

UNIVERSIDAD DE SANTANDER

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS**

TESIS DOCTORAL

**“SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO TERMICO DE
TABLEROS DE PUENTE Y SU INFLUENCIA
EN EL ESTADO TENSIONAL”**

Presentada por: PEDRO SERRANO BRAVO

Dirigida por: JOAQUIN CRUCES DE ABIA

Santander, Junio 1985

CAPITULO VIII

ESTUDIO TENSIONAL DEL ESTADO TERMICO

8.1. INTRODUCCION

Históricamente el primer método de cálculo fué el método de las tensiones admisibles realizando el análisis de la estructura mediante cálculo lineal que supone propiedades y respuestas de los materiales independientes del estado de carga a que esté sometido.

Este método fué rechazado hace ya más de 20 años y España fue uno de los países pioneros en desecharlo. El motivo fué que no garantizaba la seguridad real de una estructura al no ser permisible la extrapolación de datos desde estados de carga normales hasta los estados próximos a la rotura.

Como es sabido, ninguno de los materiales constituyentes de los puentes de fábrica, el hormigón y el acero tienen leyes de tensión-deformación con comportamiento lineal. Por ejemplo el hormigón se puede suponer un diagrama parábola-rectángulo, y el acero de dureza natural un diagrama rectilíneo.

Esto hace que el conjunto de los dos materiales formando el hormigón armado o el hormigón pretensado sea un nuevo material de respuesta no sencilla, y por supuesto no lineal, que merece ser estudiada con más precisión.

El avance del conocimiento de los materiales dió lugar al método de cálculo conocido como de los estados límites. En él, con objeto de limitar convenientemente la probabilidad de que, en la realidad, el efecto de las acciones exteriores sea superior al previsto, o que la respuesta de la estructura resulte inferior a la calculada, el margen de seguridad correspondiente se introduce en los cálculos mediante unos coeficientes de ponderación que multiplican los valores característicos de las acciones y otros coeficientes de minoración que dividen los valores característicos de las propiedades resistentes de los materiales que constituyen la estructura.

En consecuencia el proceso de cálculo consiste en:

1. Obtención del efecto S_d de las acciones exteriores, relativo al estado límite en estudio, a partir de los valores ponderados de las acciones características.
2. Obtención de la respuesta R_d de la estructura, correspondiente al estado límite en estudio, a partir de los valores minorados de las características de los materiales.

3. El criterio de aceptación consiste en la comprobación

$$R_d \geq S_d \quad (8.1)$$

8.2. INFLUENCIA DEL ESTADO TERMICO DE UN TABLERO EN LOS ESTADOS LIMITES ULTIMOS

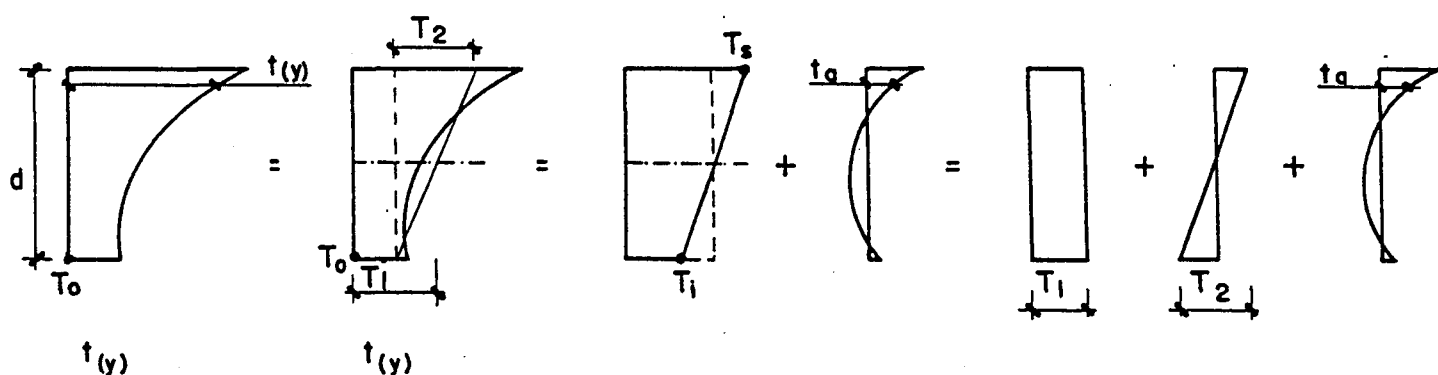
8.2.1. INTRODUCCION

Dentro de los estados límites últimos a que hace referencia la Instrucción EP-77, el presente capítulo se referirá fundamentalmente a los estados límites de agotamiento o de rotura, definidos por el agotamiento resistente o la deformación plástica excesiva de una o varias secciones de los elementos de la estructura.

Las acciones que se consideran capaces de producir el estado límite de agotamiento de la sección son las cargas o acciones directas (Artículo 37.1 de la Instrucción EP-77) y las acciones indirectas, (Artículo 37.2 de la Instrucción EP-77) de las cuales esta tesis se referirá especialmente a las acciones térmicas.

En el caso de puentes las acciones directas quedan perfectamente definidas por la "Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera" y la "Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril", mientras que las acciones térmicas quedan sin determinar en dichas Instrucciones.

En el presente trabajo se determina cual puede ser el campo de temperaturas y se efectúa la descomposición de dicho campo de temperaturas (Capítulo 2.3) en tres distribuciones: Una distribución uniforme de temperatura que rige los movimientos longitudinales del puente, un gradiente constante de temperatura que obliga a la estructura un giro impuesto y una distribución de temperatura que supone un estado de autotensión en el puente, sin movimiento de ninguna de sus fibras, según se deduce de la figura 8.1.



TEMPERATURAS

Figura 8.1.

A continuación se considerará el efecto que implica cada uno de estos tres estados térmicos en el estado último de agotamiento.

La distribución uniforme de temperaturas no supone ningún esfuerzo al puente si los apoyos están bien dimensionados y se permite el movimiento libre de la viga o tablero.

8.2.2. INFLUENCIA DEL GRADIENTE CONSTANTE DE TEMPERATURAS EN LA RESPUESTA ULTIMA DEL PUENTE

Los materiales utilizados en Ingeniería son, de propiedades no sencillas de modelizar o de caracterizar sus propiedades.

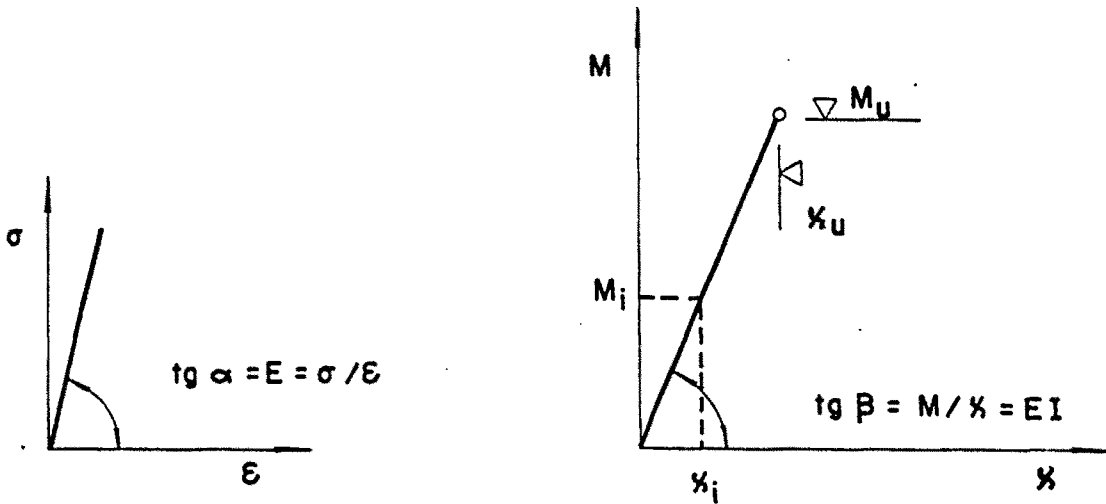
Dentro de la Mecánica del Sólido Deformable, el material más sencillo de utilizar es el sólido elástico y lineal. En virtud de las hipótesis de la Teoría de Resistencia de Materiales se puede establecer la relación entre el momento flector actuante en una sección de una pieza (por ejemplo una viga) y la curvatura en esa sección de la forma:

$$\frac{1}{R} = \chi = \frac{M}{EI} \quad (8.2)$$

Por tanto se puede dibujar un diagrama que relacione la curvatura χ y el Momento flector actuante que según la fórmula (8.2) será una línea recta como indica la figura 8.2a en la cual E es el módulo de elasticidad o de Young del material e I es el momento de inercia de la sección respecto a la fibra neutra, llamándose rigidez de la sección al valor:

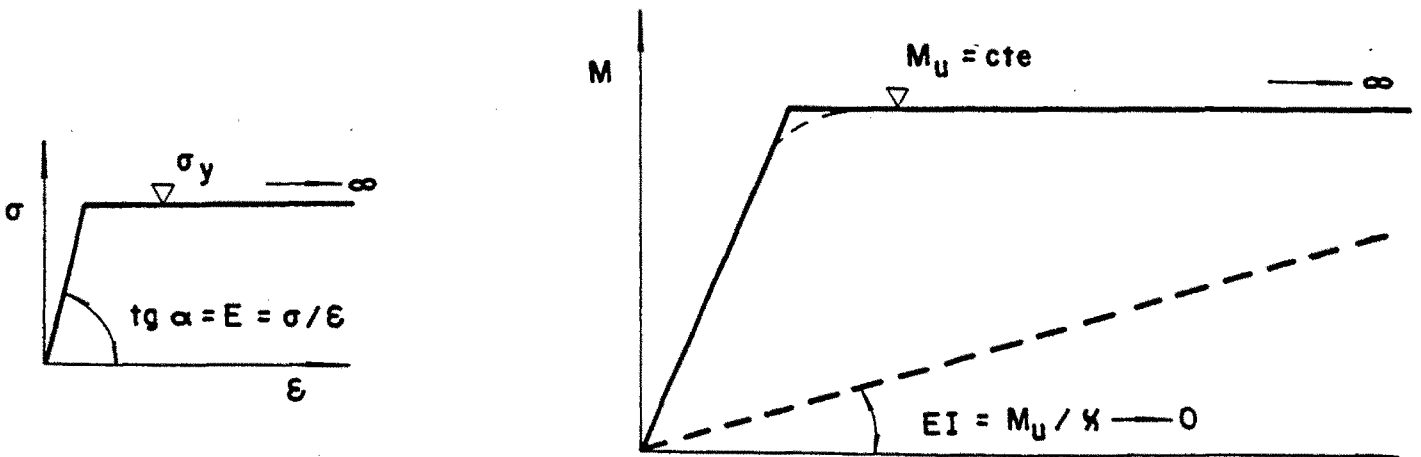
$$tg\beta = EI \quad (8.3)$$

Se plantea el problema de determinar la capacidad de agotamiento del material, y se considera como criterio de



ROTURA: $M_i = M_u$

Figura 8.2. (a)



ROTULA PLASTICA $M = M_u = \text{cte}$
 $EI = 0$

ROTURA: MECANISMO

Figura 8.2. (b)

rotura, el que al menos en una sección de la viga, el momento actuante M_i alcance el valor de la respuesta última. M_u , siendo este valor de M_u el necesario para que, en la fibra del material más solicitada, se alcance una tensión igual a la tensión de rotura del material.

Si el sólido considerado es un material elastoplástico perfecto, significa que hasta un determinado nivel de actuación del momento, su comportamiento es elástico como el caso descrito anteriormente, pero a partir de ese instante, manteniendo el mismo momento actuante la curvatura puede alcanzar cualquier valor, incluso "infinito" o al menos tan grande como se quiera. (Figura 8.2b).

Por tanto, el máximo valor del momento actuante M_u puede estar unido a una curvatura tan grande como se desee, de modo que su rigidez EI , en el límite, puede llegar a ser cero. Este concepto es el de rótula plástica, utilizado en Cálculo Plástico de Estructuras, en el que el criterio de rotura no se refiere a una sección sino al conjunto de la estructura, en la cual se considera rotura cuando el número de rótulos alcanzado convierten a ésta en un mecanismo.

Sobre ambos tipos de sólidos, además de la carga que proporciona el momento flector, puede actuar un gradiente térmico constante, lo cual supone una deformación impuesta, que

si la estructura es isostática no produce esfuerzo, pero, si es hiperestática producirá una distribución de momentos que se puede calcular mediante la teoría del Cálculo de Estructuras.

En vez del diagrama Momento-Curvatura, puede utilizarse el diagrama Momento-Giro correspondiente a una zona de la viga de longitud igual a un canto; admitiendo que la curvatura es uniforme en dicha zona, puede escribirse

$$\theta \approx \chi \cdot h \quad (8.4)$$

Por tanto, se utilizará indiferentemente el diagrama Momento-Curvatura o el diagrama Momento-Giro a lo largo de esta exposición ya que solo varía la constante de proporcionalidad.

Por tanto, si sobre el diagrama Momento-Giro del sólido elástico, se dibuja un estado cualquiera con un momento actuante M_1 y su correspondiente giro, y a éste, se le suma el giro que producen los momentos de continuidad debido a la coacción que presenta la estructura hiperestática a deformarse bajo la acción de un gradiente térmico lineal, resultará un nuevo valor del momento M_2 (figura 8.3a) mayor que M_1 y cuya diferencia es el momento hiperestático debido al gradiente térmico.

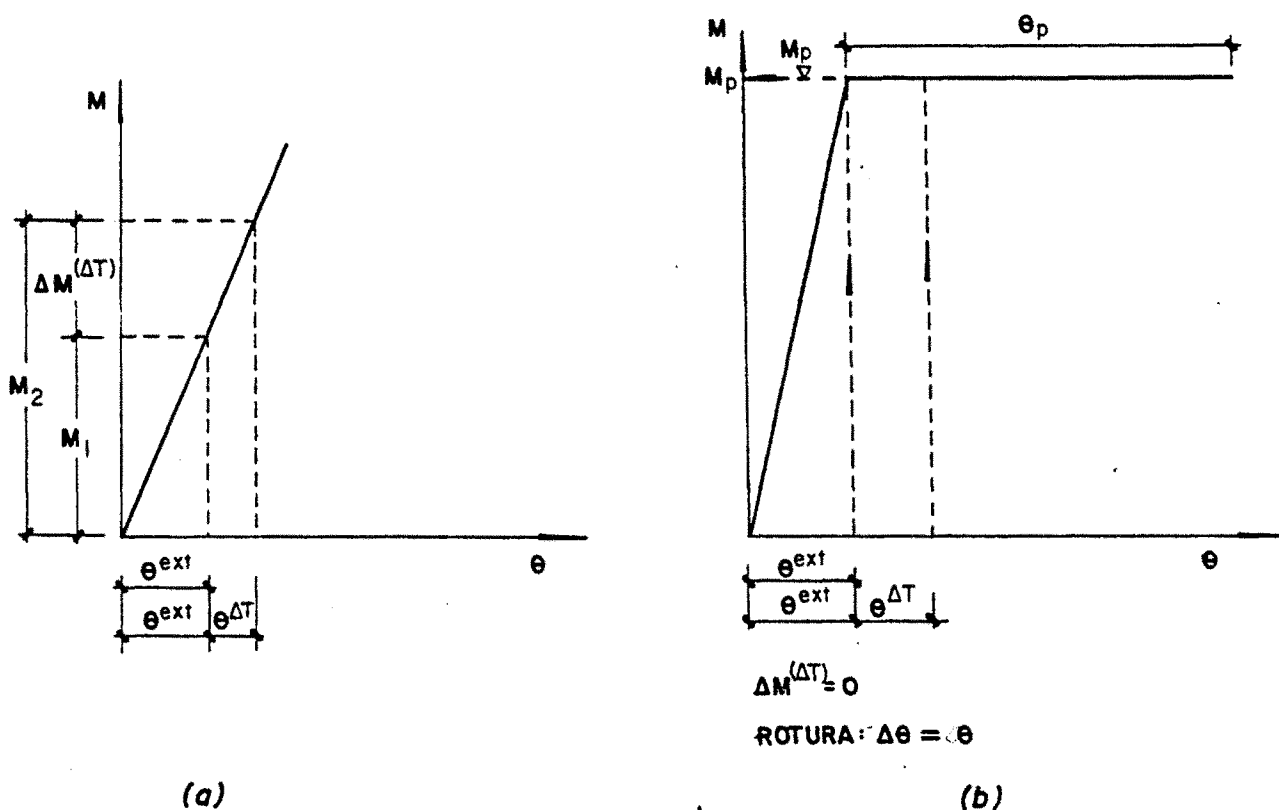


Figura 8.3.

Si el sólido considerado es el sólido elastoplástico y el momento actuante debido a la sobrecarga es el momento de rotura, cualquier nueva deformación impuesta se sumará a la existente (figura 7.3b) pero no producirá nuevos esfuerzos en la sección a estudio aunque sí puede producirlas en el resto de la estructura y por tanto el momento hiperestático debido a gradiente térmico es nulo y no se produce rotura, si no se llega a la máxima capacidad de giro.

En el caso del hormigón armado, ninguno de sus materiales tiene leyes de comportamiento que puedan responder a los modelos anteriores. Por tanto será preciso definir en

primer lugar unos diagramas de comportamiento de los materiales constituyentes del hormigón armado o pretensado (figura 8.4).

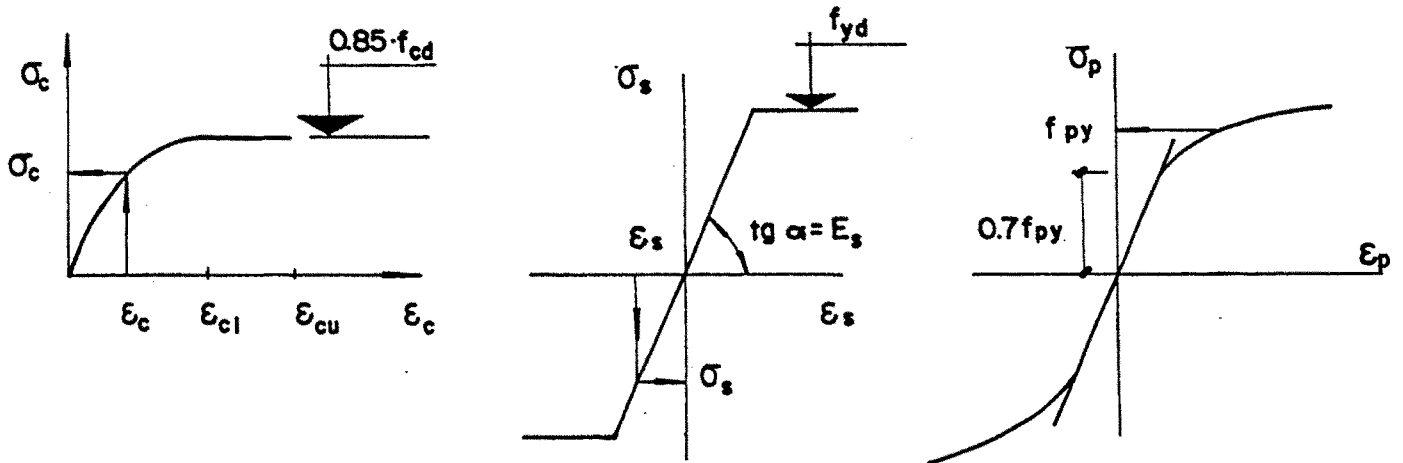


Figura 8.4.

Las normativas nacionales e internacionales (2), (3), (4) han fijado ya estos diagramas de comportamiento y cuales son los criterios de rotura para cada material, dependiendo del tipo de sollicitación a que está sometido.

Suponiendo la validez de la hipótesis de Navier-Bernoulli de planeidad de las secciones una vez deformadas, se ponen las condiciones de compatibilidad y equilibrio a nivel de cada sección de manera que se pueda definir el diagrama que relaciona el momento actuante M y la curvatura asociada χ figura 7.5. Este diagrama se debe obtener por puntos y para cada estado de carga nos define la rigidez de la sección EI como el cociente entre el momento flector y la curvatura. En la figura 8.5 se puede observar la gama tan amplia del valor de la rigidez de la sección.

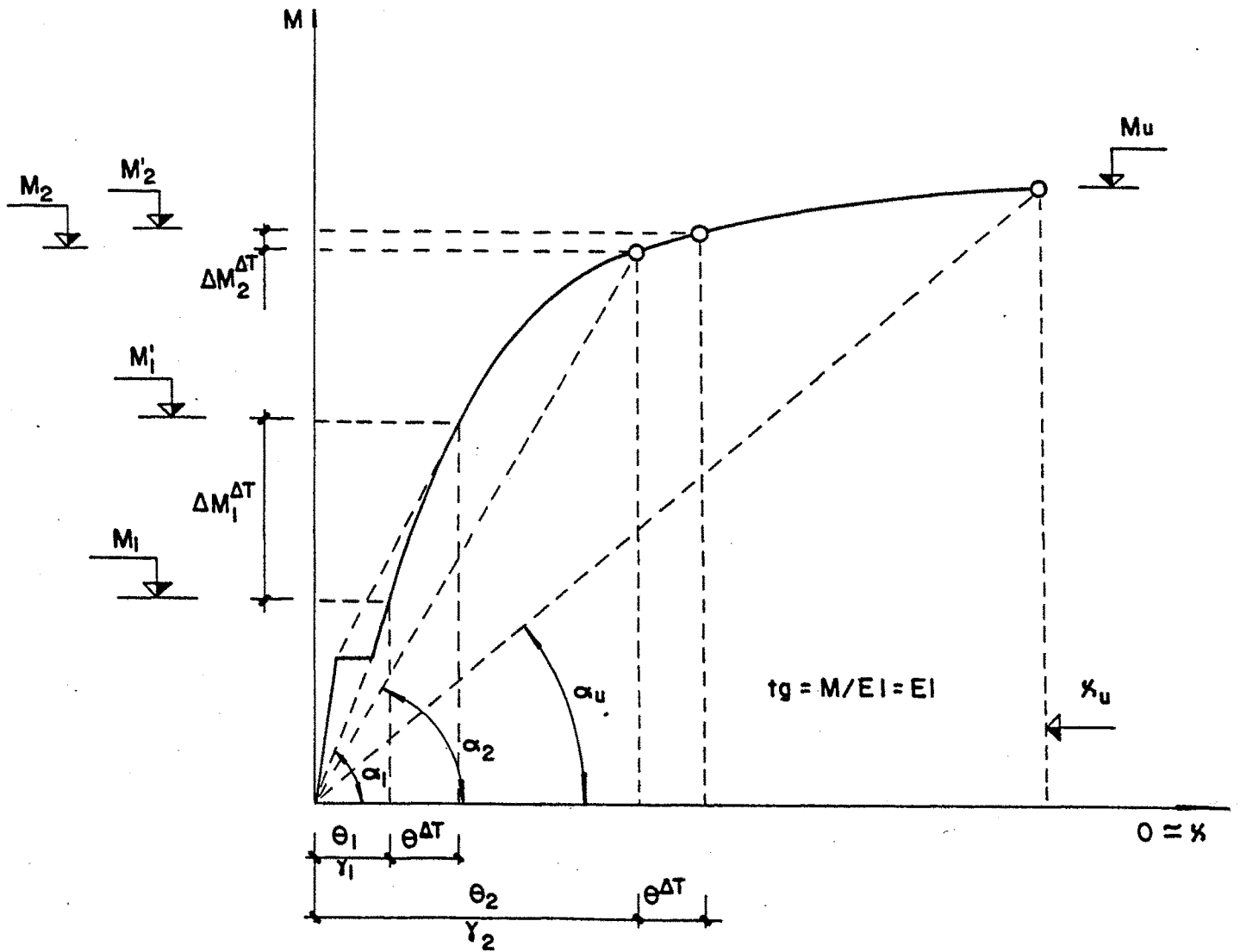


Figura 8.5.

Los materiales constituyentes del hormigón armado o pre-tensado tienen unos límites en su resistencia y no permite una variación grande en la curvatura de la sección, y por tanto existirá una pareja de valores (χ_u, M_u) que indicarán la rotura de la sección.

Se supondrá la sección de la pieza cuyo diagrama momentos-curvatura se representa en la figura 8.5. La pieza se supone sometida a un estado de cargas $\gamma_1(G+Q)$ tal que en la sección considerada produce un momento flector M_1 y lleva asociado un giro θ_1 . Sea $\theta^{\Delta T}$ el giro debido a los esfuerzos hiperestáticos que aparecen en la sección para compatibilizar, a nivel de estructura las deformaciones originadas por el gradiente térmico que sumado al valor θ_1 se obtiene el valor del momento total M_1' por tanto el momento hiperestático debido a gradiente térmico será:

$$\Delta M_1^{\Delta T} = M_1' - M_1 \quad (8.5)$$

Repitiendo el proceso para un estado de carga $\gamma_2(G+Q)$ tal que $\gamma_2 > \gamma_1$ se obtiene el valor del nuevo momento hiperestático debido al gradiente térmico que será:

$$\Delta M_2^{\Delta T} = M_2' - M_2 \quad (8.6)$$

De la propia figura (8.5) se deduce, además.

$$\gamma_1 < \gamma_2 \quad \rightarrow \quad \Delta M_1^{\Delta T} > \Delta M_2^{\Delta T} \quad (8.7)$$

Es decir, que para niveles de carga de la estructura más elevados, el momento hiperestático de gradiente térmico, y por tanto, el efecto del gradiente térmico es más pequeño.

Por tanto, las conclusiones que se pueden deducir de esta figura es que el efecto del gradiente térmico constante sobre la estructura medido por el valor del momento hiperestático que produce depende de:

- El nivel de carga de la estructura.
- El valor del gradiente térmico y del giro $\theta^{\Delta T}$ que produce, que a su vez dependerá de las propiedades térmicas del material (coeficiente de dilatación...) de la geometría de la pieza (canto, longitud...).
- De la forma del diagrama de momento-curvatura que dependerá de la geometría de la sección y del armado de la misma.

En el apartado 8.4 se explican algunos ejemplos estudiados por Aparicio (1) en que se cuantifican estos valores.

8.2.3. INFLUENCIA DE UN ESTADO DE AUTOTENSION DEBIDO A CARGAS TERMICAS EN LA RESPUESTA ULTIMA DEL PUENTE

En el apartado anterior se ha indicado la importancia que tiene la forma del diagrama momentos-curvatura en el valor del momento hiperestático debido a un gradiente térmico.

A continuación se describe como puede afectar el estado de autotensión térmico en la forma del diagrama de curvaturas.

El estado de autotensión se caracteriza por una total ausencia de deformaciones pero con una distribución de tensiones en la sección tal que la suma algebraica de tensiones es nula, así como el momento de todas las tensiones respecto a cualquier punto.

