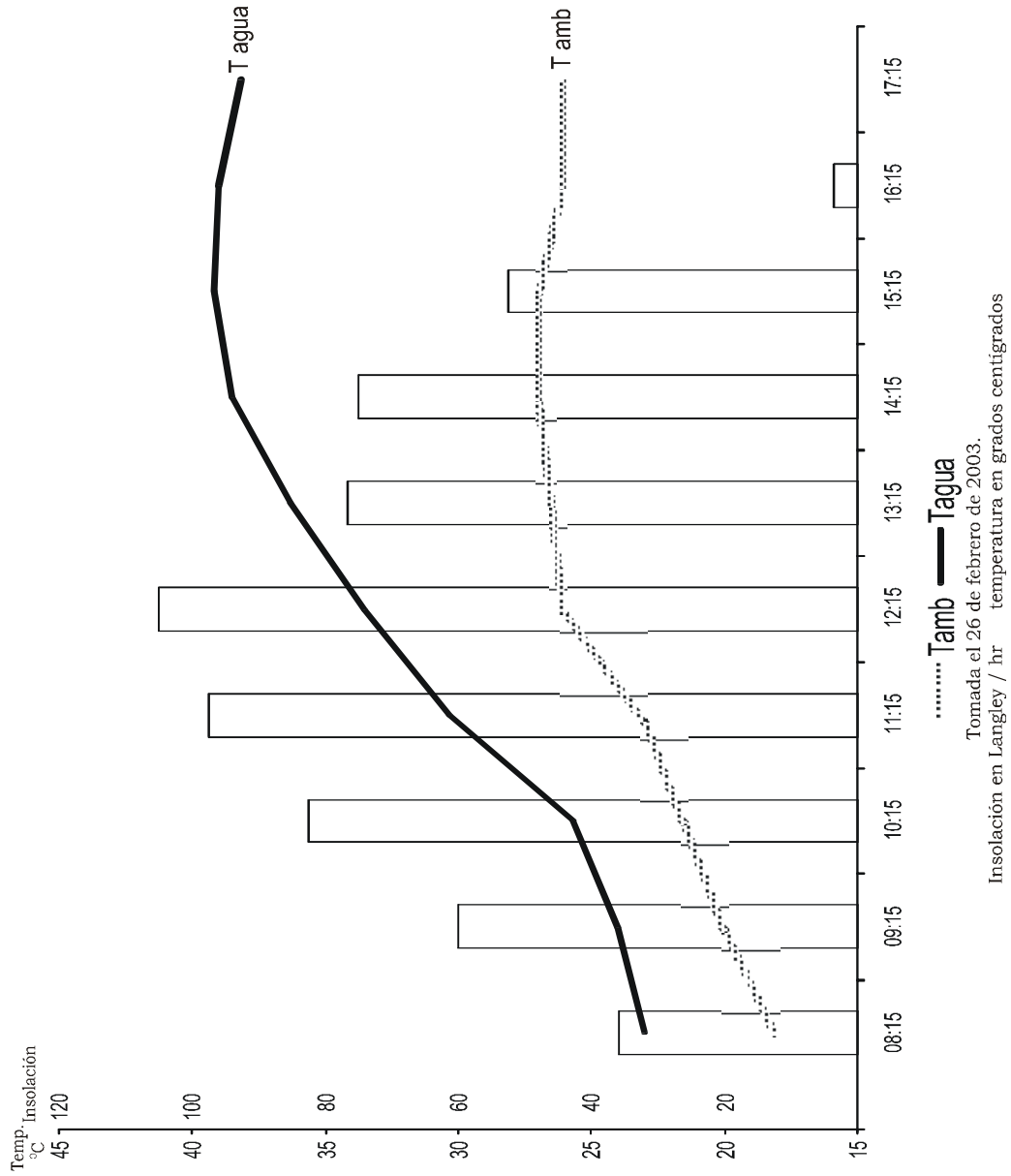
Al hacer el análisis gráfico en la figura 11 puede observarse que la temperatura máxima del agua se obtuvo 3 horas después de la insolación máxima. Puede observarse también la gran subida de la temperatura del agua a partir de la tercera hora de insolación, sin embargo la curva mantiene una forma suavizada, sin crestas ni valles, de donde puede observarse la superioridad en captación y retención de calor del sistema.

La diferencia de temperaturas entre la ambiental y la temperatura del agua fue máxima al final del día, como es característica de los sistemas activos. Las curvas de temperatura de las porciones superior, media e inferior del agua tienen la misma trayectoria y una diferencia de temperatura no mayor de 2° centígrados, y las más elevadas son la porción media e inferior. Ver el apéndice 11.

### **4.3 Poliducto en loza con cubierta sobre el tanque**

El sistema combinado de poliducto en loza con cubierta sobre el tanque es el más sencillo y el más adecuado, ya que mantiene el ornato del lugar donde se instala el colector sin necesidad de instalar el colector en un lugar alejado de la piscina en donde nadie pueda verlo.

**Figura 11. Espiral colectora con aislamiento y cubierta con cubierta sobre el tanque**



A pesar de ser un colector que se encuentra oculto su funcionamiento es bastante adecuado, pudiendo competir con las temperaturas logradas con el colector al desnudo. Una desventaja es la respuesta lenta en la captación de calor, ya que como se había mencionado anteriormente se debe calentar toda la masa de concreto para que pueda empezar a transmitirle calor a los ductos por donde circula el agua.

