

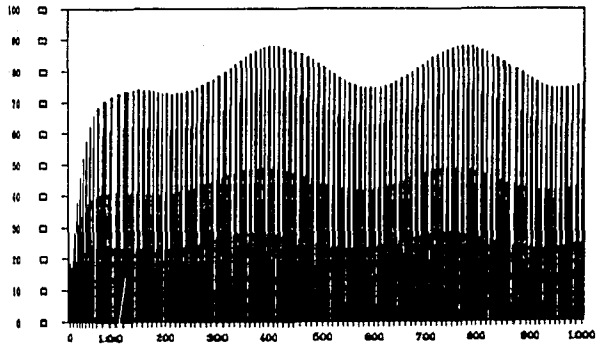
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

29/8

ESTANQUE SOLAR DE GRADIENTE SALINO

LUIS CORONA ALCANTAR



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

F I S I C O 1989

TESIS DE LICENCIATURA



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS

NOTACION	3
1. INTRODUCCION	6
2. ESTANQUE SOLAR DE GRADIENTE SALINO	8
2.1 DESCRIPCION.....	8
2.2 HISTORIA	8
2.3 PROCESOS FISICOS	9
2.4 MODELO MATEMATICO	12
2.5 APLICACIONES	15
3. BALANCE DE ENERGIA AGUA-ATMOSFERA EN EL ESTANQUE SOLAR	16
3.1 INTRODUCCION	16
3.2 RADIACION SOLAR	17
3.3 RADIACION DE LA ATMOSFERA	20
3.4 RADIACION DEL AGUA	22
3.5 PERDIDA DE CALOR POR EVAPORACION	23
a) EVAPORACION POR CONVECCION FORZADA	27
b) EVAPORACION POR CONVECCION LIBRE	28
c) EVAPORACION POR CONVECCION LIBRE Y FORZADA	29
3.6 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION DE CALOR SENSIBLE	30
3.7 ENERGIA PROVENIENTE DE LA ZONA INFERIOR	32
3.8 BALANCE DE ENERGIA	32
3.9 SOLUCION DEL MODELO	34

a) NUMERICAMENTE	34
b) ANALITICAMENTE	36
4. ANALISIS DE LA ZONA INTERMEDIA	41
4.1 PLANTEAMIENTO	41
4.2 SOLUCION	42
5. ACOPLAMIENTO DE LAS ZONAS SUPERIOR E INFERIOR	47
5.1 ZONA SUPERIOR	47
5.2 ZONA INFERIOR	49
6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	52
7. REFERENCIAS	65
8. ANEXOS	68

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi director de tesis, el M. en I. FELIPE MUÑOZ GUTIERREZ, el haber aceptado dirigir el presente trabajo, sus críticas y sugerencias fueron de gran utilidad.

También quiero agradecer a los profesores:

FIS. PLUTARCO ALEJANDRO GONZALEZ Y HERNANDEZ

DR. ANGEL MANZUR GUZMAN

DR. MARCO ANTONIO MARTINEZ NEGRETE

M. en C. AUGUSTO CABRERA MANUEL

el haber aceptado formar parte del Jurado.

" Debemos buscar la verdad sin importar adonde nos lleve. "

" Cuando [Kepler] descubrió que sus creencias de tanto tiempo no concordaban con las observaciones más precisas, aceptó los hechos desagradables, prefirió la dura realidad a sus más caras ilusiones y esto, hoy como ayer, es el corazón de la ciencia ."

CARL SAGAN

NOTACION

C : nubosidad, adimensional.

CA : calor específico del aire húmedo, en J/kg °C.

Cp : calor específico de la salmuera, en J/kg °C.

dt : días contados a partir del 21 de junio hasta el día en que se expone el estanque a la radiación solar, en días.

$\frac{de}{dz}$: gradiente de presiones de vapor, en mmHg/m.

$\frac{dT}{dz}$: gradiente de temperatura, en °C/m.

$\frac{dY}{dz}$: gradiente de fracción masa, en kg vapor/kg aire húmedo m.

e : presión de vapor, en mmHg.

ea : presión de vapor en el aire, en mmHg.

es : presión de vapor en la superficie del agua, en mmHg.

EH : difusividad turbulenta de calor, en m²/s.

EM : difusividad turbulenta de masa, en m²/s.

Ev : evaporación del agua, en kg/m²s.

f(C) : función de nubosidad.

f(Vv) : función del viento.

g : aceleración de la gravedad, m/s².

h : coeficiente de transferencia de calor, en W/m² °C.

h(Z) : función de transmitancia de la radiación, adimensional.

Hct) : radiación solar incidente, en J/m² día.

K : conductividad térmica de la salmuera, en J/día °C.

Kg : conductividad térmica del suelo, en J/día °C.

Ky : coeficiente de transferencia de masa en fracción masa, en kg vapor/m² s.

Pa : presión atmosférica local, en mmHg.

Qp : energía perdida hacia la atmósfera.

r : fracción reflejada de la radiación incidente.

t : tiempo, en días.

T_a : temperatura ambiente, en $^{\circ}\text{C}$.
 T_g : temperatura en el sumidero, en $^{\circ}\text{C}$.
 T_s : temperatura en la superficie del agua, en $^{\circ}\text{C}$.
 T_{av} : temperatura virtual de una capa de vapor en contacto con la superficie del agua, en $^{\circ}\text{K}$.
 T_{sv} : temperatura virtual del aire, en $^{\circ}\text{K}$.
 $T_I(t)$: temperatura en la zona I al tiempo t , en $^{\circ}\text{C}$.
 $T_{II}(Z,t)$: temperatura en la zona II a la profundidad Z y al tiempo t , en $^{\circ}\text{C}$.
 $T_{III}(t)$: temperatura en la zona III al tiempo t , en $^{\circ}\text{C}$.
 V_v : velocidad del viento, en m/s .
 ω : frecuencia angular, en radianes/día .
 Y : fracción masa del vapor, en $\text{kg vapor/kg aire húmedo}$.
 Y_a : fracción masa del vapor en el aire.
 Y_s : fracción masa del vapor en la superficie del agua.
 Z : profundidad, en m .
 Z_I : profundidad de la zona I, en m .
 Z_{II} : profundidad de la zona II, en m .
 Z_{III} : profundidad de la zona III, en m .
 Z_g : profundidad del sumidero, en m .
 ΔZ_I : espesor de la zona I, en m .
 ΔZ_{II} : espesor de la zona II, en m .
 ΔZ_{III} : espesor de la zona III, en m .
 α_m : difusividad molecular de masa, en m^2/s .
 α_r : difusividad molecular de calor, en m^2/s .
 β_0 : constante de Bowen, adimensional.
 ϵ_a : emitancia promedio de la atmósfera, adimensional.
 η : fracción de la radiación penetrante, adimensional.
 ρ : densidad de la salmuera, en kg/m^3 .
 ρ_a : densidad del aire húmedo, en kg/m^3 .

σ : constante de Stefan-Boltzmann, en $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4$.

$\varphi(Z, t)$: energía penetrante a una profundidad Z .

ϕ_{sol} : radiación solar, en J/m^2 día.

ϕ_{atm} : radiación atmosférica, en J/m^2 día.

ϕ_{agua} : radiación del agua del estanque, en J/m^2 día.

ϕ_{eva} : calor transferido por evaporación, en J/m^2 día.

ϕ_{conv} : transferencia de calor sensible, en J/m^2 día.

ϕ_{ai} : radiación atmosférica incidente, en J/m^2 día.

ϕ_{ar} : radiación atmosférica reflejada, en J/m^2 día.

ϕ_{i} : energía proveniente de la zona II, en J/m^2 día.

ϕ_{g} : energía perdida hacia el sumidero, en J/m^2 día.

1. INTRODUCCION

El desarrollo de fuentes alternativas de energía es, hoy en día, una tarea impostergable; el uso de energéticos tradicionales está llegando a su fin, pues su agotamiento ocurrirá en un futuro cercano y aún no existe consenso sobre cuales deberían de ser las fuentes alternativas de energía que deben desarrollarse.

Aunque la energía solar se ha presentado desde hace tiempo como una opción atractiva, su desarrollo científico y tecnológico está apenas en su fase inicial. El aprovechamiento óptimo de la energía solar se ha enfrentado a dos problemas fundamentales: ¿ cómo captar la mayor energía posible ? y ¿ cómo almacenarla en forma eficiente y rentable ?.

Tradicionalmente se ha buscado resolver estos problemas mediante el perfeccionamiento de celdas y acumuladores solares, sin embargo el perfeccionamiento no ha logrado abatir los costos, los cuales son todavía muy altos, impidiendo la generalización de la tecnología solar.

A diferencia de las celdas y acumuladores, que son ampliamente conocidos, existe otra forma de aprovechamiento de la energía solar a la que no se ha prestado la atención debida, nos referimos a los **Estanques Solares**.

Un estanque solar posee la cualidad de captar y almacenar la energía recibida en una misma entidad, lo cual representa una ventaja sobre las celdas y acumuladores. El estanque solar abre, así, grandes perspectivas en el aprovechamiento de la energía solar de un modo más competitivo.

Ahora lo describiremos brevemente. Un estanque solar es un

depósito de agua con una salinidad variable; consiste, generalmente, de tres zonas horizontales: una zona superior con nula salinidad; una zona intermedia donde la salinidad aumenta progresivamente con la profundidad; finalmente una zona inferior con una salinidad constante y densidad mayor que las demás.

El estudio de los estanques solares se inició a principios de siglo, desde entonces los modelos matemáticos que describen su comportamiento han mejorado notablemente.

Es en este contexto que el presente trabajo se plantea un doble propósito, por un lado promover el conocimiento y el estudio del Estanque solar dada su gran importancia; por otro, contribuir en el mejoramiento de los modelos matemáticos que describen su funcionamiento.

Hasta ahora los modelos propuestos han centrado su atención en la zona inferior, zona donde se almacena la energía recibida; nuestro trabajo plantea y resuelve por primera vez un modelo matemático que describe el comportamiento térmico de las tres zonas del estanque; se obtiene, así, un perfil de temperaturas a cualquier tiempo y profundidad.

La exposición se inicia con un poco de historia sobre el estanque, en el capítulo dos, a la vez que describimos brevemente el que consiste; en el capítulo siguiente, analizamos el comportamiento térmico de la zona superior sin considerar la influencia de las dos zonas restantes. En los capítulos 4 y 5 se plantea y resuelve el modelo matemático para las tres zonas del estanque; finalmente, en el capítulo seis, se analizan los resultados obtenidos.

2. ESTANQUE SOLAR DE GRADIENTE SALINO

2.1 DESCRIPCION

Los estanques solares de gradiente salino son depósitos de agua con una salinidad que varía con la profundidad. Consisten, generalmente, de tres zonas: una capa superficial relativamente delgada (alrededor de 0.3m), homogénea y convectiva; una zona intermedia no convectiva con gradientes de salinidad y temperatura, con un espesor aproximado de 1 m; finalmente, en el fondo, una zona convectiva. La profundidad promedio de los estanques solares oscila entre los 2 y 3 metros.

La zona no convectiva transfiere calor únicamente por conducción, la radiación térmica no se produce ya que el agua es opaca a la radiación para las temperaturas de operación del estanque. Los estanques solares tienen la ventaja de ser al mismo tiempo captadores y almacenes de la energía recibida. Dado que un espesor de un metro de agua no convectiva es aproximadamente equivalente a seis centímetros de material aislante, la zona de gradiente salino aísla a la zona inferior, donde se almacena la energía. La capacidad de almacenamiento depende de la profundidad y puede variar ampliamente.

2.2 HISTORIA

El primer estudio sobre estanques solares fue publicado por

Kalecsinsky en 1902 [2], él observó que varios lagos de Transilvania llegaban a tener temperaturas hasta de 70°C debido a la radiación solar. Su estudio se mantuvo olvidado hasta que fueron propuestos como captadores y almacenes de la energía en 1948 por R. Bloch en Israel, iniciándose su estudio formal 10 años después. La teoría y la física del estanque solar fue formulada durante los primeros años de la década de los sesentas; una nueva teoría que extiende su aplicación a grandes depósitos de agua salada, como el mar Muerto, fue desarrollada al inicio de los setentas.

El primer estanque solar con un área de 600 m^2 en el mar Muerto entró en operación en 1960, obteniéndose temperaturas de hasta 96°C en el fondo. Dos estanques solares más fueron construidos antes que el proyecto de estanques solares fuera abandonado. En octubre de 1973, al inicio de la crisis energética, el proyecto de estanques solares fue reiniciado en Israel.

Los estanques solares han sido estudiados, aunque limitadamente, en Chile [3], la Unión Soviética [4,5], Australia, India y Canadá. Recientemente Argentina, Francia y España han realizado estudios sobre el tema. Los estudios sobre estanques solarea en los E.U.A se iniciaron en la Universidad Estatal de Ohio con la investigación de sistemas de almacenamiento de calor. Fueron realizados estudios teóricos y experimentales en 1974 [6,7]; un estanque solar de 200 m^2 se encuentra en operación desde 1975 [8,9] y un estanque solar de 2000 m^2 fue construido para la ciudad de Miamisburg, Ohio.

También la Universidad de Utah, la Universidad Estatal de Iowa y el Instituto de Investigación de Zonas Desérticas en Nevada han construido estanques solares.

2.3 PROCESOS FISICOS

La utilidad de los estanques solares para la captación y almacenamiento de energía solar depende de la proporción entre la energía captada, el calor perdido y la capacidad de almacenamiento. La utilidad también depende del costo de mantenimiento de la zona no convectiva, la cual provee el aislamiento térmico.

La distribución de la energía solar absorbida, el calentamiento resultante en el estanque y el intercambio de calor con el subsuelo han sido discutidos por Tabor [10], Weinberger [11] y por Rabl y Nielsen [12]. La radiación solar incidente que es absorbida por las capas de agua, es una función complicada debido a la variación del coeficiente de absorción con la longitud de onda. Muy poca radiación de longitud de onda mayor que $0.7 \mu\text{m}$ penetra más allá de 1m de la superficie del agua. Una gráfica de la fracción de energía total transmitida a una profundidad Z de la superficie es mostrada en la fig. 2.1; la profundidad es tomada como $Z/\cos(\theta_r)$, donde $\theta_r = 20.74^\circ\text{C}$ (independiente del sitio donde operará el estanque), tomando así un valor promedio para la radiación incidente normal.

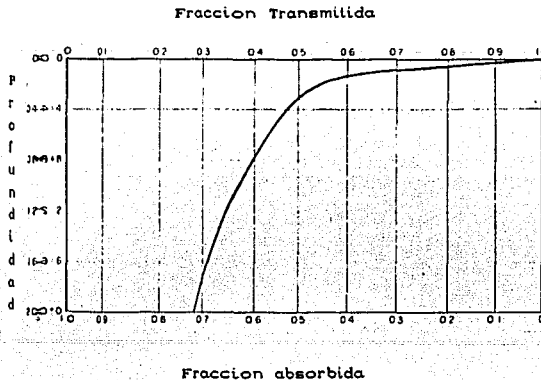


fig. 2.1 Fracción de energía transmitida a la profundidad Z .

La curva de energía transmitida determina el funcionamiento del estanque solar, ya que la energía disponible para ser utilizada a una profundidad Z es justamente la fracción de energía transmitida a esa profundidad. El funcionamiento depende entonces críticamente de la constitución de cada una de las capas.

La capa superior absorbe la radiación incidente pero contribuye muy poco a su retención. Es convectiva y casi isotérmica para periodos en los cuales hay enfriamiento en la superficie, transmitiendo calor hacia la superficie por convección; pero es tibia en la superficie y no convectiva cuando la superficie está fuertemente calentada. Su comportamiento es totalmente desfavorable, transfiere calor hacia la superficie por convección pero únicamente por conducción hacia el interior; debe ser tan delgada como sea posible.

En la zona intermedia se tiene un gradiente salino, es entonces no convectiva y sirve como aislante de la zona de almacenamiento. Mantiene la diferencia de temperaturas entre la zona superficial y la zona de almacenamiento. La diferencia de temperaturas se debe al gradiente de temperaturas provocada por el gradiente salino, a la conducción del calor hacia arriba proveniente de la zona de almacenamiento y a la radiación penetrante.

En la zona no convectiva se establece una estabilidad gravitacional como resultado de los gradientes salino y de temperatura, de tal forma que la densidad en cualquier punto se incrementa con la profundidad. Ha sido mostrado [11] que el gradiente de densidad real debe ser un poco mayor que el requerido para la estabilidad dinámica para evitar que las oscilaciones producidas por alguna perturbación arbitraria destruyan la zona de gradiente.

Finalmente, la zona más profunda es convectiva y en ella se almacena la energía, su espesor está caracterizada por un mínimo necesario dependiente de la radiación incidente recibida en la zona, del gradiente de salinidad en la zona no convectiva y de la pérdida de energía hacia el subsuelo, de tal manera que el aumento en la temperatura no provoque un gradiente de temperatura en la zona no convectiva que exceda los límites de estabilidad dados por el gradiente salino.

2.4 MODELO MATEMATICO

Dado que los estanques solares operan continuamente, los cálculos de su funcionamiento se simplifican notablemente; no hay necesidad de especificar el intervalo de tiempo en el cual el sistema almacena energía ya que esto siempre ocurre. La energía almacenada en un intervalo arbitrario de tiempo depende así únicamente del valor promedio de la radiación incidente durante ese intervalo. Es fácil mostrar que si todas las cantidades relevantes: radiación solar incidente, temperatura en la superficie y radiación por transmisión en el estanque, son periódicas con un periodo común, entonces para un valor medio de la extracción de calor, la temperatura media de extracción puede ser calculada exactamente de los valores medios de la radiación solar, de la temperatura en la superficie y de la radiación por transmisión.

La energía absorbida aparece en el estanque como calor. Una fracción η de la radiación penetrante es removida como calor utilizado. En nuestro análisis el calor, removido se hace lo más

cerca posible del fondo del estanque. Si hacemos la fracción de calor removido igual a ηI , donde I es el flujo de radiación penetrante a una profundidad Z dentro de la zona de almacenamiento, entonces el flujo de radiación penetrante abajo de este nivel es menor que el calor removido ηI , creándose una diferencia de temperaturas que provoca una conducción de calor hacia abajo, mientras que la radiación a cualquier nivel arriba de Z excede el calor removido, el exceso es llevado a la superficie por conducción. De lo anterior se sigue que la temperatura debe decrecer arriba de Z por conducción de calor hacia arriba y desciende abajo de Z por conducción de calor hacia abajo. Exactamente a la profundidad Z la radiación penetrante y el calor removido se encuentran balanceados y no hay conducción de calor, manteniéndose la temperatura constante. Así la temperatura se incrementa desde la superficie del estanque hasta su valor máximo a la profundidad Z y decrece a partir de Z con la profundidad.

Considerese el problema en una dimensión, es decir, supóngase que las dimensiones laterales del estanque son mucho mayores que su profundidad. Las ecuaciones para cada una de las regiones son entonces [13]:

a) Para la zona superior convectiva se tiene un fluido perfectamente mezclado, entonces:

$$\rho C_p \Delta Z_1 \frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial T}{\partial Z} \Big|_{Z_1} - Q_p + H(1 - r) (1 - h(Z_1)) \quad (2.1)$$

donde: $H(1 - r) (1 - h(Z_1))$: energía solar recibida en la zona a la profundidad Z_1 .

Q_p : energía perdida hacia la atmósfera.

$K \frac{\partial T}{\partial Z} \Big|_{Z_1}$: conducción del calor desde la zona intermedia.

b) En la zona no convectiva existe un gradiente salino, la temperatura depende de la profundidad, entonces:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left(K \frac{\partial T}{\partial Z} \right) - H(1 - r) \frac{dh(Z)}{dZ} \quad (2.2)$$

donde $H(1 - r) \frac{dh(Z)}{dZ}$ es la radiación solar absorbida por el agua.

c) Para la zona de almacenamiento:

$$\rho C_p (Z_3 - Z_2) \frac{\partial T}{\partial t} = K_t \frac{\partial T}{\partial Z} \Big|_{Z_3} - K \frac{\partial T}{\partial Z} \Big|_{Z_2} + H(1 - r)h(Z_2) - U \quad (2.3)$$

donde: $H(1 - r)h(Z_2)$: radiación solar absorbida en la zona.

$K_t \frac{\partial T}{\partial Z} \Big|_{Z_3}$: pérdida de calor hacia el subsuelo.

$K \frac{\partial T}{\partial Z} \Big|_{Z_2}$: conducción de calor hacia la zona superior.

Generalmente se cree que la única aplicación de los estanques solares es la generación de energía eléctrica, sin embargo existen muchas más, por ejemplo:

- a) Desalación de agua.
- b) Producción de sal.
- c) Calentamiento de aire.
- d) Calefacción de edificios.
- e) Secado solar.
- f) Enfriamiento de edificios.
- g) Cocinado de alimentos.

Cada una es detallada en la referencia [13].

3. BALANCE DE ENERGIA AGUA-ATMOSFERA EN EL ESTANQUE SOLAR

3.1 INTRODUCCION

El comportamiento térmico de un estanque solar está determinado por los flujos de energía recibidos del medio ambiente, así como de las pérdidas de energía por flujo hacia el exterior. Ahora haremos un análisis del comportamiento térmico de la zona superficial del estanque realizando un balance de energía agua-atmósfera, donde la influencia de las zonas inferiores será tomada en cuenta únicamente como una energía promedio conducida hasta la zona superior.

La zona superficial recibe energía por: radiación solar de onda corta, ϕ_{sol} ; radiación atmosférica de onda larga, ϕ_{atm} y el calor proveniente de la zona inferior ϕ_i . Las pérdidas de energía se deben a: la radiación de onda larga emitida por el agua del estanque, ϕ_{agua} ; el calor transferido por evaporación, ϕ_{eva} y la pérdida de calor por transferencia de calor sensible, ϕ_{conv} . No se toma en cuenta la energía contenida en la lluvia precipitada y en el agua evaporada, tampoco el calor perdido por las orillas del estanque, su valor es de mucho menor orden. Los diferentes mecanismos son ilustrados en la fig. 3.1.

$$\phi = \phi_{sol} + \phi_{atm} + \phi_i - \phi_{agua} - \phi_{eva} - \phi_{conv} \quad (3.1)$$

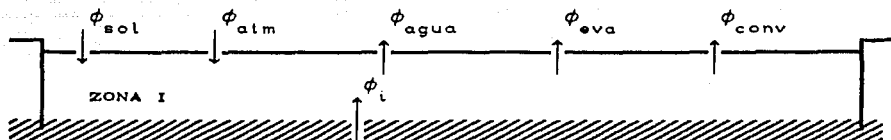


fig.3.1 Balance de energía en la zona I.

9.2 RADIACION SOLAR

El Sol se comporta aproximadamente como un cuerpo negro que se encuentra a una temperatura de 5762°K , emitiendo radiación con un máximo en $0.5 \mu\text{m}$ de longitud de onda. La cantidad de radiación solar recibida sobre una superficie de área unitaria normal a la radiación y fuera de la atmósfera terrestre se llama constante solar; varía durante el año pues depende de la distancia Tierra - Sol, pero puede tomarse como valor promedio 1353 W/m^2 .

La radiación solar de onda corta ($0.3\mu\text{m}-4.0\mu\text{m}$) incidente en la capa exterior de la atmósfera terrestre es transmitida a la superficie de la tierra a través de la atmósfera. Aún a cielo despejado, la atenuación de la radiación ocurre debido a procesos de dispersión y absorción de los componentes de la atmósfera. La presencia de nubes provoca una atenuación mayor de la radiación. El cálculo de la radiación solar que penetra la superficie del agua debe tomar en cuenta: la radiación solar recibida en la capa exterior de la atmósfera, la radiación solar recibida en la superficie del agua a cielo despejado y nublado, así como la radiación solar reflejada en la superficie del agua.

Cada uno de los términos anteriores es generalmente una función muy complicada pues involucra un gran número de variables, como son: la constante solar, la distancia Tierra - Sol, la posición del Sol a lo largo del año en el firmamento, que a su vez depende de la latitud; también se debe tomar en cuenta la dispersión y absorción de la radiación por cada uno de los componentes de la atmósfera, la nubosidad, etc.

Existen en la literatura [14] expresiones para cada uno de los términos anteriores, pero no serán usados en el presente trabajo ya que la ecuación diferencial obtenida con ellos sería poco manejable. Aquí utilizaremos las expresiones utilizadas por Rabl y Nielsen [12] para calcular la energía penetrante a una profundidad Z:

$$\varphi(Z, t) = H(t)(1 - r)h(Z) \quad (3.2)$$

donde $H(t)$: radiación incidente en la superficie.
 r : fracción reflejada de la radiación incidente.
 $h(Z)$: función de transmitancia de la radiación.

En el método de Rabl-Nielsen $H(t)$ es el promedio global de la radiación solar incidente por unidad de área horizontal en la superficie:

$$H(t) = \bar{H} + H_0 \cos(w(t+dt)) \quad (3.3)$$

donde $dt=0$ el 21 de junio y w es la frecuencia angular correspondiente a un periodo de un año. Las constantes \bar{H} y H_0 son calculadas experimentalmente para el lugar donde se instalará el estanque; existen datos calculados indirectamente para todos los puntos de la República Mexicana que no cuentan con una estación meteorológica [15,16,17]. Se han dado varias expresiones para la función de transmitancia $h(Z)$, aquí utilizaremos la propuesta por Bryant y Colbeck [28] por ser de gran simplicidad:

$$h(Z) = a - b \ln \left[\frac{Z}{\cos \theta_r} \right] \quad (3.4)$$

donde $a = 0.36$, $b = 0.08$ (Z en metros) y $\theta_r = 20.74^\circ$.