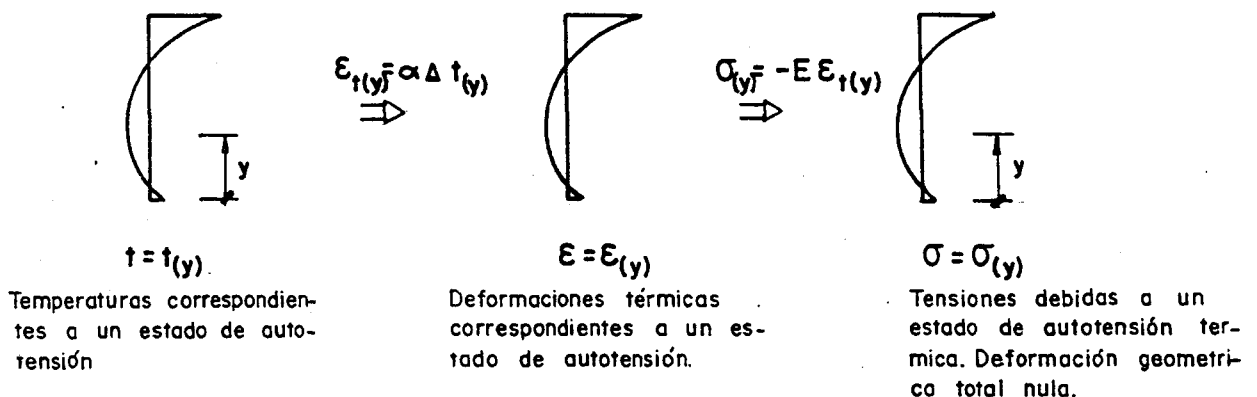


Figura 8.6.

En el apartado dedicado a termoelasticidad se indica que la deformada total o geométrica ϵ_G es la suma algebraica de la deformada térmica ϵ_T y de las deformaciones elásticas. Esto se puede aplicar a las fibras longitudinales que forman el tablero del puente

$$\epsilon_G = \epsilon_T + \epsilon_\sigma \quad (8.8)$$

ϵ_G = deformada geométrica, en el caso de autotensión nula

$\epsilon_T = \alpha \Delta T$, deformada térmica

ϵ_σ = deformada tensional

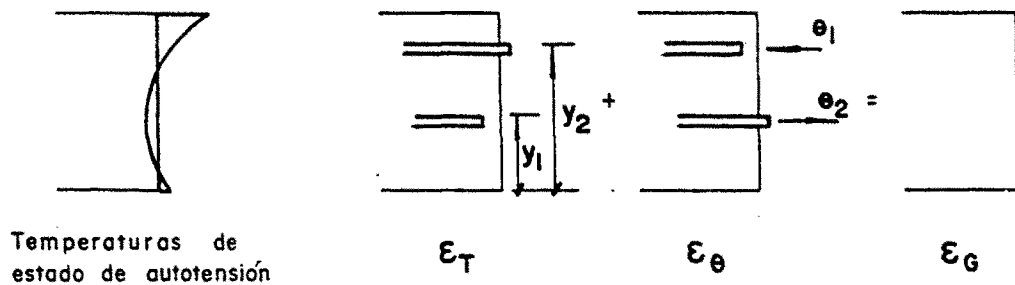


Figura 8.7.

De la expresión (8.8) se puede deducir

$$\epsilon_\sigma(y) = \epsilon_G(y) - \epsilon_T(y) \quad (8.9)$$

Por tanto, se tiene el valor de la deformada tensional en cualquier punto de la sección, en la cual poniendo la condición de autotensión ($\epsilon_G = 0$) se deducen las expresiones:

$$\epsilon_\sigma(y) = -\epsilon_T(y) \quad (8.10)$$

$$\sigma(y) = E \epsilon_\sigma(y) \quad (8.11)$$

$$\sigma(y) = -E \epsilon_T(y) \quad (8.12)$$

La expresión (8.12) es la utilizada para obtener los diagramas de la figura 8.6.

En el anterior apartado de este capítulo se indica la forma de obtener el diagrama Momento-curvatura de cualquier sección, a partir de las leyes constitutivas de los materiales y de la definición de los estados límites de agotamiento, definidas estas en la propia Instrucción (Artículo 47.3 de la Instrucción EP-77) (figura 8.8).

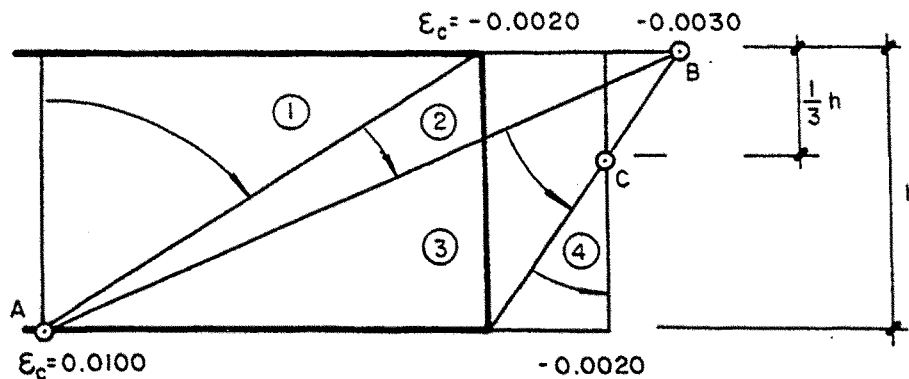


Figura 8.8.

En el diagrama de dominios de deformación de las secciones de hormigón se determina cual es la deformación de cualquier fibra de la sección, y a partir de ella, con los diagramas de las leyes constitutivas de los materiales, sacar las deformaciones correspondientes, sin embargo no es correcto en un caso de autotensión ya que el diagrama de dominios parte de una deformación inicial nula de cada fibra y sin embargo las fibras están predeformadas o pretensionadas, y por tanto las deformaciones que se leen en un diagrama de dominios son deformaciones geométricas ϵ_G y no deformaciones tensionales, y por tanto para poder utilizar los diagramas de las leyes constitutivas de los materiales se deben modifi

car éstas de la forma

$$\epsilon_G = \epsilon_\sigma + \epsilon_T \quad (8.13)$$

La idea es la misma que la traslación del origen de tensiones en el caso del hormigón pretensado respecto del hormigón armado. En este caso se tratará de una traslación del origen de deformaciones en las leyes constitutivas de los materiales de valor ϵ_T como en el caso de la figura 8.9.

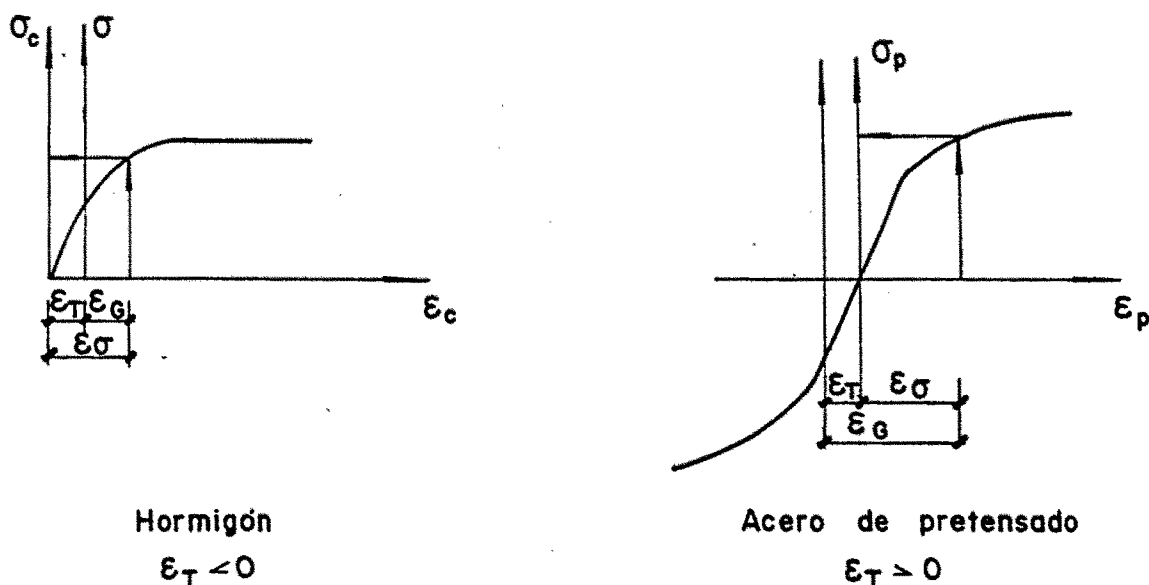


Figura 8.9.

Nótese que esta traslación $\epsilon_T(y)$ del origen de deformaciones es diferente para cada fibra, ya que depende de la cota "y" a la que esté la fibra de que se trate.

Por tanto, si se mantiene el diagrama de dominios que nos dá la curvatura χ , debe cambiarse los diagramas de las leyes constitutivas y por tanto, cambian las tensiones asociadas a las deformaciones, y por tanto, también cambian la resultante N y el momento M debido a las tensiones y lógicamente el diagrama Momento- Curvatura será diferente.

El proceso de cálculo precisa un tratamiento con ordenador pero su implantación es sencilla ya que el dato de las temperaturas existentes es siempre conocido, o puede llegar a definirse un estado térmico de cálculo.

Por tanto, cuando se efectúe el cálculo no lineal de un puente, en el cual se introduzca como estado de carga una distribución de temperaturas que pueda dar lugar a un estado de autotensión térmico, se deben modificar los diagramas momentos curvatura para un cálculo correcto.

8.3. ESTADOS LIMITES DE UTILIZACION

8.3.1. INTRODUCCION

La "Instrucción para el proyecto y obras de hormigón pretensado" EP-77, define tres tipos de estados límites de utilización en función de razones funcionales, de durabilidad y de estética.

Las razones de estética las deja la Instrucción a criterio del proyectista, y están referidas a los otros dos casos. Las razones funcionales se refieren a la limitación de deformaciones y vibraciones fundamentalmente.

Tienen una mayor importancia para la presente tesis las razones de durabilidad relacionadas con el comportamiento de la estructura frente a la fisuración. Los estados límites correspondientes a estas razones de durabilidad son (Artículo 40.3 de la Instrucción EP-77).

-Estado límite de descompresión.

-Estado límite de aparición de fisuras, caracterizado por el hecho de alcanzar la deformación de rotura por tracción del hormigón en una de las fibras extremas de una sección.

-Estado límite de fisuración controlada, caracterizada por el hecho de que la abertura máxima de las fisuras de una pieza alcance un determinado valor límite, función de las condiciones ambientales en que tal pieza se encuentre.

La protección frente a la fisuración da lugar a una clasificación de las estructuras pretensadas en tres clases: Clase I en la cual no aparecen fisuras en ningún estado de carga, Clase II en la que se acepta una probabilidad reducida de aparición de fisuras y clase III en que es admisible la aparición de fisuras en la estructura.

En España y prácticamente en todo el mundo, los puentes pretensados se suelen calcular en Clase I por criterios de conservación y durabilidad, sin embargo, en inspecciones de puentes calculados en Clase I se han observado aparición de fisuras, que un estudio cuidadoso del problema ha detectado que tienen su origen en cargas térmicas no consideradas en el proyecto.

8.3.2. ESFUERZOS TERMICOS EN SERVICIO

Las referencias sobre averías o fisuras en puentes cuya causa después de un atento estudio puede imputarse a cargas térmicas pueden clasificarse de dos formas:

-Fisuras transversales al puente.

-Fisuras longitudinales, detectadas fundamentalmente en puentes de sección cajón.

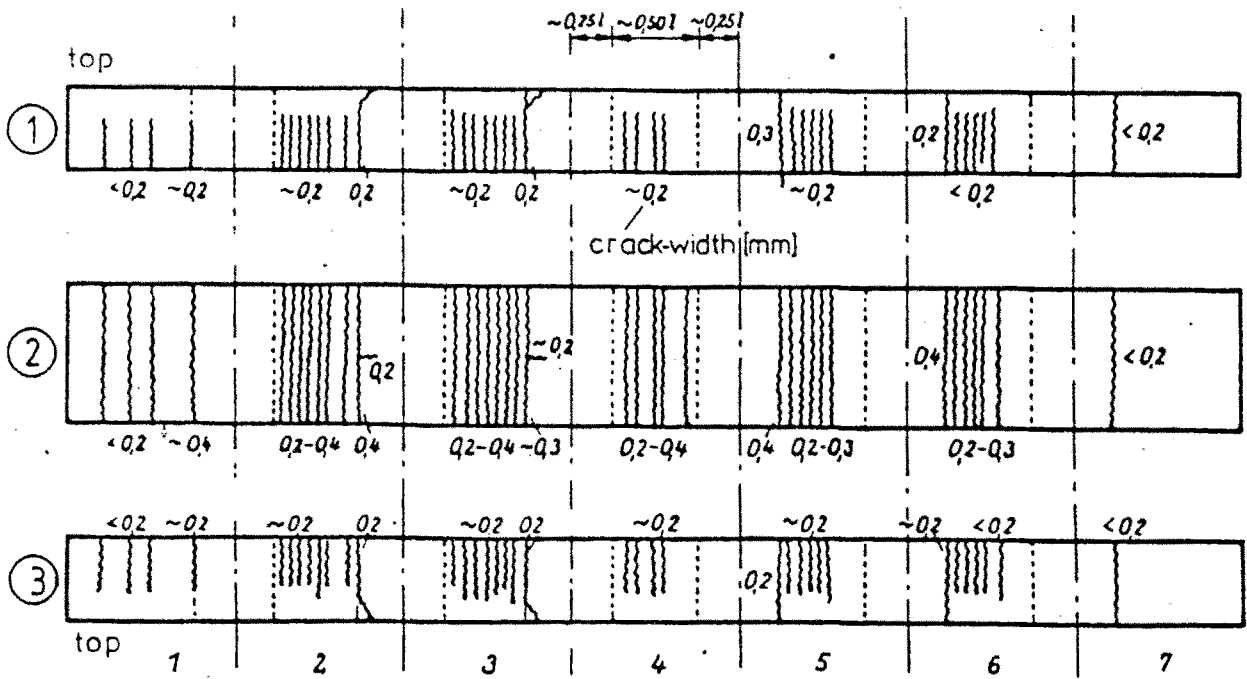
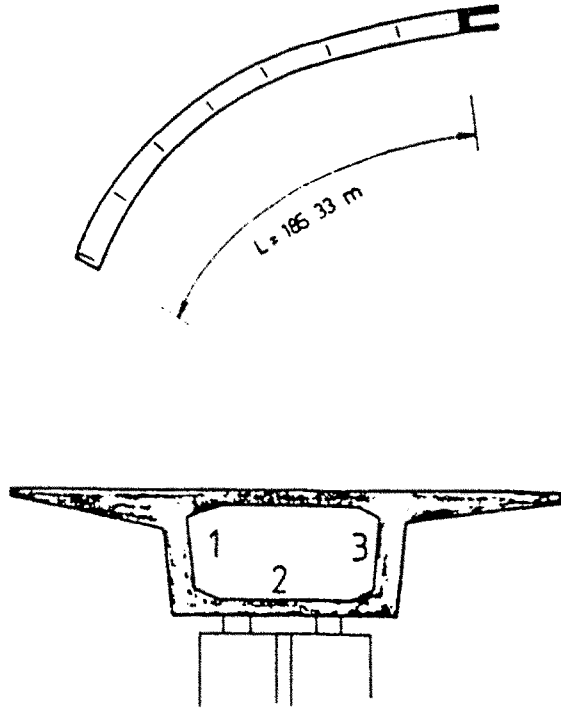
Como ejemplo de fisuras transversales, se indica la referencia de Zichner (9) en la cual un puente de sección cajón de 7 vanos (figura 8.10) se encuentra en su interior con una serie de fisuras transversales en el forjado interior que se prolongan por las almas hasta media altura, situadas en centro de los vanos, ocupando aproximadamente la mitad de su longitud.

Priestley (8) también indica la formación de grietas en el intrados del tablero bajo la acción de cargas térmicas.

Relativas a las grietas longitudinales, existen numerosas referencias y todas ellas se refieren a fisuras en el alma de secciones cajón, bien en su parte superior o en su parte inferior.

El CEB (Comité europeo del hormigón) (5) hace referencia a este tipo de fisuras similares a las indicadas en la figura (8.11).

Leonhardt, Kolbe y Peter (7) estudian también un puente de sección cajón con almas de 75 cm y el pretensado concentrado en una sola vaina con graves problemas debido a una grieta longitudinal en la parte superior del alma.



Cracks in a multi-span box-girder bridge

Figura 8.10.

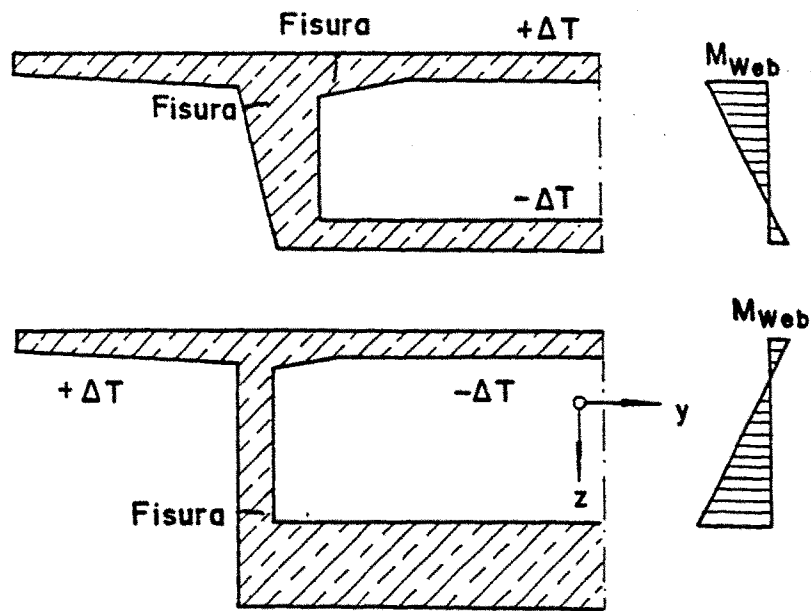
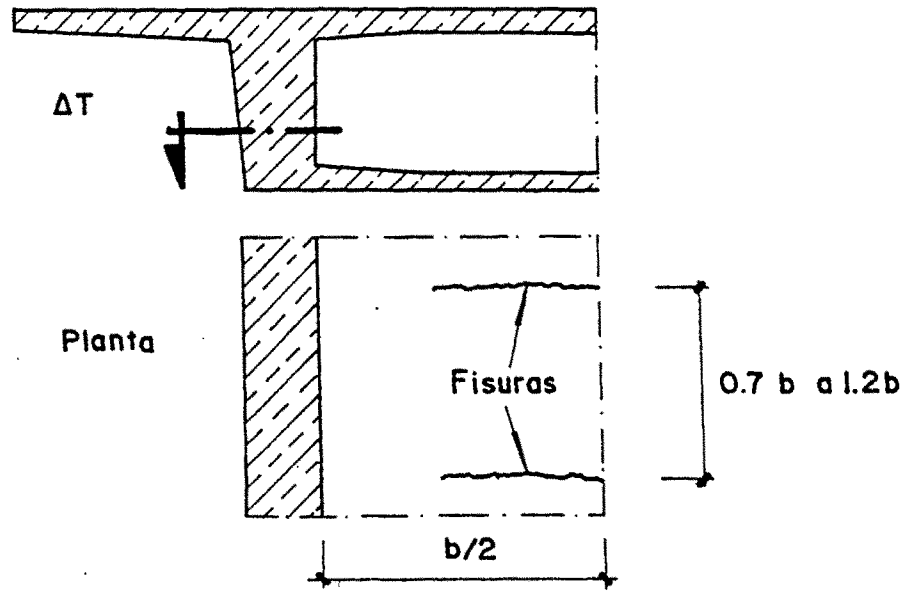


Figura 8.11.

Leonhardt (6) estudia también otro caso de otro puente cajón del cual se tiene además mediciones de temperatura.

A continuación se estudian las causas de estos dos tipos de grietas debidas a cargas térmicas y se valorarán éstas, para evitar los posibles perjuicios.

Supongamos que tenemos un dintel continuo de un puente, por ejemplo con cinco apoyos. Se encuentra sometido a las condiciones ambientales, y el caldeoamiento produce una diferencia de temperaturas entre la parte superior y la inferior que obliga al puente a curvarse hacia arriba apoyándose solamente en los apoyos extremos

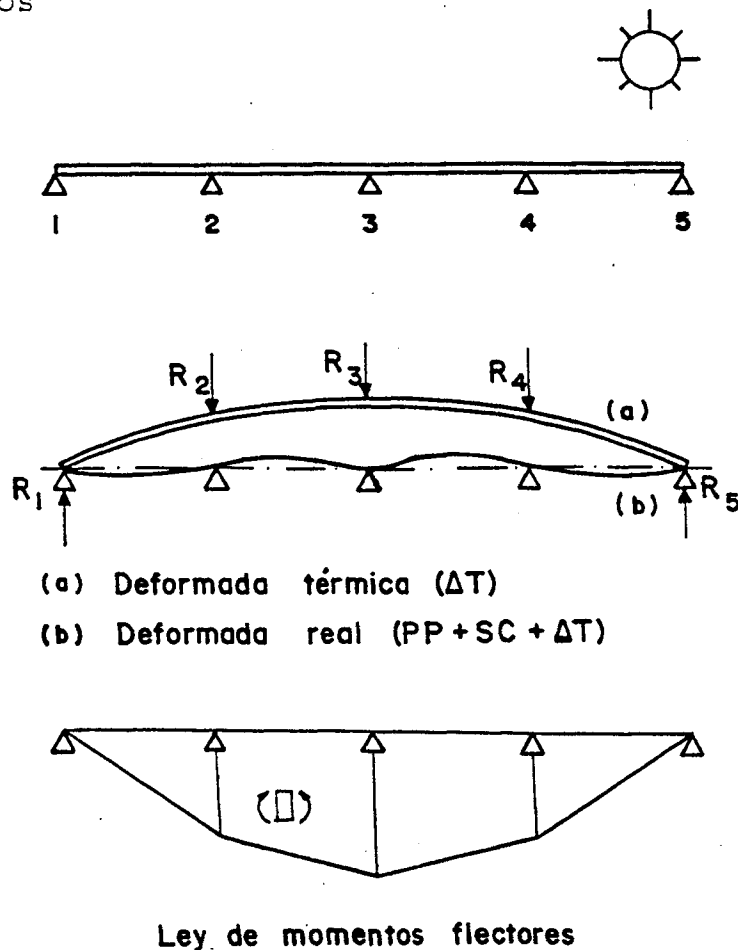


Figura 8.12.

No obstante el puente está sometido además de la carga térmica a su peso y a la posible sobrecarga, de manera que no podrá despegarse de los apoyos, pero sí que existirán las reacciones R_1, R_2, R_3, R_4 y R_5 , cuya suma algebraica será nula y que descargaran las reacciones de los apoyos intermedios, sobrecargando los apoyos extremos y produciendo la ley de momentos flectores que se indica en la figura 8.12.

La ley de momentos flectores de la figura 8.12 debida a carga térmica puede ser del mismo orden de magnitud que las leyes de flectores de peso propio y sobrecarga, según se verá en los ejemplos del capítulo 8.4, por lo que, si no se cuantifican y determinan de forma cuidadosa pueden dar lugar a los problemas indicados anteriormente.

En el ejemplo de la figura 8.12 se considera únicamente el caso de gradiente positivo (mayor temperatura en superficie o pavimento que en intradós), pero no debe olvidarse del gradiente negativo que se produce en las noches claras y despejadas. En este caso la zona peligrosa es la parte superior de tablero sobre los apoyos, aunque no hay referencias de fisuras con esta localización ya que se encontrarán tapadas por el pavimento y la suciedad.

Las grietas horizontales que se muestran en la figura 8.11 son debidas al gradiente de temperaturas que se producen en las almas de los puentes con tablero de sección cajón debidas a las

condiciones atmosféricas (temperatura ambiente y radiación fundamentalmente).

Esta distribución de temperaturas en el alma no es lineal sino que sigue una distribución próxima a la indicada en la figura 7.89. Esta distribución de temperaturas se puede descomponer en tres distribuciones al igual que como se hizo en el capítulo 2.3 con el estado de autotensión de la sección:

- Una distribución uniforme que supone alargamiento o acortamiento del alma en sentido vertical (el alargamiento en sentido horizontal se considera conjuntamente con toda la sección).
- Una distribución lineal de temperatura que supone un giro impuesto a la sección de eje paralelo al eje longitudinal del puente.
- Un estado de autotensión térmica sin deformación.

El caso de distribución uniforme y del alargamiento vertical del alma apenas produce tensiones ya que el marco de la sección cajón se calienta con unos valores de rango parecido, y la propia flexibilidad del marco podría absorber los esfuerzos.

El estado de autotensión produce esfuerzos de valores pequeños, y no se considera.

Si que es importante el caso de distribución lineal de temperaturas ya que produce giros impuestos que obliga a la aparición de una distribución de momentos según se indica en la figura 8.13.

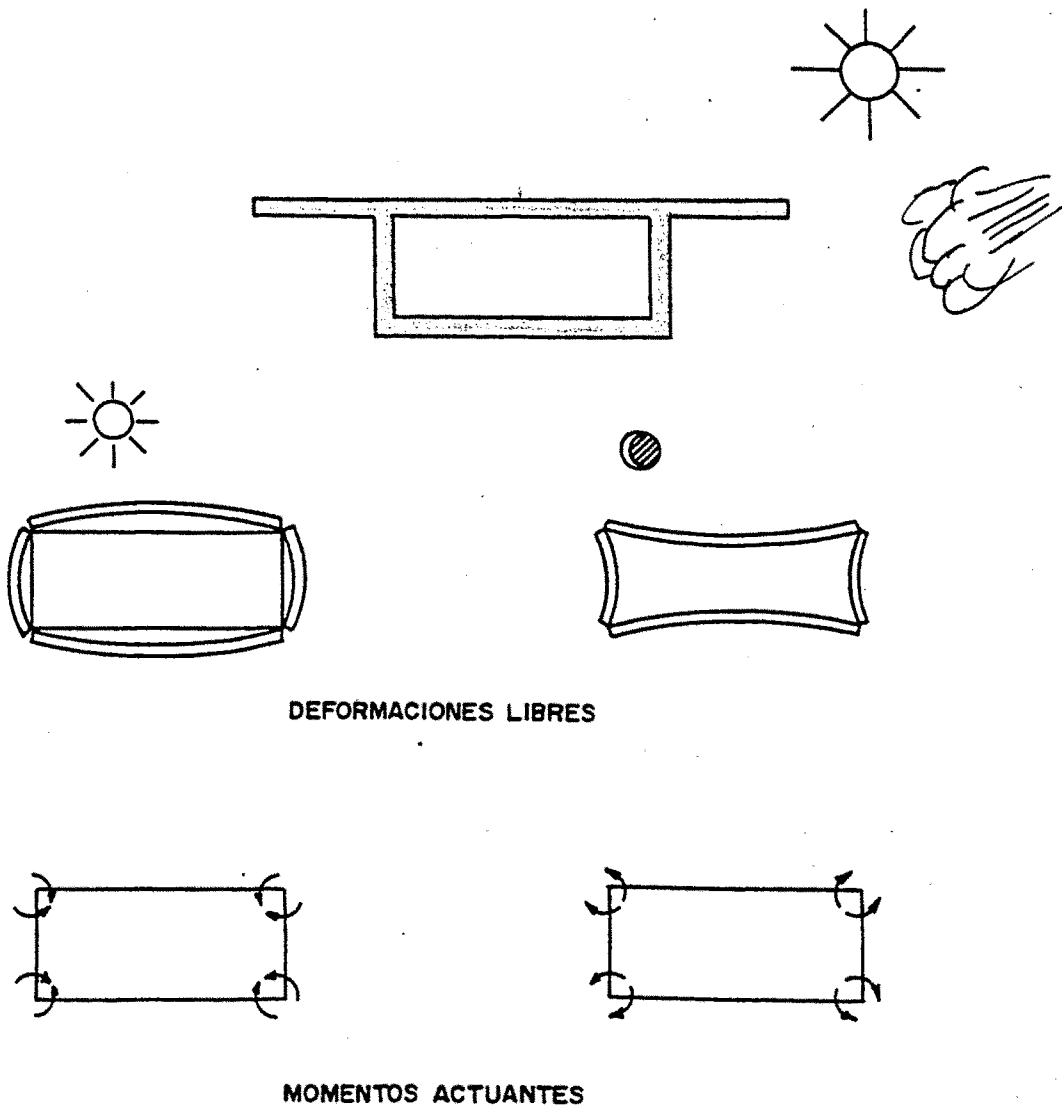


Figura 8.13

El valor de la distribución total de temperaturas así como la distribución lineal de temperaturas dependen de las condiciones ambientales de contorno, y el giro impuesto dependerá además de la geometría por lo que no se puede tomar un valor del giro para todos los casos. El valor del momento de compatibilidad actuante dependerá de la rigidez de la estructura por lo que no es posible dar un valor del mismo.