Como se vio anteriormente, para el sistema activo de poliducto en loza, éste logra temperaturas no tan altas como el sistema de espiral al desnudo, sin embargo, es suficiente para nuestra necesidad de aclimatar el agua de la piscina. En costos económicos su costo es mayor al de espiral al desnudo, pero se le puede dar otros usos, por lo que no pueden compararse los costos de ambos tipos de colector.

En las figuras 9 y 12 puede compararse el sistema de poliducto en loza sin cubierta en el tanque con el sistema combinado con cubierta en el tanque, puede observarse que en el sistema activo sin cubierta, para días consecutivos la temperatura del agua al inicio del día fue la misma, debido a las pérdidas de calor ocurridas durante la noche. En el sistema combinado no ocurre esto, logrando al inicio del día una temperatura del agua 4 grados superior, debido al empleo del sistema pasivo de una sola cubierta.

La temperatura máxima del agua se logró 4 horas después de la insolación máxima, donde se observa el mayor retraso que en los sistemas combinados anteriores. La máxima diferencia de temperaturas entre la temperatura del agua y la ambiental ocurrió a la misma hora en que se logró la temperatura máxima del agua. Para días consecutivos los resultados fueron los mismos, sin presentar variación en las horas de donde se obtuvo éstos puntos.

Los resultados pueden observarse gráficamente en la figura 12, en la cual a partir del primer día se puede notar la mayor temperatura del agua al final del día, la cual aumenta aún más para el segundo día. Dichas temperaturas del agua logradas con este colector son similares a las logradas con los 2 sistemas combinados anteriores, donde es fácil apreciar que este sistema es competitivo con cualquier otro sistema, a pesar del retraso en la transferencia de calor.

Dicha gráfica se tomó los días 6 y 7 de marzo de 2003. El caudal con el cual se trabajó dicho sistema activo fue máximo, al igual que con el empleado en los sistemas combinados anteriores.

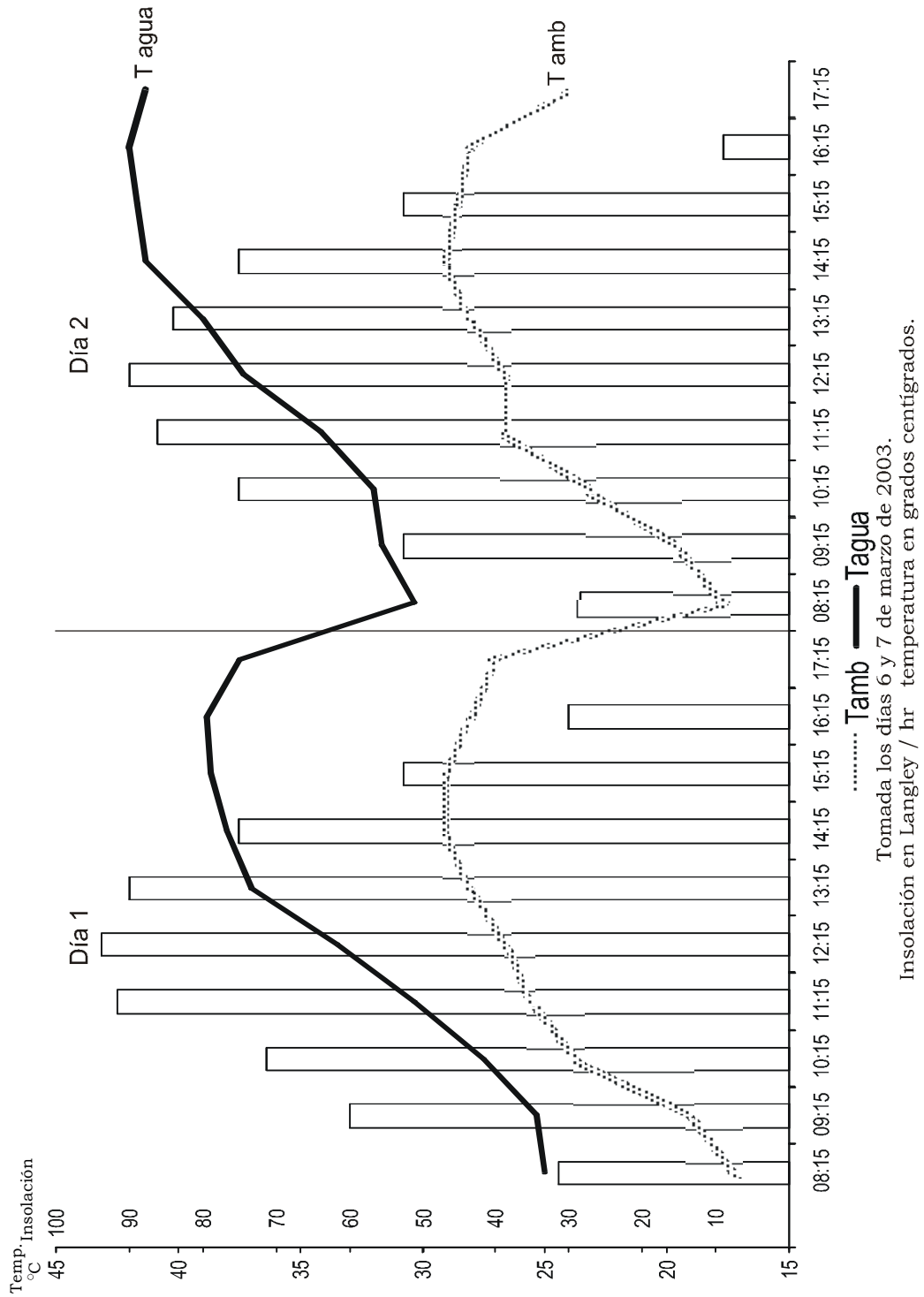
#### **4.4 Poliducto en loza con aislamiento y cubierta con cubierta sobre el tanque**