La expresión final para la radiación solar recibida a una profundidad Z es:

$$\phi_{sol} = \left[\bar{H} + H_0 \cos(w(t+dt)) \right] (1 - r) \left[a - b \ln \left[\frac{Z}{\cos \theta_r} \right] \right] \quad (3.5)$$

ϕ_{sol} : radiación de onda corta recibida del Sol, en J/m^2 día.

w : frecuencia angular, en radianes/día.

t : días contados a partir de iniciada la operación del estanque, en días.

r : fracción reflejada de la radiación incidente.

dt : días contados a partir del 21 de junio hasta el día en que se expone el estanque a la radiación solar, en días.

Z : profundidad, en m.

3.3 RADIACION DE LA ATMOSFERA

La radiación de onda larga emitida por la superficie terrestre es fuertemente absorbida por los componentes de la atmósfera, principalmente por el vapor de agua, ozono, dióxido de carbono y oxígeno. De acuerdo con la ley de Kirchhoff los constituyentes de la atmósfera emiten radiación en la misma proporción que la absorben.

La magnitud de la radiación atmosférica es generalmente más grande que la radiación solar recibida en la superficie del agua, siendo la segunda en importancia, únicamente superada por la radiación emitida por el agua. El análisis de la radiación tiene como punto de partida la ley de Stefan-Boltzmann:

$$\phi_{ai} = \epsilon_a \sigma T_a^4 \quad (3.6)$$

donde

ϕ_{ai} : radiación de la atmósfera a cielo despejado, en W/m^2 .

σ : constante de Stefan-Boltzmann ($5.68 \times 10^{-8} W/m^2 \text{ } ^\circ K^4$).

ϵ_a : emitancia promedio de la atmósfera.

T_a : temperatura ambiente, en $^\circ K$.

En apariencia la descripción es simple, sin embargo la determinación de la emitancia de la atmósfera no lo es. Se han propuesto varias fórmulas empíricas para la emisividad de la atmósfera, pudiéndose agrupar en dos categorías: las que asumen para ϵ_a una dependencia de la humedad relativa y la temperatura, y las que consideran a ϵ_a como una función únicamente de la temperatura. Una expresión sencilla para ϵ_a que depende únicamente de la

temperatura es dada por Swinbank [18,19]:

$$\epsilon_a = 9.37 \times 10^{-6} T_a^2 \cdot T_a \text{ en } ^\circ\text{K} \quad (3.7)$$

La fórmula de Swinbank ha sido ampliamente usada con muy buenos resultados en lugares tan distantes como Alaska y Australia, es muy recomendada para temperaturas mayores de 4°C .

La presencia de nubes aumenta la radiación atmosférica, su comportamiento es cercano al de un cuerpo negro; su efecto es tomado en cuenta incluyendo un factor que depende de la nubosidad. De las varias fórmulas propuestas, una relación sencilla y ampliamente usada fue sugerida por Bolz (Geiger 1965),

$$f(C) = 1 + k C^2 \quad (3.8)$$

donde k es una constante con valor de 0.17 (Wunderlich 1972) y C es la nubosidad, la cual debe ser determinada experimentalmente para el sitio donde operará el estanque. La radiación incidente sobre la superficie del agua es entonces:

$$\phi_{ai} = \epsilon_a \sigma T_a^4 f(C) \quad (3.9)$$

En promedio un 3% de la radiación atmosférica incidente es reflejada, la radiación reflejada es simplemente:

$$\phi_{ar} = 0.03 \phi_{ai} \quad (3.10)$$

Se puede ahora calcular la radiación atmosférica que penetra la

superficie del agua:

$$\phi_{atm} = \phi_{ai} - \phi_{ar} = 0.97 \phi_{ai}$$

$$\phi_{atm} = 5.11 \times 10^{-13} T_a^{\circ} (1 + 0.17 C^2)$$

$$\phi_{atm} = 4.415 \times 10^{-8} (T_a + 273.2)^{\circ} (1 + 0.17 C^2) \quad (3.11)$$

ϕ_{atm} : radiación atmosférica neta que se absorbe en el agua, en J/m^2 día.

C : nubosidad, adimensional.

T_a : Temperatura ambiente, en $^{\circ}C$.

Se puede calcular la temperatura ambiente mediante una relación ampliamente usada:

$$T_a = T_{ap} + T_{ao} \cos(wt + dt) - d_a \quad (3.12)$$

donde las constantes T_{ap} , T_{ao} y d_a son calculadas experimentalmente para el sitio donde operará el estanque.

3.4 RADIACION DEL AGUA

El agua emite radiación de onda larga ($6.8\mu m - 100\mu m$) y constituye la mayor componente en el intercambio de calor en la superficie. Puede ser fácilmente calculada dado que la emisividad del agua es conocida con bastante precisión. Estudios realizados por

Anderson [20] indican que la emisividad no es afectada por sólidos disueltos en el agua y cambia muy poco con la temperatura, él calculó un valor de 0.97 ± 0.005 :

$$\phi_{\text{agua}} = 4.743 \times 10^{-3} (T_s + 273.2)^4 \quad (3.13)$$

ϕ_{agua} : radiación emitida por el agua, en $\text{J/m}^2 \text{ día}$.

T_s : temperatura en la superficie del agua, en $^{\circ}\text{C}$.

3.5 PERDIDA DE CALOR POR EVAPORACION

La pérdida de calor por evaporación es la suma de la energía necesaria para la evaporación (proporcional al calor latente), y la energía contenida en la masa de agua evaporada (calor sensible); la magnitud de la segunda es despreciable con respecto a la primera y no será tomada en cuenta.

La evaporación desde una superficie de agua expuesta al medio ambiente puede ocurrir por convección forzada, provocada por algún agente externo, o por convección libre, provocada únicamente por fuerzas de flotación.

En la evaporación se presenta una transferencia de masa a través de un gas, el aire. La evaporación total está dada por la difusión molecular y turbulenta, así como por el vapor arrastrado por el movimiento global del aire húmedo. La evaporación queda entonces representada por la ecuación:

$$E_v = \frac{(C \alpha_M + E_M)}{1 - Y} \rho_A \frac{dY}{dz} \quad (3.14)$$

E_v : evaporación del agua, en $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$.

Y : fracción masa del vapor, en $\text{kg vapor}/\text{kg aire húmedo}$.

α_M : difusividad molecular de masa, en m^2/s .

E_M : difusividad turbulenta de masa, en m^2/s .

ρ_A : densidad del aire húmedo, en $\text{kg aire húmedo}/\text{m}^3$.

$\frac{dY}{dz}$: gradiente de fracción masa, en $\text{kg vapor}/\text{kg aire húmedo m}$.

La difusividad turbulenta no es fácil de calcular con exactitud, haciendo poco práctica la ecuación anterior. La transferencia de masa es entonces representada mediante una relación empírica:

$$(C \alpha_M + E_M) \rho_A \frac{dY}{dz} = K_y (Y_s - Y_a) \quad (3.15)$$

K_y : coeficiente de transferencia de masa en fracción masa, en $\text{kg vapor}/\text{m}^2\text{s}$.

Y_s : fracción masa del vapor en la superficie del agua.

Y_a : fracción masa del vapor en el aire.

sustituyendo, obtenemos:

$$E_v = \frac{K_y}{1 - Y_s} (Y_s - Y_a) \quad (3.16)$$

Podemos expresar la ecuación anterior en presiones de vapor utilizando para la fracción masa, la aproximación del gas ideal:

$$Y_s = 0.622 e_s / P_a \quad (3.17)$$

$$Y_a = 0.622 e_a / P_a \quad (3.18)$$

e_s : presión de vapor en la superficie del agua, en mmHg.

e_a : presión de vapor en el aire, en mmHg.

P_a : presión atmosférica local, en mmHg.

la ecuación se transforma en :

$$E_v = \frac{0.622 K_y}{(P_a - 0.622 e_s)} (e_s - e_a) \quad (3.19)$$

La presión de vapor de saturación es una función de la temperatura de la superficie del agua. Se han propuesto varias fórmulas empíricas, aquí utilizaremos la expresión debida a Murray [21]:

$$e_s = 162.9 \times 10^6 \exp\left(\frac{-4157}{T_s + 239}\right) \quad (3.20)$$

$$e_a = \left[\frac{hr}{100}\right] 162.9 \times 10^6 \exp\left(\frac{-4157}{T_a + 239}\right) \quad (3.21)$$

donde hr es la humedad relativa, en por ciento.

Para temperaturas en la superficie del agua menores que 50 °C podemos despreciar el término $0.622 e_s$ con respecto a P_a (representa menos del 8%), además definimos el coeficiente de transferencia de

masa en presiones parciales (kg vapor/m²s mmHg) como:

$$K_p = \frac{0.622K_y}{P_a} \quad (3.22)$$

entonces:
$$E_v = K_p(e_{s_1} - e_{a_1}) \quad (3.23)$$

Podemos ahora obtener el coeficiente de transferencia de calor mediante la relación de Lewis [22]:

$$C_A = \frac{h}{K_y} \quad (3.24)$$

h : coeficiente de transferencia de calor, en W/m² °C.

C_A : calor específico del aire húmedo, en J/Kg °C.

Mediante las ecuaciones (3.22) y (3.24) podemos determinar K_p, teniendo así una expresión completa para E_v. El calor latente de evaporación puede ser calculado mediante la expresión:

$$L_v = 2500 - 2.39T_s \quad \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \quad (3.25)$$

Finalmente obtenemos la energía perdida por evaporación multiplicando la evaporación por el calor latente de evaporación:

$$\phi_{\text{eva}} = L_v E_v \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad (3.26)$$

Es frecuente la utilización de relaciones empíricas dependientes de la velocidad del viento para la determinación de ϕ_{eva} :

$$\phi_{\text{eva}} = f(V_v)(e_s - e_a) \quad (3.27)$$

$f(V_v)$: función del viento, en $W/m^2 \text{ mmHg}$.

V_v : velocidad del viento, medido a 2m sobre el nivel del agua, en m/s.

Comparando ambas ecuaciones obtenemos:

$$f(V_v) = K_p E_v \quad (3.28)$$

a) EVAPORACION POR CONVECCION FORZADA

Las expresiones empíricas generalmente usadas en la determinación de $f(V_v)$ son del tipo:

$$f(V_v) = a + bV_v \quad (3.29)$$

donde a y b son constantes.

Marciano-Harbeck [18] proponen una ecuación que tiene buena relación con los datos experimentales de evaporación en Lago Hafner en Oklahoma, E. U. A.:

$$f(V_v) = 4.96V_v \quad (4.30)$$

en unidades de energía y a nivel del mar. Para cualquier presión barométrica (en mmHg) la expresión toma la forma:

$$f(Vv) = \frac{3769.6Vv}{Pa} \quad (3.31)$$

La energía perdida por convección forzada es entonces:

$$\phi_{eva} = \frac{3769.6Vv}{Pa} (e_s - e_a) \quad (3.32)$$

b) EVAPORACION POR CONVECCION LIBRE

Para determinarla se toma como modelo la transferencia de calor por convección libre entre una placa de dimensión l a la temperatura superficial T_s y el medio ambiente que se encuentra a una temperatura T_a . En un estanque la convección es predominantemente turbulenta; Ryan y Harleman [18], bajo este supuesto, usaron las propiedades del aire en condiciones normales para obtener una expresión al nivel del mar:

$$\phi_{eva} = 3.57 \Delta\theta^{1/3} (e_s - e_a) \quad (3.33)$$

donde $\Delta\theta = T_s - T_a$

Como la densidad del vapor es menor que la del aire, la evaporación contribuye a incrementar las fuerzas de flotación; Ryan y Harleman usaron una diferencia de temperaturas virtual en lugar de la diferencia real para tomarlo en cuenta.

$$\Delta\theta = T_{sv} - T_{av} \quad (3.34)$$

T_{sv} : temperatura virtual de una capa de vapor en contacto con la superficie del agua, en $^{\circ}\text{K}$.

T_{av} : temperatura virtual del aire, en $^{\circ}\text{K}$.

La temperatura virtual se obtiene igualando las densidades del aire seco y húmedo a la misma presión, considerando sus propios pesos moleculares.

$$T_{sv} = \frac{T_s + 273.2}{1 - 0.378e_s/P_a} \quad (3.35)$$

$$T_{av} = \frac{T_a + 273.2}{1 - 0.378e_a/P_a} \quad (3.36)$$

Finalmente obtenemos la expresión para la pérdida de calor por convección libre para cualquier presión:

$$\phi_{eva} = \frac{9075.3}{P_a^{1/3} (T_a + 273.2)} \Delta e^{1/3} (e_s - e_a) \quad (3.37)$$

C) EVAPORACION POR CONVECCION LIBRE Y FORZADA

Cuando la evaporación por convección libre o forzada puede ser despreciada tenemos las ecuaciones que nos permiten calcular la pérdida de energía, debemos ahora obtener una expresión para el caso en que ambas se encuentran presentes.

Un criterio para saber cuando podemos despreciar una de ellas, dado

por Ozisik [23] y Kreith [24], consiste en evaluar el cociente adimensional,

$$\frac{g\Delta\theta}{(T_a + 273.2)V^2} \quad (3.38)$$

que representa la relación entre las fuerzas de flotación y las de inercia (g es la aceleración de la gravedad). Cuando la relación es del orden de la unidad, ambos fenómenos deben tomarse en cuenta. Suponiendo que $f(Vv)$ se expresa en la forma :

$$f(Vv) = a + bVv$$

Ryan y Harleman encuentran la expresión general para cuando ambos proceso estan presentes:

$$\phi_{eva} = \left[\frac{9075.3 \Delta\theta^{1/3}}{P_a^{1/3} (T_a + 273.2)} + \frac{3100.8Vv}{P_a} \right] (e_s - e_a) \quad (3.39)$$

3.6 TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN DE CALOR SENSIBLE

La transferencia de calor sensible, al igual que la de masa, se lleva a cabo por difusión molecular y turbulenta, quedando representada por:

$$\phi_{conv} = (\alpha_T + Eh) \rho_A C_A \frac{dT}{dz} \quad (3.40)$$

ϕ_{conv} : flujo de calor sensible, en W/m^2 .

α_T : difusividad molecular de calor, en m^2/s .

E_H : difusividad turbulenta de calor, en m^2/s .

ρ_A : densidad del aire húmedo, en kg/m^3 .

CA : calor específico del aire húmedo, en $\text{J/Kg } ^\circ\text{C}$.

$\frac{dT}{dZ}$: gradiente de temperatura, en $^\circ\text{C/m}$.

T : temperatura, en $^\circ\text{C}$.

Z : altura sobre el nivel del agua, en m.

Generalmente es difícil evaluar ϕ_{conv} de la ecuación anterior dado que la medición de α_T , E_H y $\frac{dT}{dZ}$ no es posible realizarla con gran precisión. ϕ_{conv} es entonces evaluada por el método propuesto por Bowen [25] en 1926. Bowen establece que el calor sensible se relaciona con el de evaporación; despreciando la difusión molecular y considerando que las difusividades turbulentas de masa y calor son iguales, las expresiones para ambos procesos son:

$$\phi_{\text{eva}} = L_v E_M \rho_A \frac{dy}{dZ} \quad (3.41)$$

$$\phi_{\text{conv}} = E_H \rho_A CA \frac{dT}{dZ} \quad (3.42)$$

$$\frac{\phi_{\text{conv}}}{\phi_{\text{eva}}} = \frac{E_H \rho_A CA \frac{dT}{dZ}}{L_v E_M \rho_A \frac{dy}{dZ}} = \frac{E_H CA \frac{dT}{dZ}}{\left[0.622 L_v E_M \frac{de}{dZ} \right] / P_a} \quad (3.43)$$

$\frac{de}{dz}$: gradiente de presiones de vapor, en mmHg/m.
 e : presión de vapor, en mmHg.

Al discretizar los gradientes, hacer $E_H = E_M$ y substituir los valores para C_A y L_v obtenemos:

$$\frac{\phi_{conv}}{\phi_{eva}} = \frac{C_A \Delta T}{(0.622 L_v) \Delta e} P_a = 0.00065 P_a \frac{(T_s - T_a)}{(e_s - e_a)} = \beta_o \quad (3.44)$$

donde β_o es la constante de Bowen; la expresión final es entonces:

$$\phi_{conv} = \beta \phi_{eva} \quad (3.45)$$

3.7 ENERGIA PROVENIENTE DE LA ZONA INFERIOR

La zona II del estanque así como la inferior se encuentran a una temperatura mayor que la zona superior; el calor es transmitido por conducción hacia la zona superior, tomaremos un valor promedio para dicha transferencia, la cual será justificada en el capítulo 5.

$$\phi_i = 3.024 \times 10^{-6} \text{ J/m}^2 \text{ día} \quad (3.46)$$

3.8 BALANCE DE ENERGIA

La ecuación general para la conservación de la energía es:

$$\rho C_p \left[\frac{\partial T(Z, t)}{\partial t} + v_z \frac{\partial T(Z, t)}{\partial Z} \right] = \frac{\partial}{\partial Z} \left[K \frac{\partial T(Z, t)}{\partial Z} \right] + F(Z, t) \quad (3.47)$$

$$\int_0^{Z_1} \rho C_p \left[\frac{\partial T_r(Z, t)}{\partial t} + v_z \frac{\partial T_r(Z, t)}{\partial Z} \right] dZ = \int_0^{Z_1} \frac{\partial}{\partial Z} \left[K \frac{\partial T_r(Z, t)}{\partial Z} \right] dZ + \int_0^{Z_1} F(Z, t) dZ \quad (3.48)$$

Hacemos la suposición de que en la zona i tenemos un fluido totalmente mezclado, es decir, la temperatura es independiente de la profundidad, entonces:

$$T_r(Z, t) \equiv T_r(t) = T_s \quad (3.49)$$

por lo tanto $\frac{\partial T_r(Z, t)}{\partial Z} = 0$ (3.50)

tenemos entonces:

$$\rho C_p \frac{dT_r(t)}{dt} \int_0^{Z_1} dZ = \int_0^{Z_1} F(Z, t) dZ \quad (3.51)$$

$$\rho C_p \Delta Z_i \frac{dT_r(t)}{dt} = f(Z, t) \quad (3.52)$$

Resumiendo los resultados anteriores tenemos:

$$f(Z, t) = \phi_{sol} + \phi_{atm} + \phi_i - \phi_{agua} - \phi_{eva} - \phi_{conv} \left[\frac{J}{m^2 \text{ día}} \right] \quad (3.53)$$

donde:

$$\phi_{sol} = \left[\bar{H} + H_0 \cos(wt + dt) \right] (1 - r) \left[a - \ln \left(\frac{Z}{\cos \theta r} \right) \right] \quad (3.54)$$

$$\phi_{\text{atm}} = 4.415 \times 10^{-8} (T_a + 273.2)^0 (1 + 0.17 C^2) \quad (3.55)$$

$$T_a = T_{ap} + T_{ao} \cos \left[w(t+dt) - da \right] \quad (3.56)$$

$$\phi_i = 3.024 \times 10^0 \text{ J/m}^2 \cdot \text{dia.} \quad (3.57)$$

$$\phi_{\text{agua}} = 4.743 \times 10^{-3} (T_s + 273.2)^4 \quad (3.58)$$

$$\phi_{\text{eva}} = \left[\frac{9075.3}{T_a + 273.2} \left(\frac{\Delta e}{P_a} \right)^{1/3} + \frac{3100.8Vv}{P_a} \right] (e_s - e_a) \quad (3.59)$$

$$\phi_{\text{conv}} = \beta_0 \phi_{\text{eva}} \quad (3.60)$$

$$f(Z, t) = \Delta Z \rho C_p \frac{dT_s}{dt} \quad (3.61)$$

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{1}{\Delta Z \rho C_p} \left\{ \phi_{\text{sol}} + \phi_{\text{atm}} + \phi_i - \phi_{\text{agua}} - \phi_{\text{eva}} - \phi_{\text{conv}} \right\} \quad (3.62)$$

Tenemos, finalmente, la ecuación que nos describe el comportamiento térmico de la zona superior. ahora debemos resolverla.

3. ▷ SOLUCION DEL MODELO

La ecuación (3.62) se resuelve por dos métodos: mediante el método numérico de Runge-Kutta y resolviendo la ecuación diferencial ordinaria que se obtiene después de linealizar.

a) METODO NUMERICO

El programa se realizó en Pascal y se muestra en el ANEXO A. Las

ESTANQUE SOLAR

ZONA SUPERIOR

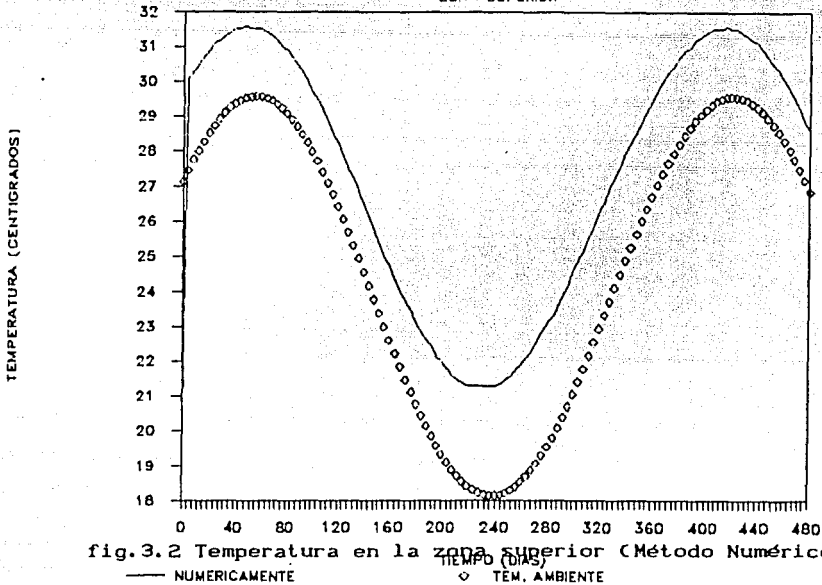


fig. 3.2 Temperatura en la zona superior (Método Numérico).

— NUMERICAMENTE

◇ TEM. AMBIENTE

temperaturas encontradas para cuatro diferentes profundidades de la zona I se muestran en el ANEXO B. Se ha supuesto una temperatura inicial de 20°C al momento de entrar en operación el estanque.

Observamos que la temperatura es prácticamente independiente de la profundidad, al menos para los casos considerados aquí. Este mismo comportamiento será encontrado al hacer el análisis global del estanque, como puede verse al comparar $T_i(t)$ en los ANEXOS E a L.