Sin embargo, el estado térmico introducido es de gradiente constante, por lo que faltaría considerar un caso de campo térmico real con la definición de los diagramas propuestos en esta tesis de Momento-Curvatura y estudiar su influencia en condiciones de servicio ($\gamma = 1$) y en las proximidades de la rotura.

8.4. EJEMPLOS

Aparicio (1) en su tesis doctoral "Estudio de la evolución hasta la rotura por sollicitaciones normales de tableros continuos de puente de hormigón armado o pretensado", obtuvo la influencia que supone un gradiente térmico constante en un tablero de puente cuando se llega a la rotura por incremento sucesivo de la sobrecarga.

La conclusión fué, que para valores pequeños de la sobrecarga su influencia es notable, pero según se aumenta ésta en la relación γ , su importancia decrece paulatinamente hasta llegar a la rotura, debido al cálculo "exacto" no lineal.

Como ejemplo, obtenido de la propia tesis de Aparicio en el puente del Eje Cuzco-Barajas con un tablero formado por un cajón tricelular de tres vanos de 43,00+48,00+43,00 metros de luz y 1,70 de canto, la fisuración en la sección central con gradiente térmico aparece para un valor de multiplicación de la carga de $\gamma = 1$ mientras que para el caso de efectuar la carga únicamente aparece para $\gamma = 1,5$ (figura 8.14).

Otro puente estudiado por Aparicio en la tesis mencionada es el paso superior sobre la Autopista de los Pirineos en la Actuación Urbanística del polígono "Puente de Santiago" en Zaragoza.

Se trata de un paso superior de 30,00+51,00+30,00 m y 33,00 m de ancho con una sección transversal tricelular de canto variable desde 1,20 m a 2,50 m (figura 8.15).

El resumen del estudio de ambos puentes, relativo a estudio térmico-tensional obtenido de la propia tesis se puede comparar en la siguiente tabla:

TABLA 8.1.

ACCION	PUENTE DEL EJE	PTE. P.S.A. PIRINEOS
Momento en centro de vano central (2-6) debido a gradiente térmico constante en régimen elástico.	$M_1 = 747 \text{ m.Ton.}$	$M_1 = 596 \text{ m.T}$
Momento en (2-6) debido a sobrecarga característica en régimen elástico $\gamma = 1$	$M_2 = 1446 \text{ m.T}$	$M_2 = 1294 \text{ m.T}$
M_1/M_2	0,52	0,46
Momento en (2-6) debido a gradiente térmico constante en proximidades de rotura (Hipótesis #4. Hipótesis #1)	$\gamma=5 \rightarrow M_3 = 57 \text{ m.T}$	$\gamma=3 \rightarrow M_3 = 71 \text{ m.T}$
M_3/M_1	0,076	0,12

Por tanto, en ambos casos se comprueba que el momento en centro de puente debido a un gradiente térmico constante puede tener valores próximos al 50% del momento debido a la sobrecarga característica, mientras que si el estudio se hace en las proximidades de la rotura del puente, el valor del momento imputable al gradiente térmico es aproximadamente un 10% del valor del mismo momento en régimen elástico.

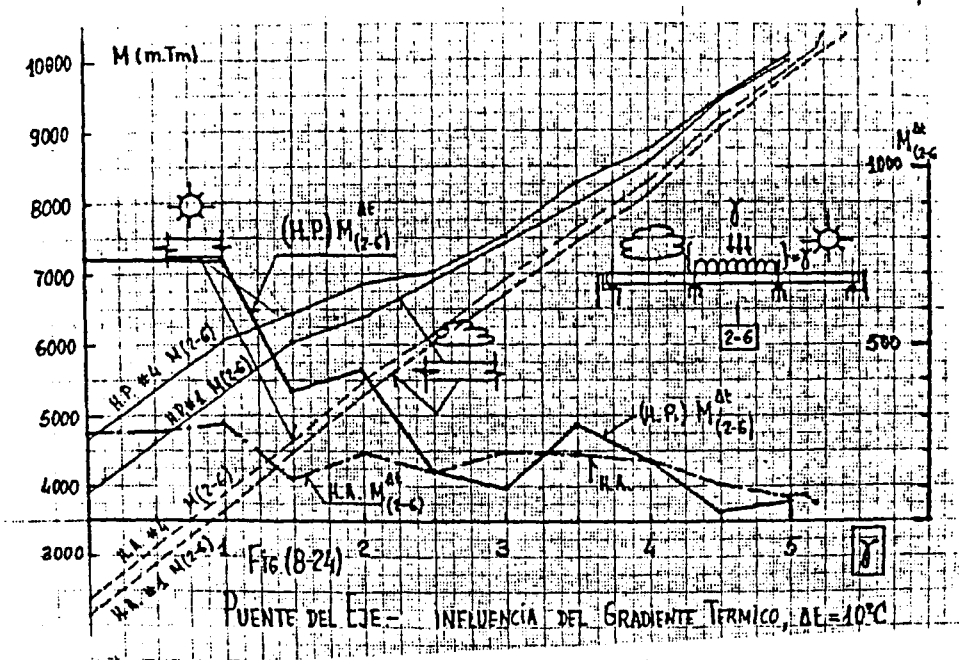


Figura 8.14.

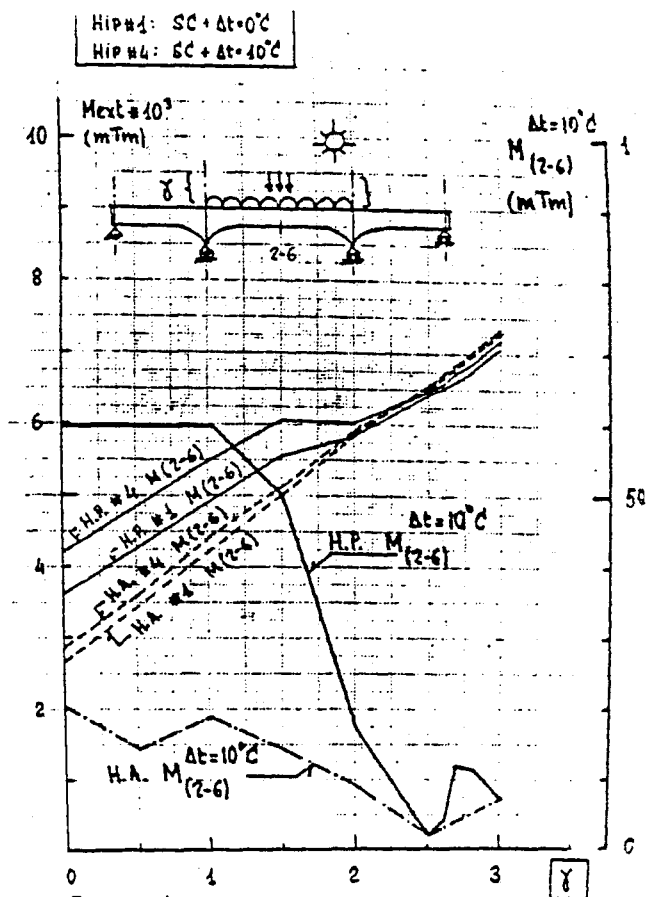


Figura 8.15.

Sin embargo, el estado térmico introducido es de gradiente constante, por lo que faltaría considerar un caso de campo térmico real con la definición de los diagramas de Momento-Curvatura propuestos en esta tesis y estudiar su influencia en condiciones de servicio ($\gamma=1$) y en las proximidades de la rotura.

C A P I T U L O V I I I

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) APARICIO, A.C. Estudio de la evolución hasta la rotura, por sollicitaciones normales, de tableros continuos de puente de hormigón armado o pretensado. Tesis doctoral. Universidad de Santander. E.T.S. de Ingenieros de Caminos. 1980.
- (2) COMISION PERMANENTE DEL HORMIGON. Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado EH-82. MOPU. 1980.
- (3) COMISION PERMANENTE DEL HORMIGON. Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado. EP-77. MOPU. 1977.
- (4) CEB-FIP. Código Modelo CEB-FIP para las estructuras de hormigón.
- (5) COMITE EURO-INTERNACIONAL DU BETON (CEB). Bulletin d'information N°167. Contribution a la 24^e Session Pléniere du CEB. "Thermal effects in concrete structures". Enero, 1985.
- (6) LEONHARDT, F. Vorlesungen uber Massivbau. Tomo 6. Ed. Springer Verlag 1979.
- (7) LEONHARDT, F.; KOLBE, G.; PETER, J. Temperaturunterschiede gefahrdeten Sannbetonbrücke. (Temperature differences endanger prestressed concrete bridges). Beton-und Stahlbetonbau. Vol.60, N°7 pp. 231-244. Julio 1965.
- (8) PRIESTLEY, M.J.N. Design of concrete bridges for temperature gradients. Journal of the American Concrete Institute. (U.S.) Proceedings Vol.75, n°5, pp. 209-217. Mayo, 1978.

- (9) ZICHNER, T. *Thermal effects on concrete bridges*. CEB. *Bulletin d'Information* n.º154. *Thème 4. Thermal Effects*. Abril, 1982.

C A P I T U L O I X

DESCRIPCION DEL PROGRAMA DE ORDENADOR
BRIDGE

9.1. DESCRIPCION DEL PROGRAMA DE ORDENADOR BRIDGE

9.1.1. OBJETO

El programa de ordenador BRIDGE tiene por objeto el cálculo de temperaturas en un puente tanto de tipo losa como de sección cajón, a partir de las condiciones atmosféricas exteriores.

El cálculo de las temperaturas en el puente se efectúa por medio de la técnica de las diferencias finitas y el flujo de calor se supone unidimensional vertical resolviéndose las ecuaciones diferenciales por el método explícito.

9.1.2. ESTUDIO MATEMATICO DE LA ECUACION DE CALOR EN UNA DIMENSION

La expresión de la ecuación de transmisión de calor en una dimensión, según se explico en el capítulo 2.2 es:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = \frac{\rho C}{k} \frac{\partial t}{\partial \tau} \quad (9.1)$$

t = temperatura (K)

k = conductividad térmica (W/mk)

ρ = densidad (Kg/m³)

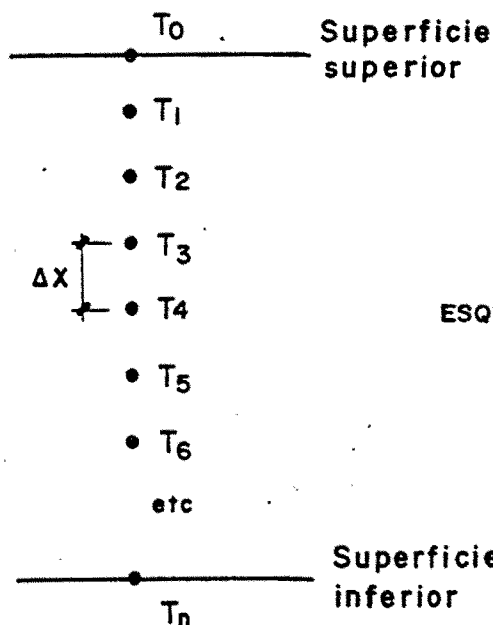
C = calor específico (J/Kg.k)

$\alpha = k/(\rho c)$ difusividad (m²/seg)

τ = tiempo

x = coordenada

Esta ecuación diferencial se tratará de resolver por medio de diferencias finitas según el esquema lineal de la figura 9.1.



ESQUEMA DE PUENTE LOSA EN DIFERENCIAS FINITAS

Figura 9.1.

De esta forma se supone dividida la losa en una serie de capas iguales 1,2,... i-1, i,i+1,... N, de espesor Δx , en cuyos extremos se deberán imponer las condiciones de contorno, referentes en la presente tesis a las condiciones de radiación solar y temperatura ambiente, y se efectúa el cálculo para cada paso de tiempo.

El esquema matemático seguido es un esquema explícito de manera que se puedan obtener directamente las temperaturas en cada caso en función de las contiguas.

De la ecuación (9.1) se puede obtener:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial t}{\partial \tau} \quad (9.2)$$

$$\left(\frac{T_{i-1} - T_i}{(\Delta x)^2} - \frac{T_i - T_{i+1}}{(\Delta x)^2} \right) = \frac{T'_i - T_i}{\alpha \Delta \tau} \quad (9.3)$$

En la cual T'_i es la temperatura en i al final de Δt .

Finalmente se obtiene:

$$\left(\frac{T_{i-1} - 2T_i + T_{i+1}}{(\Delta x)^2} \right) = \frac{T'_i - T_i}{\alpha \Delta \tau} \quad (9.4)$$

o bien:

$$T'_i = \alpha \frac{\Delta \tau}{\Delta x^2} (T_{i-1} - 2T_i - T_{i+1}) + T_i \quad (9.5)$$

Esta ecuación en diferencias es estable si se cumple que:

$$\alpha \frac{\Delta \tau}{\Delta x} \leq \frac{1}{2} \quad (9.6)$$

Por tanto con la expresión (9.5) se puede obtener directamente la temperatura en el punto i en función de las existentes en el instante anterior en los puntos $(i-1)$, i , $(i+1)$.

Por tanto, la ecuación (9.5) no es válida en los extremos ($i=1$, $i=N$) en que se deberán introducir las condiciones de contorno.

9.1.2.1. CONDICION DE RADIACION SOLAR

Se plantea el balance calorífico en el contorno en forma de ecuación: Calor ganado por radiación es igual al flujo de calor con el exterior más el calor conducido al interior de la sección:

$$\epsilon I = h_{cs} (T_i - T_a) + k \frac{(T_{i-1} - T_{i+1})}{2 \Delta x} \quad (9.7)$$

ϵ = absortividad de la superficie o emisividad.

I = intensidad de radiación solar instantánea.

h_{cs} = coeficiente de transmisión de calor conjunto de radiación y convección.

T_a = temperatura ambiente.

Sustituyendo T_{i-1} de la ecuación (9.7) en la ecuación (9.5) y sustituyendo "i" por "o" se obtiene la expresión:

$$T'_o = \alpha \frac{\Delta T}{\Delta x^2} \left\{ \left(-2 - \frac{2\Delta x}{k} h_{cs} \right) T_1 + 2T_2 + \frac{2\Delta x}{k} h_{cs} T_a + \frac{2\Delta x}{k} \epsilon I \right\} + T_1 \quad (9.8)$$

haciendo

$$\alpha_1 = \left(-2 - \frac{2\Delta x}{k} h_{cs} \right) \quad (9.9a)$$

$$\beta_1 = \frac{2\Delta x h_{cs}}{k} \quad (9.9b)$$

$$\gamma = \frac{2\Delta x I}{k} \quad (9.9c)$$

se obtiene:

$$T'_o = \alpha \frac{\Delta T}{\Delta x^2} (\alpha_1 T_1 + 2T_2 + \beta_1 T_a + \gamma) + T_1 \quad (9.10)$$

9.1.2.2. CONDICION DE IRRADIACION NOCTURNA

Se plantea la ecuación de balance de calor que existe en la superficie superior del tablero, de la forma: Calor emitido de la superficie superior del tablero hacia el cielo es igual al calor ganado en superficie por convección más el calor conducido al interior

$$\epsilon \theta = h_c (T_i - T_a) + k \frac{(\theta_{i-1} - \theta_{i+1})}{2\Delta x} \quad (9.11)$$

ϵ = coeficiente de emisión de la superficie

θ = pérdida de calor por radiación

Efectuando las mismas sustituciones que en el caso anterior, se obtiene:

$$T'_0 = \alpha \frac{\Delta T}{\Delta x} (\alpha_1 + 2T_2 + \beta_1 T_a + \delta) + T_1 \quad (9.12)$$

donde α_1 y β_1 tienen el significado anterior y:

$$\delta = \frac{2\Delta x \epsilon \theta}{k} \quad (9.13)$$

9.1.2.3. CONDICIONES EN BORDE INFERIOR DE TABLERO

En el borde inferior de tablero se situarán las condiciones de convección y de emisión de radiación hacia el suelo, más la emisión que recibe del suelo, siendo estas dos aproximadamente iguales, por ser emisiones de radiación de la misma temperatura que sería próxima a la ambiente.

La ecuación de balance de calor en la parte inferior será:

$$h_{ci} (T_i - T_a) = k \frac{(T_{i-1} - T_{i+1})}{2\Delta x} \quad (9.14)$$

siendo

h_{ci} = coeficiente de convección en zona inferior.

Sustituyendo el valor de T_{i+1} en la ecuación (9.5) se obtiene, y haciendo el cambio de "i" por "n"

$$T'_n = \alpha \frac{\Delta\tau}{(\Delta x)^2} \left\{ \left(-2 - \frac{2\Delta x h_{ci}}{k}\right) T_n + 2 T_{n-1} + \frac{2\Delta x h_{ci}}{k} T_a \right\} + T_n \quad (9.15)$$

haciendo el cambio:

$$\alpha_3 = -2 - \frac{2\Delta x h_{ci}}{k} \quad (9.16a)$$

$$\beta_3 = 2 \frac{\Delta x h_{ci}}{k} \quad (9.16b)$$

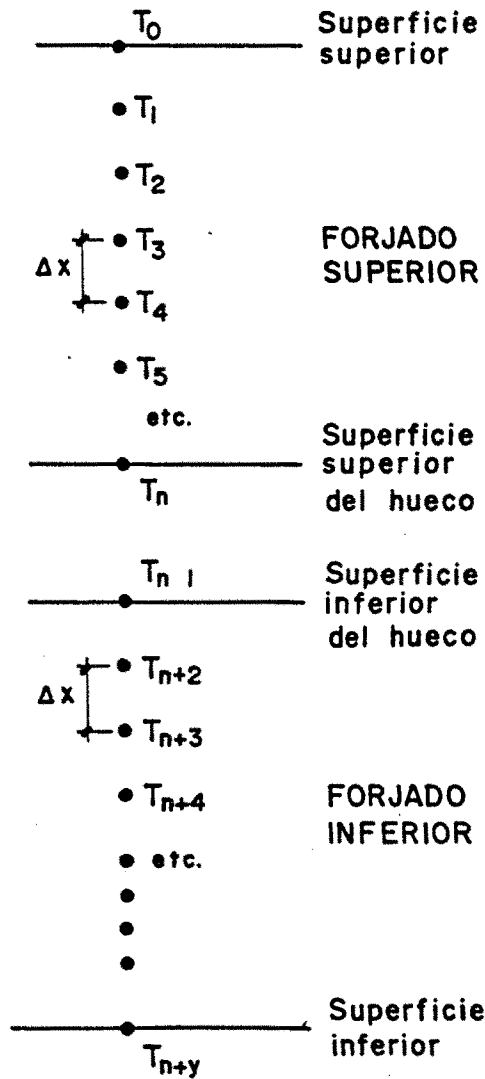
se obtendrá la expresión:

$$T'_n = \alpha \frac{\Delta\tau}{(\Delta x)^2} \{ \alpha_3 T_n + 2 T_{n-1} + \beta_3 T_a \} + T_n \quad (9.17)$$

9.1.2.4. CONDICIONES ENTRE SUPERFICIES

En el estudio de la sección cajón se deberá hacer una suposición para el estudio del balance de calor entre las caras interiores de la sección cajón. Para ello, se supondrá que la cantidad de calor que pasa del forjado superior al aire es el mismo que el que pasa del aire al forjado inferior y esta cantidad se evalúa a través de un coeficiente de convección ficticio entre ambas superficies (Capítulo 1.1.3.3.).

Para ello se define un esquema de puente de sección cajón según la figura 9.2 para aplicar el método de diferencias finitas para la resolución de la ecuación de transmisión de calor.



ESQUEMA DE PUENTE DE SECCION CAJON EN DIFERENCIAS FINITAS

Figura 9.2.

$$h_{cs}(T_n - T_{n+1}) = k \frac{T_{n-1} - T_n}{2\Delta x} \quad (9.15a)$$

$$h_{cs}(T_n - T_{n+1}) = k \frac{T_{n+1} - T_{n+2}}{2\Delta x} \quad (9.18b)$$

Estas dos expresiones juntamente con la ecuación (5) permite obtener

$$T'_n = \alpha \frac{\Delta \tau}{(\Delta x)^2} (\alpha_2 T_{n+2} + T_{n-1} + \beta_2 T_{n+1}) + T_n \quad (9.19a)$$

$$T'_{n+1} = \alpha \frac{\Delta \tau}{(\Delta x)^2} (\alpha_2 T_{n+1} + 2T_{n+2} + \beta_2 T_n) + T_{n+1} \quad (9.19b)$$

donde

$$\alpha_2 = -2 - \frac{2\Delta x h_{cs}}{k} \quad (9.20a)$$

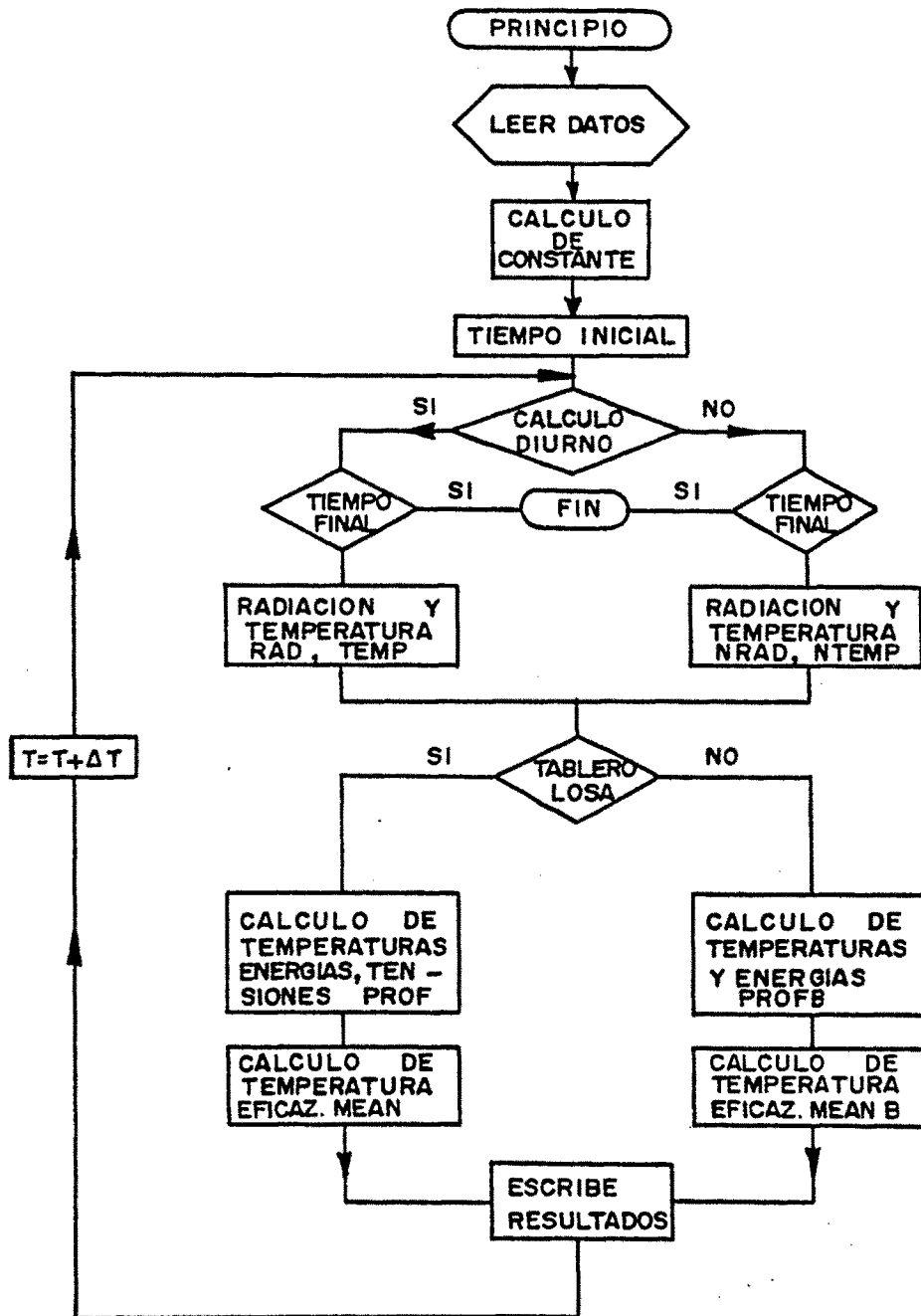
$$\beta_2 = \frac{2\Delta x h_{cs}}{k} \quad (9.20b)$$

9.1.3. DESCRIPCION DE PROGRAMAS Y SUBRUTINAS

El lenguaje de ordenador utilizado es FORTRAN V.

La descripción del programa principal y de las subrutinas se efectuará someramente por basarse en un planteamiento muy conocido de diferencias finitas.

Se incluye el ordinograma general en la figura 9.3.



Ordinograma del programa BRIDGE

Figura 9.3.

9.1.3.1. PROGRAMA BRIDGE

El programa principal es el encargado de la gestión completa del programa ya que está encargado de la lectura de los datos de entrada y de escritura de los datos de salida, excepto la salida por plotter (aunque sí guarda los datos en un fichero), como de dirigir el flujo computacional del programa.

Como ya se ha dicho anteriormente, el método de resolución de la ecuación de calor es un método explícito por lo cual es preciso tener especial cuidado con la estabilidad del problema. La expresión que determina la estabilidad es $\alpha(\Delta t)/(\Delta x) < 1/2$, siendo α = difusividad del hormigón, Δt = incremento de tiempo Δx = incremento de espesor.