Este es el último de los sistemas para calefacción de piscinas que se analizará en este trabajo de graduación, actualmente existen mejores y más eficientes sistemas de calefacción, pero que exceden los alcances de tecnología y recursos empleados para este trabajo. Aquí se presentan los principios básicos empleados para la calefacción de piscinas y los logros obtenidos en cada uno de los experimentos.

Este sistema reúne las características del sistema anterior, pero con mejoras representativas de aislamiento en la parte inferior del colector, y una cubierta transparente que retiene el calor captado en la loza, todo esto con una cubierta sobre el tanque.



Figura 12. Poliducto en loza con cubierta sobre el tanque



Como en los sistemas activos anteriores que utilizan colector entre loza, necesita más tiempo para lograr calentar el agua que circula por el serpentín que se encuentra entre la loza de cemento, pero después de recibir suficiente calor procedente del sol, es capaz de transferirle éste al agua, logrando temperaturas similares a los sistemas combinados anteriores.

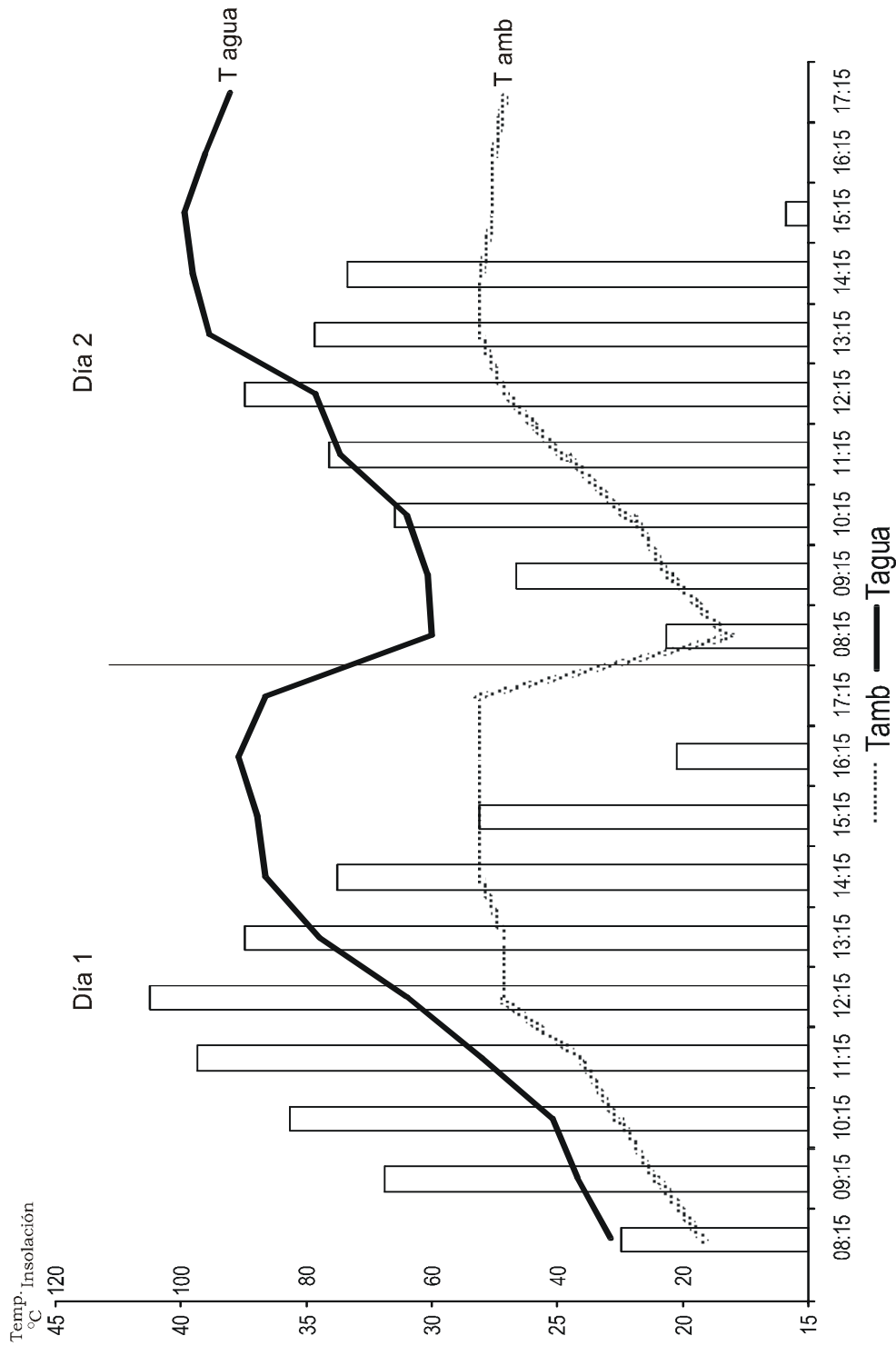
El experimento consta de un análisis de 2 días en los que se logró una temperatura máxima de 38 grados centígrados el día 20 de marzo de 2003, el día siguiente 21 de marzo se logró una temperatura máxima de 40 grados centígrados, temperaturas que sobrepasan la temperatura deseada para el aclimatamiento de piscinas.