En la fig. 3.2 se han graficado los datos mostrados en el ANEXO

B, para la profundidad 0.1m, así como la temperatura ambiente. Se observa que en todo momento la temperatura del estanque es mayor que la temperatura ambiente; este resultado diferirá notablemente del encontrado al analizar el comportamiento global de las tres zonas, allí observaremos que la temperatura ambiente no siempre es mayor que la temperatura de la zona superior. El resultado encontrado aquí se debe a que hemos trabajado bajo el supuesto de que toda la radiación incidente queda atrapada en la zona superior.

b) METODO ANALITICO

Primero se linealizará cada uno de los términos que no lo sea:

$$\phi_{atm} = 4.415 \times 10^{-8} (T_a + 273.2)^5 (C_1 + 0.17 C_2^2)$$

$$A_1 = (4.415 \times 10^{-8})(1 + 0.17 C_2^2) = 4.603 \times 10^{-8}$$

$$A_2 = 273.2$$

$$\phi_{atm} = A_1(T_a + A_2)^5 \approx A_1 A_2^5 \left[1 + \frac{5T_a}{A_2} \right] \approx A_1 A_2^5 + 5A_1 A_2^4 T_a$$

$$\phi_{atm} = A_1 A_2^5 + 5A_1 A_2^4 T_{ap} + 5A_1 A_2^3 T_{ao} \cos(wt + dt) - da \quad (3.63)$$

$$\phi_{agua} = 4.743 \times 10^{-8} (T_s + 273.2)^4$$

$$C_1 = 4.743 \times 10^{-8}$$

$$\phi_{agua} = C_1(T_s + A_2)^4 \approx C_1 A_2^4 + 4C_1 A_2^3 T_s \quad (3.64)$$

Dado que la expresión para ϕ_{eva} propuesta por Ryan y Harleman (3.39) no es fácil de linealizar, utilizaremos una relación más manejable (29):

$$\phi_{eva} = (a' + b' V_v) \left[(c T_s - d) - hr(c T_a - d) \right]$$

$$a' = 6.22 \times 10^5 \left[\frac{J}{m^2 \text{ dia mbar}} \right]$$

$$b' = 1.395 \times 10^5 \left[\frac{J}{m^2 \text{ dia mbar m/s}} \right]$$

$$c = 2.933 \text{ mbar}/^\circ\text{C}$$

$$d = 39.115 \text{ mbar}$$

$$\phi_{eva} = D_1 T_s - D_2 \cos \left[w(t + dt) - da \right] + D_3 \quad (3.65)$$

$$D_1 = c(a' + b' V_v)$$

$$D_2 = hrc(a' + b' V_v) T_{ao}$$

$$D_3 = (a' + b' V_v)(hr - 1)d - hrc(a' + b' V_v) T_{ap}$$

$$\phi_{conv} = 6.5 \times 10^{-4} P_a \frac{(T_s - T_a)}{(e_s - e_a)} \phi_{eva}$$

$$\phi_{conv} = E_2 T_s - E_3 \cos \left[w(t + dt) - da \right] - E_4 \quad (3.66)$$

$$E_1 = 4.87 \times 10^{-4} P_a$$

$$E_2 = E_1(a' + b' V_v)$$

$$E_3 = E_1(a' + b' V_v) T_{ao}$$

$$E_4 = E_1(a' + b' V_v) T_{ap}$$

Substituyendo obtenemos:

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{1}{\Delta Z_1 \rho C_p} \left\{ \left[\bar{H} + H_o \cos \left[w(t + dt) \right] \right] (1 - r) \left[a - b \left(\frac{Z}{\cos \theta_r} \right) \right] + \right.$$

$$A_1 A_2^6 + 6 A_2^5 A_1 T_{ap} + 6 A_2^5 A_1 T_{ap} \cos \left[w(t + dt) - da \right] + \phi_i - C_1 A_2^4 - \left. \right\}$$

$$4A_2^3 C_1 T_s - D_1 T_s + D_2 \cos [w(t+dt) - da] - D_3 - E_2 T_s + E_3 \cos [(t+dt) - da] + E_4 \left\{ \right. \quad (3.67)$$

$$\text{Sea } \alpha_1 = \frac{1}{\Delta Z_1 \rho C_p} \left\{ \overline{H}(1-r) \left[a - \ln \left(\frac{Z}{\cos \theta_r} \right) \right] + A_1 A_2^6 + \theta A_2^5 A_1 T_{ap} + \right. \\ \left. + \phi_i - C_1 A_2^4 - D_3 + E_4 \right\} \quad (3.68)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{\Delta Z_1 \rho C_p} \left\{ 4A_2^3 C_1 + D_1 + E_2 \right\} \quad (3.69)$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{\Delta Z_1 \rho C_p} \left\{ H_0(1-r) \left[a - \ln \left(\frac{Z}{\cos \theta_r} \right) \right] \right\} \quad (3.70)$$

$$\alpha_4 = \frac{1}{\Delta Z_1 \rho C_p} \left\{ \theta A_2^5 A_1 T_{ao} + D_2 + E_3 \right\} \quad (3.71)$$

entonces:

$$\frac{dT_s}{dt} = \alpha_1 - \alpha_2 T_s + \alpha_3 \cos [w(t+dt)] + \alpha_4 \cos [w(t+dt) - da] \quad (3.72)$$

La solución es:

$$T_s(t) = T_{si} e^{-\alpha_2 t} + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \left(1 - e^{-\alpha_2 t} \right) + \frac{1}{\alpha_2^2 + w^2} \left\{ \alpha_3 w \left[\text{sen} [w(t+dt)] - \right. \right. \\ \left. \left. \text{sen}(w t) e^{-\alpha_2 t} \right] + \alpha_2 \alpha_3 \left[\cos [w(t+dt)] - \cos(w t) e^{-\alpha_2 t} \right] + \alpha_4 w \right. \\ \left. \left[\text{sen} [w(t+dt) - da] - \text{sen} [w t - da] e^{-\alpha_2 t} \right] + \alpha_2 \alpha_4 \left[\right. \right. \\ \left. \left. \cos [w(t+dt) - da] - \cos [w t - da] e^{-\alpha_2 t} \right] \right\} \quad (3.73)$$

ESTANQUE SOLAR

ZONA SUPERIOR

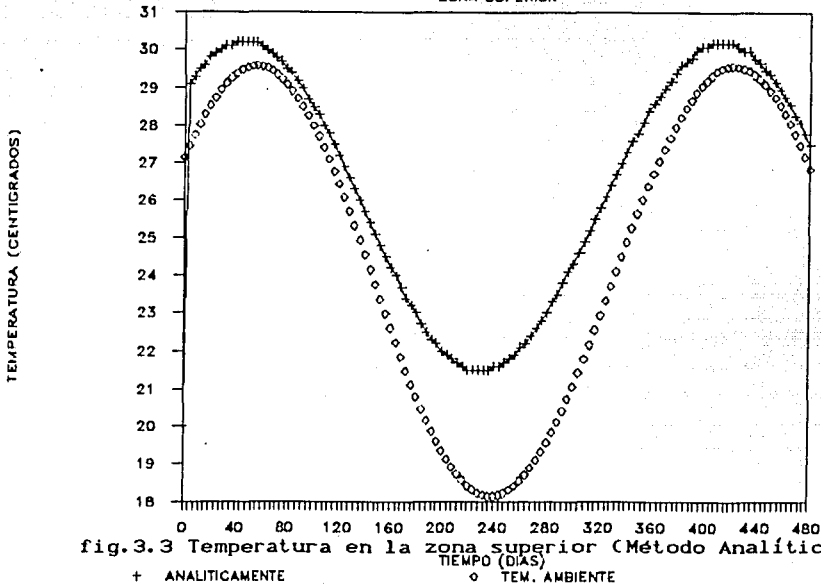


fig.3.3 Temperatura en la zona superior (Método Analítico).

+ ANALITICAMENTE

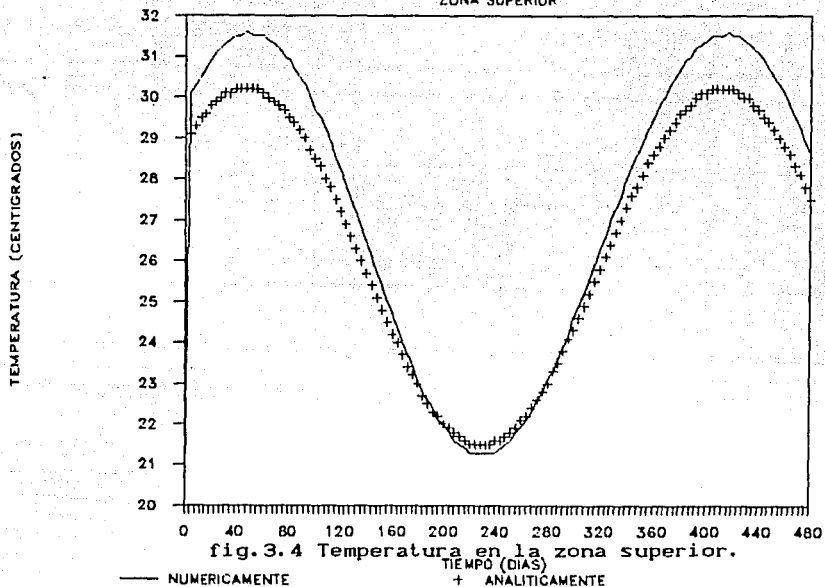
o TEM. AMBIENTE

Las temperaturas para la zona superior, encontradas mediante la ecuación (3.73), son mostradas en el ANEXO C para las mismas profundidades consideradas en el método numérico. Nuevamente encontramos que la temperatura es independiente de la profundidad.

En la fig.3.3 se compara la temperatura del estanque con la temperatura ambiente, en tanto que en la fig.3.4 se comparan los resultados obtenidos con ambos métodos, numérico y analítico.

ESTANQUE SOLAR

ZONA SUPERIOR



La principal discrepancia entre ambos métodos ocurre cuando la temperatura alcanza un máximo; con el método numérico se obtiene una temperatura máxima de 31.55°C mientras que con el analítico la temperatura es de 30.21°C , existe pues una discrepancia de 1.34°C como máximo entre ambos métodos, lo cual representa menos del 4.5%. Ambos permiten dar una estimación razonable de las temperaturas en el estanque.

4. ANALISIS DE LA ZONA INTERMEDIA

Ahora abordaremos el problema fundamental, plantear y resolver el modelo matemático que describe el comportamiento térmico de las tres zonas del estanque. En el presente capítulo se dará la solución para la zona intermedia, la cual tendrá como parámetros las temperaturas de la zona superior e inferior, $T_I(t)$ y $T_{III}(t)$ respectivamente; es decir, la solución de la zona II asume una temperatura constante para las zonas I y III, por lo tanto, para conocer la temperatura en la zona II a un tiempo dado, debemos conocer la temperatura en las zonas I y III a ese mismo tiempo. El modelo también asume que la zona intermedia se comporta como un aislante térmico que transmite íntegramente a la zona I el calor proveniente de la zona III.

4.1 PLANTEAMIENTO

En la zona II tenemos un gradiente de salinidad (o densidad); la finalidad, como ya se dijo, es evitar la convección, tenemos entonces que no existe movimiento vertical de la salmuera, por lo tanto se debe tener que $V_z=0$; substituyendo este valor en la ecuación (3.47) obtenemos la ecuación que describe el comportamiento térmico de la zona II (ver fig.4.1):

$$\frac{\partial T_{II}(Z, t)}{\partial t} = \alpha^2 \frac{\partial^2 T_{II}(Z, t)}{\partial Z^2} + \frac{d\varphi(Z, t)}{dZ} ; Z_1 \leq Z \leq Z_2, t > 0 \quad (4.1)$$

$$T_{II}(Z_1, t) = T_I \quad (4.2)$$

$$T_{II}(Z_2, t) = T_{III} \quad (4.3)$$

$$T_{II}(Z, 0) = T_0 \quad (4.4)$$

$$\alpha^2 = \frac{K}{\rho C_p} \quad (4.5)$$

$$\varphi(Z, t) = \frac{1}{\rho C_p} \left[A + B \cos(\omega t) \right] (1-r) \left[a - b \ln \left(\frac{Z}{\cos \theta r} \right) \right] \quad (4.6)$$

$$f(Z, t) = \frac{d\varphi(Z, t)}{dZ} = - \frac{b}{\rho C_p} \left[A + B \cos(\omega t) \right] (1-r) \left(\frac{1}{Z} \right) \quad (4.7)$$

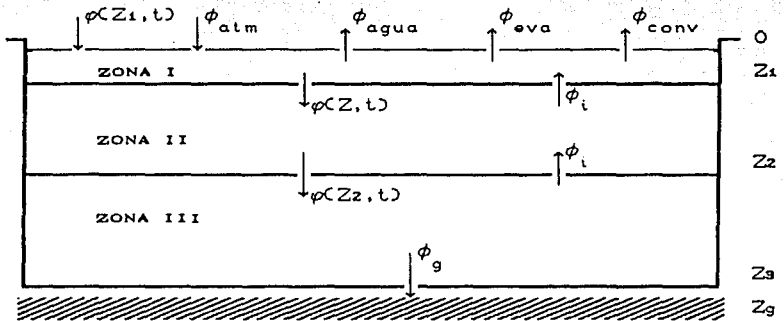


fig. 4.1 Balance de energía.

4.2 SOLUCION

$$\text{Sea} \quad Z(X) = (Z_2 - Z_1)X + Z_1 \quad (4.8)$$

$$\beta^2 = \alpha^2 \left(\frac{1}{Z_2 - Z_1} \right)^2 \quad (4.9)$$

entonces:

$$\frac{\partial T_{II}(X, t)}{\partial t} = \beta^2 \frac{\partial^2 T_{II}(X, t)}{\partial X^2} + f(X, t); \quad 0 \leq X \leq 1, \quad t > 0 \quad (4.10)$$

$$T_{II}(0, t) = T_I \quad (4.11)$$

$$T_{II}(1, t) = T_{III} \quad (4.12)$$

$$T_{II}(X, 0) = T_0 \quad (4.13)$$

$$f(X, t) = - \frac{b}{\rho C_P} \left[A + B \cos(\omega t) \right] (1-r) \left[\frac{1}{(Z_2 - Z_1) + Z_1} \right] \quad (4.14)$$

$$\text{Sea } T_{II}(X, t) = \left[T_I + (T_{III} - T_I) X \right] + U(X, t) \quad (4.15)$$

entonces:

$$\frac{\partial U(X, t)}{\partial t} = \beta^2 \frac{\partial^2 U(X, t)}{\partial X^2} + f(X, t) ; 0 \leq X \leq 1, t > 0 \quad (4.16)$$

$$U(0, t) = 0 \quad (4.17)$$

$$U(1, t) = 0 \quad (4.18)$$

$$U(X, 0) = T_0 - \left[T_I + (T_{III} - T_I) X \right] = \Phi(X) \quad (4.19)$$

Si $f(X, t) = 0$, obtenemos la ecuación homogénea:

$$\frac{\partial U(X, t)}{\partial t} = \beta^2 \frac{\partial^2 U(X, t)}{\partial X^2} ; 0 \leq X \leq 1, t > 0 \quad (4.20)$$

$$U(0, t) = 0 \quad (4.21)$$

$$U(1, t) = 0 \quad (4.22)$$

$$U(X, 0) = \Phi(X) \quad (4.23)$$

La solución es conocida y tiene la forma:

$$U(X, t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n e^{-c(n\pi\beta)^2 t} \text{sen}(n\pi X) \quad (4.24)$$

$$A_n = 2 \int_0^1 \Phi(X) \operatorname{sen}(n\pi x) dx \quad (4.25)$$

Proponemos como solución de la ecuación no homogénea:

$$U(X, t) = \sum_{n=1}^{\infty} T_n(t) X_n(t) \quad (4.26)$$

donde $X_n(t)$ es la solución del caso homogéneo: $X_n(t) = \operatorname{sen}(n\pi x)$, $n = 1, 2, 3, \dots$; entonces:

$$f(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t) X_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t) \operatorname{sen}(n\pi x) \quad (4.27)$$

$$f_n(t) = 2 \int_0^1 f(x, t) \operatorname{sen}(n\pi x) dx \quad (4.28)$$

$$f_n(t) = \frac{2(c_1 - 1)b}{\rho c_p} \left[A + B \cos(\omega t) \right] \left[\frac{1}{Z_2 - Z_1} \right] \left\{ \cos \left[\frac{n\pi Z_1}{Z_2 - Z_1} \right] \left[\operatorname{si} \left[\frac{n\pi Z_2}{Z_2 - Z_1} \right] - \operatorname{si} \left[\frac{n\pi Z_1}{Z_2 - Z_1} \right] \right] - \operatorname{sen} \left[\frac{n\pi Z_1}{Z_2 - Z_1} \right] \left[\operatorname{ci} \left[\frac{n\pi Z_1}{Z_2 - Z_1} \right] - \operatorname{ci} \left[\frac{n\pi Z_2}{Z_2 - Z_1} \right] \right] \right\} \quad (4.30)$$

Substituyendo $U(x, t)$ en la ecuación no homogénea:

$$\sum_{n=1}^{\infty} T_n(t) \operatorname{sen}(n\pi x) = -\beta^2 \sum_{n=1}^{\infty} (n\pi)^2 T_n(t) \operatorname{sen}(n\pi x) + \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t) \operatorname{sen}(n\pi x) \quad (4.31)$$

$$U(0, t) = \sum_{n=1}^{\infty} T_n(t) \operatorname{sen}(0) = 0 \quad (4.32)$$

$$U(1, t) = \sum_{n=1}^{\infty} T_n(t) \operatorname{sen}(n\pi x) = 0 \quad (4.3\text{E}33)$$

$$U(x, 0) = \sum_{n=1}^{\infty} T_n(0) \operatorname{sen}(n\pi x) = \Phi(x) \quad (4.3\text{E}34)$$

(4.32) y (4.33) se cumplen para toda $T_n(t)$. Reagrupando términos tenemos:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left[T_n'(t) + (n\pi\beta)^2 T_n(t) - f_n(t) \right] \operatorname{sen}(n\pi x) = 0 \quad (4.3\text{E}35)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} T_n(0) \operatorname{sen}(n\pi x) = \Phi(x) \quad (4.3\text{E}36)$$

Ambas ecuaciones se cumplen si:

$$T_n'(t) + (n\pi\beta)^2 T_n(t) - f_n(t) = 0 \quad (4.3\text{E}37)$$

y

$$T_n(0) = 2 \int_0^1 \Phi(x) \operatorname{sen}(n\pi x) dx \quad (4.3\text{E}38)$$

$$T_n(t) = \left[T_n(0) - \Gamma \left(\frac{A}{(n\pi\beta)^2} + \frac{B(n\pi\beta)^2}{w^2 + (n\pi\beta)^4} \right) \right] e^{-(n\pi\beta)t} +$$

$$\Gamma \left[\frac{A}{(n\pi\beta)^2} + \frac{B(n\pi\beta)^2}{w^2 + (n\pi\beta)^4} \left(\cos(wt) + \frac{w}{(n\pi\beta)^2} \operatorname{sen}(wt) \right) \right]$$

(4.3E39)

$$T_n(0) = \frac{2}{n\pi} \left[T_0 - T_1 + (T_{III} - T_0) \cos(n\pi) \right] \quad (4.40\text{E}0)$$

$$\Gamma = \frac{2Cr - 1)b}{\rho Cp CZ_2 - Z_1} \left\{ \cos \left(\frac{n\pi Z_1}{Z_2 - Z_1} \right) \left[\operatorname{si} \left(\frac{n\pi Z_2}{Z_2 - Z_1} \right) - \operatorname{si} \left(\frac{n\pi Z_1}{Z_2 - Z_1} \right) \right] \right. \\ \left. - \operatorname{sen} \left(\frac{n\pi Z_1}{Z_2 - Z_1} \right) \left[\operatorname{ci} \left(\frac{n\pi Z_1}{Z_2 - Z_1} \right) - \operatorname{ci} \left(\frac{n\pi Z_2}{Z_2 - Z_1} \right) \right] \right\} \quad (4.41)$$

donde:

$$\operatorname{si}(x) = -\frac{\pi}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^{k+1} x^{2k-1}}{(2k-1)(2k-1)!} \quad (4.42)$$

$$\operatorname{ci}(x) = C + \ln(x) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k x^{2k}}{(2k)(2k)!} \quad (4.43)$$

Finalmente:

$$UC(Z, t) = \sum_{n=1}^{\infty} T_n(t) \operatorname{sen} \left[n\pi \left(\frac{Z - Z_1}{Z_2 - Z_1} \right) \right] \quad (4.44)$$

$$T_{ix}(Z, t) = \left[T_i + (T_{iix} - T_i) \left(\frac{Z - Z_1}{Z_2 - Z_1} \right) \right] + UC(Z, t) \quad (4.45)$$

$T_{ix}(Z, t)$ nos permite calcular la temperatura en la zona ix a cualquier tiempo y profundidad si conocemos los valores de T_i y T_{iix} a dicho tiempo. La determinación de $T_i(t)$ y $T_{iix}(t)$ es el tema del siguiente capítulo.

5. ACOPLAMIENTO DE LAS ZONAS SUPERIOR E INFERIOR

Finalmente debemos determinar las temperaturas del estanque en las zonas I y III. Nuestra suposición, hecha en el capítulo anterior, de que el calor proveniente de la zona III, ϕ_i , pasa íntegramente a la zona I, tiene como consecuencia acoplar las ecuaciones que describen el comportamiento térmico de ambas zonas. Encontramos que nuestra solución queda representada por un sistema de ecuaciones acopladas por el término ϕ_i . Todos los términos involucrados ya han sido discutidos en capítulos anteriores, por lo cual aquí únicamente serán citados.

5.1 ZONA SUPERIOR

Todos los términos involucrados en el balance se muestran en la fig. 5.1.

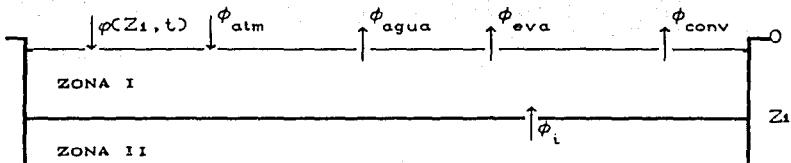


fig. 5.1 Balance en la zona superior.

RADIACION SOLAR

$$\phi(Z_1, t) = \left[A + B \cos(\omega t) \right] (1-r) \left[a - b \ln \left(\frac{Z_1}{\cos \theta_r} \right) \right] \quad (5.1)$$

RADIACION DE LA ATMOSFERA

$$\phi_{atm} = \alpha + \beta I_a$$

$$I_a = A_p + B_p \cos \left[\omega t - da \right]$$

$$\phi_{atm} = (\alpha + \beta A_p) + \beta B_p \cos(da) \cos(\omega t) + \beta B_p \sin(da) \sin(\omega t) \quad (5.2)$$

EVAPORACION

$$\phi_{eva} = (c + V_v)(P_v - P_p)$$

$$P_v = e I_i + f$$

$$P_p = h r P_v(T_a) = h r (e I_a + f)$$

$$\begin{aligned} \phi_{eva} = & (c + dV_v)e I_i + (c + dV_v) \left[f(1-r) - A_p h r e \right] - (c + dV_v) \\ & B_p h r e \cos(da) \cos(\omega t) - (c + dV_v) B_p h r e \sin(da) \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (5.3)$$

CONDUCCION (CALOR SENSIBLE)

$$\phi_{conv} = \beta_0 \left(\frac{T_i - T_a}{P_v - P_p} \right) \phi_{eva}$$

$$\phi_{conv} = \beta_0 (c + dV_v)(T_i - T_a)$$

$$\begin{aligned} \phi_{conv} = & \beta_0 (c + dV_v) T_i - \beta_0 (c + dV_v) A_p - \beta_0 (c + dV_v) B_p \cos(da) \cos(\omega t) \\ & - \beta_0 (c + dV_v) B_p \sin(da) \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (5.4)$$

RADIACION DEL AGUA

$$\phi_{agua} = g + h I_i \quad (5.5)$$

ENERGIA PROVENIENTE DE LA ZONA II

$$\phi_i = K \frac{T_{III} - T_I}{Z_2 - Z_1} \quad (5.6)$$

BALANCE DE ENERGIA EN LA ZONA SUPERIOR

A partir de la ecuación (3.61) tenemos:

$$\rho C_p \Delta Z_1 \frac{dT_1}{dt} = \phi(z_1, t) + \phi_i + \phi_{atm} - \phi_{eva} - \phi_{conv} - \phi_{agua} \quad (5.7)$$

$$\text{Sea: } A' = - \frac{1}{\rho C_p \Delta Z_1} \left\{ \frac{K}{Z_2 - Z_1} + h + (c + dVv)(\theta + \beta_0) \right\} \quad (5.8)$$

$$B' = \frac{1}{\rho C_p \Delta Z_1} \left\{ AC(1-r) \left[1 - a + b \ln \left(\frac{Z_1}{\cos \theta_r} \right) \right] + (c + \beta A_p) + c + dVv \left[A_p (\beta_0 + hre) - f(1-hr) \right] - g \right\} \quad (5.9)$$

$$C' = \frac{K}{\rho C_p \Delta Z_1 (Z_2 - Z_1)} \quad (5.10)$$

$$D' = \frac{1}{\rho C_p \Delta Z_1} \left\{ B(1-r) \left[1 - a + b \ln \left(\frac{Z_1}{\cos \theta_r} \right) \right] + \left[\beta + (c + dVv)(hre + \beta_0) \right] B_p \cos(\alpha) \right\} \quad (5.11)$$

$$E' = \frac{1}{\rho C_p \Delta Z_1} \left\{ \beta + (c + dVv)(hre + \beta_0) \right\} B_p \sin(\alpha) \quad (5.12)$$

entonces:

$$\frac{dT_1}{dt} = A' T_1 + B' + C' T_{11} + D' \cos(\omega t) + E' \sin(\omega t) \quad (5.13)$$

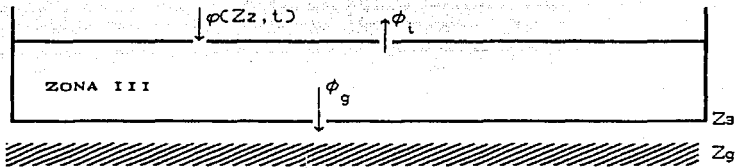


fig. 5.2 Balance en la zona inferior.

$$\varphi(Zz, t) = \left[A + B \cos(\omega t) \right] (1-r) \left[a - \ln \left(\frac{Zz}{\cos \theta_r} \right) \right] \quad (5.14)$$

$$\phi_i = K \frac{T_{III} - T_I}{Z_2 - Z_1} \quad (5.15)$$

$$\phi_g = -K_g \frac{T_g - T_{III}}{Z_g - Z_3} \quad (5.16)$$

$$\rho C_p \Delta Z_3 \frac{dT_{III}}{dt} = \varphi(Zz, t) - \phi_i - \phi_g \quad (5.17)$$

$$\text{Sea: } F' = - \frac{1}{\rho C_p \Delta Z_3} \left\{ \frac{K}{Z_2 - Z_1} + \frac{K_g}{Z_g - Z_3} \right\} \quad (5.18)$$

$$G' = \frac{1}{\rho C_p \Delta Z_3} \left\{ A(1-r) \left[a - \ln \left(\frac{Zz}{\cos \theta_r} \right) \right] + \frac{K_g T_g}{Z_g - Z_3} \right\} \quad (5.19)$$

$$H' = \frac{K}{\rho C_p \Delta Z_3 (Z_2 - Z_1)} \quad (5.20)$$

$$I' = \frac{1}{\rho C_p \Delta Z_3} \left\{ B(1-r) \left[a - \ln \left(\frac{Zz}{\cos \theta_r} \right) \right] \right\} \quad (5.21)$$

entonces:

$$\frac{dT_{III}}{dt} = F'T_{III} + G' + H'T_I + I'\cos(\omega t) \quad (5.22)$$

El sistema de ecuaciones (5.13) y (5.22) nos permite determinar la temperatura en las zonas I y III. Su solución es:

$$T_I(t) = C_1 e^{m_1 t} + C_2 e^{m_2 t} + q_1 + q_2 \text{SEN}(\omega t) + q_3 \text{COS}(\omega t) \quad (5.23)$$

$$T_{III}(t) = q_4 e^{m_1 t} + q_5 e^{m_2 t} + q_6 + q_7 \text{SEN}(\omega t) + q_8 \text{COS}(\omega t) \quad (5.24)$$

Las constantes C_1 , C_2 , m_1 , m_2 , q_1 , q_2 , q_3 , q_4 , q_5 , q_6 , q_7 y q_8 son evaluadas mediante el programa que se muestra en el ANEXO D.