El incremento de espesor venía determinado ya que se deseaba una salida en plotter de resultados con los puntos suficientemente juntos para que resultase una curva continua en vez de un conjunto de tramos rectos, estableciéndose un incremento de espesor en el puente de 1 cm que equivale a 1 mm en el dibujo, el incremento de tiempo necesario por esta estabilidad resultó ser de 36 seg., es decir, 0,01 horas, por lo que es preciso realizar 100 cálculos cada hora transcurrida y quedarse con este único valor; sin embargo el tiempo de computación no se alarga excesivamente debido a la rapidez del método explícito y al tiempo ganado en el programa de plotter

al dibujar los puntos directamente y no realizar interpolaciones de curvas.

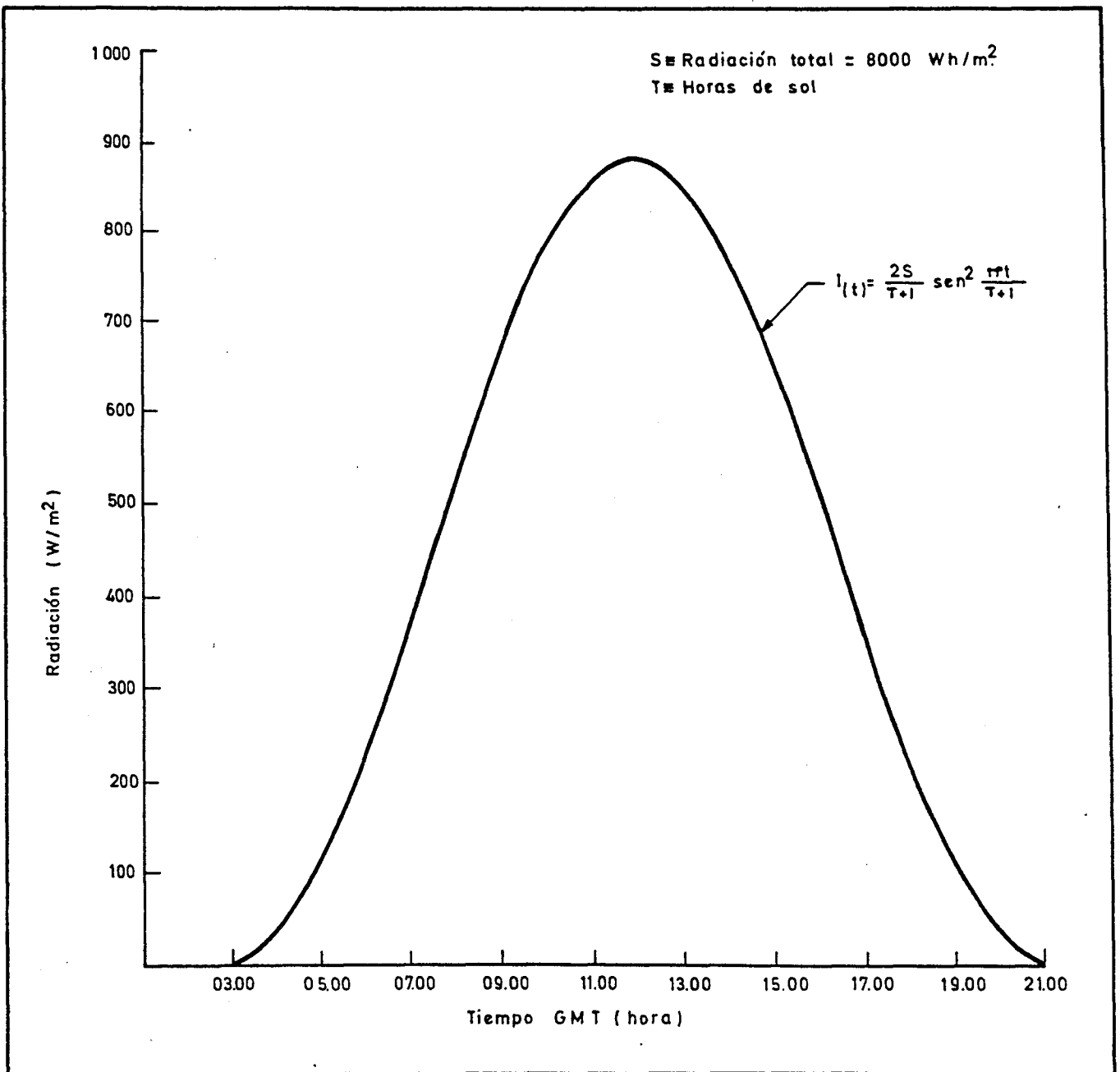
El programa gestiona por separado los casos de cálculo diurno y nocturno y de puente con sección tipo losa o tipo cajón, siendo una ejecución independiente cada uno de estos cuatro posibles casos. El cálculo nocturno comienza a las 16,00 horas hasta el día siguiente, y el cálculo diurno comienza a las 8,00 horas hasta la hora indicada por la noche. El fichero de entrada se llama DATOS.

9.1.3.2. SUBRRUTINA RAD

Determina para cada instante de tiempo la radiación instantánea diurna que llega al plano horizontal, a partir de la radiación total diaria según una ley doble senoidal (figura 9.4).

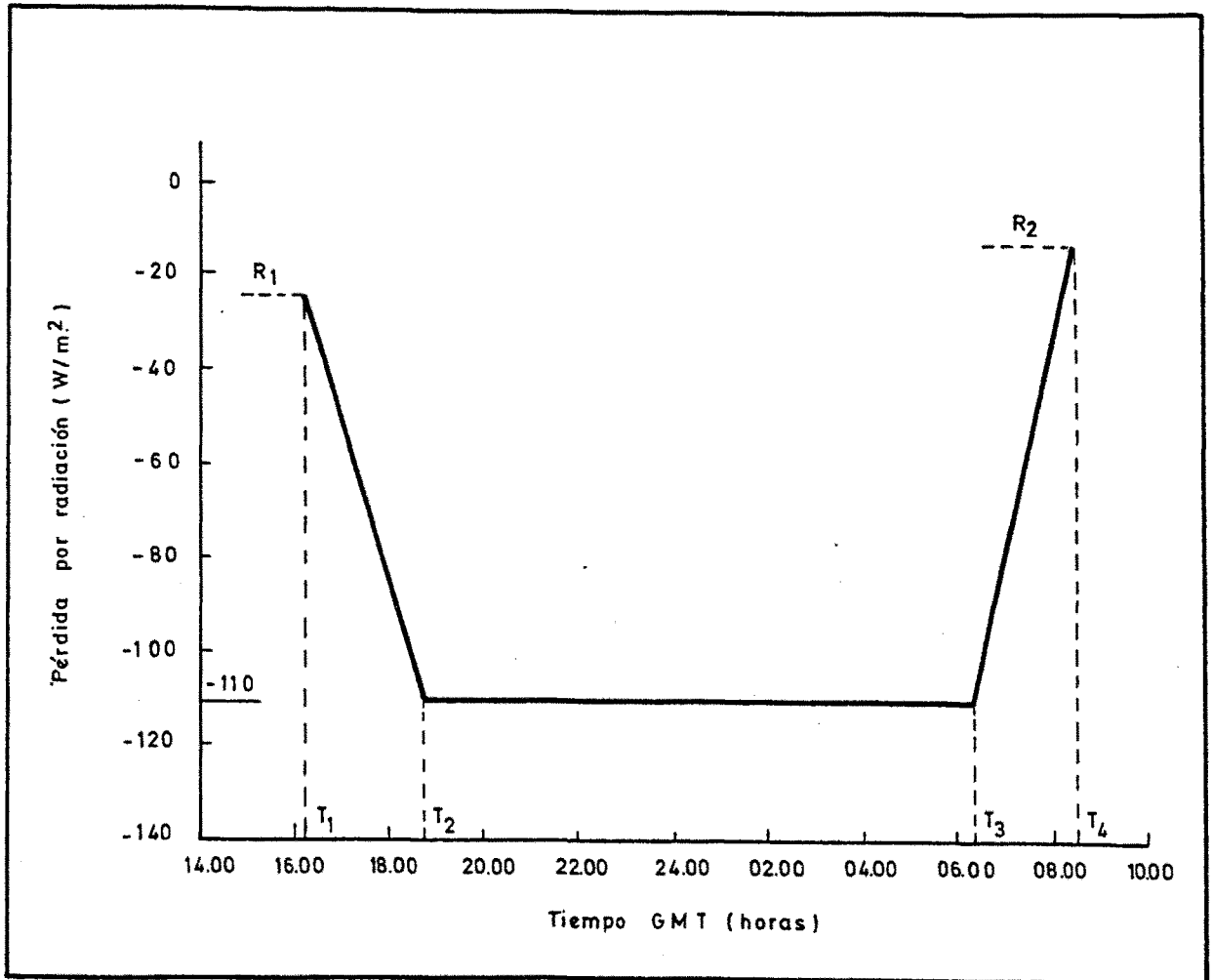
9.1.3.3. SUBRRUTINA NRAD

Determina para cada instante de tiempo la radiación instantánea nocturna emitida por el propio puente a la atmósfera (figura 9.5).



**CURVA DE RADIACION SOLAR EN DIA
DESPEJADO DE VERANO**

Figura 9.4



**PERDIDA POR RADIACION EN NOCHE
CLARA Y DESPEJADA**

Figura 9.5

9.1.3.4. SUBRRUTINA TEMP

Permite obtener la temperatura en el puente a cualquier hora durante el cálculo diurno. Utiliza una ley triangular. (Figura 9.6).

9.1.3.5. SUBRRUTINA NTEMP

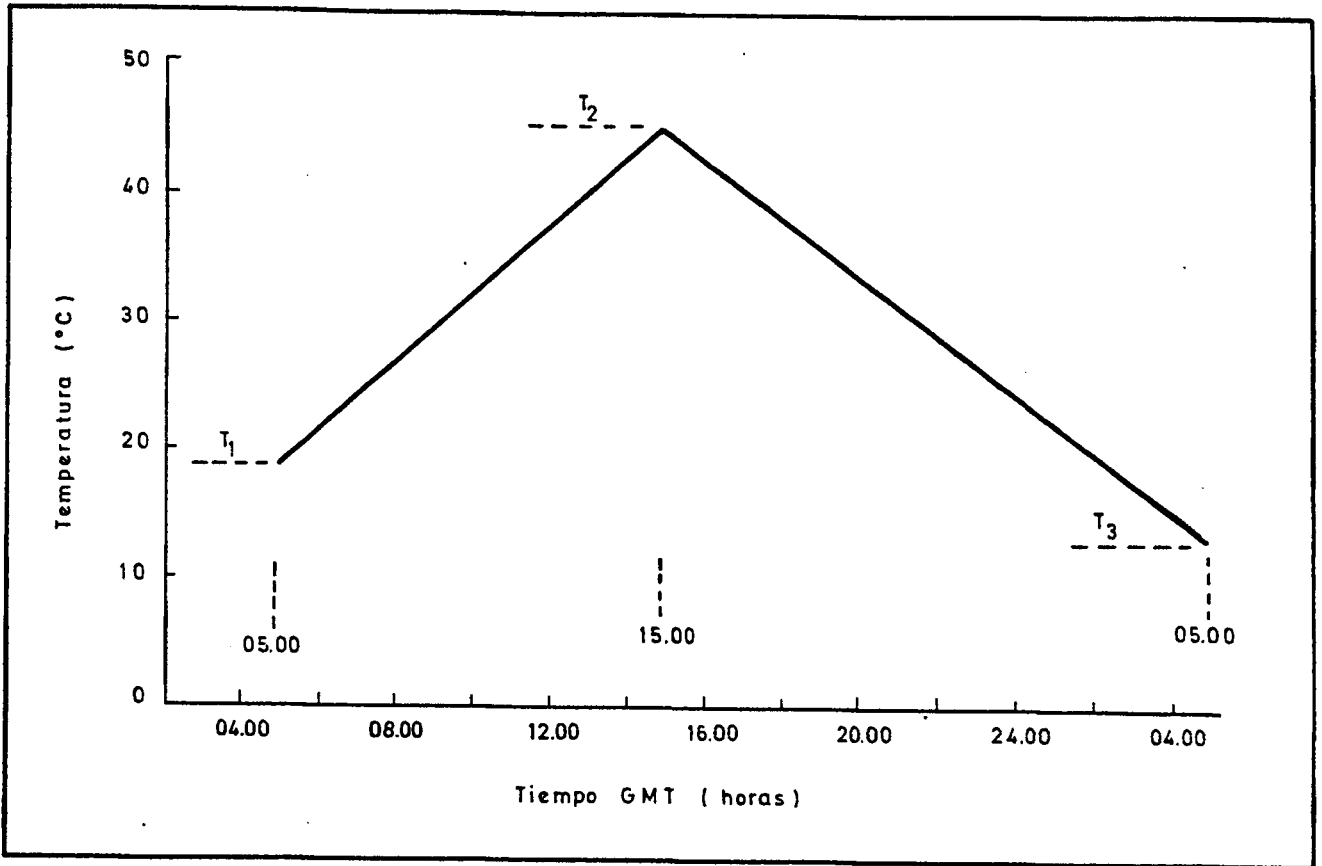
Permite obtener la temperatura en el puente a cualquier hora en un caso de cálculo nocturno. Utiliza una ley triangular (figura 9.7).

9.1.3.6. SUBRRUTINA PROF

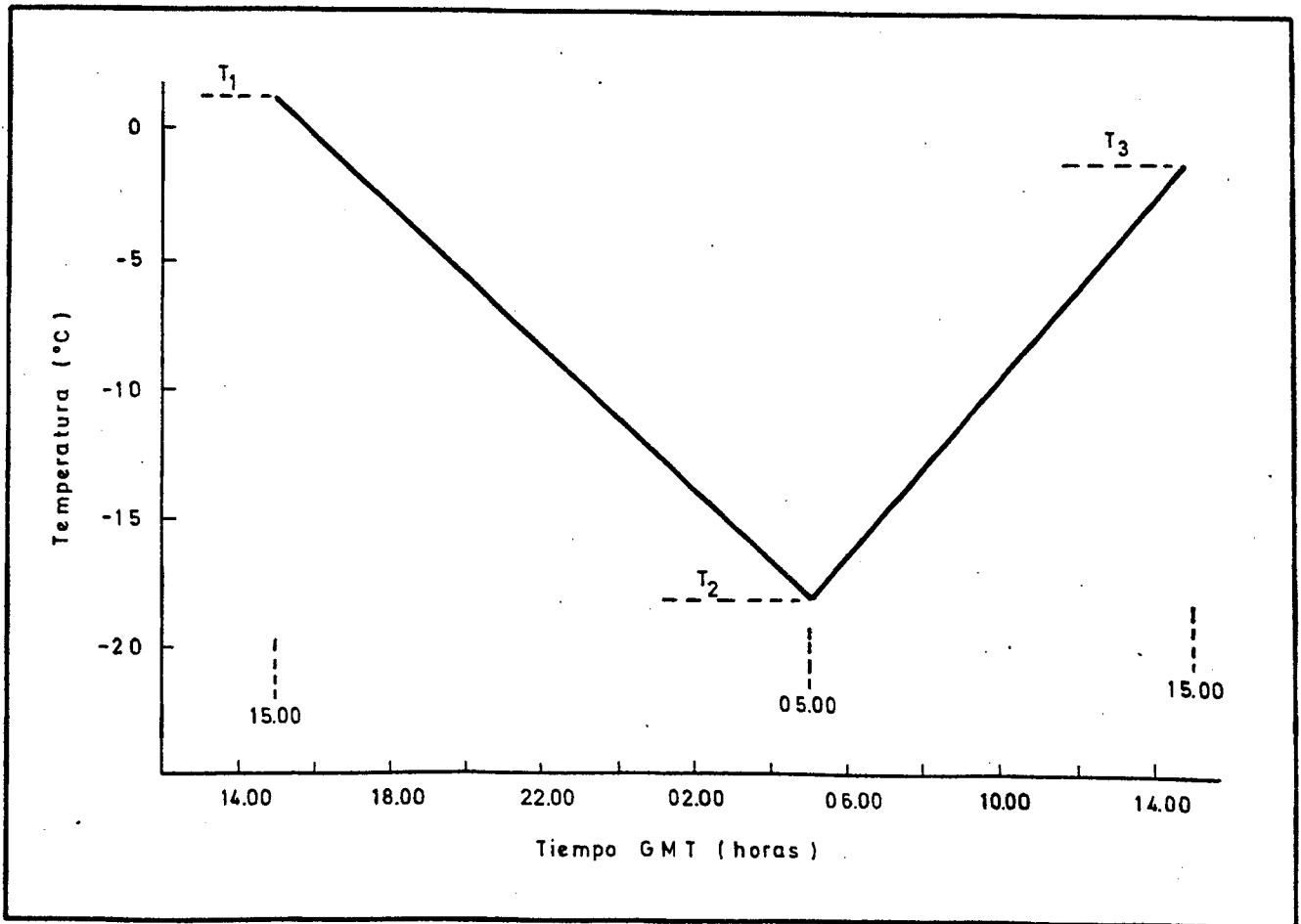
Esta subrrutina obtiene las temperaturas a cada paso de tiempo según el esquema explícito indicado en la explicación del programa principal para los puentes tipo losa. Obtiene además los valores de la tensión en todos los puntos, debidos al estado de autotensión térmica del puente.

9.1.3.7. SUBRRUTINA MEAN

Obtiene la temperatura eficaz del puente tipo losa, a partir de los datos obtenidos en la subrrutina PROF.



TEMPERATURA EN DIA CALUROSO
Figura 9.6



TEMPERATURA EN NOCHE FRIA
Figura 9.7

9.3.1.8. SUBRRUTINA PROFB

Permite obtener los valores de las temperaturas en un puente de sección cajón, según el esquema explícito. El hueco de aire en la sección cajón se considera como un coeficiente de convección según se indica en el capítulo 1.1.3. del presente trabajo.

9.3.1.9. SUBRRUTINA MEANB

Obtiene la temperatura eficaz del puente tipo cajón, por separado para el forjado superior y para el forjado inferior.

9.1.3.10. FICHERO DATOS

El fichero DATOS es el fichero de datos del programa principal BRIDGE.

Se puede introducir por tarjetas o directamente desde con sola. Por tarjetas consta de cuatro tarjetas, y en caso de utilización de consola de cuatro líneas.

El formato en todos los casos es libre.

Tarjeta

- | | | | | | | | |
|-----|--------|------------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| (1) | | IX, IY, IZ | | | | | |
| (2) | (IX=1) | SUNUP | WIDTH | ITOTR | | | |
| | (IX≠1) | RTIM1 | RTIM2 | RTIM3 | RTIM4 | RAD1 | RAD2 |
| (3) | (IX=1) | STEMP1 | STEMP2 | STEMP3 | START | TIM1 | |
| | (IX≠1) | STEMP1 | STEMP2 | STEMP3 | START | TIM1 | |
| (4) | (IY=1) | DIST | IN1 | KONST1 | KONST2 | R | LEAVE |
| | (IY≠1) | DIST | IN1 | IN2 | KONST1 | KONST2 | KONST3 R LEAVE |

DEFINICION DE LAS VARIABLES:

<u>VARIABLE</u>	<u>DEFINICION</u>
IX	Indica la posibilidad de cálculo nocturno o diurno. (IX=1) → Cálculo diurno. (IX≠1) → Cálculo nocturno.
IY	Indica la posibilidad de puente de sección losa o sección cajón. (IY=1) → Puente de sección losa. (IY≠1) → Puente de sección cajón.
IZ	Indicador de escritura de los valores de temperatura. (IZ=1) → No escribe todas las temperaturas, solamente la eficaz. (IZ≠1) } → No escribe resultados, los #2) } almacena para el dibujo. (IZ=2) → Escribe todas las temperaturas cada hora.
SUNUP	Hora de salida del sol.
WIDTH	Duración en horas del sol en el día considerado más una.
ITOTR	Radiación diaria total en Wattios.hora/m^2 .
RTIM1	Hora a la que empieza la pérdida de radiación.
RTIM2	Hora a la que se alcanza la pérdida de radiación de 110W.h/m^2 .

RTIM3	Hora a la que termina la pérdida de radiación de 110 W.h/m^2 .
RTIM4	Hora a la que termina la pérdida de radiación.
RAD1	Pérdida de radiación a la hora RTIM1
RAD2	Pérdida de radiación a la hora RTIM4
STEMP1 (IX=1)	Temperatura a las 05.00 horas.
STEMP2 (IX=1)	Temperatura a las 15.00 horas.
STEMP3 (IX=1)	Temperatura a las 05.00 horas del día siguiente.
START (IX=1)	Temperatura uniforme inicial del puent
TIM1 (IX=1)	Hora de comienzo del proceso y a la cual la temperatura vale START (se aconseja TIM1= 08.00)
STEMP1 (IX≠1)	Temperatura a las 15.00 horas.
STEMP2 (IX≠1)	Temperatura a las 05.00 horas del día siguiente.
STEMP3 (IX≠1)	Temperatura a las 15.00 horas del segundo día considerado.
START (IX≠1)	Temperatura uniforme inicial del puente.
TIM1 (IX≠1)	Hora de comienzo del proceso, y a la cual la temperatura vale START (se aconseja TIM1= 16.00).

- DIST (IY=1) Incremento de profundidad en el hormigón en el cual se realiza cada paso del proceso y separación entre los puntos en que se da el valor de la temperatura en cada paso (en metros). $DIST \geq 0.01$. Tóme se $DIST = 0.01$, si se va a dibujar en plotter.
- IN1 (IY=1) Número de puntos en que se obtiene el valor de la temperatura en cada paso. La separación entre puntos es DIST metros y la anchura total de la losa se rá el producto de $(IN1 - 1) \times (DIST)$
 $IN1 < 150$.
- KONST1 (IY=1) Coeficiente conjunto de convección y radiación en la parte superior de la losa en $Wattios/(m^2K)$.
 $(15 < KONST1 < 35)$ ($KONST1 \approx 23$).
- KONST2 (IY=1) Coeficiente de convección en la parte inferior de la losa en $Wattios/(m^2K)$
 $(7 < KONST2 < 15)$ ($KONST2 \approx 9$).
- R (IX=1) (IY=1) Coeficiente de absorción del hormigón
(Tómese $R \approx 0,5$).
- (IX≠1) (IY=1) Coeficiente de emisión del hormigón
(Tómese $R \approx 0,9$).
- LEAVE (IY=1) Espesor del pavimento asfáltico.
(Tómese $LEAVE = 0$)
- DIST (IY≠1) Incremento de profundidad en el hormi gón en el cual se realiza cada paso del proceso, y es la separación entre puntos en que se da el valor de la tem peratura en cada paso (en metros).
 $(DIST > 0.01)$, tóme se $DIST = 0.01$ si se va a dibujar).

- IN1 (IY≠1) Número de puntos del forjado superior en que se obtiene el valor de la temperatura en cada paso. La anchura total del forjado superior es $(IN1-1) \times (DIST)$.
- IN2 (IY≠1) Número de puntos del forjado inferior en que se obtiene el valor de la temperatura en cada paso. La anchura del forjado inferior es $(IN2-1) \times (DIST)$.
 $IN1 + IN2 < 150$.
- KONST1 (IY≠1) Coeficiente conjunto de convección y radiación en la parte superior de la sección transversal de la sección cajón en $Wattios/m^2$. $(15 < KONST1 < 35)$.
 $(KONST1 \approx 23)$.
- KONST2 (IY≠1) Coeficiente de convección entre los dos forjados de la sección cajón.
 $(1 < KONST3 < 6) (KONST3 \approx 2)$.
- KONST3 (IY≠1) Coeficiente de convección en la parte inferior de la sección cajón en $Wattios/m^2$.
 $(7 < KONST2 < 15) (KONST2 \approx 9)$.
- R (IX=1) (IY≠1) Coeficiente de absorción del hormigón
 (Tómese $R \approx 0,5$).
- (IX≠1) (IY≠1) Coeficiente de emisión del hormigón
 (Tómese $R \approx 0,9$).
- LEAVE (IY≠1) Espesor del pavimento asfáltico.

9.1.3.11. FICHERO RES. BRIDGE

El fichero RES. BRIDGE es el fichero de resultados del programa principal BRIDGE.

En primer lugar se escribe el fichero de datos correspondiente a los resultados que se obtienen.

A continuación para cada tiempo, obtenemos:

- a) La hora.
- b) La temperatura ambiente a la hora considerada.
- c) Los balances de energías habidos en la última hora, indicando su origen.
- d) Los valores de la temperatura, los cuales se leerán de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, y son las temperaturas en los puntos de una sección vertical. Si es una sección cajón, los puntos del forjado superior y del forjado inferior están separados por una línea en blanco.
- e) Las temperaturas EFICACES, del puente, o del forjado superior e inferior.

f) En los casos de puentes de sección losa, además:

f1) Las temperaturas en los bordes superior e inferior de la losa para determinar la deformada del diagrama de autotensión térmica.

f2) Dilatación unitaria uniforme del tablero.

f3) Curvatura del tablero.

f4) Tensiones de autotensión térmica en el mismo esquema que los datos de temperaturas.

9.2. DESCRIPCION DEL PROGRAMA DE ORDENADOR CAL2D

9.2.1. OBJETO

El programa de ordenador CAL2D tiene por objeto el cálculo de temperaturas en una superficie rectangular sean cualesquiera las condiciones o propiedades térmicas de los diversos puntos del rectángulo.

En concreto y debido a las subrutinas de inicialización de datos, el programa está preparado para representar en el rectángulo de cálculo cualquier sección de tablero de puente (losa maciza, aligerada, puente de vigas, puente de sección cajón, puente de sección cajón multicelular). Además se representan las condiciones de contorno del aire con las propiedades de éste, y las condiciones ambientales de radiación solar.

9.2.2 ESTUDIO MATEMATICO DE LA ECUACION DE CONDUCCION DE CALOR EN DOS DIMENSIONES

La ecuación de conducción de calor en dos dimensiones es:

$$\frac{\partial t}{\partial x^2} + \frac{\partial t}{\partial y^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{\rho C}{k} \frac{\partial t}{\partial \tau} \quad (9.21)$$

donde: t = temperatura (K).

k = conductividad térmica (W/m.K).

\dot{q} = calor generado o absorbido por unidad de volumen
 ((W/m³.seg)/seg.).

ρ = densidad (Kg./m³).

C = calor específico (J/Kg.K).

x, y = coordenadas rectangulares (m).

Se tratará de resolver la ecuación (1) desde el punto de vista físico a través de la ley de Fourier y del tratamiento matemático por diferencias finitas.

El programa CAL2D supone una malla como indica la figura 9.8.