Dicha temperatura máxima se obtuvo de 3 a 4 horas después de la máxima insolación, que es el menor tiempo para el segundo día, La diferencia máxima de temperaturas se obtuvo a la misma hora en que se obtuvo la temperatura máxima del agua.

En la figura 13 se puede observar la gráfica para este sistema. Al inicio del segundo día se puede observar la gran cantidad de calor que se ha logrado retener mediante el empleo de la cubierta sobre el tanque. La trayectoria de la curva de temperatura del agua es la misma que la curva de la temperatura ambiente para el primer día. Para el segundo día esta curva permanece bastante constante, sin presentar subidas o bajadas pronunciadas, lo que representa gráficamente una buena acumulación y transferencia de calor hacia el agua.



**Figura 13. Poliducto en loza con aislamiento y cubierta con cubierta sobre el tanque**



Tomada los días 20 y 21 de marzo de 2003.

Insolación en Langley / hr temperatura en grados centígrados.

## 5. COMPARACIÓN DE DATOS OBTENIDOS Y CÁLCULO DE EFICIENCIAS

Mediante la descripción de cada uno de los sistemas anteriores y de acuerdo a los resultados y gráficas obtenidos se han comparado los sistemas para calefacción de piscinas, sin embargo no es posible definir cuál de ellos es mejor en captación y retención de calor, por lo que se hace necesario calcular la eficiencia para cada uno de los sistemas definidos anteriormente.

Definimos la eficiencia como la cantidad de energía en forma de calor que cada uno de los sistemas es capaz de transmitirle al agua de la piscina de prueba en relación con la cantidad de energía que recibe del sol. Para ello definiremos dos cantidades importantes, una cantidad de calor, a la cual llamaremos calor recibido y la otra como calor aceptado.

El calor recibido es la cantidad de energía proveniente del sol que llega a la superficie del colector o del tanque, esta es medida en posición horizontal y equivale a la insolación.<sup>10</sup> Para cada hora del día se tabuló una insolación, que corresponde a la gráfica de barras que aparece en cada una de las figuras que se incluye en la descripción de cada sistema para aclimatamiento de piscinas.

La suma total de estas barras nos proporciona la insolación por día. Esta insolación por día multiplicada por el área, ya sea el área del tanque, o el área combinada del tanque y colector es el calor recibido. Sus unidades de medida son calorías (1 cal = 4.19 Joule)

El calor aceptado es la cantidad de calor que se transfiere al agua desde el colector o por medio de cada uno de los sistemas descritos anteriormente<sup>11</sup>. Sus unidades de medida son también calorías. Esta cantidad de calor no puede medirse directamente, por lo cual se empleará la fórmula termodinámica:

$$Q = m C_p \Delta T$$

Donde:

- Q es el calor aceptado
- m es la masa del agua que se desea calentar
- C<sub>p</sub> es el calor específico del agua = 1 caloría gramo / °C = 4186 J kg /°C
- ΔT es la diferencia de temperaturas entre la temperatura promedio del agua y la ambiental.

Al tener ya el dato sobre el calor aceptado y el calor recibido de cada uno de los sistemas puede calcularse la eficiencia mediante el cociente entre el calor aceptado y el calor recibido. Este cociente debe ser siempre menor a 1 y representa el porcentaje de aprovechamiento de la energía que ha sido recibida por el sistema de aclimatamiento de piscinas. Los números mayores son los más eficientes. Dicha eficiencia aparece en la tabla I,

La eficiencia calculada para ciertos sistemas de calefacción solar parece ser demasiado elevada en comparación con sistemas que aparentemente son más efectivos, sin embargo se debe a que los datos se recolectaron en diferentes meses del año, afectando en el cálculo la temperatura ambiente.

En dicha tabla aparece el nombre grado efectivo, el cual corresponde a la diferencia de temperaturas lograda entre el agua de la piscina de pruebas y la temperatura ambiental por cada 1,000 calorías del calor recibido.

Es decir, el cociente entre la diferencia de temperaturas y 1,000 calorías del calor recibido<sup>12</sup> Esta información nos indica cuánto subirá la temperatura del agua por cada 1,000 calorías del calor recibido.

Dicha información resulta útil para calcular la temperatura que puede lograrse con un sistema de calefacción solar en particular, ya que partiendo de la cantidad de calor que se recibe en un lugar donde se desea ubicar un colector solar y multiplicando esta cantidad por el grado efectivo y el área del colector obtendremos como resultado la temperatura máxima que podemos obtener en la piscina a calentar.