6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La solución final del estanque está dada por las ecuaciones (4.45), (5.23) y (5.24):

$$T_I(t) = C_1 e^{m_1 t} + C_2 e^{m_2 t} + q_1 + q_2 \text{SEN}(wt) + q_3 \text{COS}(wt) \quad (6.1)$$

$$T_{II}(Z, t) = \left[T_I + (T_{III} - T_I) \left(\frac{Z - Z_1}{Z_2 - Z_1} \right) \right] + \sum_{n=1}^{\infty} T_n(t) \text{sen} \left[n\pi \left(\frac{Z - Z_1}{Z_2 - Z_1} \right) \right] \quad (6.2)$$

$$T_{III}(t) = q_4 e^{m_1 t} + q_5 e^{m_2 t} + q_6 + q_7 \text{SEN}(wt) + q_8 \text{COS}(wt) \quad (6.3)$$

Podemos analizar ahora los casos de interés. Todo estanque queda caracterizado por los valores de Z_1 , Z_2 y Z_3 , aquí veremos los casos que más frecuentemente se presentan en la literatura.

CASOS	1	2	3	4	5	6	7	8
Z_1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3
Z_2	1.0	0.8	1.2	1.4	1.0	1.0	0.9	1.1
Z_3	2.5	2.3	2.7	2.9	3.0	3.5	2.4	2.6
Z_g	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
ANEXO	E	F	G	H	I	J	K	L

Los valores de la temperatura para cada una de las zonas son mostrados en el anexo correspondiente. Con los datos se ha construido una gráfica para cada uno de los casos considerados (ver fig. 6.1 a 6.8). En todas las gráficas aparecen las temperaturas para cada una de las zonas: $T_I(t)$, $T_{II}(Z, t)$ y $T_{III}(t)$ respectivamente.

PERFIL DE TEMPERATURAS EN EL

ESTANQUE SOLAR

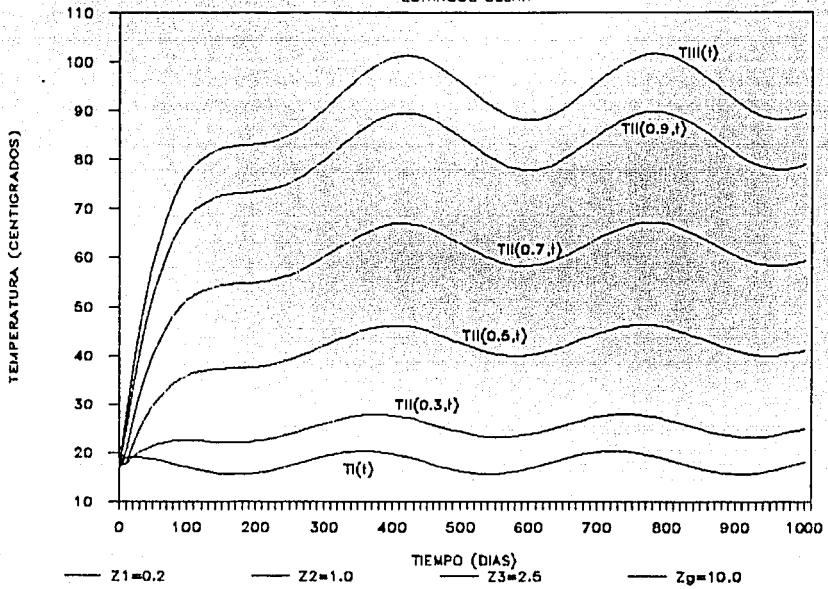


fig.6.1 Caso uno. Ver anexo E.

PERFIL DE TEMPERATURAS EN EL
ESTANQUE SOLAR

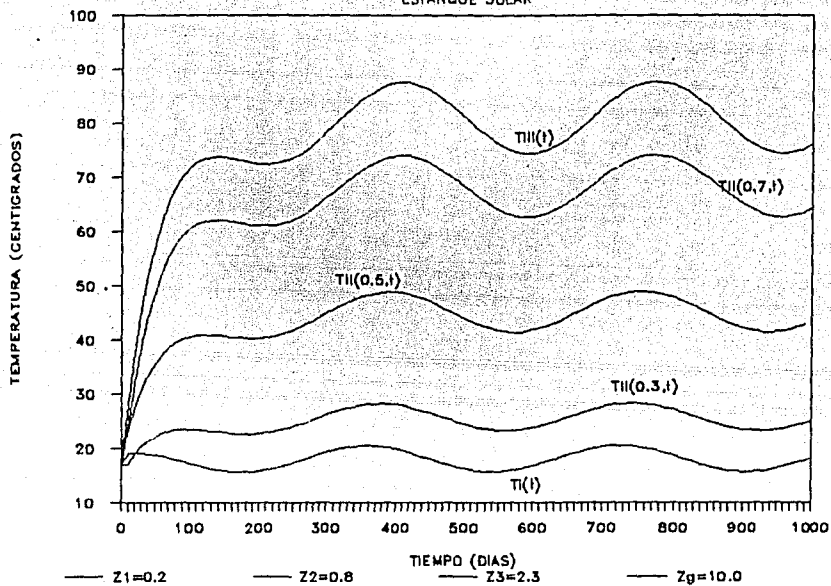


fig.6.2 Caso dos. Ver anexo F.

PERFIL DE TEMPERATURAS EN EL
ESTANQUE SOLAR

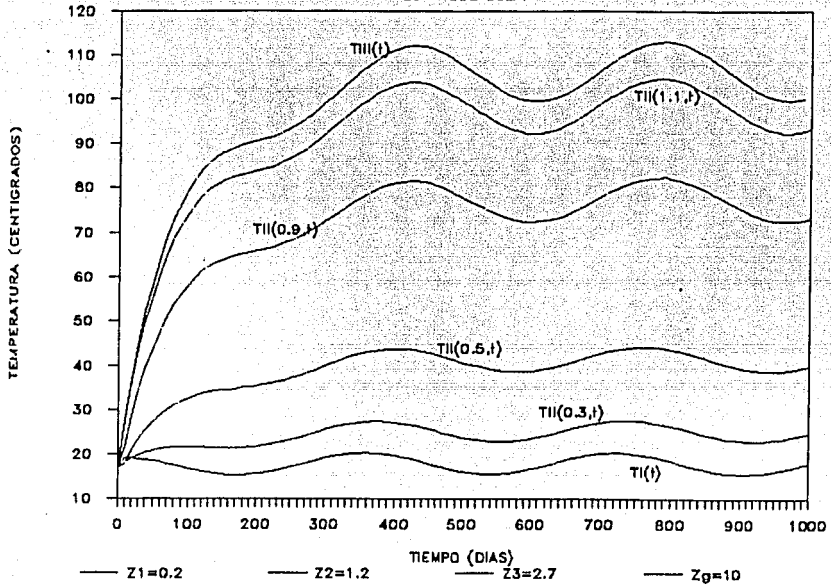


fig.6.3 Caso tres. Ver anexo G.

PERFIL DE TEMPERATURAS EN EL
ESTANQUE SOLAR

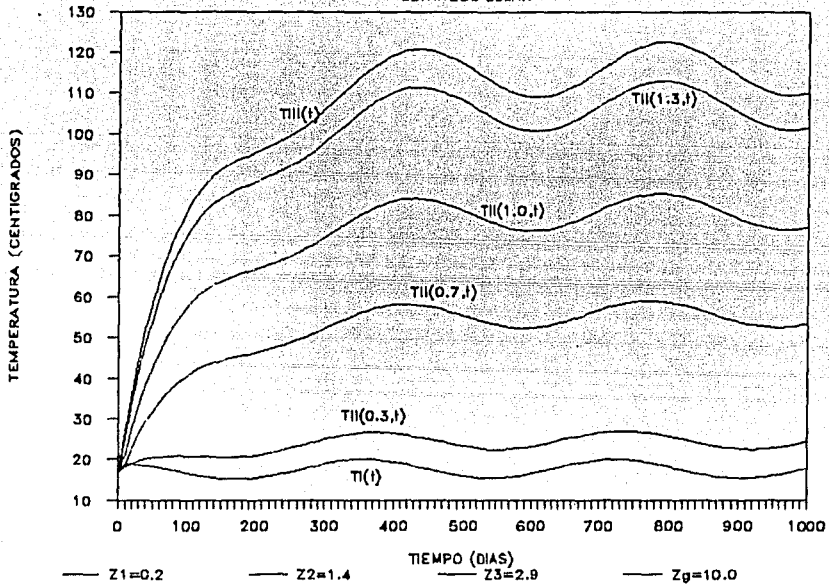


fig.6.4 Caso cuatro. Ver anexo H.

PERFIL I DE TEMPERATURAS EN EL ESTANQUE SOLAR

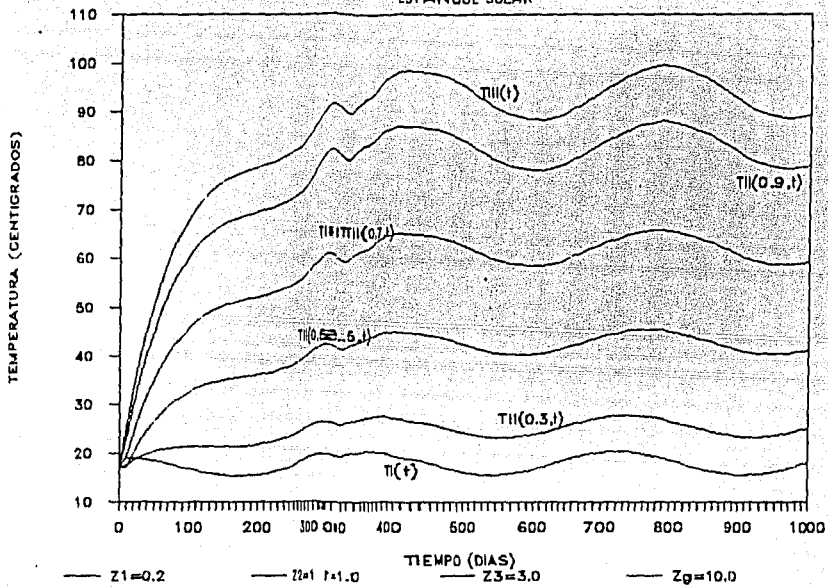


fig. 6. ., 5 Caso cinco. Ver anexo I.

PERFIL DE TEMPERATURAS EN EL
ESTANQUE SOLAR

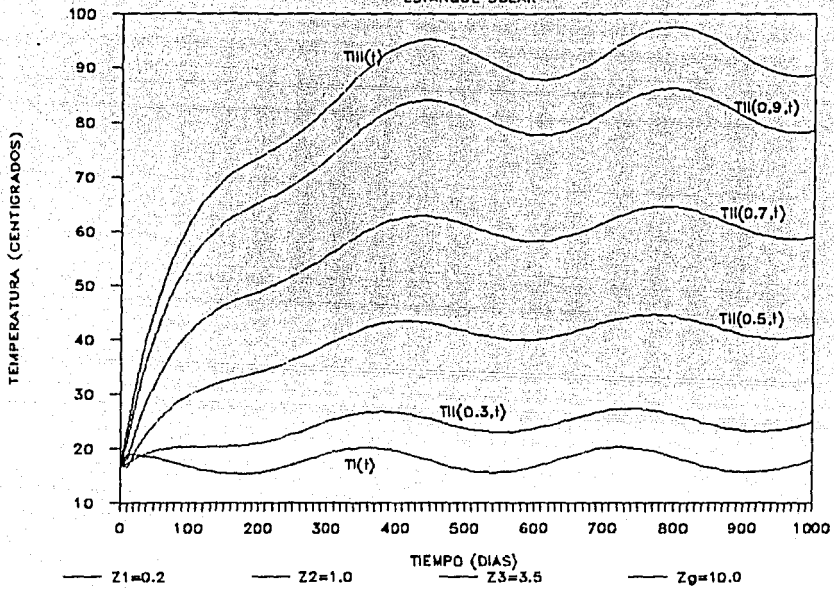


fig.6.6 Caso seis. Ver anexo J.

PERFIL DE TEMPERATURAS EN EL
ESTANQUE SOLAR

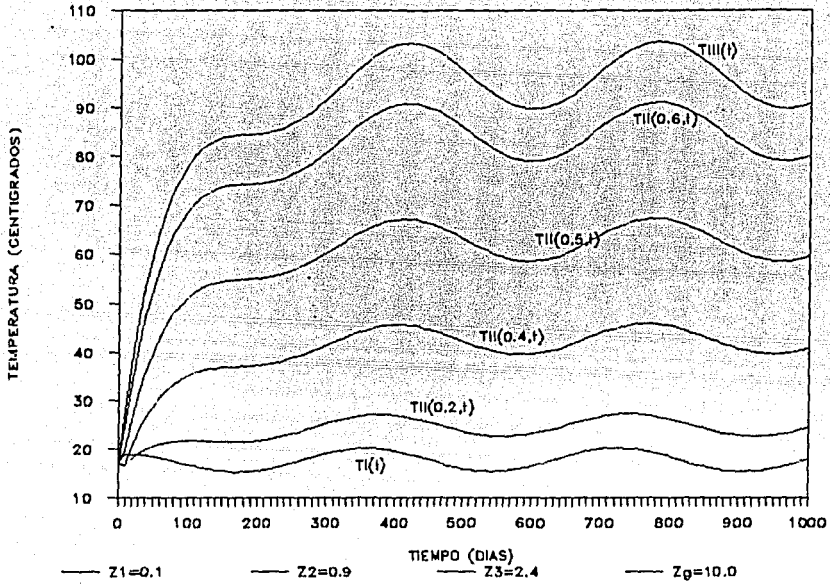


fig. 6.7 Caso siete. Ver anexo K.

PERFIL DE TEMPERATURAS EN EL
ESTANQUE SOLAR

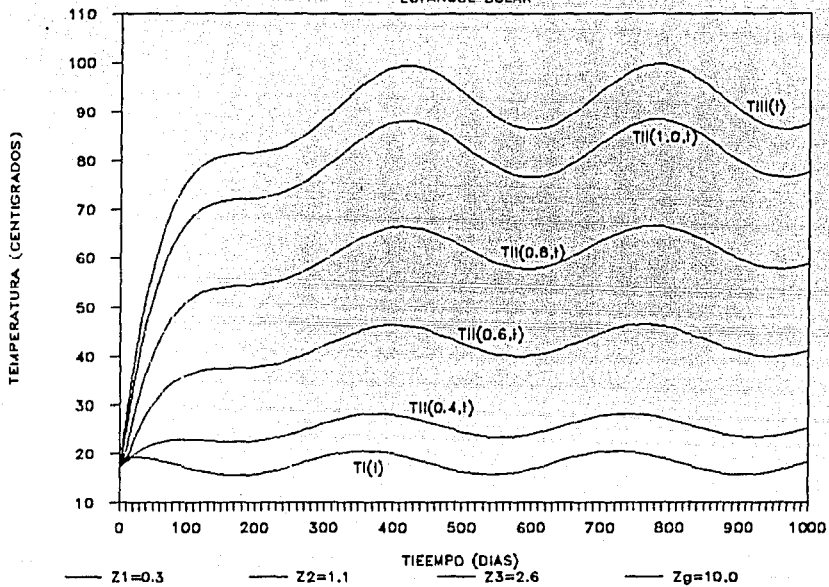


fig. 6.8 Caso ocho. Ver anexo L.

El modelo que hemos propuesto describe el comportamiento térmico de un estanque solar instalado en la Ciudad de México, que inicia su operación el 21 de junio con una temperatura inicial, en sus tres zonas, de 17°C.

Centraremos nuestra atención en la zona III, la zona de almacenamiento; para poder apreciar mejor sus características hemos elaborado el cuadro siguiente:

CASO	Z ₂ -Z ₁	Z ₃ -Z ₂	Z ₁	1er max	DIA	2do max	DIA	1er mín	DIA	2do mín	DIA
2	0.6	1.5	0.2	87.7	410	87.8	780	74.4	590	74.4	950
1	0.8	1.5	0.2	101.2	420	101.6	780	88.0	600	88.1	960
3	1.0	1.5	0.2	112.1	420	113.1	790	99.6	600	99.7	970
4	1.2	1.5	0.2	120.8	430	122.6	790	109.3	610	109.6	970
1	0.8	1.5	0.2	101.2	420	101.6	780	88.0	600	88.1	960
5	0.8	2.0	0.2	98.4	430	99.5	790	88.3	610	88.5	970
6	0.8	2.5	0.2	95.3	440	97.6	790	87.9	610	88.5	970
8	0.8	1.5	0.3	99.4	420	99.8	780	86.5	590	86.5	960
1	0.8	1.5	0.2	101.2	420	101.6	780	88.0	600	88.1	960
7	0.8	1.5	0.1	103.2	420	103.5	780	89.7	600	89.8	960

donde Z₂-Z₁ es el espesor de la zona II, Z₃-Z₂ el espesor de la zona III y Z₁ la profundidad de la zona I.

A partir de ahora trabajaremos bajo el supuesto de que el estanque inició su operación el 21 de junio de 1989, con lo cual ganaremos en claridad en nuestra exposición.

En cualquier caso el estanque alcanza su primer máximo en la temperatura entre los 410 y los 430 días después de iniciada su operación, es decir, la temperatura máxima anual será alcanzada entre el 14 de agosto y el 3 de septiembre de 1990; aproximadamente un año después, entre el 9 y el 19 de agosto de 1991 se alcanzará un segundo máximo mayor que el primero en no más de 2°C.

La temperatura mínima es obtenida entre el 31 de enero y el 19 de febrero de 1991 y practicamente la misma temperatura ocurre entre el 26 de enero y el 14 de febrero de 1992.

La temperatura se ve fuertemente afectada por la profundidad de cada una de las zonas, así vemos que la zona de almacenamiento incrementa su temperatura al disminuir la profundidad de la zona superior, aumentar el espesor de la zona no convectiva o al disminuir su propio espesor; resultados que confirman las consideraciones hechas en la sección 2.3.

La confrontación del modelo con datos experimentales, tiene el inconveniente de tener que ser hecha con datos de estanques solares instalados en sitios con condiciones climatológicas muy diferentes a las de la Ciudad de México, por lo tanto las comparaciones que puedan hacerse son meramente cualitativas.

En noviembre de 1975 la Universidad de Nuevo México [30] puso en operación un estanque solar con una temperatura inicial de 20°C. Mientras el espesor de la zona no convectiva se mantuvo entre los 60 y los 110 cm, el espesor de la zona de almacenamiento fue incrementada de 20 a 150 cm para agosto de 1976. Para los dos veranos consecutivos de operación sin extracción de calor, el estanque alcanzó su máxima temperatura anual dentro de la misma semana: 71°C el 7 de agosto de 1976 y 93°C el 6 de agosto de 1977. La temperatura

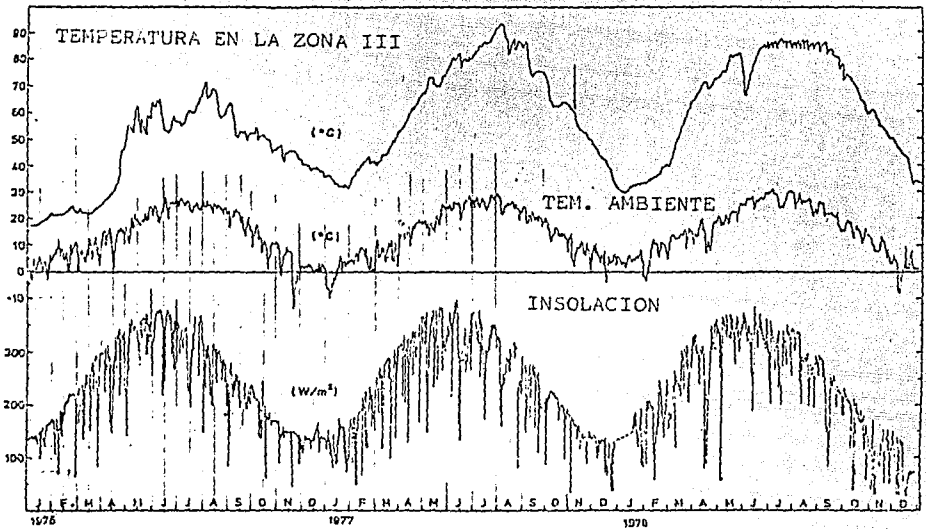


fig. 6.9 Insolación, temperatura ambiente y temperatura en la zona de almacenamiento para el estanque de la UNM. Tomado de la ref. [30], fig. 4.6, pag. 44.

minima fue de 31°C y se obtuvo el 30 de enero de 1977. La temperatura en la zona de almacenamiento para los tres años de operación es mostrada en la fig. 6.9.

El modelo planteado permite explicar, en términos generales, los resultados experimentales encontrados en el estanque de la UNM; el periodo, los intervalos de tiempo donde ocurren los máximos y los mínimos de la temperatura concuerdan con los que predice el modelo.

La principal discrepancia son las bajas temperaturas que se tienen en invierno en el estanque de la UNM; tómesese en cuenta, sin embargo, que la temperatura ambiente en invierno para el estanque de la UNM se encuentra abajo de 0°C , lo cual no ocurre en la Ciudad de México. Cuando la temperatura ambiente, para el estanque de la UNM, está entre 0 y 13°C , la temperatura en la zona de almacenamiento es ya cercana a los 50°C . El modelo es no obstante optimista ya que las temperaturas de más de 100°C no han sido alcanzadas por ningún estanque en operación.

Una completa verificación, del modelo presentado, requerirá su solución para el caso de un estanque donde se disponga de todas las constantes involucradas, así como de los datos de operación del mismo; si los resultados no son satisfactorios, nuevas consideraciones tendrán que ser realizada, por ejemplo, el calor perdido por las orillas del estanque, que no fue tomado en cuenta, puede explicar las altas temperaturas obtenidas.

7. REFERENCIAS

1. C.E.Nielsen, "Nonconvective salt gradient solar ponds", Helio technology Handbook, W.C. Dickinson, P.N.Cheremisinoff, eds., Marcel dekker, Inc.,1979.
2. A.V. Kalecsinsky, Ueber die ungarischen warmer and Heissenkochsalzsenn als natuerlich warmeaccumulatoren, Ann.Physik,7, 408(1902).
3. J.R. Hirschmann, Salt flats as solar heat collectors for industrial purposes, Solar Energy 13,83-87 (1970).
4. Y.U. Usmanov, G.Y. Umarov, and R.A. Zahidov, Salt ponds as accumulators of solar energy, Helio technology 5, 49(1969).
5. V.N.Eliseyer, Y.U.Usmanov, and L.N.Teslenko, Theoretical investigation of the heat regimen in a saltwater solar pond, Helio technology 7, 17-23(1971).
6. C.E.Nielsen, A.Rabl, I.watson and P.Weiler, Flow system for maintenance of salt concentration gradient in solar ponds, Solar Energy 19, 763-766(1977).
7. C.E.Nielsen and R.Rabl, Operation of a small salt gradient solar pond, Congress. International Solar Energy Society, Los Angeles, C.A. Extended abstract 35/5, p.271(1975).
8. C.E.Nielsen. Experience with a prototype solar pond for space heating. Joint Conf. American and Canadian Solar Energy Societies, Winnipeg, Canada.Proceedings, v.5, 169-182(1976).
9. C.E.Nielsen, Conditions for absolute stability of salt gradient solar ponds, Paper No.1203, Jan-1978 Congress,International Solar Energy Society, New Delhi, 1 .ia.
10. H.Tabor, Solar ponds, Solar Energy 7, 189-194(1963).

11. H. Weinberger, The physics of the solar pond, Solar Energy 8, 45-56(1964).
12. A.Rabl and C.E.Nielsen, Solar ponds for space heating, Solar Energy 17, 1-12(1975).
13. R.Almanza, F.Munoz y J.Lara, "Estanques Solares", serie del Instituto de Ingenieria de la UNAM, No.476, Febrero 1984.
14. P.P.Paily, Enzo O. Macagno and J.F. Kennedy, Winter-regimen surface heat loss from heated streams, IIHR Report No.155, Institute of Hydraulic Research the University of Iowa, March 1974.
15. R.Almanza y S.lopez, "Radiación Solar global en la Republica Mexicana mediante datos de insolación", Informe Azul 357, Instituto de ingenieria, UNAM, Mexico, 1975.
16. I.Galindo y A.Chavez, "Estudio del Clima Solar en la Republica Mexicana", Instituto de Geofisica, UNAM, Mexico, 1977.
17. E.Hernandez, "La distribución de la radiación global en Mexico evaluada mediante fotointerpretación de la nubosidad observada por satelites meteorologicos", Tesis de Maestria, Facultad de Ciencias, UNAM, Mexico, 1976.
18. Ryan, PJ y Harleman DRF, "An analytical and experimental study of transient cooling pond behavior", Informe tecnico 161, Parsons Laboratory for Water Resources and Hidrodynamics, MIT, Mass(1973).
19. Tennessee Valley Authority, "Heat and mass transfer between a water surface and the atmosphere", Laboratory Report No,14, Weather Resources Research, Norris, Tenn(1972).
20. E.R.Anderson, "Energy budget studies", in Weather-Loss investigations, Lake Hafner Studies, Technical Report, Paper No.269,1954.
21. Treybal, RE, "Operaciones de transferencia de masa", Segunda

edición, McGraw-Hill, Mexico, D.F(1980), 269.