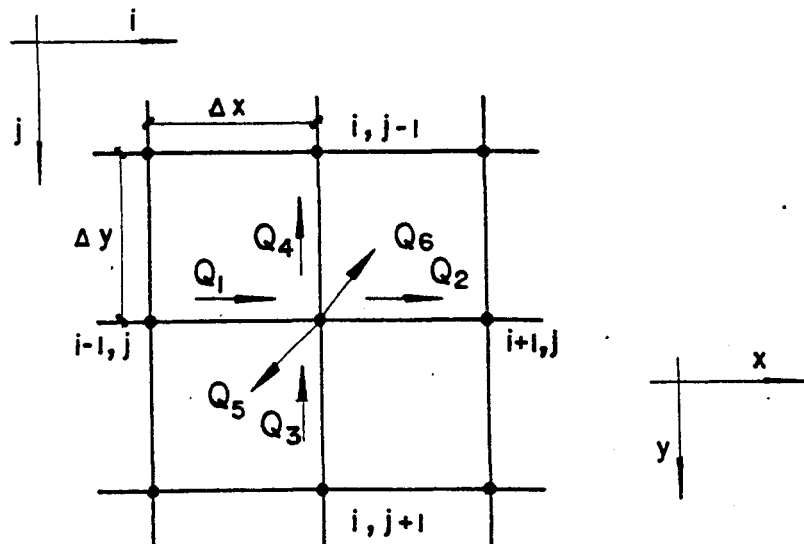


Figura 9.8

Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 , es flujo de calor nudo a nudo, Q_5 es el almacenamiento de calor y Q_6 , representa el drenaje de calor o enfriamiento por causas exteriores.

La ecuación de continuidad es:

$$Q_1 + Q_3 = Q_2 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (9.22)$$

Consideraciones previas:

- 1) Es necesario definir qué porción de sólido es representado por cada término.
- 2) El flujo de calor puede ser en cualquier dirección aunque solo se considere en las direcciones x ó y .
- 3) Para cada discretización de tiempo la ecuación (9.22) Representa el balance instantáneo al final del incremento de tiempo.

Representamos los vectores volumen según la figura 9.9 y definimos el vector volumen o sólido que se asocia a cada nudo en la figura 9.9.

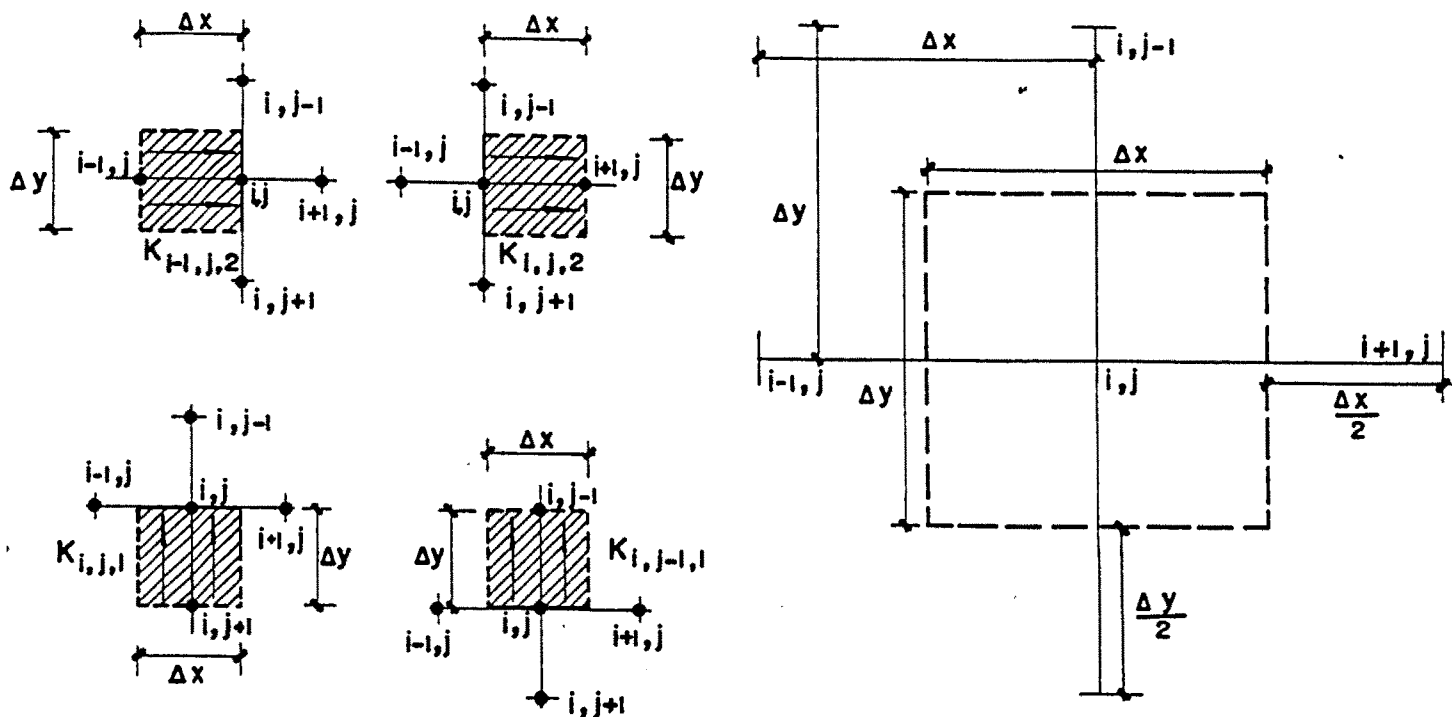


Figura 9.9

Aplicando la ley de Fourier para estudiar el flujo de calor entre nudos:

$$Q_1 = k_{i-1,j,2} (T_{i-1,j} - T_{i,j}) \Delta y / \Delta x \quad (9.23)$$

$$Q_2 = k_{i,j,2} (T_{i,j} - T_{i+1,j}) \Delta y / \Delta x \quad (9.24)$$

$$Q_3 = k_{i,j,1} (T_{i,j+1} - T_{i,j}) \Delta x / \Delta y \quad (9.25)$$

$$Q_4 = k_{i,j-1,1} (T_{i,j} - T_{i,j-1}) \Delta x / \Delta y \quad (9.26)$$

donde $K_{i,j,1}$ es la conductividad térmica entre el nudo i, j y el $i, j+1$ y $K_{i,j,2}$ es la conductividad térmica entre el nudo

i, j y el $i+1, j$, y $T_{i,j}$ es la temperatura en el nudo i, j al final del incremento de tiempo.

El calor almacenado será:

$$Q_5 = \rho C \Delta x \Delta y (T_{i,j}(\tau) - T_{i,j}(\tau - \Delta\tau)) / \Delta\tau \quad (\text{W/M}) \quad (9.27)$$

La cantidad de calor inyectado o drenado al sistema constante en cada unidad de tiempo será (calor drenado con signo positivo, y calor inyectado con signo negativo):

$$Q_6 = \dot{q}_{i,j} \dots \Delta x \Delta y \quad ((\text{W/m}^3 \cdot \text{seg.}) / \text{seg.}). \quad (8.28)$$

Sustituyendo (9.23), (9.24), (9.25), (9.26), (9.27), (9.28) en (9.22) se obtiene

$$\begin{aligned} & k_{i+j,2} (T_{i-1,j} - T_{i,j}) \Delta y / \Delta x + k_{i,j,1} (T_{i,j+1} - T_{i,j}) \Delta x / \Delta y = \\ & = k_{i,j,2} (T_{i,j} - T_{i+1,j}) \Delta y / \Delta x + k_{i,j,2} (T_{i,j} - T_{i,j-1}) \Delta x / \Delta y + \\ & + \rho C \Delta x \Delta y (T_{i,j}(\tau) - T_{i,j}(\tau - \Delta\tau)) / \Delta\tau + \dot{q}_{i,j} \Delta x \Delta y \end{aligned} \quad (9.29)$$

Dividiendo entre $\Delta x \Delta y$ se obtendrá

$$\begin{aligned} & k_{i,j,2} (T_{i-1,j} - T_{i,j}) / \Delta x^2 + k_{i,j,1} (T_{i,j+1} - T_{i,j}) / \Delta y^2 = \\ & = k_{i,j,2} (T_{i,j} - T_{i+1,j}) / \Delta x^2 + k_{i,j-1,2} (T_{i,j} - T_{i,j-1}) / \Delta y^2 + \\ & + \rho C (T_{i,j}(\tau) - T_{i,j}(\tau - \Delta\tau)) / \Delta\tau + \dot{q}_{ij} \end{aligned} \quad (9.30)$$

La ecuación (9.30) representa la forma en diferencias finitas de la ecuación (9.21) que estudia el flujo de calor en régimen transitorio en dos dimensiones.

Esta ecuación es de difícil solución y vamos a efectuar en ella algunas simplificaciones para su resolución con el programa CAL2D.

En primer lugar supondremos que la malla esta formada por cuadrados, es decir $\Delta x = \Delta y$ y por tanto la ecuación (9.30) resulta:

$$\begin{aligned}
 & k_{i-1,j,2} (T_{i-1,j} - T_{i,j}) + k_{i,j,1} (T_{i,j+1} - T_{i,j}) = k_{i,j,2} (T_{i,j} - T_{i+1,j}) + \\
 & + k_{i,j-1,1} (T_{i,j} - T_{i,j-1}) + (\rho C (\Delta x)^2 / \Delta \tau) (T_{i,j}(\tau) - T_{i,j}(\tau - \Delta \tau)) + \\
 & + \dot{q}_{i,j} (\Delta x)^2 \qquad \qquad \qquad (9.31)
 \end{aligned}$$

Reagrupando se tendrá:

$$\begin{aligned}
 & T_{i,j} (k_{i-1,j,2} + k_{i,j,1} + k_{i,j,2} + k_{i,j-1,1} + \rho C (\Delta x)^2 / \Delta \tau) - \\
 & - T_{i-1,j} k_{i-1,j,2} - T_{i,j+1} k_{i,j,1} - T_{i+1,j} k_{i,j,2} - T_{i,j-1} k_{i,j-1,1} = \\
 & = (\rho C (\Delta x)^2 / \Delta \tau) T_{i,j}(\tau - \Delta \tau) - \dot{q}_{i,j} (\Delta x)^2 \qquad \qquad \qquad (9.32)
 \end{aligned}$$

La ecuación (9.32) toma dos formas diferentes de reagrupamiento según vayamos a efectuar el cálculo por filas o por

columnas. Si el cálculo se hace por columnas quedará:

$$\begin{aligned}
 & -T_{i,j-1}k_{i,j-1,1} + T_{i,j}(k_{i,j+1} + k_{i,j,1} + k_{i,j,2} + k_{i,j-1,1}) \\
 & + \rho C(\Delta x)^2/\Delta\tau \cdot T_{i,j+1}k_{i,j,1} = (\rho C(\Delta x)^2/\Delta\tau) T_{i,j(\tau-\Delta\tau)} \\
 & - \dot{q}_{i,j}(\Delta x)^2 + T_{i-1,j}k_{i+1,j,2} + k_{i+1,j}k_{i,j,2} \quad (9.33)
 \end{aligned}$$

o bien

$$AA_j T_{i,j-1} + BB_j T_{i,j} + CC_j T_{i,j+1} = DD_j \quad (9.34)$$

donde

$$AA_j = -k_{i,j-1,1} \quad (9.35a)$$

$$BB_j = (k_{i-1,j,2} + k_{i,j,1} + k_{i,j,2} + k_{i,j-1,1} + \rho C(\Delta x)^2/\Delta\tau) \quad (9.35b)$$

$$CC_j = -k_{i,j,1} \quad (9.35c)$$

$$\begin{aligned}
 DD_j = & \rho C(\Delta x)^2/\Delta\tau \cdot T_{i,j(\tau-\Delta\tau)} - \dot{q}_{i,j}(\Delta x)^2 + T_{i-1,j}k_{i-1,j,2} \\
 & + T_{i+1,j}k_{i,j,2} \quad (9.35d)
 \end{aligned}$$

Para el cálculo por filas se reagrupará de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
& -T_{i-1,j} k_{i-1,j,2} + T_{i,j} (k_{i-1,j,2} + k_{i,j,1} + k_{i,j,2} + k_{i,j-1,1}) \\
& + \rho C (\Delta x)^2 / \Delta \tau - T_{i+1,j} k_{i,j,2} = (\rho C (\Delta x)^2 / \Delta \tau) T_{i,j} (\tau - \Delta \tau) - \\
& - \dot{q}_{i,j} (\Delta x)^2 + T_{i,j+1} k_{i,j,1} + T_{i,j-1} k_{i,j-1,1} \quad (9.36)
\end{aligned}$$

o bien

$$AA_i T_{i-1,j} + BB_i T_{i,j} + CC_i T_{i+1,j} = DD_i \quad (9.37)$$

donde

$$AA_i = -k_{i-1,j,2} \quad (9.38a)$$

$$BB_i = (k_{i-1,j,2} + k_{i,j,1} + k_{i,j,2} + k_{i,j-1,1} + \rho C (\Delta x)^2 / \Delta \tau) \quad (9.38b)$$

$$CC_i = -k_{i,j,2} \quad (9.38c)$$

$$\begin{aligned}
DD_i = & \rho C (\Delta x)^2 / \Delta \tau T_{i,j} (\tau - \Delta \tau) - \dot{q}_{i,j} (\Delta x)^2 + T_{i,j+1} k_{i,j,1} + \\
& + T_{i,j-1} k_{i,j-1,1} \quad (9.38d)
\end{aligned}$$

Queda por tanto, la ecuación 12 resuelta por filas (ecuación 9.34) o por columnas (ecuación 9.37) de forma que en cada caso se tiene una matriz tridiagonal que se resolverá por medio de las matrices G y B, según el método de Peaceman y Rachford (1).

9.2.3. CALCULO DE LAS TEMPERATURAS CON LAS MATRICES G Y B

Las ecuaciones a resolver serán las números (9.34) y (9.37) indistintamente y por separado, manteniendo ambas la misma estructura, por lo que el método a aplicar será el mismo.

Tomemos como ejemplo la ecuación (9.34) correspondiente al cálculo de la columna i ; en ella son datos todos los valores AA_j , BB_j , CC_j y DD_j , por tanto se puede formar una expresión matricial de la ecuación (9.34) en la cual para

$$j = 1 \rightarrow AA_1 = 0 \text{ ya que no existe el nudo } (0, j) \quad (9.19)$$

$$j = N \rightarrow CC_N = 0 \text{ ya que no existe el nudo } (N+1, j)$$

siendo N el número de filas.

Por tanto, podremos expresar la ecuación (9.34) como:

$$\begin{bmatrix}
 BB_1 & CC_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 AA_2 & BB_2 & CC_2 & 0 & & & \\
 0 & AA_3 & BB_3 & CC_3 & & & \\
 \vdots & & & & & & \\
 0 & & & & AA_{N-1} & BB_{N-1} & CC_{N-1} \\
 0 & & & & AA_N & BB_N &
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 T_{i,1} \\
 T_{i,2} \\
 T_{i,3} \\
 \vdots \\
 T_{i,N-1} \\
 T_{i,N}
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 DD_1 \\
 DD_2 \\
 DD_3 \\
 \vdots \\
 DD_{N-1} \\
 DD_N
 \end{bmatrix}
 \quad (9.40)$$

El método de resolución consiste en tomar la primera ecuación (o primera fila de la matriz) y despejar $T_{i,1}$ en función de $T_{i,2}$ ya que son las dos únicas incógnitas, y sustituir en la segunda ecuación con lo que ésta quedará en función únicamente de $T_{i,2}$ y $T_{i,3}$, con lo cual podemos despejar $T_{i,2}$ en función de $T_{i,3}$ y sustituir en la siguiente, y así sucesivamente hasta que en la ecuación N-1 despejamos $T_{i,N-1}$ en función de $T_{i,N}$ que sustituyendo en la ecuación N-sima resulta una ecuación lineal en $T_{i,N}$ que se puede obtener directamente.

Recorriendo los nudos en sentido inverso podremos obtener los valores de las temperaturas en un nudo en función de la temperatura en el siguiente hasta completar los N nudos.

La expresión de la temperatura en un nudo en función de la del siguiente será:

$$T_{i,j} = (DD_j - AA_j G_{j-1}) / (BB_j - AA_j B_{j-1}) - (CC_j / (BB_j - AA_j B_{j-1})) T_{i,j+1} \quad (9.41)$$

Si hacemos

$$G_j = (DD_j - AA_j G_{j-1}) / (BB_j - AA_j B_{j-1}) \quad (9.42)$$

$$B_j = CC_j / (BB_j - AA_j B_{j-1}) \quad (9.43)$$

se obtiene

$$T_{i,j} = G_j - B_j T_{i,j+1} \quad (9.44)$$

Para el cálculo por filas se obtendrá una expresión si milar a la (9.44).

El proceso de cálculo, para cada fila o columna, en el programa de ordenador CAL2D incluye calcular inicialmente las matrices B y G en orden creciente de i o de j (ya que cada una depende de la anterior). Cumplido esto se obtiene la tem peratura en el último nudo de la fila o columna.

A continuación mediante la ecuación (9.44) (o la similar referida a filas), se obtienen las temperaturas en la fila o columna en orden decreciente de i o j respectivamente. Después del cálculo de temperaturas en la fila o columna, se re petirá todo el cálculo para la siguiente fila o columna, has ta completar el proceso satisfactoriamente.

El criterio de convergencia que se considera, es obtener la suma de los valores absolutos de la diferencia de tem peraturas entre una iteración y la anterior, considerada para el cálculo por filas y para el cálculo por columnas. Este valor deberá ser menor que uno prefijado.

En los casos habituales se ha supuesto este valor como un grado centígrado que supuesto repartido entre aproximadamente 1.000 puntos de forma equitativa supone un error de 10^{-3} grados centígrados en cada punto.

No obstante la convergencia es muy rápida y el mismo caso para 1.000 puntos y paso de tiempo de una hora converge normalmente en cuatro iteraciones.

9.2.4. ESTUDIO DE LA RADIACION SOLAR

La radiación solar se considerará en el programa CAL2D como una generación de calor en los elementos que bordean la pieza, y que están sometidos a radiación solar.

Se supondrá que I es el calor en W/m^2 (figura 9.10) que incide y absorbe en la unidad de superficie en el tiempo Δt .

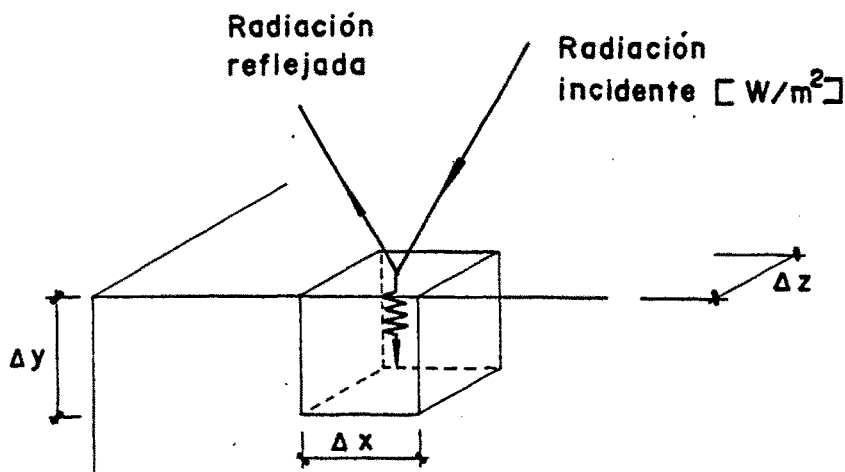


Figura 9.10

El calor total incidente sobre la superficie del elemento de malla será:

$$I(\Delta x) \cdot (\Delta z) \text{ wátios} \quad (9.45)$$

Se supondrá que este calor es el generado por el cubo, y siendo $q_{i,j}$ el calor por unidad de volumen, se obtendrá:

$$q_{i,j} (\Delta x) (\Delta y) (\Delta z) = I(\Delta x) (\Delta z) \quad (\text{Wátios}) \quad (9.46)$$

$$q_{i,j} = I/\Delta y \cdot \text{W/m}^3 \quad (9.47)$$

9.2.5. CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE EN LA UNION DE DOS MEDIOS

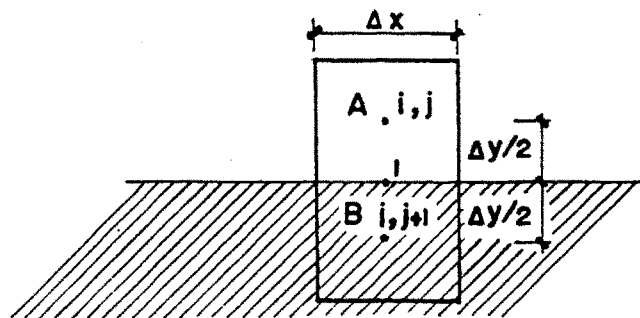


Figura 9.11

Sean dos puntos contiguos $A(i,j)$, $B(i,j+1)$ de dos medios sólidos de diferentes propiedades térmicas (figura 9.11) en particular las conductividades térmicas.

$$\begin{aligned}
 \text{Punto } (i,j) & \rightarrow k = k_{i,j,1} \\
 \text{Punto } (i,j+1) & \rightarrow k = k_{i,j+1}
 \end{aligned}
 \tag{9.48}$$

Se calcula el flujo vertical de calor que será igual al transmitido entre los puntos (i,j) y 1 que entre 1 y $(i,j+1)$.

$$\frac{\phi}{\Delta x} = k_{i,j,1} \frac{(T_1 - T_A)}{\Delta y/2} = k_{i,j+1} \frac{(T_B - T_1)}{\Delta y/2} \rightarrow$$

$$\frac{T_1 - T_A}{\Delta y} = \frac{T_B - T_1}{\Delta y} = \frac{T_B - T_A}{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{k_{i,j,1}} + \frac{1}{k_{i,j+1,1}} \right) \Delta y} = \frac{T_B - T_A}{\frac{\Delta y}{k_e}} \rightarrow$$

$$\frac{1}{k_e} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{k_{i,j,1}} + \frac{1}{k_{i,j+1,1}} \right) \rightarrow$$

$$k_e = 2 \frac{k_{i,j,1} \cdot k_{i,j+1,1}}{k_{i,j,1} + k_{i,j+1,1}}
 \tag{9.50}$$

Para el caso de que el plano de unión sea vertical la expresión anterior es equivalente.

9.2.6. ESTUDIO DE LA CONVECCION

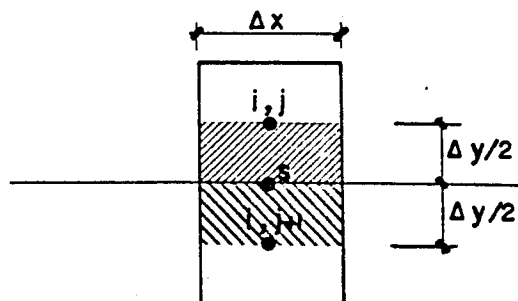


Figura 9.12

Supongamos que el nudo i, j (figura 9.12) pertenece al fluido (aire) y el $i, j+1$, pertenece al sólido.

Supondremos el punto intermedio S perteneciente a la superficie. Se impondrá la condición de que el calor transmitido entre (i, j) y (S) es igual que el existente entre (S) y $(i, j+1)$

$$\phi = h(T_s - T_a)\Delta x = k_{i,j,1} \frac{(T_{i,j+1} - T_s)\Delta x}{\Delta y/2} = k_e \frac{T_{i,j+1} - T_a}{\Delta y} \Delta x \quad (9.51)$$

k_e es la conductividad equivalente entre (i, j) y $(i, j+1)$ es decir $k_{e, i, j, 1}$

$$\phi = \frac{T_s - T_a}{\frac{1}{h\Delta x}} = \frac{T_{i,j+1} - T_s}{\frac{\Delta y}{2k_{i,j,1}\Delta x}} = \frac{T_{i,j+1} - T_a}{\frac{\Delta y}{k_{e,i,j,1}\Delta x}} = \frac{T_s - T_a + T_{i,j+1} - T_s}{\frac{1}{h\Delta x} + \frac{\Delta y}{2k_{i,j,1}\Delta x}} \rightarrow$$

$$\frac{\Delta y}{k_{e,i,j,1}} = \frac{1}{h} + \frac{\Delta y}{2k_{i,j,1}} \rightarrow k_{e,i,j,1} = \frac{\Delta y}{\frac{1}{h} + \frac{\Delta y}{2k_{i,j,1}}} \rightarrow$$

$$k_{e,i,j,1} = \frac{1}{\frac{1}{h\Delta y} + \frac{1}{2k_{i,j,1}}} \quad (9.53)$$

En el caso de flujo horizontal se tendrá:

$$\phi = h(T_s - T_a)\Delta y = k_{i,j,2} \frac{(T_{i+1,j} - T_s)\Delta y}{\Delta x/2} = k_{e,i,j,2} \frac{T_{i+1,j} - T_a}{\Delta x} \quad (9.54)$$

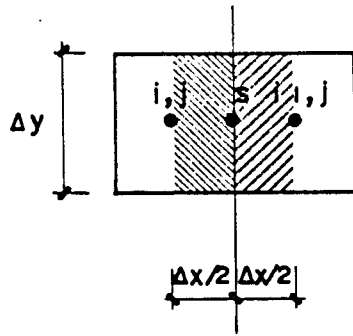


Figura 9.13

$$\phi = \frac{T_s - T_a}{\frac{1}{h\Delta y}} = \frac{T_{i+1,j} - T_s}{\frac{\Delta x}{2k_{i,j,2}\Delta y}} = \frac{T_s - T_a + T_{i+1,j} - T_s}{\frac{1}{h\Delta y} + \frac{\Delta x}{2k_{i,j,2}\Delta x}} = \frac{T_{i+1,j} - T_s}{\frac{\Delta y}{k_{ei,j,2}\Delta x}} \quad (9.55)$$

$$\frac{\Delta y}{k_{ei,j,2}} = \frac{1}{h} + \frac{\Delta x}{2k_{i,j,2}} \rightarrow \frac{\Delta x}{\frac{1}{h} + \frac{\Delta x}{2k_{i,j,2}}} \quad (9.56)$$

$$k_{ei,j,2} = \frac{1}{\frac{1}{h\Delta x} + \frac{1}{2k_{i,j,2}}} \quad (9.57)$$

9.2.7. DESCRIPCION DEL PROGRAMA CAL2D

9.2.7.1. INTRODUCCION

El programa CAL2D está escrito en lenguaje de ordenador FORTRAN 77 y se ha pasado en un ordenador Hewlett-Packard 1000 con 64K de memoria principal, siendo preciso una extensión de memoria hasta ocupar un total aproximado de 350K que ocupa el programa, hasta un máximo posible de 512K.