**Tabla I. Eficiencia de los sistemas para calefacción de piscinas**

| <b>Sistema para calefacción de albercas</b>                               |    | <b>Eficiencia</b> | <b>Grado efectivo</b> |
|---|----|-------------------|-----------------------|
| <b>Pasivos</b>  |    |                   |                       |
| Piscina sin cubierta  |    | 12.22-31.19       | 3.06-7.16             |
| Cubierta solar  |    | 17.7-38.01        | 4.06-8.72             |
| Cubierta y contracubierta   |    | 19.31-42.06       | 4.43-9.65             |
| Color de fondo y paredes  |    | 9.54-25.87        | 2.19-5.94             |
| Color de fondo y paredes con cubierta solar                               |    | 24.1-40.5         | 5.53-9.3              |
| Color de fondo y paredes con doble cubierta                               |    | 52.57-67.78       | 12.1-15.6             |
| <b>Activos</b>  |    |                   |                       |
| Espiral colectora al desnudo  |    | 17.17-34.52       | 3.85-7.74             |
| Espiral colectora con aislamiento y cubierta                              |    | 30.42-39.11       | 6.82-8.77             |
| Espiral colectora entre loza de concreto                                  |    | 24.26-25.57       | 5.5-5.8               |
| <b>Combinados</b>   |    |                   |                       |
| Espiral colectora al desnudo con cubierta en el tanque                    |    | 55.94-70.05       | 12.5                  |
| Espiral colectora con aislamiento y cubierta con cubierta sobre el tanque | 43 |                   | 9.6                   |
| Poliducto en loza con cubierta sobre el tanque                            |    | 27.53-45.05       | 6.25-10.2             |
| Poliducto en loza con aislamiento y cubierta con cubierta sobre el tanque |    | 20.39-47.35       | 4.63-10.7             |





## **6. SISTEMA ÓPTIMO PARA CALEFACCIÓN DE PISCINAS BASADO EN DATOS RECABADOS**

Como se mencionó antes el sistema óptimo para uso en piscinas será aquel que tenga una buena eficiencia, grado efectivo elevado, gastos de funcionamiento y de adquisición no muy elevados, requiera mínimo mantenimiento y logre desarrollar las temperaturas deseadas del agua

Como se puede observar en la tabla I los sistemas combinados activo – pasivo, los sistemas activos, y los sistemas pasivos de color de fondo con una y 2 cubiertas tienen alta eficiencia y grado efectivo aceptable. Cada uno presenta ciertas ventajas y desventajas, las cuales se han tratado en la descripción del sistema correspondiente.

Para los sistemas combinados y los sistemas activos el inconveniente es el consumo de energía eléctrica, que hacen al sistema costoso en gastos de funcionamiento, el balance adecuado del sistema posiblemente se logre con un sistema combinado activo – pasivo, ya que por sus características tiene menor pérdida de calor y por lo tanto mejor retención del calor atrapado. Debido al sistema pasivo de una cubierta, el calor atrapado no se liberará tan rápidamente al ambiente aunque el sistema activo no esté en funcionamiento.

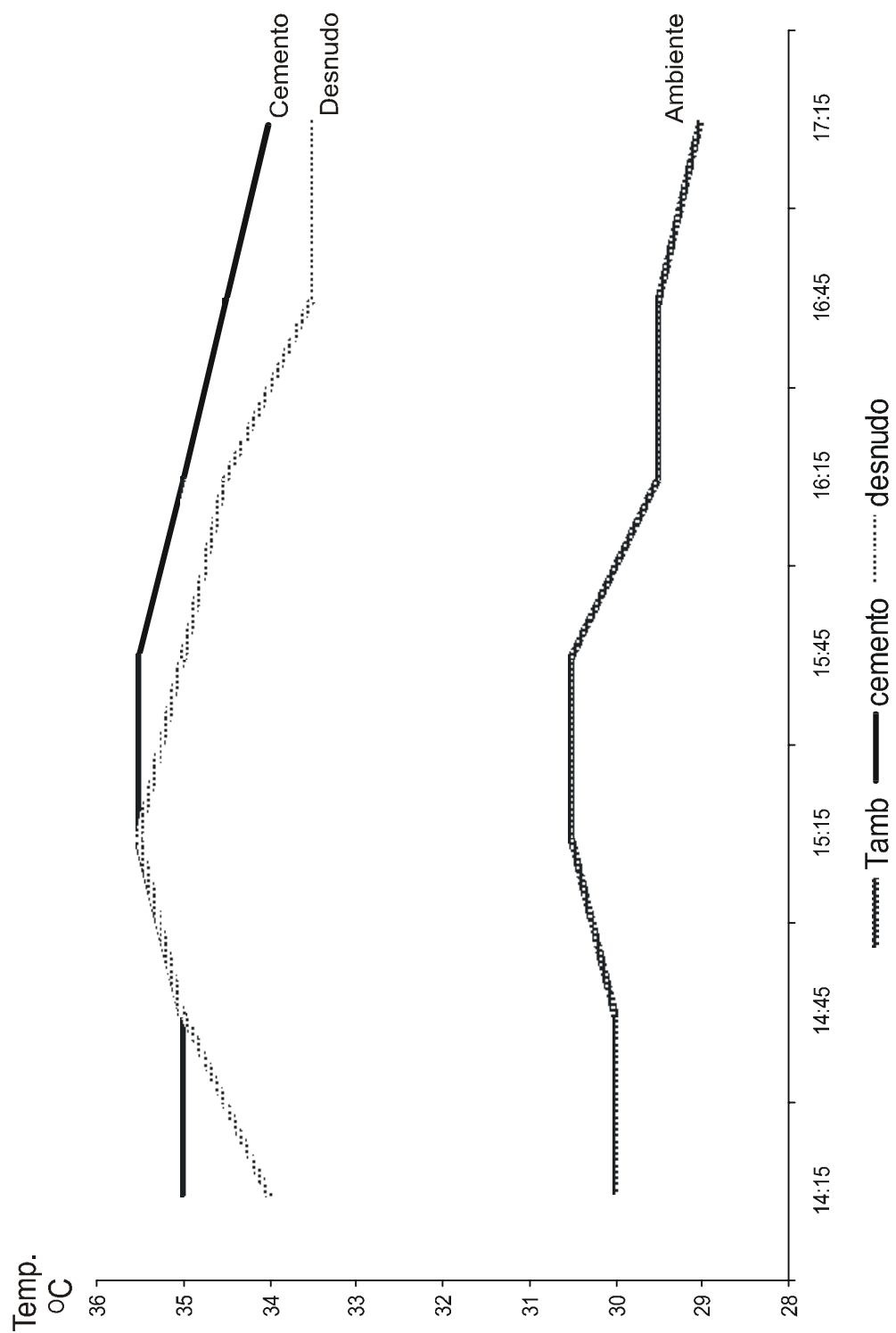
Los sistemas pasivos tienen más inconvenientes que los activos y los combinados, por lo que no se recomiendan para uso continuo en piscinas. El sistema recomendado para uso prolongado en piscinas es el sistema combinado de colector de loza de concreto y cubierta sobre el tanque.