22. Murray, F.W., On the computation of saturation vapor pressure, J. of Applied Meteorology, V6, No.1, 1967.

23. Ozisik, MN, Transferencia de calor, McGraw-Hill, Nueva York(1979), 285.

24. Kreith, F. Principios de transferencia de calor, Herrero Hermanos, Mexico, DF(1988).

26. Bowen, I.S., The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface, Physical Review, V22, 1926.

27. Farlow S.J., "Partial Differential Equations for Scientists and Engineers", John Wiley and Sons, Nueva York(1982), 58.

28. HC. Bryant and Ian Colbeck, A solar pond for London ? , Solar Energy 19, 321-322 (1977).

29. Muñoz, F. Fenomenología de Estanques de Enfriamiento, memorias de II Simposium Nacional de Ciencias Térmicas, 6-9, agosto 1985, México D.F., pp 58063.

30. F.Zangrando and H.C.Bryant, "A Demonstration Sal Gradient Solar Pond", Fourth Semiannual Progress Report to the U.S. Department of Energy. D.O.E. Contract No. E6-77-S-04-3977.

A N E X O A

PROGRAM ESTISOLAR;

< POR MEDIO DEL METODO DE RUNGE-KUTTA SE RESUELVE LA ECUACION
 DIFERENCIAL PARA LA CAPA SUPERIOR DE UN ESTANQUE SOLAR DE GRADIENTE
 SALINO, REALIZANDO EL VALANCE AGUA ATMOSFERA. >

```

CONST  a      = 2.00e7;
       b      = 3.06e6;
       FIII   = 3.024E6 ;
       Tap    = 23.86 ;
       Tao    = 5.72 ;
       W      = 1.72142E-2 ;
       dt     = 0 ;
       da     = 0.96 ;
       C      = 0.5 ;
       Pa     = 760 ;
       V      = 2.68 ;
       H      = 70 ;
       p      = 1099 ;
       Cp     = 3.572E3 ;
       dz     = 0.20 ;
  
```

```

TYPE VALOR = RECORD
           NUM: INTEGER;
           t: REAL;
           Ts: REAL
        END;
  
```

```

VAR t, Ts, ti, Tsi, dh, R : REAL ;
    N, I : INTEGER ;
    X: FILE OF VALOR;
    Y: VALOR ;
  
```

```

FUNCTION FISOL(t: REAL): REAL;
BEGIN
  FISOL := a + b * COSC ( W * (t + dt) )
END;
  
```

```

FUNCTION Ta(t: REAL): REAL;
BEGIN
  Ta := Tap + Tao * COS ( W * (t + dt) - da )
END;
  
```

```

FUNCTION FIATM(t: REAL): REAL;
BEGIN
  FIATM := 4.41504E-8 * (1 + 0.17 * C * C) *
  EXP ( 6 * LN ( Ta(t) + 273.2 ) )
END;
  
```

```

FUNCTION FIAGUAC(Ts: REAL): REAL;
BEGIN
  FIAGUA := 4.74336E-3 * EXP ( 4 * LN ( Ts + 273.2 ) )
  
```


A N E X O A (CONTINUACION)

END;

```
FUNCTION es(Ts: REAL): REAL;
BEGIN
  es := 1.629E8 * EXP ( -4157 / ( Ts + 239 ) )
END;
```

```
FUNCTION ea(t: REAL): REAL;
BEGIN
  ea := 1.629E6 * H * EXP ( -4157 / ( Ta(t) + 239 ) )
END;
```

```
FUNCTION TETA(t, Ts: REAL): REAL;
BEGIN
  TETA := ( Ts + 273.2 ) / ( Pa - 0.378 * es(Ts) ) -
           ( Ta(t) + 273.2 ) / ( Pa - 0.378 * ea(t) )
END;
```

```
FUNCTION FIEVA(t, Ts: REAL): REAL;
BEGIN
  FIEVA := 8.64E4 * ABSC 9075.3 * R * EXP ( (1/3) *
           LN ( ABSC TETA(t, Ts) ) ) / ( Ta(t) + 273.2 ) + 3100.8 *
           V / Pa * ( es(Ts) - ea(t) )
END;
```

```
FUNCTION FICONV(t, Ts: REAL): REAL;
BEGIN
  FICONV := 6.50E-4 * Pa * ( Ts - Ta(t) ) * FIEVA(t, Ts) /
           ( es(Ts) - ea(t) )
END;
```

```
FUNCTION M1(t, Ts: REAL): REAL;
BEGIN
  M1 := 1 / ( dz * p * Cp ) * ( FISOL(t) + FIATM(t) + FIII
           - FIAGUA(Ts) - FIEVA(t, Ts) - FICONV(t, Ts) )
END;
```

```
FUNCTION M2(t, Ts: REAL): REAL;
BEGIN
  M2 := M1( t + dh/2 , Ts + dh * M1(t, Ts) / 2 )
END;
```

```
FUNCTION M3(t, Ts: REAL): REAL;
BEGIN
  M3 := M1( t + dh/2 , Ts + dh * M2(t, Ts) / 2 )
END;
```

```
FUNCTION M4(t, Ts: REAL): REAL;
BEGIN
  M4 := M1( t + dh , Ts + dt * M3(t, Ts) )
END;
```

```
FUNCTION Fct, Ts: REAL): REAL;
```

A N E X O A (CONTINUACION)

BEGIN

$$F := Ts + (dh/6) * (M1(t, Ts) + 2 * M2(t, Ts) + 2 * M3(t, Ts) + M4(t, Ts))$$

END;

BEGIN REPEAT

WRITE (' DAME LOS VALORES INICIALES ti, Tsi, dh, N : ');

READLN (ti, Tsi, dh, N);

UNTIL (N > 0) AND (dh > 0);

WRITELN; WRITELN;

WRITELN (' t(DIAS) Ts(CENTIGRADOS) ');

WRITELN;

WRITELN (' ti:10:0 , Tsi:30:2');

t := ti;

Ts := Tsi;

ASSIGN (X, 'DATOS.SOL');

REWRI TE(X);

FOR I := 1 TO N DO

BEGIN

IF (TETA(t, Ts) < 0) THEN

R := -1

ELSE

R := 1;

Ts := F(t, Ts);

t := ti + dh * I;

IF ((I+1) MOD 10 = 0) THEN

BEGIN

WRITELN (' t:10:0 , Ts:30:2');

Y.NUM := I;

Y.t := t;

Y.Ts := Ts;

WRITE (X, Y)

END

END

END.

A N E X O B

VALORES OBTENIDOS PARA LA TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE DEL
ESTANQUE SOLAR PARA DIFERENTES VALORES DE ZI

M E T O D O N U M E R I C O				
(TIEMPO)	T _e (CENTIGRADOS)			
	0.10	0.20	0.30	0.40
0	00	20	20	20
1	00	20	20	20
2	00	20	20	20
3	00	20	20	20
4	00	20	20	20
5	00	20	20	20
6	00	20	20	20
7	00	20	20	20
8	00	20	20	20
9	00	20	20	20
10	00	20	20	20
11	00	20	20	20
12	00	20	20	20
13	00	20	20	20
14	00	20	20	20
15	00	20	20	20
16	00	20	20	20
17	00	20	20	20
18	00	20	20	20
19	00	20	20	20
20	00	20	20	20
21	00	20	20	20
22	00	20	20	20
23	00	20	20	20
24	00	20	20	20
25	00	20	20	20
26	00	20	20	20
27	00	20	20	20
28	00	20	20	20
29	00	20	20	20
30	00	20	20	20
31	00	20	20	20
32	00	20	20	20
33	00	20	20	20
34	00	20	20	20
35	00	20	20	20
36	00	20	20	20
37	00	20	20	20
38	00	20	20	20
39	00	20	20	20
40	00	20	20	20
41	00	20	20	20
42	00	20	20	20
43	00	20	20	20
44	00	20	20	20
45	00	20	20	20
46	00	20	20	20
47	00	20	20	20
48	00	20	20	20
49	00	20	20	20
50	00	20	20	20
51	00	20	20	20
52	00	20	20	20
53	00	20	20	20
54	00	20	20	20
55	00	20	20	20
56	00	20	20	20
57	00	20	20	20
58	00	20	20	20
59	00	20	20	20
60	00	20	20	20
61	00	20	20	20
62	00	20	20	20
63	00	20	20	20
64	00	20	20	20
65	00	20	20	20
66	00	20	20	20
67	00	20	20	20
68	00	20	20	20
69	00	20	20	20
70	00	20	20	20
71	00	20	20	20
72	00	20	20	20
73	00	20	20	20
74	00	20	20	20
75	00	20	20	20
76	00	20	20	20
77	00	20	20	20
78	00	20	20	20
79	00	20	20	20
80	00	20	20	20
81	00	20	20	20
82	00	20	20	20
83	00	20	20	20
84	00	20	20	20
85	00	20	20	20
86	00	20	20	20
87	00	20	20	20
88	00	20	20	20
89	00	20	20	20
90	00	20	20	20
91	00	20	20	20
92	00	20	20	20
93	00	20	20	20
94	00	20	20	20
95	00	20	20	20
96	00	20	20	20
97	00	20	20	20
98	00	20	20	20
99	00	20	20	20
100	00	20	20	20

A N E X O B (CONTINUACION)

(DIAS)	T E M P E R A T U R A (GRADOS)			
	0.10	0.20	0.30	0.40
443	11.51	11.51	11.51	11.51
444	11.51	11.51	11.51	11.51
445	11.51	11.51	11.51	11.51
446	11.51	11.51	11.51	11.51
447	11.51	11.51	11.51	11.51
448	11.51	11.51	11.51	11.51
449	11.51	11.51	11.51	11.51
450	11.51	11.51	11.51	11.51
451	11.51	11.51	11.51	11.51
452	11.51	11.51	11.51	11.51
453	11.51	11.51	11.51	11.51
454	11.51	11.51	11.51	11.51
455	11.51	11.51	11.51	11.51
456	11.51	11.51	11.51	11.51
457	11.51	11.51	11.51	11.51
458	11.51	11.51	11.51	11.51
459	11.51	11.51	11.51	11.51
460	11.51	11.51	11.51	11.51
461	11.51	11.51	11.51	11.51
462	11.51	11.51	11.51	11.51
463	11.51	11.51	11.51	11.51
464	11.51	11.51	11.51	11.51
465	11.51	11.51	11.51	11.51
466	11.51	11.51	11.51	11.51
467	11.51	11.51	11.51	11.51
468	11.51	11.51	11.51	11.51
469	11.51	11.51	11.51	11.51
470	11.51	11.51	11.51	11.51
471	11.51	11.51	11.51	11.51
472	11.51	11.51	11.51	11.51
473	11.51	11.51	11.51	11.51
474	11.51	11.51	11.51	11.51
475	11.51	11.51	11.51	11.51
476	11.51	11.51	11.51	11.51
477	11.51	11.51	11.51	11.51
478	11.51	11.51	11.51	11.51
479	11.51	11.51	11.51	11.51
480	11.51	11.51	11.51	11.51

A N E X O C

VALORES OBTENIDOS PARA LA TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE DEL
ESTANQUE SOLAR PARA DIFERENTES VALORES DE τ_1

M E T O D O A N A L I T I C O

(DÍAS)	T _s (CENTÍGRADOS)			
	0.10	0.20	0.30	0.40
1	20.00	20.00	20.00	20.00
2	29.08	29.08	29.07	29.07
3	38.28	38.27	38.27	38.26
4	47.46	47.45	47.45	47.44
5	56.66	56.61	56.61	56.60
6	65.86	65.86	65.75	65.75
7	75.06	75.06	75.08	75.08
8	84.26	84.14	84.14	84.14
9	93.46	93.16	93.16	93.16
10	102.66	102.21	102.21	102.21
11	111.86	111.21	111.21	111.21
12	121.06	120.20	120.20	120.20
13	130.26	130.16	130.16	130.16
14	139.46	139.10	139.10	139.11
15	148.66	148.03	148.03	148.03
16	157.86	157.93	157.93	157.93
17	167.06	167.81	167.82	167.82
18	176.26	176.77	176.68	176.68
19	185.46	185.66	185.53	185.53
20	194.66	194.55	194.36	194.36
21	203.86	203.46	203.26	203.26
22	213.06	212.37	212.17	212.17
23	222.26	221.25	221.05	221.05
24	231.46	230.11	229.91	229.91
25	240.66	238.97	238.75	238.75
26	249.86	247.81	247.58	247.58
27	259.06	256.66	256.41	256.41
28	268.26	265.51	265.25	265.25
29	277.46	274.37	274.09	274.09
30	286.66	283.21	282.91	282.91
31	295.86	292.06	291.75	291.75
32	305.06	300.90	300.59	300.59
33	314.26	309.61	309.29	309.29
34	323.46	318.41	318.08	318.08
35	332.66	327.20	326.86	326.86
36	341.86	336.00	335.57	335.57
37	351.06	344.80	344.26	344.26
38	360.26	353.60	353.05	353.05
39	369.46	362.40	361.84	361.84
40	378.66	371.20	370.63	370.63
41	387.86	380.00	379.42	379.42
42	397.06	388.80	388.21	388.21
43	406.26	397.60	397.00	397.00
44	415.46	406.40	405.79	405.79
45	424.66	415.20	414.58	414.58
46	433.86	424.00	423.37	423.37
47	443.06	432.80	432.16	432.16
48	452.26	441.60	440.95	440.95
49	461.46	450.40	449.74	449.74
50	470.66	459.20	458.53	458.53
51	479.86	468.00	467.32	467.32
52	489.06	476.80	476.11	476.11
53	498.26	485.60	484.90	484.90
54	507.46	494.40	493.69	493.69
55	516.66	503.20	502.48	502.48
56	525.86	512.00	511.27	511.27
57	535.06	520.80	520.06	520.06
58	544.26	529.60	528.85	528.85
59	553.46	538.40	537.64	537.64
60	562.66	547.20	546.43	546.43
61	571.86	556.00	555.22	555.22
62	581.06	564.80	564.01	564.01
63	590.26	573.60	572.80	572.80
64	599.46	582.40	581.59	581.59
65	608.66	591.20	590.38	590.38
66	617.86	600.00	599.17	599.17
67	627.06	608.80	607.96	607.96
68	636.26	617.60	616.75	616.75
69	645.46	626.40	625.54	625.54
70	654.66	635.20	634.33	634.33
71	663.86	644.00	643.12	643.12
72	673.06	652.80	651.91	651.91
73	682.26	661.60	660.70	660.70
74	691.46	670.40	669.49	669.49
75	700.66	679.20	678.28	678.28
76	709.86	688.00	687.07	687.07
77	719.06	696.80	695.86	695.86
78	728.26	705.60	704.65	704.65
79	737.46	714.40	713.44	713.44
80	746.66	723.20	722.23	722.23
81	755.86	732.00	731.02	731.02
82	765.06	740.80	739.81	739.81
83	774.26	749.60	748.60	748.60
84	783.46	758.40	757.39	757.39
85	792.66	767.20	766.18	766.18
86	801.86	776.00	774.97	774.97
87	811.06	784.80	783.76	783.76
88	820.26	793.60	792.55	792.55
89	829.46	802.40	801.34	801.34
90	838.66	811.20	810.13	810.13
91	847.86	820.00	818.92	818.92
92	857.06	828.80	827.71	827.71
93	866.26	837.60	836.50	836.50
94	875.46	846.40	845.29	845.29
95	884.66	855.20	854.08	854.08
96	893.86	864.00	862.87	862.87
97	903.06	872.80	871.66	871.66
98	912.26	881.60	880.45	880.45
99	921.46	890.40	889.24	889.24
100	930.66	899.20	898.03	898.03

A N E X O C (CONTINUACION)

L (CM)	Ts (CENTIGRADOS)			
	0.10	0.20	0.30	0.40
425	1.51	1.51	1.51	21.51
426	1.56	1.56	1.56	21.56
427	1.62	1.62	1.62	21.62
428	1.71	1.71	1.71	21.71
429	1.81	1.81	1.81	21.81
430	1.91	1.91	1.91	21.91
431	2.01	2.01	2.01	22.01
432	2.11	2.11	2.11	22.11
433	2.21	2.21	2.21	22.21
434	2.31	2.31	2.31	22.31
435	2.41	2.41	2.41	22.41
436	2.51	2.51	2.51	22.51
437	2.61	2.61	2.61	22.61
438	2.71	2.71	2.71	22.71
439	2.81	2.81	2.81	22.81
440	2.91	2.91	2.91	22.91
441	3.01	3.01	3.01	23.01
442	3.11	3.11	3.11	23.11
443	3.21	3.21	3.21	23.21
444	3.31	3.31	3.31	23.31
445	3.41	3.41	3.41	23.41
446	3.51	3.51	3.51	23.51
447	3.61	3.61	3.61	23.61
448	3.71	3.71	3.71	23.71
449	3.81	3.81	3.81	23.81
450	3.91	3.91	3.91	23.91
451	4.01	4.01	4.01	24.01
452	4.11	4.11	4.11	24.11
453	4.21	4.21	4.21	24.21
454	4.31	4.31	4.31	24.31
455	4.41	4.41	4.41	24.41
456	4.51	4.51	4.51	24.51
457	4.61	4.61	4.61	24.61
458	4.71	4.71	4.71	24.71
459	4.81	4.81	4.81	24.81
460	4.91	4.91	4.91	24.91
461	5.01	5.01	5.01	25.01
462	5.11	5.11	5.11	25.11
463	5.21	5.21	5.21	25.21
464	5.31	5.31	5.31	25.31
465	5.41	5.41	5.41	25.41
466	5.51	5.51	5.51	25.51
467	5.61	5.61	5.61	25.61
468	5.71	5.71	5.71	25.71
469	5.81	5.81	5.81	25.81
470	5.91	5.91	5.91	25.91
471	6.01	6.01	6.01	26.01
472	6.11	6.11	6.11	26.11
473	6.21	6.21	6.21	26.21
474	6.31	6.31	6.31	26.31
475	6.41	6.41	6.41	26.41
476	6.51	6.51	6.51	26.51
477	6.61	6.61	6.61	26.61
478	6.71	6.71	6.71	26.71
479	6.81	6.81	6.81	26.81
480	6.91	6.91	6.91	26.91

A N E X O D

PROGRAM CONSTANT;

(PROGRAMA PARA DETERMINAR LAS CONSTANTES DEL SISTEMA DE EDUCIONES DE PRIMER GRADO EN EL ESTANQUE SOLAR: A',B',C',D',E',F',G',H',I', C1,C2,m1,m2,q1,q2,q3,q4,q5,q6,q7 y q8. TAMBIEN SE DETERMINAN LAS TEMPERATURAS TI Y TIII.)

```

CONST      A = 1.73E7;
           Ap = 14.9 ;
           am = 0.36 ;
           al = 1.926E7 ;
           B = 2.05E6 ;
           Bp = 2.89 ;
           Bo = 0.459 ;
           bm = 0.08 ;
           be = 5.724E5 ;
           c = 4.883e5 ;
           Cp = 3.572E3 ;
           d = 3.557e5 ;
           da = 6.11 ;
           e = 3.3887 ;
           f = -61.9428 ;
           g = 2.653e7 ;
           h = 4.702e5 ;
           hr = 0.6098 ;
           K = 5.3e4 ;
           Kg = 8.294e4 ;
           r = 0.03 ;
           ro = 1099 ;
           Tg = 17 ;
           teta = 3.6198e-1 ;
           Vv = 1.08 ;
           W = 1.72142E-2 ;
    
```

```

VAR u,Ar,Br,Cr,Dr,Er,Fr,Gr,Hrr,Ir,Z1,Z2,Z3,Zg: REAL;
    B1,B2,C1,C2,L1,L2,L3,L4,L5,L6,M1,M2,TI,TIII,TIo,TIIIo,t,TIF,
    TIIIF: REAL;
    N,L,S: INTEGER;
    q1,q2,q3,q4,q5,q6,q7,q8: real;
    
```

```

BEGIN WRITE ( ' DAME LOS VALORES Z1,Z2,Z3 Y Zg : ' );
      READLN(Z1,Z2,Z3,Zg);
      u := 1/(ro*Cp*Z1);
      Ar := - u*( K/(Z2-Z1) + h + ( c + d*Vv)*( e + Bo ) );
      Cr := u*( K/(Z2-Z1) );
      Br := u*( A*(1-r)*(1 - am + bm*ln( z1/COS(teta) )) + ( al +
      be*Ap) + ( c + d*Vv)*(Ap*(Bo + hr*e) - f*(1-hr) ) - g);
      Dr := u*( B*(1-r)*(1 - am + bm*ln( z1/COS(teta) )) + ( be
      ( c + d*Vv)*(hr*e + Bo ) )*Bp*cos(da) );
      Er := u*Bp*( be + ( c + d*Vv )*( hr*e + Bo ) )*SIN(da);
      Hrr := K/( ro*Cp*(z3-z2)*(z2-z1) );
      Fr := -1/( ro*Cp*(z3-z2) ) *( K/(z2-z1) + Kg/(zg - z3) );
    
```

A N E X O D (CONTINUACION)

```
Gr := 1/C ro*Cp*(z3-z2) )*( A*(1-r)*( am - bm*ln(z2/COS(teta)
) ) + Kg*Ig/(Zg-z3) ) ;
Ir := 1/C ro*Cp*(z3-z2) )*( B *(1-r)*( am - bm*ln(z2/
cos(teta))) ;
```

```
WRITELN 'Z1=', Z1: 4: 1, ' ', 'Z2=', Z2: 4: 1);
WRITELN 'Z3=', Z3: 4: 1, ' ', 'Zg=', Zg: 4: 1); WRITELN;
WRITELN 'A=', ar: 4: 4, ' ', 'B=', br: 8: 4);
WRITELN 'C=', cr: 8: 4, ' ', 'D=', dr: 8: 4);
WRITELN 'E=', Er: 8: 4, ' ', 'F=', fr: 8: 4);
WRITELN 'G=', gr: 8: 4, ' ', 'H=', hrr: 8: 4);
WRITELN 'I=', ir: 8: 4); WRITELN;
WRITE 'DAME LOS VALORES INICIALES TIO, TIIIo, N: ');
READLN (TIO, TIIIo, N);
```

```
M1 := (1/2)*( Ar + Fr ) + sqrt( (Ar + Fr)*(Ar + Fr) - 4*(
Ar*Fr - Cr*Hrr));
M2 := (1/2)*( Ar + Fr ) - sqrt( (Ar + Fr)*(Ar + Fr) - 4*(
Ar*Fr - Cr*Hrr));
B1 := ( M1 - Ar)/Cr ;
B2 := ( M2 - Ar)/Cr ;
L1 := ( Cr - B2*Br)/M1 ;
L2 := ( B1*Br - Gr)/M2 ;
L3 := ( (B2*Dr - Ir)*W - B2*Er*M1 )/( M1*M1 + W*W );
L4 := ( ( Cr - B1*Dr)*W + B1*Er*M2 )/( M2*M2 + W*W );
L5 := - ( ( B2*Dr - Ir)*M1 + B2*Er*W )/( M1*M1 + W*W );
L6 := ( B1*Er*W - (Ir - B1*Dr)*M2)/( M2*M2 + W*W );
C1 := ( B2*TIO - TIIIo - L1 - L5 )/( B2 - B1 );
C2 := ( TIIIo - B1*TIO - L2 - L6 )/( B2 - B1 );
q1 := (c1+12)/(b2-b1);
q2 := (c1+14)/(b2-b1);
q3 := (c1+16)/(b2-b1);
q4 := c1*b1;
q5 := c2*b2;
q6 := (b1*11 + b2*12)/(b2-b1);
q7 := (b1*13+b2*14)/(b2-b1);
q8 := (b1*15+b2*16)/(b2-b1);
```

```
WRITELN; WRITELN;
WRITELN 'm1=', m1: 7: 4, ' ', 'm2=', m2: 7: 4);
WRITELN 'C1=', c1: 7: 4, ' ', 'C2=', c2: 7: 4);
WRITELN 'q1=', q1: 7: 4, ' ', 'q2=', q2: 7: 4);
WRITELN 'q3=', q3: 7: 4, ' ', 'q4=', q4: 7: 4);
WRITELN 'q5=', q5: 7: 4, ' ', 'q6=', q6: 7: 4);
WRITELN 'q7=', q7: 7: 4, ' ', 'q8=', q8: 7);
WRITELN; WRITELN;
WRITE 'TEMPERATURAS OBTENIDAS EN EL ESTANQUE SOLAR PARA ';
WRITELN 'LAS ZONAS I Y III';
WRITELN; WRITELN ( '=====');
WRITELN ( 'CDIAS TI TIII ' );
```


A N E X O D (CONTINUACION)

WRITELN ('-----'); WRITELN;

```

FOR L := 0 TO N DO
BEGIN
  t := 5*L;
  IF (L<4) THEN
  S:=1
  ELSE
  S:=0;
  TI := C1 * EXP(M1*t) + S*C2*EXP(S*M2*t) + q1 +
        q2*sin(w*t) + q3*cos(w*t);
  TIII := q4*EXP(M1*t) + S*q5*EXP(S*M2*t) + q6 +
        q7*sin(w*t) + q8*cos(w*t);
  WRITELN (t:4:0, TI:10:2, TIII:10:2)

```

END;

END.