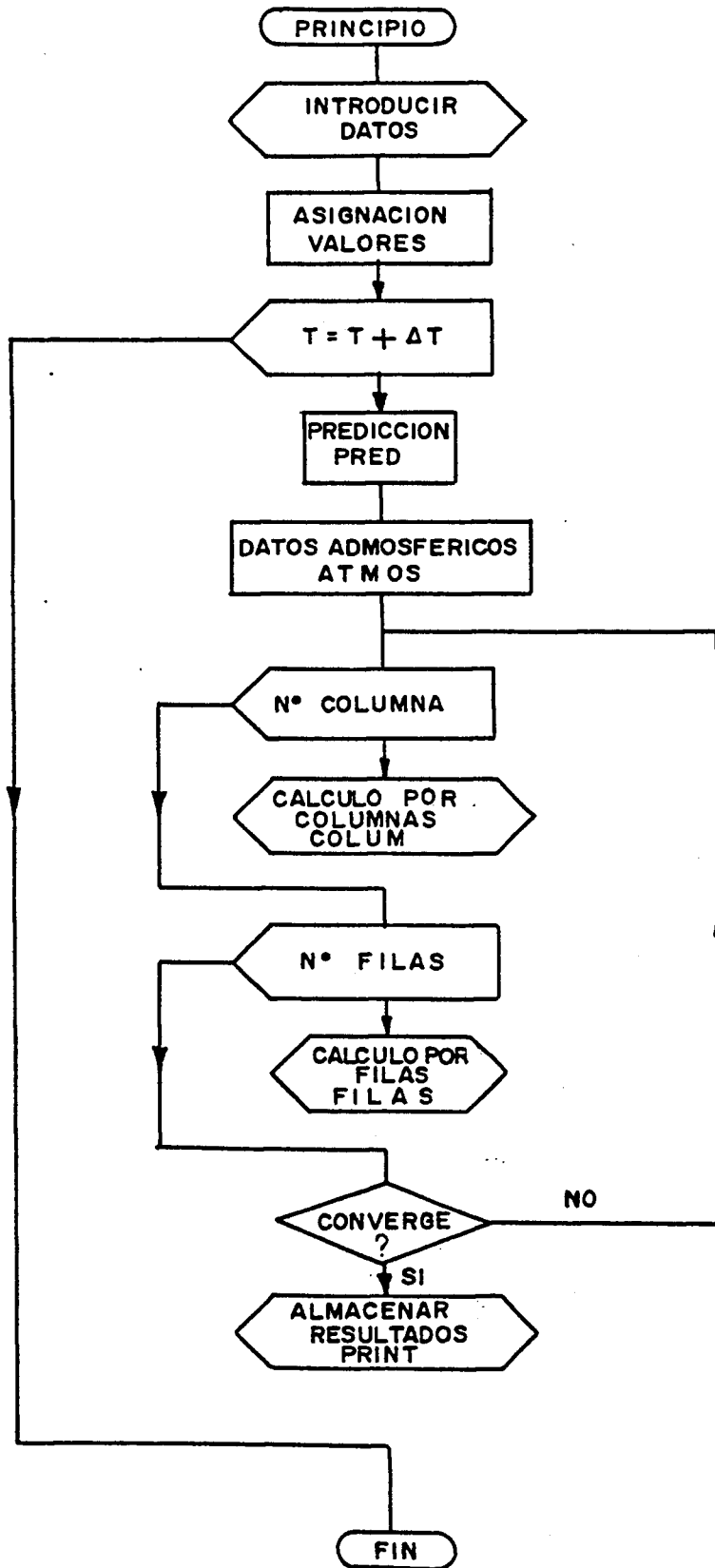
El programa CAL2D utiliza un fichero de entrada de datos D.CAL y otro de salida de resultados RE.CAL. Además utiliza otros tres ficheros de salida como comprobación de la asignación de propiedades a la malla.

El cálculo de las temperaturas se efectúa a lo largo de un día completo, comenzando a las 8,00 horas, en que la experiencia permite asegurar que el gradiente de temperaturas en el puente es mínimo.

El criterio de convergencia utilizado es que la suma de los valores absolutos de las diferencias de temperaturas entre el cálculo por filas y por columnas para cada punto es menor que un valor dado.

9.2.7.2. PROGRAMA CAL2D

Es el programa principal y gestiona el organigrama general, figura (9.14), es encargado de llamar a la subrutina de lectura de datos y de organizar los bucles generales con las llamadas a las subrutinas de condiciones atmosféricas y a las subrutinas de cálculo. Comprueba el criterio de convergencia y llama a la subrutina de escritura de resultados cada hora de tiempo transcurrido.



Ordinograma del programa CAL 2D

9.2.7.3. SUBRRUTINA PRED

Al comienzo de cada instante de tiempo predice las temperaturas que van a ocurrir como extrapolación lineal de lo ocurrido en los dos pasos de tiempo anteriores, y corrige las temperaturas de entrada al nuevo instante de tiempo. De esta forma se logra una convergencia mucho más rápida del proceso.

9.2.7.4. SUBRRUTINA ATMOS

Es la subrutina encargada de las condiciones atmosféricas. Llama a la subrutina de temperatura ambiente y de radiación.

Adjudica a los puntos del aire exterior la temperatura ambiente existente y a los puntos de la superficie superior del tablero les adjudica la radiación solar como generación interna de calor.

9.2.7.5. SUBRRUTINA TEMPE

Obtiene la temperatura ambiente según una ley senoidal de período 24 horas con el valor medio a las 8,00 horas y 20,00 horas, máximo a las 14,00 horas y mínimo a las 2,00 horas. Comienza el cálculo a las 8,00 horas (figura 9.15).

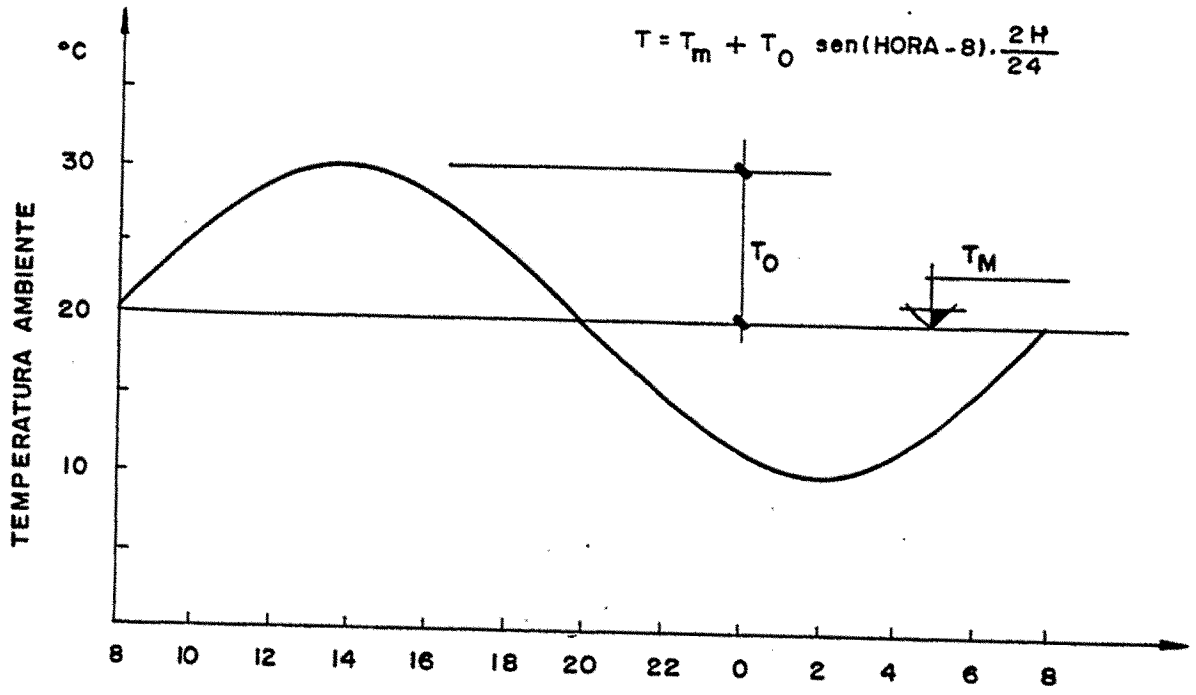


Figura 9.15

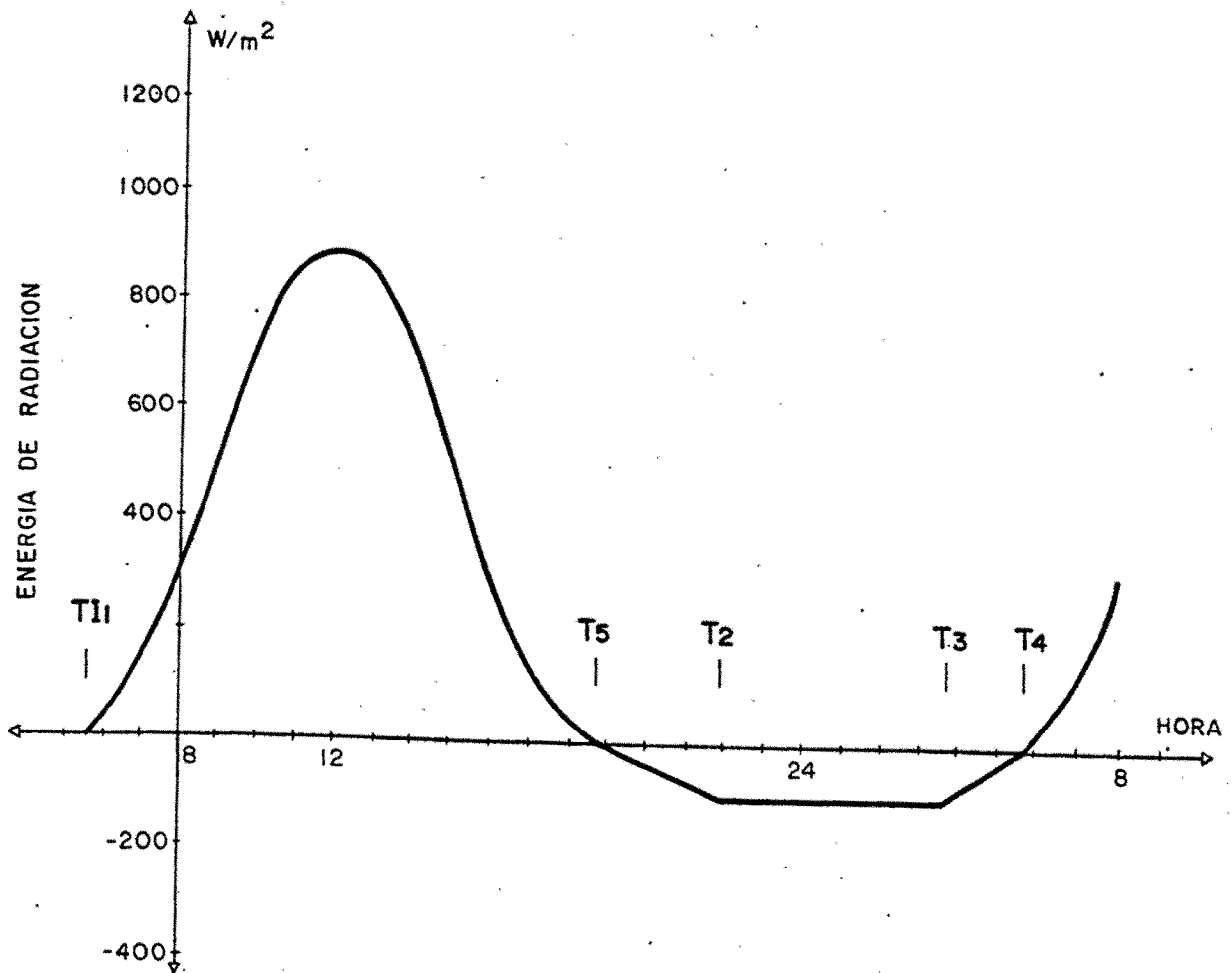


Figura 9.16

9.2.7.6. SUBRRUTINA RADIA

Calcula la radiación instantánea en cada instante de tiempo. Durante el día supone una radiación solar de distribución del tipo sen^2 , y durante la noche supone una pérdida de radiación de tipo trapezoidal (figura 9.16).

9.2.7.7. SUBRRUTINA COLUM

Efectúa el cálculo por columnas según el esquema explicado anteriormente.

9.2.7.8. SUBRRUTINA FILAS

Efectúa el cálculo por filas según el esquema explicado anteriormente.

9.2.7.9. SUBRRUTINA PRINT

Se encarga de escribir los resultados obtenidos a cada hora.

9.2.7.10. SUBRRUTINA INPUT

Se encarga de la lectura del fichero de datos y de la formación de la malla de la sección del puente dentro del rectángulo de cálculo. Llama a las demás subrutinas de asig

El formato de escritura en todos los casos es libre. Las unidades pertenecen al sistema SI.

a) Línea de definición geométrica de la sección del puente.

<u>VARIABLE</u>	<u>DESCRIPCION</u>
NH	Número de huecos de la sección.
AS	Semiancho del tablero superior.
AI	Semiancho del tablero inferior.
AV	Altura total del tablero.
AV1	Espesor de las almas interiores.
AV2	Espesor del alma exterior.
ES	Espesor del forjado sup. sin mezcla bit.
EI	Espesor del forjado inferior.
H	Anchura de los huecos.
D	Lado de la retícula.
EMB	Espesor de la mezcla bituminosa.

b) Líneas de propiedades térmicas.

Son cuatro líneas que definen las propiedades de las materias constituyentes. La primera línea se refiere al aire libre, la segunda a la mezcla bituminosa, la tercera al hormigón y la cuarta al aire del contorno en contacto con la estrutura.

<u>VARIABLE</u>	<u>DESCRIPCION</u>
C(I,1)	Densidad del material I (Kg/m^3).
C(I,2)	Calor específico del material I (j/Kg.k).
C(I,3)	Conductividad vertical del material I (W/m.k).
C(I,4)	Conductividad horizontal del material I (W/m.k).

c) Línea de datos de radiación.

<u>VARIABLE</u>	<u>DESCRIPCION</u>
TI1	Hora de comienzo de radiación solar.
T2	Hora de comienzo de pérdida de radiación <u>cons</u> tante nocturna.
T3	Hora final de pérdida de radiación constante nocturna.
RTD	Radiación total diaria diurna (W.hora/m^2).
PER	Pérdida constante de radiación nocturna (W/m^2).

d) Línea de datos de temperatura.

<u>VARIABLE</u>	<u>DESCRIPCION</u>
T1	Temperatura media del día.
T01	Semioscilación diaria de la temperatura.
START	Temperatura uniforme del puente al comienzo.

e) Línea de datos de coeficiente de convección.

<u>VARIABLE</u>	<u>DESCRIPCION</u>
HCSUP	Coefficiente de convección en zona superior del tablero.
HCINF	Coefficiente de convección en zona inferior del tablero.
HCINT	Coefficiente de convección en zona interior del tablero.
HCLAT	

f) Línea de incremento de tiempo y error máximo permitido en cada iteración.

<u>VARIABLE</u>	<u>DESCRIPCION</u>
DELTAT	Paso de tiempo.
ERROR	Error máximo en una iteración.

g) Líneas de salida de resultados.

g-1)

<u>VARIABLE</u>	<u>DESCRIPCION</u>
NCD	Número de columnas de la malla de las que se desean resultados.

g-2)

VARIABLEDESCRIPCION

NCR(I)

Número de la columna cuyos resultados interesan. Se repetirá esta línea NCD veces.

CAPITULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) PAECEMAN, D.W.; RACHFORD, H.H. "The numerical solution of parabolic and elliptic differential equations. *Journal Society of Industrial and Applied Mathematics*, V.3: 28-41.

CAPITULO X

CONCLUSIONES

10.1. CONCLUSIONES

1. Se ha realizado una revisión de la actual situación del estudio de los efectos térmicos en estructuras, y en puentes en particular, comentando las normativas existentes en los diversos países.
2. Se han señalado las variables térmicas que entran en juego en la definición del estado térmico de un puente como la conductividad y difusividad del hormigón, los valores de la radiación solar, las temperaturas ambiente, los coeficientes de convección y se han acotado los valores de todos ellos.
3. Acotados estos valores de las variables térmicas, se ha demostrado que el estado térmico de un puente (es decir, su campo de temperaturas) depende básicamente de su geometría (tipología del tablero) y sobre todo de las condiciones del contorno que serán la radiación solar incidente, o la radiación térmica emitida y la temperatura ambiente.
4. Se propone para estudiar el estado térmico de un puente, la utilización de los mapas de radiación solar y de datos de temperatura, publicados por el Instituto Nacional de Meteorología, para la obtención de los datos de radiación solar y de temperatura ambiente, en vez de utilizar unos valores normalizados para todo el territorio nacional.

5. Se ha efectuado una clasificación de los tableros de puente de acuerdo a su comportamiento térmico consistente en:
- a) Losas de diferentes espesores (0,40 ms, 0,60 ms, 0,80 ms y 1,00 ms.) debido a su diferente rango de comportamiento.
 - b) Puentes con tablero de sección cajón.
 - c) Puentes con sección multicelular.
 - d) Puentes de vigas.
6. Se ha definido una nueva variable para caracterizar el estado térmico del puente que es la energía absorbida o emitida, y se ha desglosado en los diversos conceptos de energía de radiación, y energía de intercambio con el exterior por convección debido a la temperatura ambiente, en las diversas superficies del tablero de puente (figuras 7.31 y 7.32).
7. El comienzo de todo proceso de cálculo del campo térmico en un tablero de puente de cualquier tipo de sección, puede hacerse suponiendo temperatura uniforme en todo el tablero de puente a las 8,00 horas, puesto que supuesta una simulación del comportamiento térmico durante 24 horas, al final del proceso, es decir, a las 8,00 horas del día siguiente, el campo de temperaturas es más uniforme, y por tanto cuando se produce menor gradiente de temperaturas.

8. La temperatura uniforme de comienzo del estudio térmico de tableros de puente de sección arbitraria no influye en las temperaturas máximas que se producen en el puente ni en la hora en que se producen.

Las temperaturas mínimas que se producen en un caso de día frío de invierno y la hora en que ocurren tampoco dependen de la temperatura inicial del proceso.

Efectivamente, las máximas temperaturas en un día caluroso se producen alrededor de las 15 horas en una zona muy limitada pegada al pavimento para decrecer luego rápidamente.

La mínima temperatura en un puente en invierno se produce durante la noche aproximadamente entre las 5,00 horas y las 6,00 horas y afecta a una zona de mayor espesor que en el caso de las temperaturas máximas, es decir, el gradiente de temperaturas es mayor en el caso de temperaturas máximas que en el instante de temperaturas mínimas.

9. El espesor del puente tampoco afecta a las temperaturas máximas o mínimas que se producen en el puente, en los supuestos de días de calor extremo y frío extremo.
10. Se define temperatura eficaz del puente a la temperatura que gobierna el movimiento longitudinal del tablero del puente. Referido únicamente al estado térmico, la temperatura eficaz es la temperatura media del puente.

La temperatura eficaz del puente en cada instante de tiempo, depende de forma lineal de las propiedades térmicas del puente, como son la conductividad y la difusividad, de la cantidad de materia que forma el puente, es decir, del volumen de hormigón, de la temperatura eficaz en el instante inicial, y de la energía total intercambiada con el ambiente. Si se supone energía intercambiada con el ambiente por unidad de superficie, la temperatura eficaz en el caso de losas no depende del volumen de hormigón sino directamente del canto. La expresión matemática de la temperatura eficaz está indicada en la fórmula 7.7, y la comprobación numérica se observa en la figura 7.34.

11. En el caso de puentes de sección cajón el forjado superior es el que intercambia la mayor parte de la energía calorífica, y se comporta térmicamente casi independiente del forjado inferior.
12. La influencia de la temperatura ambiente es fundamental en el estado térmico del puente y se puede suponer que la energía total absorbida por el puente en un día de 12 horas aumenta aproximadamente 120 W.hora por cada grado centígrado de variación de temperatura media ambiente, manteniendo fijas las demás variables.

Si para una misma temperatura media ambiente varía la oscilación, el pico de la temperatura corresponde a las ho-

ras diurnas. La variación de energía absorbida en las horas diurnas (entre las 10 horas y las 20 horas) es aproximadamente de 90 Watios.hora por cada grado de oscilación de la temperatura y la pérdida de energía durante la noche tiene también el mismo valor con lo cual el balance de 24 horas queda compensado, según se comentó en el punto anterior.

13. La influencia de la radiación solar sobre el estado térmico de un puente, medido a través de su energía absorbida es importante pero se ve compensada por la pérdida por convección que sufre la superficie al calentar el pavimento más que la temperatura ambiente, de forma que un aumento de la energía solar total diaria del 90% (de 5000 W.h/m^2 a 9500 W.h/m^2) supone solamente un aumento del 17% en la máxima energía instantánea absorbida (de 397 W/m^2 a 465 W/m^2 con los datos particulares utilizados) en el supuesto de mantener el resto de los factores fijos.

14. Efectuando un estudio paramétrico de la temperatura manteniendo fijo la radiación y las demás variables, y al revés, variando la radiación y dejando fijo el resto, se muestra una mayor influencia de la temperatura que de la radiación. No debe olvidarse que desde un punto de vista meteorológico ambas variables están unidas y solo se permite un pequeño juego de los valores de una respecto a la otra.

Ello muestra la conveniencia de la utilización de los mapas de temperatura y radiación para el estudio del estado térmico de un puente y para su utilización en una futura norma de efectos térmicos en estructuras.

15. El resto de variables térmicas que definen el problema térmico en tableros de puente, como son la conductividad térmica del hormigón, la difusividad térmica del hormigón, los coeficientes de convección térmica, apenas tienen influencia en el estado térmico del puente siempre que se mantengan dentro de los valores habituales definidos en el capítulo 1.

16. Mediante programas de ordenador se han definido los diagramas de temperatura en un tablero y de esta forma estos diagramas se pueden descomponer de forma que se estudien por separado los valores de:
 - La dilatación térmica del puente. Se han considerado casos de condiciones ambientales extremas de frío y calor para comprobar el rango del valor de la dilatación.

 - La curvatura de la sección. Igual que en el caso anterior se ha obtenido el rango de valores de la curvatura en un tablero isostático.

-Diagrama de autotensión térmica. Igual comentario que en los puntos anteriores. Se ha podido obtener valores de autotensión, en el hormigón situado inmediatamente debajo del pavimento, superiores a seis Megapascales aunque en un espesor pequeño; no obstante muestra la importancia de este estado tensional.

Las curvas obtenidas de las tres variables anteriores (figuras 7.51 a 7.57) están referidas a una determinada situación geográfica (ciertamente de condiciones extremas), y por lo tanto, no serán aplicables a otra posición en el territorio.

17. Se ha creado un programa de cálculo electrónico con salida gráfica que permite obtener la superficie de temperaturas $T=T(x,y)$ de cualquier sección de tablero de puente (losa, sección cajón, multicelular, puente de vigas) de manera que se puede observar de una manera cómoda y rápida, el estado térmico de cualquier tablero y la determinación inmediata de las zonas de mayores gradientes térmicos y por tanto de mayores tensiones térmicas.
18. Se ha efectuado un estudio tensional debido al estado térmico del puente y, siguiendo la pauta de los métodos de cálculo no lineal de estructuras mediante la utilización del diagrama Momentos-Curvatura, se propone una modificación en la forma de obtención de dicho diagrama de mane-

ra que se tengan en consideración los estados de autotensión a nivel sección.

19. Se constata la poca influencia que tiene el estado térmico en los estados últimos de resistencia de la sección.
20. Sí que tiene gran importancia en los estados límites de utilización, como lo demuestra la numerosa bibliografía y la preocupación existente en estos momentos.

Mediante la determinación de las condiciones ambientales, según se propone en esta tesis, se puede determinar el giro de la estructura con mayor precisión y así determinar la ley de momentos flectores de continuidad a lo largo de la viga, que se sumará a la ley de cargas.

El programa de cálculo en dos dimensiones permite definir el campo de temperaturas en zonas especialmente problemáticas como las almas de la sección cajón y de esta manera se puede definir el giro de esta parte de la sección sujeta libre. Mediante la aplicación de los conocimientos elementales de Resistencia de Materiales se podrán definir con precisión el valor de los momentos de continuidad a nivel sección.

21. Se han definido unos diagramas de temperatura para las diversos tipos de tablero de puente, puente losa (figura 7.100), puente de sección cajón (figura 7.28) y puente de vigas (figura 7.93), que sin embargo están sin acotar puesto que dependen de las condiciones ambientales de contorno.

Estos diagramas se pueden utilizar una vez conocidos los valores, dependientes de las condiciones ambientales, o bien, se pueden usar directamente los diagramas resultantes de los programas de cálculo electrónico, que utilizan también como datos las variables ambientales.

10.2. SUGERENCIAS

La primera sugerencia que se hace a través de esta tesis es la creación de una "Norma de acciones térmicas ambientales en puentes".

Esta norma podría ser una ampliación de la "Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera" o la "Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril", u otra normativa independiente, según el criterio que desee emplear la Administración.

En caso de que la Administración española no desee abordar la tarea de crear o implantar una norma del tipo sugerido en esta tesis, solamente para España, sí se sugiere el apoyo dentro de los organismos internacionales (Comisión Eurointernacional del hormigón CEB, Federación Internacional de Pretensado FIP), a la creación de una normativa con similares criterios para toda Europa. Los primeros pasos, dentro de estos organismos ya están dados, según se comenta en el Capítulo 2.

Se sugiere que el criterio básico de definición de las normas sea la utilización de mapas como las editadas por el Servicio Meteorológico Nacional y cuyos ejemplos se exponen en el Capítulo 4. No obstante estos mapas podrían precisar aún cier-

to tratamiento, ya que, por ejemplo, los correspondientes a radiación máxima se refiere a "media de los valores máximos de cada mes" y no a los "máximos absolutos". Dicha normativa debe ría precisar estos conceptos, bien modificando los mapas o bien utilizando coeficientes correctores de los mismos.

Otro criterio indicado en esta tesis es la no fijación de una serie de parámetros que hasta ahora definían algunas normas, como pueden ser, el máximo movimiento longitudinal del tablero, o la máxima curvatura que puede adoptar un tablero, o el máximo gradiente en las almas.... ya que esto quedará fijado para cada situación geográfica del puente a partir de la utilización de los mapas descritos.

Esta sugerencia podría ser válida únicamente en puentes de cierta importancia como por ejemplo únicamente en tableros pre tensados, o de luz superior a una determinada longitud. Este dato, en caso de su utilización, lo fijaría la norma.

Con el fin de determinar todos estos valores se sugiere para su aplicación por la futura norma, la creación de un progra ma estandar de ordenador que, a partir de los datos ambientales obtenga todos los resultados necesarios, como movimientos del tablero, curvatura, estado de autotensión, campo de temperaturas..., para los diversos tipos de tablero.

Una sugerencia para futuras investigaciones sería la determinación de las propiedades térmicas de los hormigones con mayor precisión, como la conductividad térmica, el coeficiente de dilatación, difusividad..., de los materiales constituyentes del puente ("hormigón + armaduras" considerado como un material continuo y del resto de sus materiales). La determinación de estas propiedades podrían dar lugar a ensayos específicos en puentes de suficiente importancia.

Otra propiedad térmica importante en ciertos casos, y que solamente se ha comentado en un punto de esta tesis, es la determinación de las curvas de calor de fraguado de los cementos en función del tiempo. Se indica la posibilidad de su conocimiento para aquellos hormigones a utilizar en tableros que tengan zonas con espesores superiores a 0,80 metros.

Se sugiere la normalización de ensayos para la determinación de las propiedades térmicas de los materiales constituyentes del puente.