Las razones son por su duración y por la facilidad de ocultarlo y darle otro uso como de acera o cancha polideportiva. Aunque la comparación con el colector de poliducto al desnudo lo coloque en segunda posición, no es fácil compararlo, debido a que no se tienen 2 días iguales, es decir, con la misma insolación y mismas condiciones atmosféricas.

Para eliminar esta duda se procedió a colocar ambos tipos de colectores solares, funcionando simultáneamente y graduados al mismo caudal. La gráfica lograda con los datos obtenidos aparece en la figura 14. En dicha gráfica aparecen la temperatura ambiente y la temperatura del agua lograda con ambos colectores. La temperatura del agua lograda con el colector de loza de concreto es apenas un poco mayor que la lograda con el colector de poliducto al desnudo.

Dicha prueba se realizó el día 15 de abril de 2003, en horas de la tarde, para permitir que ambos colectores calentaran lo suficiente. Se pusieron en funcionamiento durante 2 horas y se registraron la insolación, temperatura ambiente y temperatura de salida de cada colector. El área bajo la curva de temperatura del agua de salida del colector en loza de concreto es 1.5 unidades mayor que la del colector al desnudo. Es aquí donde se sostiene que el colector recomendado es el de loza de concreto, sin embargo cada usuario puede evaluar sus condiciones económicas para decidir sobre cuál sistema de calefacción usar.

Figura 14. Comparación colector en loza - colector desnudo.



Tomada el día 15 de abril de 2003.



## CONCLUSIONES

1. La mejor opción para aclimatar el agua de una piscina es hacer uso de la energía renovable, ya que no produce contaminación ni deterioro al medio ambiente, además de ser bastante eficiente.
2. Para la calefacción solar de piscinas existen 2 tipos, la activa y la pasiva. La primera puede emplear alta o baja tecnología. Para un proceso de calefacción de agua para piscina un sistema activo de baja tecnología es suficiente para lograr las temperaturas deseadas.
3. Los sistemas pasivos por sí solos no son capaces de aumentar la temperatura del agua a la temperatura deseada. Los sistemas activos son capaces pero tienen pérdidas de calor que pueden reducirse combinando ambos sistemas de calefacción y hacer el sistema más eficiente.
4. Entre los sistemas activos de baja tecnología, el sistema de calefacción de colector entre losa de concreto resulta ser una de las opciones más atractivas, ya que su costo inicial no es tan alto como un sistema activo de alta tecnología; es fácil de construir y ocultar y puede dársele otros usos, sin que esto afecte en su desempeño.
5. La eficiencia y el grado efectivo son números que nos sirven de referencia para poder evaluar y comparar los distintos sistemas para climatizar piscinas. Sin embargo, la selección del sistema depende tanto de los recursos disponibles como del criterio del propietario de la piscina a climatizar.



## RECOMENDACIONES

1. Hacer uso de energías renovables y sustituir las no renovables por procesos alternativos, que conlleven el uso de estas energías o de procesos mejorados, para así reducir las emisiones de gases contaminantes y en general el deterioro de nuestro medio ambiente.
2. Si se desea climatizar el agua de una piscina se debe tener en cuenta el color con que se pintará la misma, ya que los colores claros tienden a reflejar la energía solar, por lo que se recomienda pintarla de color azul o verde, o simplemente de color cemento, ya que con ésto se obtendrá una ganancia extra de calor en el tanque. Vea el anexo 1.
3. Para el uso de colectores de baja tecnología, hacer uso del colector entre loza de concreto, ya que su eficiencia es similar a los otros colectores, pero es mejor en prestaciones ya que puede dársele otros usos y puede ocultarse de mejor manera.
4. Para la calefacción de piscinas hacer uso de los sistemas combinados, ya que reducen las pérdidas de calor, ahorrando energía y haciendo los sistemas de calefacción mejores y más eficientes. Además de representar un ahorro en el uso de la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del sistema activo, ya que retienen el calor almacenado en el agua de la piscina.





## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1.