A N E X O E

t	T ₁ (t)	T ₁ (.3)	T ₁ (.4)	T ₁ (.5)	T ₁ (.6)	T ₁ (.7)	T ₁ (.8)	T ₁ (.9)	T ₁ (t)
0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
10	19.1	17.7	17.4	17.8	18.8	20.4	22.5	25.0	27.8
20	19.1	19.0	20.0	21.6	23.9	26.6	29.8	33.3	37.2
30	19.0	20.1	22.1	24.8	28.1	31.8	36.0	40.5	45.4
40	18.8	20.8	23.8	27.4	31.6	36.3	41.3	46.8	52.5
50	18.6	21.4	25.2	29.6	34.6	40.0	45.9	52.1	58.6
60	18.4	21.9	26.3	31.4	37.1	43.2	49.7	56.6	63.7
70	18.1	22.2	27.2	32.9	39.2	45.9	52.9	60.3	68.0
80	17.7	22.4	27.9	34.1	40.9	48.0	55.6	63.4	71.6
90	17.4	22.5	28.5	35.1	42.2	49.8	57.7	66.0	74.5
100	17.0	22.5	28.8	35.8	43.3	51.2	59.4	68.0	76.9
110	16.7	22.5	29.1	36.4	44.1	52.3	60.8	69.6	78.7
120	16.4	22.4	29.3	36.7	44.7	53.1	61.8	70.8	80.1
130	16.1	22.3	29.4	37.0	45.1	53.6	62.5	71.6	81.1
140	15.9	22.2	29.4	37.2	45.4	54.1	63.0	72.3	81.8
150	15.7	22.2	29.4	37.3	45.6	54.3	63.4	72.7	82.2
160	15.5	22.1	29.5	37.4	45.7	54.5	63.6	72.9	82.5
170	15.5	22.1	29.5	37.4	45.8	54.6	63.7	73.1	82.7
180	15.5	22.1	29.5	37.5	45.9	54.7	63.8	73.2	82.8
190	15.6	22.2	29.6	37.6	46.0	54.8	63.9	73.3	82.9
200	15.7	22.4	29.7	37.7	46.1	54.9	64.0	73.4	83.0
210	15.9	22.5	29.9	37.9	46.3	55.1	64.2	73.6	83.2
220	16.2	22.8	30.2	38.1	46.5	55.3	64.4	73.8	83.5
230	16.5	23.1	30.5	38.4	46.8	55.6	64.8	74.2	83.9
240	16.9	23.4	30.8	38.8	47.2	56.0	65.2	74.7	84.4
250	17.3	23.8	31.2	39.2	47.7	56.5	65.8	75.3	85.1
260	17.7	24.2	31.6	39.7	48.2	57.1	66.4	76.0	85.8
270	18.1	24.7	32.1	40.2	48.8	57.8	67.2	76.8	86.8
280	18.5	25.1	32.6	40.8	49.5	58.5	68.0	77.8	87.8
290	18.9	25.6	33.2	41.4	50.2	59.3	68.9	78.8	89.0
300	19.2	26.0	33.7	42.0	50.9	60.2	69.9	79.9	90.2
310	19.6	26.4	34.2	42.6	51.6	61.1	70.9	81.0	91.5
320	19.9	26.8	34.7	43.3	52.4	61.9	71.9	82.2	92.8
330	20.1	27.1	35.1	43.8	53.1	62.8	72.9	83.4	94.1
340	20.3	27.4	35.5	44.4	53.8	63.6	73.9	84.5	95.4
350	20.3	27.6	35.9	44.9	54.4	64.4	74.8	85.6	96.7
360	20.4	27.8	36.2	45.3	55.0	65.1	75.7	86.6	97.8
370	20.3	27.9	36.4	45.6	55.4	65.7	76.4	87.4	98.8
380	20.2	27.9	36.5	45.9	55.8	66.2	77.0	88.2	99.7
390	20.0	27.8	36.6	46.1	56.1	66.6	77.5	88.8	100.3
400	19.8	27.7	36.6	46.1	56.3	66.9	77.8	89.2	100.8
410	19.5	27.5	36.5	46.1	56.3	67.0	78.0	89.4	101.1
420	19.2	27.3	36.3	46.0	56.2	66.9	78.0	89.5	101.2
430	18.8	27.0	36.0	45.8	56.1	66.8	77.9	89.4	101.1
440	18.4	26.6	35.7	45.5	55.8	66.5	77.6	89.1	100.8
450	18.0	26.2	35.4	45.1	55.4	66.1	77.2	88.6	100.3
460	17.6	25.8	34.9	44.7	54.9	65.6	76.6	88.0	99.6
470	17.2	25.4	34.5	44.2	54.4	65.0	76.0	87.3	98.8
480	16.8	25.0	34.0	43.7	53.8	64.3	75.2	86.4	97.9
490	16.5	24.6	33.6	43.1	53.2	63.6	74.4	85.5	96.8
500	16.2	24.3	33.1	42.6	52.5	62.9	73.5	84.5	95.7

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

A N E X O E (CONTINUACION)

t	Ti(t)	Tii(.3)	Tii(.4)	Tii(.5)	Tii(.6)	Tii(.7)	Tii(.8)	Tii(.9)	Tiii(t)
510	16.0	24.0	32.7	42.1	51.9	62.1	72.6	83.5	94.6
520	15.8	23.7	32.3	41.6	51.3	61.4	71.8	82.5	93.4
530	15.7	23.5	32.0	41.1	50.7	60.7	70.9	81.5	92.3
540	15.6	23.3	31.7	40.7	50.2	60.0	70.2	80.6	91.3
550	15.7	23.2	31.5	40.4	49.8	59.5	69.5	79.8	90.3
560	15.8	23.2	31.4	40.2	49.4	59.0	68.9	79.1	89.5
570	15.9	23.3	31.4	40.0	49.1	58.6	68.5	78.5	88.9
580	16.1	23.4	31.4	40.0	49.0	58.4	68.1	78.2	88.4
590	16.4	23.6	31.5	40.0	48.9	58.3	68.0	77.9	88.1
600	16.7	23.8	31.7	40.1	49.0	58.3	67.9	77.9	88.0
610	17.1	24.1	31.9	40.3	49.2	58.5	68.1	78.0	88.2
620	17.5	24.4	32.2	40.6	49.5	58.7	68.4	78.3	88.5
630	17.9	24.8	32.6	41.0	49.8	59.1	68.8	78.7	89.0
640	18.3	25.2	33.0	41.4	50.3	59.6	69.3	79.3	89.6
650	18.7	25.6	33.4	41.9	50.8	60.2	70.0	80.1	90.4
660	19.1	26.0	33.9	42.4	51.4	60.9	70.8	80.9	91.4
670	19.4	26.4	34.4	42.9	52.1	61.6	71.6	81.9	92.4
680	19.7	26.8	34.8	43.5	52.7	62.4	72.5	82.9	93.6
690	20.0	27.2	35.2	44.0	53.4	63.2	73.3	83.9	94.7
700	20.2	27.4	35.6	44.5	54.0	63.9	74.2	84.9	95.9
710	20.3	27.7	36.0	45.0	54.6	64.6	75.1	85.9	97.0
720	20.4	27.9	36.3	45.4	55.1	65.3	75.9	86.8	98.1
730	20.4	28.0	36.5	45.8	55.6	65.9	76.6	87.7	99.0
740	20.3	28.0	36.7	46.0	56.0	66.4	77.2	88.4	99.9
750	20.2	28.0	36.7	46.2	56.3	66.8	77.7	89.0	100.6
760	19.9	27.9	36.7	46.3	56.4	67.1	78.1	89.4	101.1
770	19.7	27.7	36.6	46.3	56.5	67.2	78.3	89.7	101.5
780	19.4	27.5	36.5	46.2	56.5	67.2	78.3	89.8	101.6
790	19.0	27.2	36.3	46.0	56.3	67.1	78.3	89.7	101.5
800	18.6	26.8	36.0	45.8	56.1	66.9	78.0	89.5	101.3
810	18.2	26.5	35.6	45.4	55.7	66.5	77.6	89.1	100.9
820	17.8	26.1	35.2	45.0	55.3	66.0	77.1	88.5	100.2
830	17.4	25.7	34.8	44.5	54.8	65.4	76.5	87.8	99.4
840	17.0	25.3	34.3	44.0	54.2	64.8	75.7	87.0	98.5
850	16.7	24.9	33.9	43.5	53.6	64.1	74.9	86.1	97.5
860	16.3	24.5	33.4	42.9	52.9	63.3	74.1	85.1	96.4
870	16.1	24.1	33.0	42.4	52.3	62.6	73.2	84.1	95.3
880	15.9	23.8	32.6	41.9	51.6	61.8	72.3	83.1	94.1
890	15.7	23.6	32.3	41.4	51.0	61.1	71.4	82.1	93.0
900	15.6	23.4	31.9	41.0	50.5	60.4	70.6	81.1	91.9
910	15.6	23.3	31.7	40.6	50.0	59.8	69.9	80.2	90.9
920	15.7	23.2	31.5	40.3	49.6	59.3	69.2	79.5	90.0
930	15.8	23.2	31.4	40.1	49.3	58.8	68.7	78.9	89.3
940	16.0	23.3	31.4	40.0	49.1	58.5	68.3	78.4	88.7
950	16.3	23.5	31.4	40.0	49.0	58.4	68.1	78.1	88.3
960	16.6	23.7	31.6	40.0	49.0	58.3	68.0	77.9	88.1
970	16.9	24.0	31.8	40.2	49.1	58.4	68.0	77.9	88.1
980	17.3	24.3	32.1	40.5	49.3	58.6	68.2	78.1	88.3
990	17.7	24.6	32.4	40.8	49.7	58.9	68.5	78.5	88.7
1000	18.1	25.0	32.8	41.2	50.1	59.4	69.1	79.0	89.3

A N E X O F

t	T _x (t)	T _{xx} (0.3)	T _{xx} (0.4)	T _{xx} (0.5)	T _{xx} (0.6)	T _{xx} (0.7)	T _{xxx} (t)
0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
10	19.1	17.2	17.1	18.8.4	20.8	24.1	28.2
20	19.2	19.0	20.6	23.3.4	27.3	32.1	37.7
30	19.1	20.4	23.3	27.9.5	32.7	38.8	45.6
40	19.0	21.4	25.5	30.0.8	36.8	44.3	52.2
50	18.8	22.2	27.2	33.3.5	40.7	48.8	57.6
60	18.6	22.8	28.6	35.3.6	43.6	52.5	62.0
70	18.3	23.2	29.6	37.9.3	45.9	55.4	65.5
80	17.9	23.4	30.4	38.8.6	47.7	57.6	68.2
90	17.6	23.5	30.9	39.9.5	49.1	59.3	70.3
100	17.2	23.5	31.3	40.0.2	50.0	60.6	71.8
110	16.9	23.5	31.5	40.0.6	50.7	61.4	72.8
120	16.6	23.3	31.6	40.0.9	51.0	61.9	73.4
130	16.3	23.2	31.6	41.1.0	51.2	62.2	73.7
140	16.0	23.1	31.5	40.0.9	51.2	62.2	73.8
150	15.9	22.9	31.4	40.0.9	51.2	62.1	73.7
160	15.7	22.8	31.3	40.0.7	51.0	62.0	73.5
200	15.9	22.8	31.1	40.0.4	50.5	61.2	72.6
210	16.1	22.9	31.2	40.0.4	50.5	61.2	72.5
220	16.3	23.1	31.3	40.0.6	50.6	61.3	72.6
230	16.6	23.4	31.6	40.0.8	50.8	61.5	72.8
240	17.0	23.7	31.9	41.1.1	51.1	61.9	73.2
250	17.4	24.1	32.2	41.1.5	51.6	62.3	73.8
260	17.8	24.5	32.7	41.1.9	52.1	63.0	74.4
270	18.2	24.7	33.1	42.2.5	52.7	63.7	75.3
280	18.6	25.4	33.7	43.2.1	53.4	64.5	76.3
290	19.0	25.8	34.2	43.2.7	54.2	65.4	77.3
300	19.4	26.3	34.7	44.1.4	55.0	66.4	78.5
310	19.7	26.7	35.3	45.2.1	55.8	67.4	79.7
320	20.0	27.1	35.8	45.2.8	56.7	68.4	80.9
330	20.2	27.4	36.3	46.2.4	57.5	69.4	82.1
340	20.4	27.7	36.8	47.7.0	58.3	70.4	83.2
350	20.5	28.0	37.1	47.7.6	59.0	71.3	84.3
360	20.5	28.1	37.5	48.2.1	59.7	72.1	85.3
370	20.5	28.2	37.7	48.2.4	60.2	72.8	86.1
380	20.4	28.3	37.9	48.2.7	60.6	73.3	86.8
390	20.2	28.2	37.9	48.2.9	60.9	73.7	87.3
400	20.0	28.1	37.9	49.9.0	61.1	74.0	87.6
410	19.7	27.9	37.8	49.9.0	61.1	74.1	87.7
420	19.3	27.7	37.6	48.8.8	61.0	74.0	87.6
430	19.0	27.3	37.3	48.8.6	60.7	73.7	87.3
440	18.6	27.0	37.0	48.8.2	60.3	73.3	86.9
450	18.2	26.6	36.6	47.7.8	59.8	72.7	86.2
460	17.7	26.2	36.1	47.7.2	59.2	72.0	85.4
470	17.3	25.7	35.6	46.2.7	58.6	71.2	84.5
480	17.0	25.3	35.1	46.2.0	57.8	70.3	83.5
490	16.6	24.9	34.6	45.2.4	57.0	69.4	82.4
500	16.3	24.5	34.1	44.1.7	56.2	68.4	81.2

A N E X O F (CONTINUACION)

t	T _I (t)	T _{II} (0.3)	T _{II} (0.4)	T _{II} (0.5)	T _{II} (0.6)	T _{II} (0.7)	T _{III} (t)
510	16.1	24.2	33.6	44.1	55.4	67.5	80.1
520	15.9	23.9	33.2	43.5	54.7	66.5	78.9
530	15.8	23.6	32.8	43.0	54.0	65.6	77.9
540	15.7	23.4	32.5	42.5	53.3	64.8	76.9
550	15.8	23.3	32.2	42.1	52.8	64.1	76.1
560	15.9	23.3	32.0	41.8	52.4	63.6	75.4
570	16.0	23.3	31.9	41.6	52.0	63.2	74.9
580	16.2	23.4	31.9	41.5	51.9	62.9	74.5
590	16.5	23.6	32.0	41.5	51.8	62.8	74.4
600	16.8	23.8	32.2	41.6	51.9	62.9	74.4
610	17.2	24.1	32.5	41.9	52.1	63.1	74.7
620	17.6	24.5	32.8	42.2	52.5	63.5	75.1
630	18.0	24.9	33.2	42.6	53.0	64.0	75.7
640	18.4	25.3	33.6	43.1	53.6	64.7	76.5
650	18.8	25.7	34.1	43.7	54.2	65.5	77.4
660	19.2	26.1	34.6	44.3	55.0	66.3	78.4
670	19.6	26.6	35.2	45.0	55.7	67.3	79.5
680	19.9	27.0	35.7	45.6	56.5	68.2	80.7
690	20.1	27.3	36.2	46.3	57.3	69.2	81.8
700	20.3	27.6	36.6	46.9	58.1	70.2	82.9
710	20.5	27.9	37.0	47.4	58.8	71.1	84.0
720	20.5	28.1	37.4	47.9	59.5	71.9	85.0
730	20.5	28.2	37.7	48.4	60.1	72.6	85.9
740	20.4	28.3	37.9	48.7	60.5	73.2	86.6
750	20.3	28.3	38.0	48.9	60.9	73.7	87.2
760	20.1	28.2	38.0	49.0	61.1	74.0	87.6
770	19.8	28.0	37.9	49.0	61.2	74.1	87.8
780	19.5	27.8	37.8	48.9	61.1	74.1	87.8
790	19.2	27.5	37.5	48.7	60.9	73.9	87.6
800	18.8	27.2	37.2	48.4	60.6	73.5	87.2
810	18.4	26.8	36.8	48.0	60.1	73.0	86.6
820	17.9	26.4	36.4	47.5	59.6	72.4	85.9
830	17.5	26.0	35.9	47.0	58.9	71.7	85.0
840	17.2	25.5	35.4	46.4	58.2	70.8	84.0
850	16.8	25.1	34.9	45.7	57.4	69.9	82.9
860	16.5	24.7	34.4	45.1	56.6	68.9	81.8
870	16.2	24.3	33.9	44.4	55.8	68.0	80.7
880	16.0	24.0	33.4	43.8	55.1	67.0	79.5
890	15.8	23.7	33.0	43.2	54.3	66.1	78.4
900	15.7	23.5	32.6	42.7	53.6	65.2	77.4
910	15.7	23.4	32.3	42.3	53.1	64.5	76.5
920	15.8	23.3	32.1	41.9	52.6	63.9	75.7
930	15.9	23.3	32.0	41.7	52.2	63.4	75.1
940	16.1	23.3	31.9	41.5	51.9	63.0	74.7
950	16.4	23.5	32.0	41.5	51.8	62.8	74.4
960	16.7	23.7	32.1	41.6	51.8	62.8	74.4
970	17.0	24.0	32.3	41.8	52.0	63.0	74.5
980	17.4	24.3	32.6	42.0	52.3	63.3	74.9
990	17.8	24.7	33.0	42.4	52.7	63.7	75.4
1000	18.2	25.1	33.4	42.9	53.3	64.4	76.1

A N E X O G

t	Trr(t)	Trr(.3)	Trr(.5)	Trr(.6)	Trr(.7)	Trr(.8)	Trr(.9)	Trr(1.1)	Trr(t)
0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
10	19.0	18.0	17.7	18.3	19.1	20.3	21.7	27.8	27.4
20	19.0	19.0	20.8	22.3	24.1	26.2	28.6	36.1	36.7
30	18.9	19.8	23.4	25.7	28.4	31.3	34.4	43.5	45.0
40	18.7	20.4	25.5	28.6	32.0	35.7	39.6	50.1	52.4
50	18.5	20.9	27.3	31.1	35.2	39.5	44.0	55.8	58.8
60	18.2	21.2	28.8	33.2	37.9	42.8	47.9	60.8	64.4
70	17.9	21.4	30.1	35.0	40.2	45.6	51.2	65.1	69.2
80	17.6	21.6	31.2	36.5	42.1	48.0	54.1	68.8	73.3
90	17.2	21.6	32.0	37.8	43.8	50.0	56.5	71.9	76.8
100	16.9	21.6	32.7	38.8	45.1	51.7	58.4	74.4	79.7
110	16.5	21.6	33.3	39.6	46.2	53.0	60.1	76.5	82.1
120	16.2	21.6	33.7	40.3	47.1	54.1	61.4	78.2	84.1
130	15.9	21.5	34.0	40.8	47.8	55.0	62.4	79.6	85.6
140	15.7	21.4	34.3	41.2	48.3	55.7	63.3	80.6	86.9
150	15.5	21.4	34.5	41.5	48.8	56.2	63.9	81.5	87.8
160	15.4	21.4	34.6	41.8	49.1	56.7	64.4	82.1	88.6
170	15.3	21.4	34.8	42.0	49.4	57.0	64.8	82.6	89.2
180	15.4	21.5	35.0	42.2	49.7	57.3	65.2	83.1	89.7
190	15.4	21.6	35.2	42.4	49.9	57.6	65.5	83.5	90.1
200	15.6	21.7	35.4	42.7	50.2	58.0	65.9	83.9	90.5
210	15.8	22.0	35.7	43.0	50.5	58.3	66.2	84.3	91.0
220	16.1	22.3	36.0	43.3	50.9	58.7	66.6	84.8	91.5
230	16.4	22.6	36.3	43.7	51.3	59.1	67.1	85.4	92.1
240	16.7	22.9	36.7	44.1	51.8	59.6	67.7	86.1	92.8
250	17.1	23.3	37.2	44.6	52.3	60.2	68.3	86.9	93.6
260	17.5	23.8	37.7	45.2	52.9	60.9	69.1	87.8	94.5
270	18.0	24.2	38.3	45.8	53.6	61.6	69.9	88.8	95.6
280	18.4	24.7	38.8	46.5	54.3	62.5	70.8	89.9	96.7
290	18.8	25.1	39.4	47.1	55.1	63.3	71.7	91.1	98.0
300	19.1	25.6	40.0	47.8	55.9	64.2	72.7	92.4	99.4
310	19.5	26.0	40.6	48.5	56.7	65.1	73.8	93.7	100.8
320	19.7	26.4	41.2	49.2	57.5	66.1	74.8	95.0	102.2
330	20.0	26.7	41.8	49.9	58.3	67.0	75.9	96.3	103.6
340	20.1	26.9	42.3	50.5	59.1	67.9	76.9	97.6	105.1
350	20.2	27.2	42.7	51.1	59.7	68.7	77.8	98.9	106.4
360	20.2	27.3	43.1	51.6	60.4	69.4	78.7	100.0	107.7
370	20.2	27.4	43.4	52.0	60.9	70.1	79.5	101.1	108.8
380	20.1	27.4	43.6	52.4	61.4	70.7	80.2	102.0	109.8
390	19.9	27.3	43.8	52.6	61.7	71.1	80.7	102.7	110.7
400	19.7	27.2	43.8	52.8	62.0	71.4	81.1	103.3	111.4
410	19.4	27.0	43.8	52.8	62.1	71.6	81.4	103.6	111.9
420	19.0	26.7	43.7	52.8	62.1	71.7	81.5	103.8	112.1
430	18.7	26.4	43.5	52.6	62.0	71.6	81.5	103.8	112.1
440	18.3	26.1	43.2	52.4	61.8	71.4	81.3	103.6	112.0
450	17.9	25.7	42.9	52.0	61.5	71.1	81.0	103.2	111.6
460	17.5	25.3	42.5	51.7	61.1	70.7	80.5	102.7	111.1
470	17.1	24.9	42.1	51.2	60.6	70.2	80.0	102.0	110.4
480	16.7	24.5	41.6	50.7	60.0	69.6	79.3	101.2	109.5
490	16.4	24.2	41.2	50.2	59.4	68.9	78.6	100.3	108.6
500	16.1	23.8	40.7	49.7	58.8	68.2	77.8	99.3	107.5

A N E X O G (CONTINUACION)

t	T _{r(t)}	T _{r(.3)}	T _{r(.5)}	T _{r(.6)}	T _{r(.7)}	T _{r(.8)}	T _{r(.9)}	T _{r(1.1)}	T _{r(r)} (t)
510	15.9	23.5	40.3	49.1	58.2	67.5	77.0	98.3	106.4
520	15.7	23.3	39.9	48.6	57.6	66.8	76.2	97.2	105.3
530	15.6	23.1	39.5	48.1	57.1	66.2	75.5	96.2	104.2
540	15.5	23.0	39.2	47.7	56.5	65.5	74.7	95.3	103.2
550	15.6	22.9	38.9	47.4	56.1	65.0	74.1	94.4	102.3
560	15.7	22.9	38.7	47.1	55.7	64.5	73.5	93.7	101.4
570	15.8	23.0	38.6	46.9	55.4	64.2	73.1	93.1	100.7
580	16.1	23.1	38.6	46.8	55.2	63.9	72.7	92.6	100.2
590	16.3	23.3	38.6	46.8	55.2	63.8	72.5	92.3	99.8
600	16.7	23.6	38.8	46.9	55.2	63.7	72.5	92.2	99.6
610	17.0	23.9	39.0	47.0	55.3	63.9	72.6	92.3	99.6
620	17.4	24.2	39.3	47.3	55.6	64.1	72.8	92.5	99.8
630	17.8	24.6	39.6	47.6	55.9	64.4	73.1	93.0	100.3
640	18.2	25.0	40.0	48.0	56.3	64.9	73.6	93.5	100.8
650	18.6	25.4	40.4	48.5	56.8	65.4	74.2	94.3	101.6
660	19.0	25.8	40.9	49.0	57.4	66.0	74.9	95.1	102.5
670	19.3	26.2	41.4	49.6	58.0	66.7	75.6	96.1	103.4
680	19.6	26.5	41.9	50.1	58.7	67.4	76.4	97.1	104.5
690	19.9	26.8	42.3	50.7	59.3	68.2	77.3	98.1	105.7
700	20.1	27.1	42.8	51.2	59.9	68.9	78.1	99.2	106.8
710	20.2	27.3	43.2	51.7	60.5	69.6	78.9	100.3	107.9
720	20.3	27.5	43.5	52.1	61.1	70.3	79.7	101.2	109.0
730	20.3	27.5	43.8	52.5	61.6	70.9	80.4	102.2	110.1
740	20.2	27.6	44.0	52.8	62.0	71.4	81.0	103.0	111.0
750	20.0	27.5	44.2	53.1	62.3	71.8	81.5	103.6	111.7
760	19.8	27.4	44.2	53.2	62.5	72.1	81.9	104.2	112.3
770	19.6	27.2	44.2	53.3	62.6	72.3	82.1	104.5	112.8
780	19.2	27.0	44.1	53.2	62.6	72.3	82.2	104.7	113.0
790	18.9	26.7	43.9	53.1	62.5	72.2	82.5	104.7	113.1
800	18.5	26.3	43.6	52.8	62.3	72.1	82.0	104.5	112.9
810	18.1	26.0	43.3	52.5	62.0	71.7	81.7	104.1	112.6
820	17.7	25.6	42.9	52.1	61.6	71.3	81.2	103.6	112.0
830	17.3	25.2	42.5	51.7	61.1	70.8	80.7	102.9	111.3
840	16.9	24.8	42.0	51.2	60.6	70.2	80.0	102.1	110.5
850	16.6	24.4	41.6	50.7	60.0	69.6	79.3	101.2	109.6
860	16.2	24.1	41.1	50.1	59.4	68.9	78.5	100.2	108.5
870	16.0	23.7	40.6	49.5	58.7	68.1	77.7	99.1	107.4
880	15.8	23.4	40.2	49.0	58.1	67.4	76.9	98.1	106.2
890	15.6	23.2	39.8	48.5	57.5	66.7	76.1	97.0	105.1
900	15.6	23.1	39.4	48.0	56.9	66.0	75.3	96.0	104.0
910	15.5	23.0	39.1	47.6	56.4	65.4	74.6	95.1	103.0
920	15.6	22.9	38.9	47.3	56.0	64.9	73.9	94.3	102.0
930	15.7	23.0	38.7	47.1	55.7	64.4	73.4	93.6	101.2
940	15.9	23.1	38.6	46.9	55.4	64.1	73.0	93.0	100.6
950	16.2	23.2	38.6	46.8	55.3	63.9	72.7	92.6	100.1
960	16.5	23.4	38.7	46.9	55.2	63.8	72.6	92.4	99.8
970	16.8	23.7	38.9	47.0	55.3	63.9	72.6	92.3	99.7
980	17.2	24.1	39.1	47.2	55.5	64.0	72.7	92.5	99.8
990	17.6	24.4	39.5	47.5	55.8	64.3	73.0	92.8	100.1
1000	18.0	24.8	39.8	47.9	56.2	64.7	73.4	93.3	100.6