Se sugiere la instrumentación térmica de puentes construidos en España, para su contraste con modelos numéricos, como el desarrollado en esta tesis. Afortunadamente, se están dando los primeros pasos en este sentido, con la instrumentación del puente de Barrios de Luna y los recientes casos de un puente losa instrumentado por la Escuela de Caminos de Barcelona, y la Ampliación del Muelle Reina Victoria en el Puerto de Santurce instrumentado por la Escuela de Caminos de Santander.

En el Capítulo 8 de esta tesis se propone un sistema de determinación del diagrama Momento-Curvatura, cuyo efecto está por cuantificar, por lo cual se abre otro camino de investigación para la determinación de este diagrama modificado y el estudio de la variación respecto al diagrama sin efectos térmicos.

ANEJO 1

PROGRAMA BRIDGE

 PROGRAMA PRINCIPAL PARA CALCULO DE TEMPERATURAS EN TABLEROS DE PUENTE

ESTE PROGRAMA CALCULA LA TEMPERATURA EN PUENTES DE SECCION
 LOSA O SECCION CAJON BAJO LAS SIGUIENTES CARGAS TERMICAS
 EXTERIORES:

- * CALCULO DIURNO: RADIACION INCIDENTE SOBRE LA SUPERFICIE
 CON SU COEFICIENTE DE ABSORCION, TRANSMISION DE CALOR DE
 LA TEMPERATURA AMBIENTE CON SU COEFICIENTE DE CONVECCION
- * CALCULO NOCTURNO: EMISION DE RADIACION EN LA PARTE SUPERIOR
 CON SU COEFICIENTE DE EMISION, TRANSMISION DE CALOR DE LA
 TEMPERATURA AMBIENTE CON SU COEFICIENTE DE CONVECCION.

EXISTEN CUATRO POSIBILIDADES:

PUENTE LOSA	CALCULO DIURNO
PUENTE LOSA	CALCULO NOCTURNO
PUENTE CAJON	CALCULO DIURNO
PUENTE CAJON	CALCULO NOCTURNO

EL CALCULO SE EFECTUA POR DIFERENCIAS FINITAS Y METODO EXPLICITO
 EL FLUJO DE CALOR ES UNIDIMENSIONAL VERTICAL

EL RESULTADO ES UN FICHERO DE SALIDA "RES. BRIDGE" CON LOS
 VALORES DE LA TEMPERATURA EN UNA VERTICAL CADA CM. Y CADA HORA,
 O BIEN UN DIBUJO EN PLOTTER DE ESTOS VALORES.

SE INDICA TAMBIEN EL BALANCE DE ENERGIAS DE CADA ORIGEN
 CADA HORA.....

DIMENSION ARR1(152),ARR2(152),XX(152,20),ZZ(152),SIGMA(152)

DATA ARR1/152#0.0/

DATA ZZ/152#0.0/

DATA XX/3040#0.0/

COMPILER DOUBLE PRECISION

VALOR DE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL HORMIGON EN W/(M.K)

CONDUC=1.4

LEE Y ESCRIBE LOS PARAMETROS DE DESCRIPCION DEL PROGRAMA

OPEN 1, "DATOS"

OPEN 2, "RES.BRIDGE"

OPEN 3, "DIBUJO"

READ FREE(1) IX, IY, IZ

WRITE(2, 270) IX, IY, IZ

IF (IX.EQ.1) GOTO 10

LEE Y ESCRIBE LAS VARIABLES NOCTURNAS

READ FREE (1) RTIM1, RTIM2, RTIM3, RTIM4, RAD1, RAD2

READ FREE (1) STEMP1, STEMP2, STEMP3, START, TIM1

WRITE(2, 280) RTIM1, RTIM2, RTIM3, RTIM4, RAD1, RAD2

WRITE(2, 290) STEMP1, STEMP2, STEMP3, START, TIM1

N=0

GOTO 20

LEE Y ESCRIBE LAS VARIABLES DIURNAS

READ FREE (1) SUNOPT, WIDTH, ITOTR

READ FREE (1) STEMP1, STEMP2, STEMP3, START, TIM1

WRITE(2, 300) SUNOPT, WIDTH, ITOTR

WRITE(2, 290) STEMP1, STEMP2, STEMP3, START, TIM1

```

LEE Y ESCRIBE LAS VARIABLES DE LA SECCION CADA IN
K=AD FRF= (1) DIST, IN1, IN2, KONST1, KONST2, KONST3, R, LEAVE
WRITE(2, 310) DIST, IN1, IN2, KONST1, KONST2, KONST3, R, LEAVE
XX(3, 20) = DIST
XX(4, 20) = IN1
XX(5, 20) = IN2
XX(6, 20) = 1
BETAB=2#DIST#KONST3/CONDOC
ALPHA3=-2-BETAB
M1=IN1+1
I=IN1+IN2
ZZ(1) = 0
DO 32 JJ= 2, IN2
ZZ(JJ) = DIST + ZZ(JJ-1)
32 CONTINUE
ZZ(IN2 + 1) = ZZ(IN2)
DO 33 JJ=IN2+2, I
ZZ(JJ) = DIST + ZZ(JJ-1)
33 CONTINUE
WRITE FREE (3) (ZZ(IP), IP=1, 152)
GOTO 40

```

```

LEE Y ESCRIBE LAS VARIABLES DE LA LOSA
30 READ FREE (1) DIST, IN1, KONST1, KONST2, R, LEAVE
WRITE(2, 320) DIST, IN1, KONST1, KONST2, R, LEAVE
XX(2, 20) = IN1
XX(3, 20) = DIST
XX(5, 20) = 0
I = 1+1
ZZ(1) = 0
DO 31 JJ=2, I
ZZ(J) = DIST + ZZ(J-1)
31 CONTINUE
WRITE FREE (3) (ZZ(I), I=1, 152)

```

```

CALCULO DE LAS CONSTANTES
47 BETA1=2#DIST#KONST1/CONDOC
BETA2=2#DIST#KONST2/CONDOC
ALPHA1=-2-BETA1
ALPHA2=-2-BETA2
EPSI = (DIFUSIVIDAD) # INCREMENTO TIEMPO / (INCREMENTO ESPESOR)**2
DIFUSIVIDAD = 0.608E-04 M**2/SEG
INCREMENTO DE TIEMPO = 36 SEG = 0.01 HORAS
EPSI = 0.00002149/(DIST)**2

```

CONDICIONES INICIALES DE TEMPERATURA

```

DO 45 JJ=1, 152
ARR2(JJ)=START
XX(JJ, 1) = START
45 CONTINUE
WRITE(2, 200) TIM1
IF (1Y.-0.1) GOTO 46
WRITE(2, 220) (ARR2(L), L=1, IN1)
WRITE(2, 235) (ARR2(K), K=M1, I)
GOTO 41
46 WRITE(2, 230) (ARR2(L), L=1, IN1)
41 WRITE(2, 220) START

```

INICIALIZACION DE LOS DATOS DE ENERGIA

```

ESTEMP=0.0
ETEMP=0.0
ERAD=0.0

```

ETOTAL=0.0
ECEN=0.0

47 TIME=TIME1
LL=0
LL ES EL CONTADOR DEL NUMERO DE VECES QUE HACE LA ITERACION
PERO SOLO SE LUEGA CON UN VALOR DE CADA 100.....

50 TIME = TIME + 0.010000000000
EMIT = ABS(TIME - AINT(TIME+1))
SI EMIT = 0 ES HORA ENTERA
LL = LL + 1
IF (TIME.LE.24) GOTO 50
TIME=TIME-24
N=1

50 IF (IX.NE.1) GOTO 70
COMPARA CON LAS CONDICIONES FINALES *****NOCHE*****
IF (N.EQ.1.AND.TIME.GE.RTIM4) GOTO 110
LLAMA A LAS SUBROUTINAS DE TEMPERATURA Y RADIACION NOCTURNA
CALL NRAD(RTIM1,RTIM2,RTIM3,RTIM4,RAD1,RAD2,
1 RCON,DIST,R,CONDOC,TIME,N,ERAD)
CALL NTEMP(STEMP1,STEMP2,STEMP3,TIME,TEMP4,N)
GOTO 80

COMPARA CON LAS CONDICIONES FINALES *****DIA*****
70 IF (TIME.GE.SUNUPT+WIDTH) GOTO 110
LLAMA A LAS SUBROUTINAS DE RADIACION Y TEMPERATURA DIURNAS
CALL RAD(SUNUPT,TIME,WIDTH,ITOTR,PCON,DIST,R,CONDOC,ERAD)
CALL TEMP(STEMP1,STEMP2,STEMP3,TIME,TEMP4)
0 CONTINUE

IF (17.EQ.1) GOTO 85
IF (12.NE.2) GOTO 83
IF (EMIT.GT.0.0001) GOTO 85
ESCRIBE TIEMPO, TEMPERATURA AMBIENTE
WRITE(2,200) TIME
3 WRITE(2,220) TEMP4

3 IF (14.EQ.1) GOTO 90

LLAMA A LA SUBROUTINA DE GRADIENTE DE TEMPERATURA EN SECCION CAJON
1 CALL PROFB(ARR1,ARR2,ALPHA1,ALPHA2,ALPHA3,BETA1,BETA2,
2 BETA3,TEMP4,RCON,IM1,IM2,XX,LL,RRS1,ESTEMP,EITEMP,ECEN
,KONST1,KONST2,KONST3)
IF (12.EQ.1) GOTO 85
IF (12.NE.2) GOTO 94
IF(EMIT.GT.0.0001) GOTO 94
ESCRIBE EL GRADIENTE DE TEMPERATURAS EN LA SECCION CAJON
ESTEMP=ESTEMP/100
EITEMP=EITEMP/100
ERAD=ERAD/100
ECEN=ECEN/100
ETOTAL=ESTEMP+EITEMP+ERAD
WRITE(2,410) ESTEMP,EITEMP,ERAD,ETOTAL
WRITE(2,411) ECEN
ESTEMP=0.0
EITEMP=0.0
ERAD=0.0
ECEN=0.0

```

ETOTAL=0.0
WRITE(2,230) (ARR1(L),L=1,IN1)
WRITE(2,235) (ARR1(K),K=M1,I)
CONTINUO
CALL MEANB(ARR1,ARR2,IN1,IN2,MPM1,TEMPM2,LEAVE)
ESCRIBE LA TEMPERATURA EFICAZ DEL PUENTE EN SECCION CAJON
WRITE(2,250) TEMPM1
WRITE(2,250) TEMPM2
GOTO 94
    
```

```

LLAMA A LA SUBROUTINA DE GRADIENTE DE TEMPERATURA EN LOSAS
CALL PROF(ARR1,ARR2,ALPHA1,ALPHA2,BETA1,BETA2,
TEMP4,RCUN,IN1,XX,LL,EPSI,ESTEMP,EITEMP,KONST1,KONST2
,START,PAI,T1,T2,CURV,DIST,SIGMA)
IF (I2.EQ.1) GOTO 95
IF (I2.EQ.2) GOTO 94
IF (EMIT.GT.0.0001) GOTO 94
ESCRIBE GRADIENTE DE TEMPERATURA EN LOSAS
ESTEMP=ESTEMP/100
EITEMP=EITEMP/100
ERAD=ERAD/100
ETOTAL=ESTEMP+EITEMP+ERAD
WRITE(2,410) ESTEMP, EITEMP, ERAD, ETOTAL
ESTEMP=0.0
EITEMP=0.0
ERAD=0.0
ETOTAL=0.0
WRITE(2,230) (ARR1(L),L=1,IN1)
    
```

```

CONTINUO
CALL MEAN(ARR1,ARR2,IN1,AMTEMP,LEAVE)
ESCRIBE LA TEMPERATURA EFICAZ EN LA LOSA
WRITE(2,420) AMTEMP
WRITE(2,420) T2,T1
WRITE(2,430) PAI,CURV
WRITE(2,500)
WRITE(2,610) (SIGMA(I9), I9=1,IN1)
WRITE(2,444)
INCLUYE EN EL TIEMPO Y VUELVE
GOTO 94
110 XX(1,20) = AINT((1.0*LL)/100+1)
WRITE (FREP (3) ((XX(1,J),J=1,20),I=1,152)
STOP
    
```

```

INSTRUCCIONES FORMAT
200 FORMAT(///,1H0,10X,'BHTIEMPU =',F6.2,' HORAS')
220 FORMAT(1H ,10X,'TEMPERATURA AMBIENTE.=',F6.2,' GRADOS')
230 FORMAT(5(1H ,15X,F6.2))
235 FORMAT(7,5(1H ,15X,F6.2))
240 FORMAT(1H ,10X,'TEMPERATURA EFICAZ DEL PUENTE =',
1 F6.2)
250 FORMAT(1H ,10X,'TEMPERATURA EFICAZ DEL
1 FORJADO SUPERIOR=',F6.2)
250 FORMAT(1H ,10X,'TEMPERATURA EFICAZ DEL
1 FORJADO INFERIOR=',F6.2)
270 FORMAT(1H0,25X,9H(100) ,3(11,1X))
280 FORMAT(1H ,25X,9H(200) ,6(F6.2,1X))
290 FORMAT(1H ,25X,9H(300) ,5(F6.2,1X))
300 FORMAT(1H ,25X,8H(200) ,2(F6.2,1X)1X,14)
110 FORMAT(1H ,25X,9H(400) ,F5.3,2X,5(12,1X),F5.2,2X,11)
120 FORMAT(1H ,25X,9H(400) F5.3,2X,13,1X,2(12,1X),F5.2,2X,11)
    
```

```

410  FORMAT(/,"ENERGIA GANADA (+), POR TEMPERATURA EN LA CARA
1  SUPERIOR EN UNA HORA= ",F8.2," (W/M**2)",/,,"ENERGIA GANADA (+),
1  POR TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR EN UNA HORA= ",F8.2,
1  " (W/M**2)",/,,"ENERGIA GANADA (+), POR RADIACION EN LA CARA SUPERIOR
1  EN UNA HORA= ",F8.2," (W/M**2)",/,,"ENERGIA TOTAL GANADA (+) POR
1  EL TABLERO EN UNA HORA=",F10.2," (W/M**2)",//)
1  FORMAT("ENERGIA QUE PASA DEL FORJADO SUPERIOR AL FORJADO INFERIOR (+)
1  ",F8.2," (W/M**2)",//)
0  FORMAT(///,"TEMPERATURA EN BORDE SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA"
1  ,," DE AUTOTENSION ",F6.2,/,,"TEMPERATURA EN BORDE INFERIOR DE LA "
1  ,," LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION ",F6.2)
0  FORMAT(//,"DILATACION UNITARIA UNIFORME DEL TABLERO =",F11.8,
1  " %/M. (+ = ALARGAMIENTO)",/,,"CURVATURA DEL TABLERO =",F12.8,
1  "(+ = ALARGAMIENTO EN FIBRA SUPERIOR => CENTRO DE CURVATURA "
1  ,,"DEBAJO DEL TABLERO)")
00  FORMAT(//,10X,"TENSIONES DE AUTOTENSION EN LA SECCION (MEGAPASCALES)"
1  ,," (+) = COMPRESION")
10  FORMAT(10(14,F10.2))
44  FORMAT (///,100("#"),////////)
      CLOSE 1
      CLOSE 2
      CLOSE 3
      END

```

SUBRRUTINA RAD

SUBRRUTINA PARA CALCULO DE LA RADIACION DIARIA

```

SUBROUTINE RAD(A,B,C,LD,E,F,G,H,ER)
  COMPILER DCUBLE PRECISION
  P=B-0.005
  ANG=3.1415926*(P-A)/C
  RADN=2*LD*(SIN(ANG)**2)/C
  ER=ER+RADN*G
  E=2*F*G*RADN/H
  RETURN
END

```

SUBRRUTINA NRAD

SUBRRUTINA PARA CALCULO DE LA IRRADIACION NOCTURNA

```

SUBROUTINE NRAD(T1,T2,T3,T4,R1,R2,A,B,C,D,T,N,ER)
  COMPILER DCUBLE PRECISION
  T5=T-0.005
  IF (T5.LE.T1.AND.N.EQ.0) GOTO 22
  SLOPE1=(1-110-R1)/(T2-T1)
  SLOPE2=(R2+110)/(T4-T3)
  IF (N.EQ.1) GOTO 20
  IF (T5.GT.T2) GOTO 10
  RADN=SLOPE1*(T5-T1)+R1
  GOTO 40
10  RADN=-110
   GOTO 40
20  IF (T5.GT.T3) GOTO 30
   RADN=-110
   GOTO 40
30  RADN=SLOPE2*(T5-T3)-110
40  A=2*B*C*RADN/D
   GOTO 23
22  A=0
   RADN=0
23  ER=ER+RADN*C
   RETURN
END

```

SUBRRUTINA NTEMP

AN.1.7

SUBRRUTINA PARA CALCULO DE TEMPERATURA
AMBIENTE NOCTURNA

SUBROUTINE NTEMP(T1,T2,T3,T,T4,N)

COMPILER DOUBLE PRECISION

P=T-0.005

SLOPE1=(T2-T1)/14

SLOPE2=(T3-T2)/10

IF(N.EQ.1) GOTO 10

T4=SLOPE1*(P-15)+T1

GOTO 30

10 IF(P.GT.5.0) GOTO 20

P=P+24

T4=SLOPE1*(P-15)+T1

GOTO 30

20 T4=SLOPE2*(P-5)+T2

30 RETURN

END

SUBRRUTINA TEMP

SUBRRUTINA PARA EL CALCULO DE LA TEMPERATURA
AMBIENTE DIURNA

SUBROUTINE TEMP(T1,T2,T3,T,T4)

COMPILER DOUBLE PRECISION

P=T-0.005

SLOPE1=(T2-T1)/10

SLOPE2=(T3-T2)/14

IF(P.GT.15) GOTO 10

T4=SLOPE1*(P-5)+T1

GOTO 20

10 T4=SLOPE2*(P-15)+T2

20 RETURN

END

SUBRRUTINA MEAN

SUBRRUTINA PARA CALCULO DE TEMPERATURA EFICAZ
EN PUENTES LUSA

SUBROUTINE MEAN(P,U,I,T,N)

COMPILER DOUBLE PRECISION

DIMENSION P(152),Q(152)

T = 0

K = 1-1

IN = N+1

DO 10 M = IN,K

P(M) = (Q(M)+Q(M+1))/2

10 CONTINUE

DO 20 L = IN,K

T = T+P(L)

20 CONTINUE

T = T/(K-N)

RETURN

END

SUBRRUTINA MEANB

SUBRRUTINA PARA CALCULO DE LA TEMPERATURA EN LA SECCION CAJON

SUBROUTINE MEANB(P,Q,I1,I2,T1,T2,IS)

COMPILER DOUBLE PRECISION

DIMENSION P(152),Q(152)

INTEGER H

T1 = 0

T2 = 0

L = IS+1

IN = (I1-1)

DO 10 J = L,IN

P(J) = (Q(J)+Q(J+1))/2

CONTINUE

DO 20 K = L,IN

T1 = T1+P(K)

CONTINUE

T1 = T1/(I1-L)

L = I1+1

I3 = (I1+I2)-1

DO 30 H = L,I3

P(H) = (Q(H)+Q(H+1))/2

CONTINUE

DO 40 M = L,I3

T2 = T2+P(M)

CONTINUE

T2 = T2/(I3-I1)

RETURN

END

SUBRRUTINA PROFB

SUBRRUTINA PARA CALCULO DEL GRADIENTE DE TEMPERATURA EN PUENTES DE SECCION CAJON

SUBROUTINE PROFB(P,Q,A,B,C,D,E,F,G,R,I1,I2,XX,LL,E1,ES,EI,EC,K1,K2,K3)

COMPILER DOUBLE PRECISION

DIMENSION P(152),Q(152),XX(152,20)

INTEGER H

P(1) = E1*(A*Q(1)+2*Q(2)+D*(G+R)) + Q(1)

ES=ES+K1*(G-Q(1))

N1 = I1-1

DO 10 I = 2,N1

P(I) = E1*(Q(I-1)-2*Q(I)+Q(I+1)) + Q(I)

CONTINUE

P(I1) = E1*(B*Q(I1)+2*Q(N1)+E*Q(I1+1)) + Q(I1)

P(I1+1) = E1*(B*Q(I1+1)+2*Q(I1+2)+E*Q(I1)) + Q(I1+1)

EC=EC +K2*(Q(I1)-Q(I1+1))

J = (I1+2)

K = (I1+I2-1)

M = (I1+I2)

DO 20 L = J,K

P(L) = E1*(Q(L-1)-2*Q(L)+Q(L+1)) + Q(L)

CONTINUE

P(M) = E1*(C*Q(M)+2*Q(K)+F*(G)) + Q(M)

EI=EI+K3*(G-Q(M))

DO 30 H = J,M

Q(H) = P(H)

BA = (LL*1.0)/100

BA = ABS(AINT(BA) - BA)

IF(BA.GT.0.001) GO TO 30

XX(M+1-1,BA+1) = P(H)

CONTINUE

RETURN

END

SUBRRUTINA PROF

AN.1.9

SUBRRUTINA PARA CALCULO DE GRADIENTE DE TEMPERATURA
EN PUENTES LOSASUBRRUTINE PROF(P,Q,A,B,C,D,E,F,I,XX,LL,E1,ES,EI,K1,K2
1 ,START,EAL,T1,T2,CURV,DIST,SIGMA)

COMPILER DOUBLE PRECISION

DIMENSION P(152),Q(152),XX(152,20),SIGMA(152)

P(1) = E1*(A*Q(1)+2*Q(2)+(C#E)+F) + Q(1)

ES=ES + K1*(E-Q(1))

L = I-1

DO 10 J = 2,L

P(J) = E1*(Q(J-1)-2*Q(J)+Q(J+1)) + Q(J)

10 CONTINUE

P(I) = E1*(B*Q(I)+2*Q(I-1)+D#E) + Q(I)

EI=EI + K2*(E-Q(I))

DO 20 K = 1,I

Q(K) = P(K)

BA = (1.0#LL)/100

BB = ABS(AINT(BA) - BA)

IF (BB.GT.0.0001) GOTO 20

XX(I+1-K,BA+1) = P(K)

CONTINUE

MODIFICACION INTRODUCIDA EL 14.02.65 PARA DATOS DE AUTOTENSION

IF (BB.GT.0.0001) GOTO 50

ALFA=1.E-05

DD=(I-1)#DIST

P1=(P(1)+P(I))/2

P2=(P(1)-P(I))#DD/4

DO 40 J=2,I-1

P1=P1+P(J)

P2=P2+(DIST*(I-J)-DD/2)*P(J)

40 CONTINUE

T2=12#DIST#P2/(DD#DD)

T1=DIST#P1/DD-T2/2

EA2=ALFA#T2

EA1=ALFA*(T1+T2/2-START)

CURV=EA2/DD

T2=T1+T2

YOUNG=30000

EAI1=ALFA*(T1-START)

DO 50 II=1,I

SIGMA(II)=-YOUNG*(EAI1+EA2*((DD-(II-1)#DIST)/DD)-ALFA*(P(II)-START))

50 CONTINUE

60 CONTINUE

RETURN

END

A N E J O 2

PROGRAMA CAL2D

CAL2D

EMA /AB/, /CD/, /EF/, /ESC/

FILES 7,7

REAL*4 K

COMMON /AB/ TEM(0:100,0:100),TEI(100,100),NCOL,NFIL,DELTAT,D

COMMON /CD/ SF(100,100),Q(100,100)

COMMON /EF/ K(0:100,0:100,2)

COMMON /IRRA/ TI1,T2,T3,RTD,PER,RAD,ERROR

COMMON /MET/ TEMP,T1,TO1,START,HCSUP,HCINF,HCINT,HCLAT

COMMON /ESC/ IB(100,100),NCD,NCR(30),IFE

OPEN(88,FILE='D.CAL::11')

OPEN(99,FILE='RE.CAL::11')

OPEN(95,FILE='PRUEBA::11')

OPEN(90,FILE='PLOT::11')

WRITE(1,300)

300 FORMAT(/,"CALL INPUT")

CALL INPUT ! Llama a subrutina de entrada de datos

Comienza la simulacion

TIME = 8.0

N = 0

1 WRITE(90,400) 0.,0.,(NFIL-1)*D,(NCOL-1)*D,D,D

100 FORMAT(6(F10.4))

WRITE(99,220)

DO 350 J=1,NFIL

WRITE(99,230) (IB(I,J),I=1,NCOL)

150 CONTINUE

220 FORMAT(20X,"SECCION DEL PUENTE",////,2X,7(9X,"*"))

230 FORMAT(2X,80(I1))

WRITE (99,200)

WRITE (99,210) TIME,DELTAT,START

200 FORMAT(////,"*****COMIENZO DE LA SIMULACION*****")

210 FORMAT(//,10X,"HORA INICIAL = ",F4.2," HORAS",/,10X,"INCREMENTO"

1," DE PASO DE TIEMPO = ",F4.2," HORAS",/,10X,"TEMPERATURA "

1,"UNIFORME EN EL PUENTE =",F6.2," GRADOS",//,20X,20("*"),////)

3000 TIME = TIME + DELTAT

Impone las condiciones ambientales de temperatura en contorno

CALL PRED (TIME) ! Predice las temperaturas

CALL ATMOS (TIME,N) ! Obtiene los datos atmosfericos

Comienza el calculo

ITER = 0

3000 E = 0.0

ITER = ITER + 1

```
DO 6000 I =1, NCOL  
CALL COLUM(I,E)  
CONTINUE
```

Calculo por filas

```
DO 5000 J =1, NFIL  
CALL FILAS(J,E)  
CONTINUE
```

Chequea el error

```
WRITE (1,*) E
```

```
IF (E.GT.ERROR) GOTO 8000
```

```
IF (TIME-24) 4200,4100,4100
```

```
TIME = TIME - 24
```

```
N = 1
```

```
IF (ABS (TIME-AINT (TIME)) .LT. 0.001) CALL PRINT (TIME,E,ITER)
```

```
IF (N.EQ.1.AND.TIME.GE.8) GOTO 3000
```

```
GOTO 9000 ! Vuelve al comienzo, incrementando tiempo
```

```
WRITE(99,3100)
```

```
WRITE(1,3100)
```

```
FORMAT(///,"FIN DE LA SIMULACION")
```

```
CLOSE (88)
```

```
CLOSE (99)
```

```
CLOSE (90)
```

```
CLOSE (95)
```

```
STOP
```

```
END
```

SUBRRUTINA RADIA

```

*****
***** Subrutina per calculo de la irradiacion a lo largo de
***** 24 horas. Comienza a las 8 AM y se supone ley doble semi-
***** dal durante el dia y ley trapezoidal negativa durante la
***** noche.
*
* TI1 = Hora de comienzo de radiacion
* T5 = Hora final de rad. y comienzo de rad. nocturna
* T2 = Hora de comienzo de perdida de rad. const. nocturna
* T3 = Hora final de perdida de rad. const. nocturna
* T4 = TI1, Hora de rad. nula por la mañana
* PER = Perdida const. de rad. nocturna (W/m2)
* REFLE= Reflexion de la superficie (Dia=0.9, Noche=0.5)
* RTD = Radiacion total diaria diurna (W*hora/m2)
*
* RAD = RADIACION INSTANTANEA EN EL TIEMPO DELTAT (W/m2)
* I CAL2DI
*****
SEMA /AB/