Otto Raúl de León. Docente de la escuela de ingeniería química. USAC. noviembre de 2002. Comunicación personal.

2.

David Gudiño Ayala. **Almacenamiento de energía**. (México: Iteso). p. 2

3.

Otto Raúl de León, **op cit.**,

4.

Juan José Hermosillo. **Una justificación al estudio de la energía solar**. (México: Iteso). p. 5.

5.

Gudiño, **op. cit.** , p. 2

6.

Otto Raúl de León, **op. cit.**,

7.

Miryam Mendoza Ramírez. **Acondicionamiento calorífico de albercas**. (México: Iteso). p. 2.

8.

Otto Raúl de León, **op. cit.**,

9.

Ramírez, **op. cit.** p. 1

10.

Otto Raúl de León, **op cit.**,

11.

**Loc. cit.**

12.

**Loc. cit.**



## BIBLIOGRAFÍA

1. Careless, Jennifer. **Energía renovable**. México, Eddimex, s.a. 150 pp.
2. Centro de comercio internacional **Estudio de mercado. Equipo de producción y transformación de energías no tradicionales**. (folleto). Ginebra, UNCTAD/GATT, 1986.
3. Montgomery, Richard H. **Energía solar**. s.l., Argentina, Limusa, 1986. 350 pp.



## ANEXO 1

### Espectro electromagnético

|                  | Color    | Longitud de onda<br>( X 10 <sup>-10</sup> m) |
|------------------|----------|--|
| Espectro visible | rojo     | 6300-7600                                    |
|                  | naranja  | 5900-6300                                    |
|                  | amarillo | 5600-5900                                    |
|                  | verde    | 4900-5600                                    |
|                  | azul     | 4500-4900                                    |
|                  | violeta  | 3800-4500                                    |

FUENTE: **Miller y Augustine**, Química Básica. pp. 157

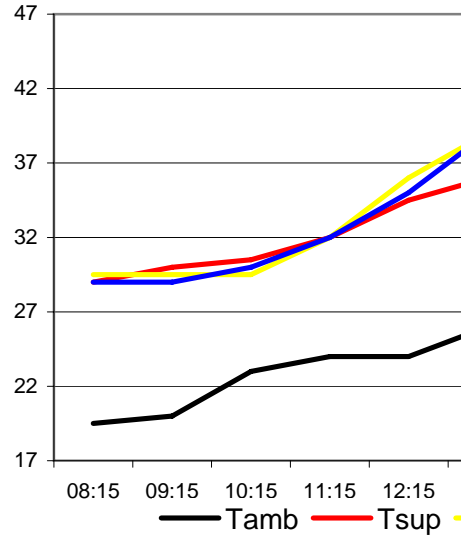
## Apéndice 13

### Poliducto en loza con aislamiento y cubierta con cubierta sc

Poliducto en loza (12.5lt/min) continuo  
domingo 9/03/2003

| Hora  | T amb. | T tanque en super | T tanque al medio | T tanque al fondo | Insola. | Insola real | prom  |
|-------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|-------------|-------|
| 08:15 | 19.5   | 29                | 29.5              | 29                | 25      | 37.5        | 29.17 |
| 09:15 | 20     | 30                | 29.5              | 29                | 40      | 60          | 29.50 |
| 10:15 | 23     | 30.5              | 29.5              | 30                | 54      | 81          | 30.00 |
| 11:15 | 24     | 32                | 32                | 32                | 62.5    | 93.75       | 32.00 |
| 12:15 | 24     | 34.5              | 36                | 35                | 61      | 91.5        | 35.17 |
| 13:15 | 26     | 36                | 39                | 39                | 56      | 84          | 38.00 |
| 14:15 | 27.5   | 38                | 41                | 42                | 50      | 75          | 40.33 |
| 15:15 | 29     | 39                | 41                | 42                | 35      | 52.5        | 40.67 |
| 16:15 | 29     | 40                | 40                | 40                | 22.5    | 33.75       | 40.00 |
| 17:15 | 24.5   | 39                | 40                | 39                | 0       | 0           | 39.33 |
|       | 24.65  | 34.80             | 35.75             | 35.70             |         | 609         |       |

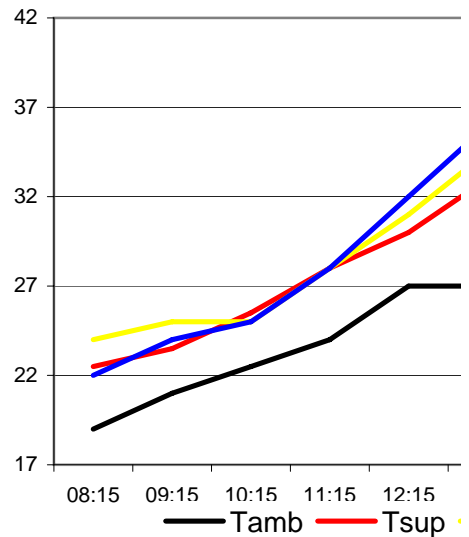
Día con cielo nublado a primera hora y despejado el resto del día con viento ligero con cambio a moderado.