A N E X O H

t	Tr(t)	Tr(.3)	Tr(.5)	Tr(.7)	Tr(.9)	Tr(1.0)	Tr(1.1)	Tr(1.3)	Tr(t)
0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
10	19.0	18.2	17.8	18.6	20.2	21.3	22.6	25.5	27.1
20	19.0	19.0	20.4	22.8	26.0	27.6	29.7	34.0	36.3
30	18.8	19.7	22.5	26.3	30.9	33.3	36.0	41.6	44.5
40	18.6	20.1	24.2	29.3	35.2	38.3	41.5	48.4	51.9
50	18.4	20.5	25.7	32.0	38.9	42.6	46.5	54.4	58.5
60	18.1	20.7	27.0	34.3	42.3	46.5	50.8	59.8	64.4
70	17.8	20.9	28.1	36.3	45.2	49.8	54.6	64.5	69.6
80	17.4	20.9	29.0	38.0	47.7	52.8	57.9	68.6	74.0
90	17.1	21.0	29.7	39.5	49.9	55.3	60.8	72.1	77.9
100	16.7	20.9	30.4	40.7	51.7	57.4	63.2	75.2	81.2
110	16.4	20.9	30.9	41.8	53.3	59.2	65.3	77.7	84.1
120	16.1	20.8	31.3	42.6	54.6	60.8	67.0	79.9	86.4
130	15.8	20.8	31.6	43.3	55.7	62.0	68.5	81.7	88.4
140	15.6	20.7	31.9	43.9	56.6	63.1	69.7	83.2	90.0
150	15.4	20.7	32.1	44.4	57.3	63.9	70.7	84.4	91.4
160	15.3	20.7	32.3	44.9	58.0	64.7	71.5	85.4	92.5
170	15.2	20.7	32.6	45.2	58.5	65.3	72.2	86.3	93.4
180	15.2	20.8	32.8	45.6	59.0	65.9	72.8	87.1	94.3
190	15.3	20.9	33.0	46.0	59.5	66.4	73.4	87.7	95.0
200	15.5	21.1	33.3	46.4	59.9	66.9	74.0	88.4	95.7
210	15.7	21.4	33.6	46.8	60.4	67.4	74.6	89.1	96.4
220	16.0	21.7	34.0	47.2	61.0	68.0	75.2	89.8	97.2
230	16.3	22.0	34.4	47.7	61.5	68.6	75.8	90.5	98.0
240	16.6	22.4	34.9	48.2	62.2	69.3	76.6	91.4	98.9
250	17.0	22.8	35.4	48.8	62.9	70.1	77.4	92.3	99.9
260	17.4	23.3	35.9	49.5	63.6	70.9	78.3	93.3	101.0
270	17.9	23.7	36.5	50.1	64.4	71.8	79.2	94.4	102.2
280	18.3	24.2	37.0	50.9	65.3	72.7	80.3	95.7	103.5
290	18.7	24.6	37.6	51.6	66.2	73.7	81.4	97.0	104.9
300	19.0	25.1	38.2	52.4	67.2	74.8	82.5	98.3	106.3
310	19.4	25.5	38.8	53.2	68.2	75.9	83.7	99.7	107.9
320	19.6	25.8	39.4	53.9	69.2	77.0	84.9	101.2	109.4
330	19.9	26.2	39.9	54.7	70.1	78.1	86.1	102.6	111.0
340	20.0	26.4	40.4	55.4	71.1	79.1	87.3	104.0	112.5
350	20.1	26.6	40.8	56.0	71.9	80.1	88.4	105.4	114.0
360	20.1	26.8	41.1	56.6	72.7	81.0	89.5	106.7	115.4
370	20.1	26.8	41.4	57.1	73.5	81.9	90.4	107.8	116.7
380	20.0	26.8	41.6	57.5	74.1	82.6	91.2	108.9	117.8
390	19.8	26.7	41.8	57.8	74.6	83.2	92.0	109.8	118.8
400	19.6	26.6	41.8	58.1	75.0	83.7	92.5	110.5	119.6
410	19.3	26.4	41.8	58.2	75.3	84.0	92.9	111.0	120.2
420	18.9	26.1	41.7	58.2	75.4	84.2	93.2	111.4	120.6
430	18.6	25.8	41.5	58.1	75.4	84.3	93.3	111.6	120.8
440	18.2	25.5	41.2	57.9	75.3	84.2	93.2	111.5	120.8
450	17.8	25.1	40.9	57.7	75.1	83.9	93.0	111.3	120.6
460	17.4	24.8	40.6	57.3	74.7	83.6	92.6	110.9	120.2
470	17.0	24.4	40.2	56.9	74.3	83.1	92.1	110.4	119.6
480	16.6	24.0	39.8	56.4	73.7	82.6	91.5	109.7	118.9
490	16.3	23.7	39.4	55.9	73.1	81.9	90.8	108.9	118.0
500	16.0	23.3	38.9	55.4	72.5	81.2	90.1	108.0	117.1

A N E X O H (CONTINUACION)

t	T _{x(t)}	T _{x(3)}	T _{x(5)}	T _{x(7)}	T _{x(9)}	T _{x(1.0)}	T _{x(1.1)}	T _{x(1.3)}	T _{xx(t)}
510	15.8	23.1	38.6	54.9	71.9	80.5	89.3	107.1	116.1
520	15.6	22.8	38.2	54.4	71.2	79.8	88.5	106.1	115.0
530	15.5	22.6	37.9	54.0	70.6	79.1	87.7	105.2	114.0
540	15.4	22.5	37.6	53.5	70.0	78.4	86.9	104.2	113.0
550	15.5	22.5	37.4	53.2	69.5	77.8	86.2	103.4	112.1
560	15.6	22.5	37.3	52.9	69.0	77.3	85.6	102.6	111.2
570	15.7	22.6	37.2	52.7	68.7	76.8	85.1	102.0	110.5
580	16.0	22.8	37.2	52.5	68.4	76.5	84.7	101.5	109.9
590	16.3	23.0	37.3	52.5	68.3	76.3	84.5	101.1	109.5
600	16.6	23.2	37.5	52.5	68.2	76.3	84.4	100.9	109.3
610	16.9	23.5	37.7	52.7	68.3	76.3	84.4	100.9	109.3
620	17.3	23.9	38.0	52.9	68.5	76.5	84.6	101.1	109.4
630	17.7	24.3	38.3	53.3	68.8	76.8	84.9	101.4	109.8
640	18.1	24.7	38.7	53.7	69.3	77.3	85.4	101.9	110.3
650	18.5	25.1	39.1	54.1	69.8	77.8	85.9	102.5	111.0
660	18.9	25.4	39.5	54.6	70.4	78.4	86.6	103.3	111.8
670	19.3	25.8	40.0	55.2	71.0	79.1	87.4	104.2	112.7
680	19.6	26.1	40.4	55.7	71.7	79.9	88.2	105.2	113.8
690	19.8	26.4	40.8	56.3	72.4	80.7	89.0	106.2	114.9
700	20.0	26.7	41.2	56.8	73.1	81.4	89.9	107.2	116.0
710	20.1	26.9	41.6	57.3	73.8	82.2	90.8	108.3	117.1
720	20.2	27.0	41.9	57.8	74.4	82.9	91.6	109.3	118.2
730	20.2	27.1	42.1	58.2	75.0	83.6	92.4	110.2	119.3
740	20.1	27.1	42.3	58.5	75.5	84.2	93.0	111.0	120.2
750	19.9	27.0	42.4	58.8	75.9	84.7	93.6	111.8	121.0
760	19.7	26.9	42.4	59.0	76.2	85.1	94.1	112.4	121.7
770	19.4	26.7	42.4	59.1	76.5	85.4	94.4	112.8	122.1
780	19.1	26.5	42.2	59.0	76.5	85.5	94.6	113.1	122.5
790	18.8	26.2	42.0	58.9	76.5	85.5	94.6	113.2	122.6
800	18.4	25.8	41.8	58.7	76.3	85.3	94.5	113.1	122.5
810	18.0	25.5	41.5	58.4	76.1	85.1	94.2	112.8	122.2
820	17.6	25.1	41.1	58.1	75.7	84.7	93.8	112.4	121.8
830	17.2	24.7	40.7	57.6	75.2	84.2	93.3	111.8	121.2
840	16.8	24.3	40.3	57.2	74.7	83.6	92.7	111.1	120.4
850	16.5	23.9	39.8	56.6	74.1	82.9	92.0	110.3	119.5
860	16.1	23.6	39.4	56.1	73.4	82.2	91.2	109.3	118.5
870	15.9	23.3	39.0	55.5	72.7	81.5	90.3	108.3	117.5
880	15.7	23.0	38.6	55.0	72.0	80.7	89.5	107.3	116.3
890	15.5	22.8	38.2	54.5	71.3	79.9	88.6	106.3	115.2
900	15.5	22.6	37.9	54.0	70.7	79.2	87.8	105.3	114.1
910	15.5	22.6	37.7	53.6	70.1	78.5	87.0	104.3	113.1
920	15.5	22.5	37.5	53.2	69.6	77.9	86.3	103.5	112.2
930	15.7	22.6	37.4	53.0	69.1	77.4	85.7	102.7	111.3
940	15.9	22.7	37.3	52.8	68.7	77.0	85.3	102.1	110.4
950	16.1	22.9	37.3	52.7	68.5	76.7	84.9	101.4	110.1
960	16.4	23.1	37.5	52.7	68.5	76.5	84.7	101.3	109.8
970	16.5	23.4	37.6	52.8	68.5	76.5	84.4	101.2	109.6
980	17.1	24.7	37.9	52.9	68.7	76.5	84.7	101.2	109.6
990	17.5	25.1	38.2	53.2	68.8	76.8	84.9	101.5	109.8
1000	17.7	25.5	38.4	53.6	69.2	77.2	85.3	101.9	110.2

A N E X O I

t	Ti(t)	Tii(.3)	Tii(.4)	Tii(.5)	Tii(.6)	Tii(.7)	Tii(.8)	Tii(.9)	Tiii(t)
0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
10	19.0	17.4	16.8	17.0	17.7	19.0	20.7	22.8	25.2
20	19.0	18.4	18.8	19.9	21.6	23.8	26.4	29.4	32.6
30	18.9	19.2	20.5	22.4	25.0	28.0	31.4	35.2	39.3
40	18.7	19.8	21.9	24.6	27.9	31.7	35.9	40.4	45.3
50	18.5	20.3	23.1	26.5	30.5	35.0	39.8	45.0	50.5
60	18.2	20.7	24.1	28.1	32.8	37.8	43.3	49.1	55.2
70	17.9	21.0	24.9	29.5	34.7	40.3	46.3	52.6	59.2
80	17.6	21.1	25.6	30.7	36.3	42.4	48.9	55.7	62.7
90	17.2	21.3	26.1	31.7	37.8	44.2	51.5	58.3	65.7
100	16.9	21.3	26.6	32.5	38.9	45.8	53.0	60.5	68.3
110	16.5	21.3	26.9	33.2	39.9	47.0	54.5	62.3	70.4
120	16.2	21.3	27.2	33.7	40.7	48.1	55.8	63.9	72.2
130	16.0	21.3	27.4	34.1	41.4	49.0	56.9	65.1	73.6
140	15.7	21.3	27.6	34.5	41.9	49.7	57.8	66.2	74.8
150	15.6	21.3	27.7	34.8	42.3	50.2	58.5	67.0	75.8
160	15.4	21.3	27.9	35.1	42.7	50.7	59.0	67.7	76.5
170	15.4	21.3	28.0	35.3	43.0	51.1	59.5	68.2	77.2
180	15.4	21.4	28.2	35.5	43.3	51.5	59.9	68.7	77.7
190	15.5	21.6	28.4	35.8	43.6	51.8	60.3	69.1	78.2
200	15.6	21.7	28.6	36.0	43.9	52.1	60.7	69.6	78.7
210	15.9	22.0	28.9	36.3	44.2	52.5	61.1	70.0	79.2
220	16.1	22.3	29.2	36.6	44.6	52.9	61.6	70.5	79.7
230	16.4	22.6	29.5	37.0	45.0	53.4	62.0	71.0	80.3
240	16.8	23.0	29.9	37.4	45.5	53.9	62.6	71.6	80.9
250	17.2	23.4	30.3	37.9	46.0	54.4	63.2	72.3	81.7
260	17.6	23.8	30.8	38.4	46.5	55.0	63.9	73.1	82.5
270	18.0	24.2	31.3	39.0	47.1	55.7	64.7	73.9	83.5
280	18.4	24.7	31.8	39.5	47.8	56.5	65.5	74.9	84.5
290	18.8	25.1	32.3	40.1	48.5	57.2	66.4	75.9	85.6
300	19.2	25.5	32.8	40.7	49.2	58.1	67.3	76.9	86.8
310	19.5	25.9	33.3	41.3	49.9	58.9	68.3	79.1	88.1
320	19.8	26.3	33.8	41.9	50.6	59.7	69.3	80.2	89.3
330	20.0	26.6	34.2	42.5	51.3	60.6	70.2	81.3	90.6
340	20.2	26.9	34.6	43.0	51.9	61.4	74.2	82.4	91.8
350	20.3	27.1	34.9	43.5	52.6	62.1	72.1	83.4	93.0
360	20.3	27.3	35.2	43.9	53.1	62.8	72.9	84.3	94.1
370	20.3	27.4	35.5	44.2	53.6	63.4	73.7	85.0	95.2
380	20.2	27.4	35.6	44.5	54.0	64.0	74.3	85.7	96.1
390	20.0	27.4	35.7	44.7	54.3	64.6	74.9	86.2	96.9
400	19.8	27.2	35.7	44.8	54.6	64.7	75.3	86.6	97.5
410	19.5	27.1	35.6	44.9	54.7	65.0	75.6	86.9	98.0
420	19.1	26.9	35.5	44.8	54.7	65.1	75.8	86.9	98.2
430	18.8	26.6	35.3	44.7	54.6	65.0	75.8	86.9	98.4
440	18.4	26.3	35.1	44.5	54.5	64.9	75.7	86.9	98.3
450	18.0	25.9	34.8	44.2	54.3	64.7	75.5	86.6	98.1
460	17.6	25.6	34.4	43.9	53.9	64.4	75.2	86.3	97.7
470	17.2	25.2	34.1	43.6	53.6	64.0	74.7	85.8	97.2
480	16.8	24.8	33.7	43.2	53.1	63.5	74.2	85.2	96.5
490	16.5	24.5	33.3	42.7	52.6	63.0	73.6	84.5	95.8
500	16.2	24.2	32.9	42.3	52.2	62.4	73.0	83.8	94.9

A N E X O I (CONTINUACION)

t	T ₁ (t)	T ₁₁ (.3)	T ₁₁ (.4)	T ₁₁ (.5)	T ₁₁ (.6)	T ₁₁ (.7)	T ₁₁ (.8)	T ₁₁ (.9)	T ₁₁ (t)
510	16.0	23.9	32.6	41.9	51.7	61.8	72.3	83.0	94.1
520	15.8	23.6	32.3	41.5	51.2	61.2	71.6	82.2	93.2
530	15.7	23.5	32.0	41.1	50.7	60.6	70.9	81.5	92.3
540	15.6	23.3	31.8	40.8	50.3	60.1	70.3	80.7	91.4
550	15.7	23.3	31.6	40.5	49.9	59.6	69.7	80.0	90.6
560	15.8	23.3	31.5	40.3	49.6	59.2	69.2	79.4	89.9
570	15.9	23.3	31.5	40.2	49.4	58.9	68.8	78.9	89.3
580	16.1	23.4	31.5	40.1	49.2	58.7	68.5	78.5	88.9
590	16.4	23.6	31.6	40.1	49.1	58.5	68.3	78.3	88.5
600	16.8	23.9	31.7	40.2	49.2	58.5	68.2	78.1	88.4
610	17.1	24.1	32.0	40.4	49.3	58.6	68.2	78.1	88.3
620	17.5	24.5	32.2	40.6	49.5	58.8	68.4	78.3	88.5
630	17.9	24.8	32.5	40.9	49.8	59.0	68.7	78.6	88.8
640	18.3	25.2	32.9	41.3	50.1	59.4	69.0	79.0	89.2
650	18.7	25.6	33.3	41.7	50.5	59.9	69.5	79.5	89.8
660	19.1	25.9	33.7	42.1	51.0	60.4	70.1	80.2	90.5
670	19.4	26.3	34.1	42.5	51.5	60.9	70.8	80.9	91.3
680	19.7	26.6	34.5	43.0	52.0	61.6	71.5	81.7	92.2
690	20.0	26.9	34.8	43.4	52.6	62.2	72.2	82.5	93.2
700	20.2	27.2	35.2	43.9	53.1	62.8	72.9	83.4	94.1
710	20.3	27.4	35.5	44.3	53.6	63.4	73.6	84.2	95.1
720	20.4	27.6	35.7	44.6	54.1	64.0	74.3	85.0	96.0
730	20.3	27.7	35.9	44.9	54.5	64.5	74.9	85.7	96.8
740	20.3	27.7	36.1	45.2	54.8	65.0	75.5	86.4	97.6
750	20.1	27.6	36.1	45.3	55.1	65.3	76.0	87.0	98.3
760	19.9	27.5	36.1	45.4	55.3	65.6	76.3	87.4	98.8
770	19.6	27.4	36.1	45.4	55.4	65.8	76.6	87.7	99.2
780	19.3	27.2	35.9	45.4	55.4	65.9	76.7	87.9	99.4
790	19.0	26.9	35.7	45.2	55.3	65.8	76.7	88.0	99.5
800	18.6	26.6	35.5	45.0	55.1	65.7	76.6	87.9	99.4
810	18.2	26.2	35.2	44.8	54.9	65.4	76.4	87.6	99.2
820	17.8	25.9	34.8	44.4	54.6	65.1	76.0	87.3	98.8
830	17.4	25.5	34.5	44.1	54.2	64.7	75.6	86.8	98.3
840	17.0	25.1	34.1	43.6	53.7	64.2	75.0	86.2	97.6
850	16.7	24.8	33.7	43.2	53.2	63.6	74.4	85.5	96.8
860	16.3	24.2	33.3	42.8	52.7	63.1	73.7	84.7	96.0
870	16.1	24.1	32.9	42.3	52.2	62.4	73.0	83.9	95.1
880	15.9	23.8	32.6	41.9	51.7	61.8	72.3	83.1	94.1
890	15.7	23.6	32.3	41.5	51.2	61.2	71.6	82.3	93.2
900	15.7	23.4	32.0	41.1	50.7	60.6	70.9	81.5	92.3
910	15.6	23.3	31.8	40.8	50.3	60.1	70.3	80.7	91.4
920	15.7	23.3	31.6	40.5	49.9	59.6	69.7	80.0	90.6
930	15.8	23.3	31.6	40.4	49.6	59.2	69.2	79.4	89.9
940	16.0	23.4	31.5	40.3	49.4	58.9	68.8	78.9	89.3
950	16.3	23.6	31.5	40.2	49.3	58.7	68.5	78.5	88.9
960	16.6	23.8	31.6	40.3	49.3	58.7	68.4	78.4	88.6
970	16.9	24.0	31.9	40.4	49.3	58.7	68.3	78.3	88.5
980	17.3	24.3	32.1	40.6	49.5	58.8	68.4	78.4	88.6
990	17.7	24.7	32.4	40.8	49.7	59.0	68.6	78.6	88.8
1000	18.1	25.0	32.8	41.1	50.0	59.3	69.0	78.9	89.2

A N E X O J

t	T _I (t)	T _{II} (.3)	T _{II} (.4)	T _{II} (.5)	T _{II} (.6)	T _{II} (.7)	T _{II} (.8)	T _{II} (.9)	T _{II} (t)
0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
10	19.0	17.3	16.5	16.5	17.0	18.1	19.6	21.4	23.6
20	18.9	18.0	18.0	18.8	20.1	22.0	24.2	26.8	29.7
30	18.8	18.6	19.4	20.9	22.9	25.5	28.4	31.7	35.3
40	18.6	19.1	20.6	22.7	25.4	28.6	32.2	36.1	40.3
50	18.4	19.5	21.6	24.4	27.7	31.4	35.6	40.1	44.9
60	18.1	19.8	22.5	25.8	29.6	34.0	38.7	43.7	49.1
70	17.8	20.0	23.2	27.0	31.4	36.2	41.4	46.9	52.8
80	17.5	20.2	23.8	28.1	32.9	38.2	43.8	49.8	56.0
90	17.1	20.3	24.4	29.1	34.3	39.9	46.0	52.3	58.9
100	16.8	20.3	24.8	29.9	35.4	41.4	47.8	54.5	61.4
110	16.4	20.4	25.1	30.5	36.4	42.8	49.4	56.4	63.6
120	16.1	20.4	25.5	31.1	37.3	43.9	50.8	58.0	65.5
130	15.8	20.4	25.7	31.6	38.0	44.8	52.0	59.4	67.1
140	15.6	20.4	25.9	32.1	38.7	45.7	53.0	60.6	68.5
150	15.5	20.4	26.2	32.5	39.2	46.4	53.9	61.7	69.7
160	15.3	20.5	26.4	32.8	39.7	47.0	54.7	62.6	70.7
170	15.3	20.6	26.6	33.2	40.2	47.6	55.3	63.4	71.6
180	15.3	20.7	26.8	33.5	40.6	48.1	56.0	64.1	72.4
190	15.4	20.9	27.1	33.8	41.0	48.6	56.5	64.7	73.2
200	15.6	21.1	27.3	34.2	41.5	49.1	57.1	65.4	73.9
210	15.8	21.3	27.7	34.5	41.9	49.6	57.7	66.0	74.6
220	16.1	21.6	28.0	35.0	42.4	50.1	58.2	66.6	75.3
230	16.4	22.0	28.4	35.4	42.8	50.7	58.9	67.3	76.0
240	16.7	22.4	28.8	35.9	43.4	51.3	59.5	68.0	76.8
250	17.1	22.8	29.3	36.4	43.9	51.9	60.2	68.8	77.7
260	17.5	23.2	29.8	36.9	44.5	52.6	61.0	69.7	78.6
270	18.0	23.7	30.3	37.5	45.2	53.3	61.8	70.6	79.6
280	18.4	24.1	30.8	38.0	45.8	54.0	62.6	71.5	80.7
290	18.8	24.6	31.3	38.6	46.5	54.8	63.5	72.5	81.8
300	19.1	25.0	31.8	39.2	47.2	55.7	64.5	73.6	83.0
310	19.5	25.4	32.3	39.8	47.9	56.5	65.4	74.7	84.2
320	19.7	25.8	32.8	40.4	48.6	57.3	66.4	75.8	85.5
330	20.0	26.1	33.2	41.0	49.3	58.1	67.3	76.9	86.7
340	20.1	26.4	33.6	41.5	50.0	58.9	68.3	77.9	87.9
350	20.2	26.6	33.9	42.0	50.6	59.7	69.2	79.0	89.1
360	20.2	26.8	34.2	42.4	51.1	60.4	70.0	80.0	90.3
370	20.2	26.8	34.4	42.8	51.6	61.0	70.8	80.9	91.3
380	20.1	26.9	34.6	43.1	52.1	61.6	71.5	81.7	92.3
390	19.9	26.8	34.7	43.3	52.4	62.1	72.1	82.4	93.1
400	19.7	26.7	34.7	43.4	52.7	62.4	72.6	83.1	93.9
410	19.4	26.6	34.7	43.5	52.9	62.7	73.0	83.5	94.4
420	19.1	26.4	34.6	43.5	53.0	62.9	73.2	83.9	94.9
430	18.7	26.1	34.5	43.5	53.0	63.0	73.4	84.1	95.1
440	18.3	25.8	34.3	43.3	52.9	63.0	73.4	84.2	95.3
450	17.9	25.5	34.0	43.2	52.8	62.9	73.4	84.2	95.2
460	17.5	25.2	33.7	42.9	52.6	62.7	73.2	84.0	95.1
470	17.1	24.9	33.4	42.6	52.3	62.5	72.9	83.7	94.8
480	16.8	24.5	33.1	42.3	52.0	62.1	72.6	83.3	94.4
490	16.4	24.2	32.8	42.0	51.7	61.7	72.2	82.9	93.9
500	16.2	23.9	32.5	41.7	51.3	61.3	71.7	82.3	93.3

A N E X O J (CONTINUACION)

t	T ₁ (t)	T ₁ (.3)	T ₁ (.4)	T ₁ (.5)	T ₁ (.6)	T ₁ (.7)	T ₁ (.8)	T ₁ (.9)	T ₁ (t)
510	15.9	23.7	32.2	41.3	50.9	60.9	71.2	81.8	92.6
520	15.8	23.5	32.0	41.0	50.5	60.4	70.7	81.2	91.9
530	15.7	23.3	31.7	40.7	50.2	60.0	70.1	80.6	91.2
540	15.6	23.2	31.6	40.5	49.8	59.6	69.6	80.0	90.6
550	15.7	23.2	31.4	40.3	49.5	59.2	69.2	79.4	89.9
560	15.8	23.2	31.4	40.1	49.3	58.9	68.7	78.9	89.3
570	15.9	23.2	31.3	40.0	49.1	58.6	68.4	78.5	88.8
580	16.1	23.4	31.4	40.0	49.0	58.4	68.1	78.1	88.4
590	16.4	23.6	31.5	40.0	48.9	58.3	68.0	77.9	88.1
600	16.7	23.8	31.6	40.1	49.0	58.3	67.9	77.8	88.0
610	17.1	24.1	31.8	40.2	49.1	58.3	67.9	77.8	87.9
620	17.5	24.4	32.1	40.4	49.2	58.4	68.0	77.9	88.0
630	17.9	24.7	32.4	40.7	49.5	58.7	68.2	78.1	88.2
640	18.3	25.1	32.7	41.0	49.8	59.0	68.5	78.4	88.6
650	18.7	25.4	33.1	41.3	50.1	59.3	68.9	78.8	89.0
660	19.1	25.8	33.4	41.7	50.5	59.8	69.4	79.3	89.6
670	19.4	26.1	33.8	42.1	51.0	60.3	69.9	79.9	90.3
680	19.7	26.5	34.1	42.5	51.4	60.8	70.5	80.6	91.0
690	20.0	26.7	34.5	42.9	51.9	61.3	71.1	81.3	91.8
700	20.1	27.0	34.8	43.3	52.3	61.8	71.7	82.0	92.6
710	20.3	27.2	35.0	43.6	52.7	62.3	72.4	82.7	93.4
720	20.3	27.3	35.3	43.9	53.1	62.8	73.0	83.4	94.2
730	20.3	27.4	35.4	44.2	53.5	63.3	73.5	84.1	94.9
740	20.2	27.4	35.5	44.4	53.8	63.7	74.0	84.7	95.6
750	20.1	27.4	35.6	44.5	54.1	64.0	74.4	85.2	96.3
760	19.9	27.3	35.6	44.6	54.2	64.3	74.8	85.6	96.8
770	19.6	27.1	35.5	44.7	54.3	64.5	75.1	86.0	97.2
780	19.3	26.9	35.4	44.6	54.4	64.6	75.2	86.2	97.4
790	18.9	26.6	35.2	44.5	54.3	64.6	75.3	86.3	97.6
800	18.6	26.3	35.0	44.3	54.2	64.5	75.2	86.3	97.6
810	18.2	26.0	34.7	44.1	54.0	64.4	75.1	86.1	97.5
820	17.8	25.7	34.4	43.8	53.7	64.1	74.8	85.9	97.2
830	17.4	25.3	34.1	43.5	53.4	63.8	74.5	85.5	96.8
840	17.0	24.9	33.7	43.2	53.1	63.4	74.1	85.1	96.3
850	16.6	24.6	33.4	42.8	52.7	62.9	73.6	84.5	95.7
860	16.3	24.3	33.0	42.4	52.2	62.5	73.0	83.9	95.0
870	16.1	24.0	32.7	42.0	51.8	62.0	72.5	83.3	94.3
880	15.9	23.8	32.4	41.7	51.4	61.5	71.9	82.6	93.5
890	15.7	23.6	32.1	41.3	50.9	60.9	71.3	81.9	92.7
900	15.6	23.4	31.9	41.0	50.5	60.5	70.7	81.2	92.0
910	15.6	23.3	31.7	40.7	50.2	60.0	70.1	80.6	91.2
920	15.7	23.3	31.6	40.5	49.9	59.6	69.6	80.0	90.5
930	15.8	23.3	31.6	40.4	49.6	59.3	69.2	79.4	89.9
940	16.0	23.4	31.6	40.3	49.4	59.0	68.9	79.0	89.4
950	16.3	23.6	31.6	40.2	49.3	58.8	68.8	78.7	89.0
960	16.6	23.8	31.7	40.3	49.3	58.7	68.4	78.4	88.7
970	16.9	24.0	31.9	40.4	49.3	58.7	68.3	78.3	88.5
980	17.3	24.3	32.1	40.5	49.4	58.7	68.4	78.3	88.5
990	17.7	24.6	32.4	40.8	49.6	58.9	68.5	78.4	88.6
1000	18.1	25.0	32.7	41.0	49.9	59.1	68.7	78.7	88.9

A N E X O K

t	Tix(t)	Tix(.2)	Tix(.3)	Tix(.4)	Tix(.5)	Tix(.6)	Tix(.7)	Tix(.8)	Tix(t)
0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
10	18.8	16.7	16.2	16.6	17.8	19.7	22.0	24.8	28.0
20	18.8	18.0	18.8	20.4	22.9	25.9	29.4	33.3	37.7
30	18.7	19.1	20.9	23.7	27.2	31.2	35.8	40.7	46.0
40	18.6	19.9	22.7	26.4	30.8	35.8	41.2	47.1	53.3
50	18.4	20.5	24.1	28.6	33.8	39.6	45.9	52.5	59.5
60	18.1	21.0	25.3	30.5	36.4	42.9	49.8	57.1	64.8
70	17.8	21.3	26.3	32.1	38.6	45.6	53.1	61.0	69.2
80	17.5	21.6	27.0	33.3	40.3	47.9	55.8	64.2	72.9
90	17.1	21.7	27.6	34.3	41.7	49.7	58.0	66.8	75.9
100	16.8	21.8	28.0	35.1	42.9	51.1	59.8	68.9	78.2
110	16.5	21.7	28.3	35.7	43.7	52.2	61.2	70.5	80.1
120	16.2	21.7	28.5	36.1	44.4	53.1	62.2	71.7	81.5
130	15.9	21.6	28.6	36.4	44.8	53.7	63.0	72.6	82.6
140	15.7	21.6	28.7	36.6	45.2	54.1	63.5	73.3	83.3
150	15.5	21.5	28.8	36.8	45.4	54.4	63.9	73.7	83.8
160	15.4	21.5	28.8	36.9	45.5	54.6	64.1	74.0	84.1
170	15.3	21.5	28.8	36.9	45.6	54.8	64.3	74.1	84.3
180	15.3	21.5	28.9	37.0	45.7	54.9	64.4	74.2	84.4
190	15.4	21.6	29.0	37.1	45.8	55.0	64.5	74.3	84.5
200	15.5	21.7	29.1	37.2	45.9	55.1	64.6	74.5	84.6
210	15.7	21.9	29.3	37.4	46.1	55.2	64.8	74.6	84.8
220	16.0	22.2	29.5	37.6	46.3	55.5	65.0	74.9	85.1
230	16.3	22.4	29.8	37.9	46.6	55.8	65.4	75.3	85.5
240	16.7	22.8	30.1	38.3	47.0	56.2	65.8	75.7	86.0
250	17.1	23.1	30.5	38.7	47.4	56.7	66.3	76.3	86.7
260	17.5	23.5	30.9	39.1	47.9	57.3	67.0	77.1	87.5
270	17.9	24.0	31.4	39.6	48.5	57.9	67.7	77.9	88.4
280	18.3	24.4	31.9	40.2	49.2	58.7	68.6	78.9	89.5
290	18.7	24.8	32.4	40.8	49.9	59.5	69.5	79.9	90.7
300	19.0	25.3	32.9	41.4	50.6	60.3	70.5	81.0	91.9
310	19.4	25.7	33.4	42.0	51.3	61.2	71.5	82.2	93.2
320	19.6	26.0	33.8	42.6	52.0	62.1	72.5	83.4	94.6
330	19.9	26.3	34.3	43.2	52.8	62.9	73.5	84.6	95.9
340	20.0	26.6	34.7	43.7	53.5	63.8	74.5	85.7	97.2
350	20.1	26.8	35.0	44.2	54.1	64.5	75.5	86.8	98.5
360	20.1	27.0	35.3	44.6	54.6	65.2	76.3	87.8	99.6
370	20.1	27.1	35.5	45.0	55.1	65.9	77.1	88.7	100.7
380	20.0	27.1	35.7	45.2	55.5	66.4	77.7	89.4	101.5
390	19.8	27.1	35.8	45.4	55.8	66.8	78.2	90.0	102.2
400	19.6	26.9	35.7	45.5	56.0	67.0	78.5	90.5	102.7
410	19.3	26.8	35.7	45.5	56.0	67.2	78.7	90.7	103.1
420	19.0	26.5	35.5	45.4	56.0	67.2	78.8	90.8	103.2
430	18.6	26.2	35.3	45.2	55.8	67.2	78.6	90.7	103.0
440	18.2	25.9	35.0	44.9	55.6	66.7	78.4	90.4	102.7
450	17.8	25.5	34.6	44.6	55.2	66.4	77.9	89.9	102.2
460	17.4	25.2	34.2	44.2	54.8	65.9	77.4	89.3	101.5
470	17.0	24.8	33.8	43.7	54.2	65.3	76.7	88.6	100.7
480	16.6	24.4	33.4	43.2	53.7	64.6	76.0	87.7	99.7
490	16.3	24.0	32.9	42.7	53.1	63.9	75.2	86.8	98.7
500	16.0	23.7	32.5	42.2	52.4	63.2	74.3	85.8	97.5

A N E X O K (CONTINUACION)

t	Tx(t)	Txx(.2)	Txx(.3)	Txx(.4)	Txx(.5)	Txx(.6)	Txx(.7)	Txx(.8)	Txxx(t)
510	15.8	23.3	32.1	41.7	51.8	62.4	73.4	84.7	96.4
520	15.6	23.1	31.7	41.2	51.2	61.7	72.5	83.7	95.2
530	15.5	22.9	31.4	40.7	50.6	61.0	71.7	82.7	94.1
540	15.5	22.7	31.1	40.3	50.1	60.3	70.9	81.8	93.0
550	15.5	22.6	30.9	40.0	49.6	59.7	70.2	81.0	92.1
560	15.6	22.6	30.8	39.8	49.3	59.3	69.6	80.3	91.3
570	15.7	22.6	30.7	39.6	49.0	58.9	69.1	79.7	90.6
580	16.0	22.8	30.7	39.5	48.8	58.6	68.8	79.3	90.1
590	16.2	22.9	30.8	39.5	48.8	58.5	68.6	79.1	89.8
600	16.6	23.2	31.0	39.6	48.8	58.5	68.6	79.0	89.7
610	16.9	23.4	31.2	39.8	49.0	58.7	68.7	79.1	89.8
620	17.3	23.8	31.5	40.1	49.3	58.9	69.0	79.4	90.1
630	17.7	24.1	31.9	40.4	49.6	59.3	69.4	79.9	90.6
640	18.1	24.5	32.2	40.8	50.1	59.8	70.0	80.5	91.3
650	18.5	24.9	32.7	41.3	50.6	60.4	70.6	81.2	92.2
660	18.9	25.3	33.1	41.8	51.2	61.0	71.4	82.1	93.1
670	19.2	25.7	33.5	42.3	51.8	61.8	72.2	83.0	94.2
680	19.5	26.0	34.0	42.9	52.4	62.5	73.1	84.0	95.3
690	19.8	26.4	34.4	43.4	53.1	63.3	74.0	85.1	96.5
700	20.0	26.6	34.8	43.9	53.7	64.0	74.9	86.1	97.7
710	20.1	26.9	35.1	44.3	54.3	64.8	75.7	87.1	98.8
720	20.2	27.0	35.4	44.8	54.8	65.4	76.5	88.1	99.9
730	20.1	27.2	35.6	45.1	55.3	66.0	77.3	88.9	100.9
740	20.1	27.2	35.8	45.4	55.7	66.5	77.9	89.7	101.8
750	19.9	27.2	35.9	45.6	56.0	66.9	78.4	90.3	102.5
760	19.7	27.1	35.9	45.7	56.2	67.2	78.8	90.7	103.0
770	19.4	26.9	35.8	45.7	56.3	67.4	79.0	91.0	103.4
780	19.1	26.7	35.7	45.6	56.2	67.4	79.1	91.1	103.5
790	18.8	26.4	35.5	45.4	56.1	67.3	79.0	91.1	103.5
800	18.4	26.1	35.2	45.2	55.9	67.1	78.8	90.8	103.2
810	18.0	25.8	34.9	44.9	55.5	66.7	78.4	90.4	102.8
820	17.6	25.4	34.5	44.5	55.1	66.3	77.9	89.8	102.1
830	17.2	25.0	34.1	44.0	54.6	65.7	77.2	89.1	101.3
840	16.8	24.6	33.6	43.5	54.0	65.1	76.5	88.3	100.4
850	16.5	24.2	33.2	43.0	53.4	64.4	75.7	87.4	99.4
860	16.2	23.8	32.8	42.5	52.8	63.6	74.8	86.4	98.2
870	15.9	23.5	32.3	42.0	52.2	62.9	73.9	85.4	97.1
880	15.7	23.2	31.9	41.4	51.5	62.1	73.0	84.3	95.9
890	15.5	23.0	31.6	41.0	50.9	61.4	72.2	83.3	94.7
900	15.5	22.8	31.3	40.5	50.4	60.7	71.3	82.3	93.6
910	15.5	22.7	31.0	40.2	49.9	60.1	70.6	81.5	92.6
920	15.5	22.6	30.9	39.9	49.5	59.5	69.9	80.7	91.7
930	15.6	22.6	30.8	39.7	49.2	59.1	69.4	80.0	91.0
940	15.8	22.7	30.7	39.6	49.0	58.8	69.0	79.5	90.4
950	16.1	22.8	30.8	39.5	48.8	58.6	68.7	79.2	90.0
960	16.4	23.0	30.9	39.6	48.8	58.5	68.6	79.1	89.8
970	16.7	23.3	31.1	39.7	48.9	58.6	68.7	79.1	89.8
980	17.1	23.6	31.4	39.9	49.1	58.8	68.9	79.3	90.0
990	17.5	24.0	31.7	40.3	49.4	59.1	69.2	79.6	90.4
1000	17.9	24.3	32.1	40.6	49.8	59.6	69.7	80.2	91.0

A N E X O L

t	T ₁ (t)	T ₁ (.4)	T ₁ (.5)	T ₁ (.6)	T ₁ (.7)	T ₁ (.8)	T ₁ (.9)	T ₁ (1.0)	T ₁ (t)
0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
10	19.2	18.3	18.0	18.4	19.4	20.9	22.8	25.0	27.6
20	19.2	19.6	20.6	22.3	24.5	27.0	30.0	33.3	36.9
30	19.1	20.6	22.7	25.4	28.6	32.2	36.1	40.4	44.9
40	19.0	21.3	24.4	28.0	31.1	36.5	41.4	46.5	51.9
50	18.8	21.9	25.7	30.1	35.0	40.2	45.8	51.7	57.9
60	18.5	22.3	26.8	31.9	37.4	43.3	49.6	56.1	62.9
70	18.2	22.6	27.7	33.4	39.4	45.9	52.7	59.8	67.2
80	17.8	22.8	28.4	34.5	41.1	48.0	55.3	62.8	70.7
90	17.5	22.9	28.9	35.4	42.4	49.7	57.4	65.3	73.5
100	17.1	22.9	29.2	36.1	43.4	51.1	59.0	67.3	75.8
110	16.8	22.8	29.5	36.6	44.2	52.1	60.3	68.8	77.5
120	16.5	22.8	29.6	37.0	44.8	52.9	61.3	70.0	78.9
130	16.2	22.7	29.7	37.2	45.1	53.4	62.0	70.8	79.8
140	16.0	22.6	29.7	37.4	45.4	53.8	62.5	71.4	80.5
150	15.8	22.5	29.7	37.5	45.6	54.0	62.8	71.8	81.0
160	15.7	22.4	29.7	37.5	45.7	54.2	63.0	72.0	81.2
170	15.6	22.4	29.8	37.6	45.8	54.3	63.1	72.1	81.4
180	15.6	22.4	29.8	37.6	45.8	54.4	63.2	72.2	81.5
190	15.7	22.5	29.9	37.7	45.9	54.4	63.2	72.3	81.6
200	15.8	22.6	30.0	37.8	46.0	54.6	63.4	72.4	81.7
210	16.0	22.8	30.2	38.0	46.2	54.7	63.5	72.6	81.8
220	16.3	23.1	30.4	38.2	46.4	55.0	63.8	72.8	82.1
230	16.6	23.4	30.7	38.5	46.7	55.3	64.1	73.2	82.5
240	17.0	23.7	31.1	38.9	47.1	55.7	64.5	73.6	83.0
250	17.4	24.1	31.5	39.3	47.6	56.2	65.1	74.2	83.6
260	17.8	24.5	31.9	39.8	48.1	56.8	65.7	74.9	84.4
270	18.2	25.0	32.4	40.4	48.7	57.4	66.4	75.7	85.3
280	18.6	25.4	32.9	40.9	49.4	58.2	67.3	76.7	86.3
290	19.0	25.9	33.5	41.6	50.1	59.0	68.3	77.7	87.4
300	19.4	26.3	34.0	42.2	50.8	59.8	69.1	78.8	88.6
310	19.7	26.8	34.5	42.8	51.5	60.7	70.1	79.9	89.9
320	20.0	27.1	35.0	43.4	52.3	61.5	71.1	81.0	91.2
330	20.2	27.5	35.5	44.0	53.0	62.4	72.1	82.2	92.5
340	20.4	27.8	35.9	44.5	53.7	63.2	73.1	83.3	93.8
350	20.5	28.0	36.2	45.0	54.3	64.0	74.0	84.3	95.0
360	20.5	28.2	36.5	45.5	54.9	64.7	74.8	85.3	96.1
370	20.5	28.2	36.7	45.8	55.3	65.3	75.6	86.2	97.1
380	20.4	28.2	36.9	46.0	55.7	65.7	76.2	86.9	97.9
390	20.2	28.2	36.9	46.2	56.0	66.1	76.6	87.5	98.6
400	19.9	28.1	36.9	46.3	56.1	66.4	77.0	87.9	99.1
410	19.6	27.9	36.8	46.2	56.1	66.5	77.1	88.1	99.3
420	19.3	27.6	36.6	46.1	56.1	66.4	77.1	88.1	99.4
430	18.9	27.3	36.3	45.9	55.9	66.3	77.0	88.0	99.3
440	18.5	26.9	36.0	45.6	55.6	66.0	76.7	87.7	99.0
450	18.1	26.5	35.6	45.2	55.2	65.6	76.3	87.3	98.5
460	17.7	26.1	35.2	44.7	54.7	65.0	75.7	86.7	97.9
470	17.3	25.7	34.7	44.2	54.2	64.4	75.0	85.9	97.0
480	16.9	25.3	34.3	43.7	53.6	63.8	74.3	85.1	96.1
490	16.6	24.9	33.8	43.2	52.9	63.1	73.5	84.2	95.1
500	16.3	24.5	33.3	42.6	52.3	62.3	72.6	83.2	94.0

A N E X O L (CONTINUACION)

t	T ₁ (t)	T ₁ (.4)	T ₁ (.5)	T ₁ (.6)	T ₁ (.7)	T ₁ (.8)	T ₁ (.9)	T ₁ (1.0)	T ₁ (t)
510	16.1	24.2	32.9	42.1	51.7	61.6	71.7	82.2	92.9
520	15.9	23.9	32.5	41.6	51.0	60.8	70.9	81.2	91.7
530	15.8	23.7	32.2	41.1	50.5	60.1	70.1	80.2	90.6
540	15.7	23.5	31.9	40.8	50.0	59.5	69.3	79.4	89.6
550	15.8	23.5	31.7	40.4	49.5	58.9	68.6	78.6	88.7
560	15.8	23.4	31.6	40.2	49.2	58.5	68.1	77.9	87.9
570	16.0	23.5	31.5	40.1	48.9	58.1	67.6	77.3	87.3
580	16.2	23.6	31.6	40.0	48.8	57.9	67.3	76.9	86.8
590	16.5	23.8	31.7	40.0	48.8	57.8	67.1	76.7	86.5
600	16.8	24.1	31.9	40.2	48.8	57.8	67.1	76.7	86.5
610	17.2	24.4	32.1	40.4	49.0	58.0	67.3	76.8	86.6
620	17.6	24.7	32.5	40.7	49.3	58.3	67.6	77.1	86.9
630	18.0	25.1	32.8	41.1	49.7	58.7	68.0	77.5	87.4
640	18.4	25.5	33.3	41.5	50.2	59.2	68.5	78.1	88.0
650	18.8	25.9	33.7	42.0	50.7	59.8	69.2	78.9	88.8
660	19.2	26.4	34.2	42.5	51.3	60.5	69.9	79.7	89.7
670	19.6	26.8	34.7	43.1	51.9	61.2	70.8	80.6	90.8
680	19.9	27.1	35.1	43.6	52.6	61.9	71.6	81.6	91.9
690	20.1	27.5	35.5	44.2	53.2	62.7	72.5	82.6	93.0
700	20.3	27.8	35.9	44.7	53.9	63.5	73.4	83.6	94.2
710	20.5	28.0	36.3	45.1	54.5	64.2	74.2	84.6	95.3
720	20.5	28.2	36.6	45.6	55.0	64.8	75.0	85.5	96.3
730	20.5	28.3	36.8	45.9	55.5	65.4	75.7	86.4	97.3
740	20.4	28.3	37.0	46.2	55.8	65.9	76.3	87.1	98.1
750	20.3	28.3	37.0	46.3	56.1	66.3	76.8	87.7	98.8
760	20.1	28.2	37.0	46.4	56.3	66.5	77.2	88.1	99.3
770	19.8	28.0	36.9	46.4	56.3	66.7	77.4	88.4	99.6
780	19.5	27.8	36.8	46.3	56.3	66.7	77.4	88.5	99.8
790	19.1	27.5	36.5	46.1	56.1	66.6	77.3	88.4	99.7
800	18.7	27.1	36.2	45.8	55.9	66.3	77.1	88.1	99.5
810	18.3	26.8	35.8	45.5	55.5	65.9	76.7	87.7	99.0
820	17.9	26.4	35.4	45.0	55.1	65.5	76.2	87.2	98.4
830	17.5	25.9	35.0	44.6	54.5	64.9	75.5	86.5	97.7
840	17.1	25.5	34.5	44.0	54.0	64.2	74.8	85.7	96.8
850	16.8	25.1	34.1	43.5	53.3	63.5	74.0	84.8	95.7
860	16.4	24.7	33.6	42.9	52.7	62.8	73.1	83.8	94.7
870	16.2	24.4	33.2	42.4	52.0	62.0	72.3	82.8	93.5
880	16.0	24.1	32.7	41.9	51.4	61.2	71.4	81.8	92.4
890	15.8	23.8	32.4	41.4	50.8	60.5	70.5	80.8	91.3
900	15.7	23.6	32.1	41.0	50.2	59.8	69.7	79.9	90.2
910	15.7	23.5	31.8	40.6	49.8	59.2	69.0	79.0	89.2
920	15.8	23.4	31.7	40.3	49.4	58.7	68.4	78.3	88.4
930	15.9	23.5	31.6	40.1	49.1	58.3	67.9	77.6	87.6
940	16.1	23.6	31.6	40.0	48.9	58.0	67.5	77.2	87.1
950	16.4	23.7	31.6	40.0	48.8	57.9	67.2	76.9	86.7
960	16.7	23.9	31.8	40.1	48.8	57.8	67.1	76.7	86.5
970	17.0	24.2	32.0	40.3	48.9	57.9	67.2	76.7	86.5
980	17.4	24.6	32.3	40.5	49.2	58.1	67.4	76.9	86.7
990	17.8	24.9	32.7	40.9	49.5	58.5	67.8	77.3	87.1
1000	18.2	25.3	33.1	41.3	49.9	58.9	68.3	77.8	87.7