Poliducto en loza (12.5lt/min) continuo  
jueves 20/03/2003

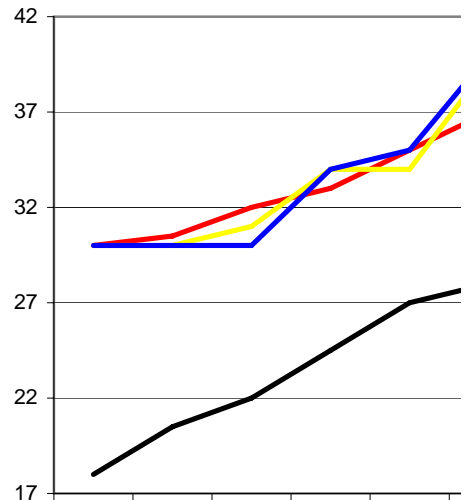
| Hora  | T amb. | T tanque en super | T tanque al medio | T tanque al fondo | Insola. | Insola real | prom  |
|-------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|-------------|-------|
| 08:15 | 19     | 22.5              | 24                | 22                | 20      | 30          | 22.83 |
| 09:15 | 21     | 23.5              | 25                | 24                | 45      | 67.5        | 24.17 |
| 10:15 | 22.5   | 25.5              | 25                | 25                | 55      | 82.5        | 25.17 |
| 11:15 | 24     | 28                | 28                | 28                | 65      | 97.5        | 28.00 |
| 12:15 | 27     | 30                | 31                | 32                | 70      | 105         | 31.00 |
| 13:15 | 27     | 33                | 34.5              | 36                | 60      | 90          | 34.50 |
| 14:15 | 28     | 35                | 37                | 38                | 50      | 75          | 36.67 |
| 15:15 | 28     | 37                | 37                | 37                | 35      | 52.5        | 37.00 |
| 16:15 | 28     | 37                | 39                | 37                | 14      | 21          | 37.67 |
| 17:15 | 28     | 37                | 36                | 37                | 0       | 0           | 36.67 |
|       | 25.25  | 30.85             | 31.65             | 31.6              |         | 621         |       |

Día con cielo despejado durante todo el día, con viento predominantemente ligero de norte a sur.

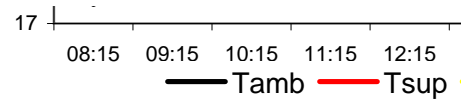


Poliducto en loza (12.5lt/min) continuo  
viernes 21/03/2003

| Hora  | T amb. | T tanque en super | T tanque al medio | T tanque al fondo | Insola. | Insola real | prom   |
|-------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|-------------|--------|
| 08:15 | 18     | 30                | 30                | 30                | 15      | 22.5        | 30     |
| 09:15 | 20.5   | 30.5              | 30                | 30                | 31      | 46.5        | 30.167 |
| 10:15 | 22     | 32                | 31                | 30                | 44      | 66          | 31     |
| 11:15 | 24.5   | 33                | 34                | 34                | 51      | 76.5        | 33.667 |
| 12:15 | 27     | 35                | 34                | 35                | 60      | 90          | 34.667 |
| 13:15 | 28     | 37                | 39.5              | 40                | 52.5    | 78.75       | 38.833 |
| 14:15 | 28     | 39                | 39.5              | 40                | 49      | 73.5        | 39.5   |
| 15:15 | 27.5   | 40                | 39.5              | 40                | 2.5     | 3.75        | 39.833 |
| 16:15 | 27.5   | 39                | 39                | 39                | 0       | 0           | 39     |
| 17:15 | 27     | 38                | 38                | 38                | 0       | 0           | 38     |
|       | 25     | 35.35             | 35.45             | 35.6              |         | 457.5       |        |

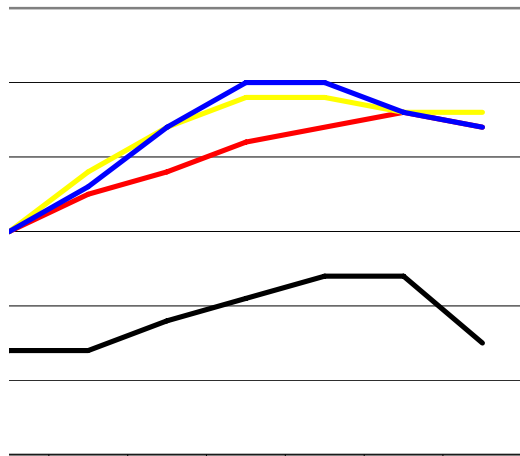


Día con cielo despejado por la mañana y nublado por la tarde con viento ligero de norte a sur.

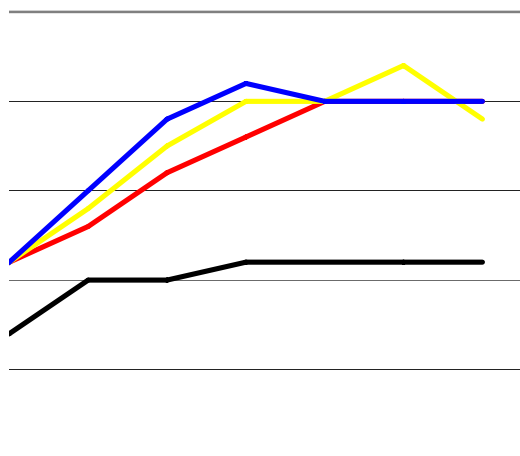




### obre el tanque



11:15 12:15 13:15 14:15 15:15 16:15 17:15  
— Tsup — Tmed — Tfon



11:15 12:15 13:15 14:15 15:15 16:15 17:15  
— Tsup — Tmed — Tfon