```

```
Subroutine RADIA (TIME,N)
```

```
COMMON /AB/ TEM(0:100,0:100),TEI(100,100),NCOL,NFIL,DELTAT,D
```

```
COMMON /IRRA/ T11,T2,T3,RTD,PER,RAD,ERROR
```

```
T5 =24.5 - T11
```

```
T4 =23.5 + T11
```

```
DS =25 -2*T11
```

```
IF (T5.GT.T2) T2=T5+0.5
```

```
IF(N.EQ.1) GOTO 100
```

```
IF(TIME.LE.T5) GOTO 10
```

```
GOTO 20 ! Puesto que debe ser TIME<T2
```

```
* Radiacion diurna en forma senoidal al cuadrado
```

```
10 ANG = 3.14159*(TIME-(T11-0.5)-(DELTAT/2))/DS
```

```
REFLE =0.9
```

```
RAD = (REFLE*2*RTD*(SIN(ANG)*(SIN(ANG)))/DS)
```

```
GOTO 999
```

```
* Perdida nocturna de radiacion creciente
```

```
20 IF (TIME.GT.T2) GOTO 40
```

```
PEND = PER/(T2-T5)
```

```
REFLE =0.5
```

```
RAD = (REFLE*(TIME-(DELTAT/2)-T5)*PEND)
```

```
IF(N.EQ.1) TIME =TIME -24
```

```
IF(N.EQ.1) T2 =T2-24
```

```
GOTO 999
```

```
* **DIA SEGUNDO**
```

```
100 IF(TIME.LE.T2.AND.T2.LE.12) GOTO 30
```

```
IF(TIME.LE.T3) GOTO 40
```

```
IF(TIME.LE.T4) GOTO 50
```

```
GOTO 10 ! Es radiacion diurna. Dia siguiente
```

```
* Perdida nocturna de radiacion creciente
```

```
30 TIME = TIME + 24
```

```
T2 =T2 +24
```

```
GOTO 20
```

```
* Perdida constante de radiacion nocturna
```

```
40 REFLE =0.5
```

```
RAD = REFLE*PER
```

```
GOTO 999
```

```

50  PEND = (0-PER)/(T4-T3)
    REFLE = 0.5
    RAD = REFLE*(TIME-(DELTAT/2)-T4)*PEND

999  return
    end

```

SUBRRUTINA PRED

```

*****
*****  Subrutina para predecir la temperatura en un instante, *
*****  conocidos los datos en instantes anteriores, mediante *
*****  extrapolacion lineal de datos. *
*****
EMA /AB/
SUBROUTINE PRED(TIME)
COMMON /AB/ TEM(0:100,0:100),TEI(100,100),NCOL,NFIL,DELTAT,D
EMA DL(100,100)
DO 20 I=1, NCOL
DO 20 J=1, NFIL
IF (ABS(TIME-8).LT.0.001) DL(I,J)=0.0
DA = TEM(I,J)-TEI(I,J)
TEI(I,J) = TEM(I,J)
F = 1.0
IF (ABS(DL(I,J)).LT.0.010) GOTO 10
STEP=(TIME-8)/DELTAT
IF (STEP.GT.1.999) F=DA/DL(I,J) ! Despues del segundo paso
IF (F.GT.5) F=5.0
IF (F.LT.0.0) F=0.0
10  DL(I,J) = DA
20  TEM(I,J) = TEM(I,J) + DA*F
RETURN
END

```

SUBRRUTINA TEMPE

```

*****
*****  Subrutina para calculo de temperaturas, segun una *
*****  ley senoidal con el valor medio a las 8 AM y periodo *
*****  de 24 horas. *
***** *
*****  T1 es la temperatura media de la sinusoida *
*****  T01 es la oscilacion de la sinusoida |CAL2DI *
*****
subroutine TEMPE (TIME,N)
COMMON /MET/ TEMP,T1,T01,START,HCOSUF,HCOSIF,HCINT,HCLAT
AA=TIME
IF (N.EQ.0) AA = TIME +24
TEMP = T1 + T01*(SIN(2*3.14159*(AA-8)/24))
return
end

```

SUBRRUTINA ATMOS.

```
*****
****   Subrutina para la introduccion de los datos atmosfere- *
****   ricos en el contorno del recinto. *
*****
```

```
MA /AB/, /CD/, /ESC/
```

```
SUBROUTINE ATMOS (TIME,N)
COMMON /AB/ TEM(0:100,0:100),TEI(100,100),NCOL,NFIL,DELTAT,D
COMMON /CD/ SF(100,100),Q(100,100)
COMMON /IRRA/ TI1,T2,T3,RTD,PER,RAD,ERROR
COMMON /MET/ TEMP,T1,TO1,START,HCSUP,HCINF,HCINT,HCLAT
COMMON /ESC/ IB(100,100),NCD,NCR(30),IPE
```

Llama a subrutina de temperaturas

```
CALL TEMPE (TIME,N)
```

Llama a subrutina de calculo de la irradiacion

```
CALL RADIA (TIME,N)
```

Temperatura de todos los puntos del aire
igual a la temperatura ambiente

```
DO 30 I1=1,NCOL
DO 40 J1=1,NFIL
IF (IB(I1,J1).EQ.1) TEM(I1,J1) = TEMP
IF (IB(I1,J1).EQ.7) TEM(I1,J1) = TEMP
IF (IB(I1,J1).EQ.1) TEI(I1,J1) = TEMP
IF (IB(I1,J1).EQ.7) TEI(I1,J1) = TEMP
CONTINUE
CONTINUE
```

Generacion interna de calor en superficie = RAD.
Resto nula

```
DO 20 II=1,NCOL
Q(II,1)=0.0
Q(II,2)=(RAD/D)+(D*D)      (! (w/m2 /m) * m2 = w/m)
DO 20 KK=3,NFIL
Q(II,KK)=0.0
CONTINUE
Q(1,2)=0.0
```

```
RETURN
END
```


SUBRRUTINA COLUM

```
*****
***** Subrutina para el calculo de temperaturas por COLUMNAS *
***** en un recinto rectangular. *
***** El programa principal es el SCAL2D *
*****
```

```
SEMA /AB/, /CD/, /EF/
```

```
Subroutine COLUM (I,E)
REAL*4 K
COMMON /AB/ TEM(0:100,0:100), TEI(100,100),NCOL,NFIL,DELTAT,D
COMMON /CD/ SF(100,100),Q(100,100)
COMMON /EF/ K(0:100,0:100,2)
EMA B(0:100), G(0:100)
```

Calculo de las matrices auxiliares B y G

```
DELTAT = DELTAT*3600 ! Paso del tiempo a segundos
B(0)=0.0
G(0)=0.0
DO 170 J=1, NFIL
BB = SF(I,J)*(D*D) / DELTAT ! W/(m.K)
DD = TEI(I,J) * SF(I,J)*(D*D)/ DELTAT + Q(I,J) ! W/m
AA = 0.0
CC = 0.0
IF (J-1) 90,100,90
90 AA = -K(I,J-1,1)
BB = BB + K(I,J-1,1)
100 IF (J-NFIL) 110,120,110
110 CC = -K(I,J,1)
BB = BB + K(I,J,1)
120 IF (I-1) 130,140,130
130 BB = BB + K(I-1,J,2)
DD = DD + TEM(I-1,J) * K(I-1,J,2)
140 IF (I-NCOL) 150,160,150
150 BB = BB + K(I,J,2)
DD = DD + TEM(I+1,J) * K(I,J,2)
160 W = BB - AA * B(J-1)
```

```
B(J) = CC/W
G(J) = (DD - AA*G(J-1))/W
```

```
170 CONTINUE
```

```
DELTAT = DELTAT/3600 ! Paso del tiempo a horas
```

```
* Calcula las temperaturas
```

```
E = E + ABS(TEM(I,NFIL)-G(NFIL)) ! Suma el error
TEM(I,NFIL) = G(NFIL)
NN = NFIL -1
180 TE = G(NN) - B(NN) * TEM(I,NN+1)
E = E + ABS(TE - TEM(I,NN)) ! Suma los errores
TEM(I,NN) = TE ! Obtencion de las temperaturas
NN = NN-1
IF (NN) 190,190,180
190 CONTINUE
Return
end
```

SUBRRUTINA FILAS

```

*****
***** Subrrutina para el calculo de temperaturas por FILAS *
***** en un recinto rectangular *
***** El programa principal es el SCAL2D. *
*****

```

```

EMA /AB/, /CD/, /EF/
Subroutine FILAS (J,E)
REAL*4 K
COMMON /AB/ TEM(0:100,0:100), TEI(100,100),NCOL,NFIL,DELTAT,D
COMMON /CD/ SF(100,100), Q(100,100)
COMMON /EF/ K(0:100,0:100,2)
EMA B(0:100), G(0:100)

```

Calculo de las matrices auxiliares B y G

```

DELTAT = DELTAT*3600      ! Paso del tiempo a segund
B(0)=0.0
G(0)=0.0
DO 280 I=1, NCOL
BB = SF(I,J)*(D*D) / DELTAT      !W/(m.K)
DD = TEI(I,J) *SF(I,J)*(D*D)/DELTAT + Q(I,J)      !W/m
AA = 0.0
CC = 0.0
IF (J-1) 200,210,200
200 BB = BB + K(I,J-1,1)
DD = DD + TEM(I,J-1)*K(I,J-1,1)
210 IF (J-NFIL) 220,230,220
220 DD = DD +TEM(I,J+1) * K(I,J,1)
BB = BB + K(I,J,1)
230 IF (I-1) 240,250,240
240 BB = BB + K(I-1,J,2)
AA = -K(I-1,J,2)
250 IF(I-NCOL) 260,270,260
260 BB = BB + K(I,J,2)
CC = -K(I,J,2)
270 W = BB - AA * B(I-1)

B(I) = CC/W
G(I) = (DD-AA * G(I-1))/W

280 CONTINUE

DELTAT = DELTAT/3600      !Paso del tiempo a horas

Calcula las temperaturas

E = E + ABS(TEM(NCOL,J) - G(NCOL))      ! Suma el error
TEM(NCOL,J) = G(NCOL)
NN = NCOL - 1
290 TE = G(NN) - B(NN) * TEM(NN+1,J)
E = E +ABS(TEM(NN,J)-TE)      ! Suma los errores

TEM (NN,J) = TE      ! Obtencion de las temperaturas

NN = NN-1
IF (NN) 300,300,290
300 CONTINUE
return
end

```

SUBRRUTINA PRINT

```

*****
*
*
*
*
*****
SEMA /AB/, /ESC/
  SUBROUTINE PRINT (TIME,E,ITER)
  COMMON /AB/ TEM(0:100,0:100),TEI(100,100),NCOL,NFIL,DELTAT,D
  COMMON /ESC/ IB(100,100),NCD,NCR(30),IPE
  COMMON /IRRA/ TI1,T2,T3,RTD,PER,RAD,ERROR
  COMMON /MET/ TEMP,T1,TO1,START,HCSUP,HCINF,HCINT,HCLAT

  WRITE (99,110) TIME,TEMP,RAD,E,ITER

  WRITE (99,140) (NCR(I1),I1=1,NCD)
  WRITE (99,150)

  DO 100 J = 1, NFIL
  WRITE(99,120)(TEM(NCR(I),J),I=1,NCD)
100  CONTINUE

  WRITE(99,130)

  Modificaciones para permitir el dibujo en plotter

  IF(ABS(TIME-15).LE.0.01)
1WRITE (90,200)((TEM(I,J),J=NFIL,1,-1),I=1,NCOL)
  IF(ABS(TIME-21).LE.0.01)
1WRITE (90,200)((TEM(I,J),J=NFIL,1,-1),I=1,NCOL)
  IF(ABS(TIME-3).LE.0.01)
1WRITE (90,200)((TEM(I,J),J=NFIL,1,-1),I=1,NCOL)
  IF(ABS(TIME-8).LE.0.01)
1WRITE (90,200)((TEM(I,J),J=NFIL,1,-1),I=1,NCOL)
200  FORMAT (F12.4/)

110  FORMAT(//,10X,"TIEMPO =",F5.2," HORAS",/,10X,"TEMPERATURA ="
A,F6.2," GRADOS",/,10X,"RADIACION INSTANTANEA =",F9.2," W/m2"
A,/,10X,"ERROR TOTAL EN LA ITERACCION = ",F10.4,/,10X
A,"ITERACION NUMERO ",I5,/)

120  FORMAT (12(2X,F4.1))
130  FORMAT (//,20X,20("*"),//)
140  FORMAT (/, " (",12(I2,") " ("))
150  FORMAT (/)

  RETURN
  END

```

SUBRRUTINA INPUT

```

*****
*
*           I N P U T
*
*****
sEMA /AB/, /CD/, /EF/, /ESC/

```

SUBROUTINE INPUT

```

REAL*4 K
COMMON /AB/ TEM(0:100,0:100), TEI(100,100), NCOL, NFIL, DELTAT,D
COMMON /CD/ SF(100,100), Q(100,100)
COMMON /EF/ K(0:100,0:100,2)
COMMON /IRRA/ T11,T2,T3,RTD,PER,RAD,ERROR
COMMON /MET/ TEMP,T1,TO1,START,HCSUP,HCINF,HCINT,HCLAT
COMMON /ESC/ IB(100,100),NCD,NCR(30),IPE
COMMON /P1/ ND(5),NU(5),C(4,4),UE(10),IND
COMMON /P2/ LH,MU,M1,M2,M3,M4,L1

```

```

*           Lectura de los datos del fichero 88
*           Datos de la geometria de la seccion

```

```

** NH = Numero de huecos de TODA la seccion
** AS = Semiancho de tablero superior           (Metros)
** AI = Semiancho de tablero inferior           "
** AU = Altura total                            "
** EU1 = Espesor de las almas interiores        "
** EU2 = Espesor del alma exterior             "
** ES = Espesor de forjado superior, sin mezcla "
** EI = Espesor de forjado inferior           "
** H = Anchura de los huecos                   "
** D = Lado de la reticula                     "
** EMB = Espesor de la mezcla bituminosa      "

```

```
IPE=1
```

```

READ (88,*) NH,AS,AI,AU,EU1,EU2,ES,EI,H,D,EMB
WRITE(95,*) IPE,NH,AS,AI,AU,EU1,EU2,ES,EI,H,D,EMB

```

```

Propiedades termicas C(I,J) (I= Elemento, J= Propiedad)

```

```

I=1 === Aire           J=1 === Densidad           (kg/m3)
I=2 === Mezcla bituminosa J=2 === Calor especifico (j/kg.K)
I=3 === Hormigon       J=3 === Conductividad vertical (w/m.K)
I=4 === Contorno de aire J=4 === Conductividad horizontal (w/m.K)

```

```
DO 10 I=1,4
```

```
IPE=I+1
```

```
READ (88,*) (C(I,J),J=1,4)
```

```
WRITE (95,*) IPE, (C(I,J),J=1,4)

```

```
CONTINUE
```

```
Datos de la radiacion
```

```
IPE=6
```

```
READ (88,*) T11,T2,T3,RTD,PER
```

```
WRITE (95,*) IPE, T11,T2,T3,RTD,PER

```

```
Datos de la temperatura
```

```
IPE=7
```

```
READ (88,*) T1,TO1,START
```

```
WRITE (95,*) IPE,T1,TO1,START

```

```
Datos de la conveccion
```

```
IPE=8
```

```
READ (88,*) HCSUP,HCINF,HCINT,HCLAT
```

```
WRITE(95,*) IPE, HCSUP,HCINF,HCINT,HCLAT

```

```
Incremento de tiempo y error maximo en iteraciones
```

```
IPE=9
```

```
WRITE(95,*) IPE, DELTAT,ERROR
```

```
*      Numero de columnas de resultados y
```

```
*      numero de dichas columnas
```

```
IPE=10
```

```
READ (88,*) NCD
```

```
! Maximo NCD = 30
```

```
WRITE (95,*) IPE, NCD
```

```
DO 15 I3=1,NCD
```

```
IPE=10+I3
```

```
READ (88,*) NCR(I3)
```

```
WRITE (95,*) IPE,NCR(I3)
```

```
15 CONTINUE
```

```
*
*      Asignacion de propiedades .Espesor expresado en numero de
*      elementos de malla de :
```

```
ND(1) = EU2/D
```

```
!Alma exterior
```

```
ND(2) = H/D
```

```
!Huecos completos
```

```
ND(3) = EU1/D
```

```
!Almas interiores
```

```
ND(4) = H*(1-(-1)**NH)/(4*D)
```

```
!Huecos incompletos
```

```
! Por
```

```
ND(5) = EU1*(1+(-1)**NH)/(4*D)
```

```
!Almas interiores incompletas! sim.
```

```
NU(1) = 1
```

```
! Idem pero
```

```
NU(2) = INT(NH/2)
```

```
! en numero
```

```
NU(3) = INT((NH+1)/2)-1
```

```
! de ellos
```

```
NU(4) = 1
```

```
!
```

```
NU(5) = 1
```

```
!
```

```
LH = AS/D+2
```

```
! Num. de puntos horiz. (columnas) del recinto
```

```
MU = AU/D+3
```

```
! " " " " vert. (filas) " "
```

```
M1 = EMB/D+1
```

```
! Num. de fila del punto inf. de MBC
```

```
M2 = ES/D+M1
```

```
! " " " " " " " " del forj. super.
```

```
M3 = (AU-EI)/D+1
```

```
! Num. de fila del aire pegado al hormigon del
```

```
! forjado inferior por parte superior
```

```
M4 = MU-2
```

```
! " " " " " " " " inf. " " "
```

```
L1 = (AS-AI)/D+2
```

```
! Num. de columna del aire pegado al hormigon
```

```
! del alma exterior por el exterior
```

```
NCOL=LH
```

```
NFIL=MU
```

```
*      Calculo de UE(), de posicionamiento de las diversas colum-
*      nas de aire pegado al hormigon
```

```
I=L1
```

```
IND=0
```

```
DO 123 K2=1,5
```

```
IF(NU(K2).EQ.0) GOTO 123
```

```
IF(ND(K2).EQ.0) GOTO 123
```

```
IF(K2.EQ.3) GOTO 123
```

```
IF(K2.EQ.2) IA=NU(K2+1)
```

```
DO 90 K1=1,NU(K2)
```

```
INDIC=0
```

```
L9=K2
```

```
IF(K2.EQ.2) INDIC=1
```

```
35 IF((L9-2*INT(L9/2)).EQ.0) GOTO 70
```

```
IND=IND+1
```

```
UE(IND)=I
```

```
IND=IND+1
```

```
I=I+ND(L9)
```

```
UE(IND)=I+1
```

```
GOTO 75
```

```
70 I=I+ND(L9)
```

```
5 IF(INDIC.NE.1) GOTO 90
```

```
IF(IA.EQ.0) GOTO 90
```

```
L9=L9+1
INDIC=0
GOTO 65
90  CONTINUE
123 CONTINUE

DO 30 I=1,NCOL
DO 30 J=1,NFIL
TEM(I,J)=START ! Temperatura inicial en toda la malla = START
TEI(I,J)=START
30  CONTINUE

*      Inicializacion de variables de indice nulo
DO 500 J=0,100
TEM(0,J) = 0.0
K(0,J,1) = 0.0
K(0,J,2) = 0.0
500  CONTINUE
DO 510 I=0,100
TEM(I,0) = 0.0
K(I,0,1) = 0.0
K(I,0,2) = 0.0
510  CONTINUE

*      Llama a subrutina de asignacion de conductividad vert.
WRITE (1,200)
200  FORMAT (/,"CALL INP3")
CALL INP3

*      Llama a subrutina de asignacion de conductividades horiz.
WRITE (1,210)
210  FORMAT (/,"CALL INP2")
CALL INP2

*      Llama a subrutina de asignacion de densidad y calor esp.
WRITE (1,220)
220  FORMAT (/,"CALL INP1")
CALL INP1

RETURN
END
```

SUBRRUTINA INP1

```
*****
*
*           I N P 1
*
*****
$EMA /CD/, /ESC/, /AB/
```

SUBROUTINE INP1

```
COMMON /AB/ TEM(0:100,0:100),TEI(100,100),NCOL,NFIL,DELTAT,D
COMMON /CD/ SF(100,100), Q(100,100)
COMMON /P1/ ND(5), NU(5),C(4,4),UE(10),IND
COMMON /P2/ LH,MU,M1,M2,M3,M4,L1
COMMON /ESC/ IB(100,100),NCD,NCR(30),IPE
```

```
*           Condiciones del aire
```

```
DO 160 J=1,MU
DO 160 I=1,LH
SF(I,J)=C(1,1)*C(1,2)
IB(I,J)=4
160 CONTINUE
WRITE(95,*) SF(1,1)           !!!!!!!
```

```
*           Aire exterior al puente
```

```
DO 170 J=1,MU
IB(1,J)=1
170 CONTINUE
DO 180 J=M2+2,MU-1
DO 180 I=2,L1-1
IB(I,J)=1
180 CONTINUE
DO 190 I=1,LH
IB(I,MU)=1
190 CONTINUE
```

```
*           Condiciones de la superficie del tablero
```

```
DO 20 I=3,LH
SF(I,1)=C(1,1)*C(1,2)
IB(I,1)=7
20 CONTINUE
```

```
*           Condiciones de la NBC
```

```
DO 30 J=2,M1
DO 30 I=3,LH
SF(I,J)=C(2,1)*C(2,2)
IB(I,J)=3
30 CONTINUE
WRITE (95,*) SF(3,2)           !!!!!!!!!!!
```

```
*           Condiciones en el contorno
```

```
DO 110 J=1,M2+1
SF(2,J)=C(4,1)*C(4,2)
IB(2,J)=7
110 CONTINUE
DO 120 I=3,L1
SF(I,M2+1)=C(4,1)*C(4,2)
IB(I,M2+1)=7
120 CONTINUE
DO 130 I=L1+1,LH
SF(I,M2+1)=C(4,1)*C(4,2)
SF(I,M3)=C(4,1)*C(4,2)
SF(I,MU-1)=C(4,1)*C(4,2)
IB(I,M2+1)=6
```

```

130  IB(I,MU-1)=7
      CONTINUE

      IF (ND(1).NE.0) GOTO 1100          ! Condiciones en talon
      DO 1050 K1=L1,UE(1)-1
      I=K1
      DO 1040 J=M2+2,M3-1
      SF(I,J)=C(1,1)*C(1,2)
      IB(I,J)=1
1040  END DO
      IF(K1.EQ.L1) GOTO 1050
      SF(I,M2+1)=C(4,1)*C(4,2)
      SF(I,M3)=C(4,1)*C(4,2)
      IB(I,M2+1)=7
      IB(I,M3)=7
1050  END DO

1100  DO 140 J=M3,MU-1
      SF(L1,J)=C(4,1)*C(4,2)
      IB(L1,J)=7
140  CONTINUE
      WRITE (95,*) SF(L1,M3)          !!!!!!!!!!!!!

*      Condiciones del hormigon
      DO 40 J=M1+1,M2
      DO 40 I=3,LH
      SF(I,J)=C(3,1)*C(3,2)
      IB(I,J)=0
40  CONTINUE
      DO 400 J=M2+1,M3
      DO 300 K=1,IND,2
      DO 250 I=UE(K)+1,UE(K+1)-1
      SF(I,J)=C(3,1)*C(3,2)
      IB(I,J)=0
250  CONTINUE
300  CONTINUE
400  CONTINUE
      DO 50 J=M3+1,M4
      DO 50 I=L1+1,LH
      SF(I,J)=C(3,1)*C(3,2)
      IB(I,J)=0
50  CONTINUE
      WRITE(95,*) SF(LH,M4)          !!!!!!!!

*      Condicion de contorno en huecos
      IF(UE(IND).EQ.LH+1) IND=IND-1
      DO 150 J=M2+1,M3
      DO 150 IN=1,IND
      I=UE(IN)
      SF(I,J)=C(4,1)*C(4,2)
      IB(I,J)=6
150  CONTINUE
      DO 155 J=M2+1,M3
      SF(UE(1),J)=C(4,1)*C(4,2)
      IB(UE(1),J)=7
155  CONTINUE

*      Condicion de aire exterior respecto al interior
      DO 200 I=1, NCOL          !!!!!!!
      DO 200 J=1, NFIL          !!!!!!!
      IF (IB(I,J).EQ.1) SF(I,J)=SF(I,J)*1.0E+6  !!!!!!!
      IF (IB(I,J).EQ.7) SF(I,J)=SF(I,J)*1.0E+6  !!!!!!!
200  CONTINUE          !!!!!!!

```



```
WRITE(101,1004)
DO 1000 J=1,NFIL
WRITE (101,1001) (IB(I,J),I=1,NCOL)
1000 CONTINUE
1001 FORMAT(1X,70I1)
WRITE(101,1004)
1004 FORMAT(////)
CLOSE(101)

RETURN
END
```

SUBRRUTINA INP2

INP2

Conductividad horizontal

SEMA /EF/, /AB/, /ESC/

SUBROUTINE INP2

REAL*4 K

COMMON /EF/ K(0:100,0:100,2)

COMMON /P1/ ND(5), NU(5), C(4,4), UE(10), IND

COMMON /P2/ LH,MU,M1,M2,M3,M4,L1

COMMON /AB/ TEM(0:100,0:100), TEI(100,100), NCOL,NFIL,DELTAT,D

COMMON /ESC/ IB(100,100),NCD,NCR(30),IPE

COMMON /MET/ TEMP,T1,TO1,START,HCSUP,HCINF,HCINT,HCLAT

* Aire, inicialmente todos los puntos

DO 201 J=1,MU

DO 200 I=1,LH

K(I,J,2)=C(1,4)

IB(I,J)=1

200 END DO

201 END DO

WRITE (95,*) K(1,1,2)

!!!!!!!!!!!!

DO 210 J=2,M1

! Aire-MB

K(2,J,2)=1/(1/(HCLAT*D)+1/(2*C(2,4)))

IB(2,J)=2

210 END DO

WRITE(95,*) K(2,2,2)

!!!!!!!!!!!!

DO 220 I=2,LH-1

! Contorno-Contorno

K(I,M2+1,2)=C(1,4)

IB(I,M2+1)=1

220 END DO

DO 230 I=L1,LH-1

K(I,M3,2)=C(1,4)

K(I,M4+1,2)=C(1,4)

IB(I,M3)=1

IB(I,M4+1)=1

230 END DO

WRITE(95,*)K(L1,M3,2)

DO 250 J=M2+1,M3

! Aire - hormigon

DO 251 K2=1,2*INT(IND/2.)-1,2

I=UE(K2)

IF((K2.NE.1).OR.(ND(1).NE.0)) GOTO 1003 ! Cond. de talon

K(I,J,2)=1/(1/(HCLAT*D)+1/(2*C(3,4)))

IB(I,J) = 4

GOTO 251

1003 K(I,J,2)=1/(1/(HCINT*D)+1/(2*C(3,4)))

IB(I,J)=5

251 END DO

IF((IND-2*INT(IND/2.)).EQ.0) GOTO 252

I=UE(IND)

K(I,J,2)=1/(1/(HCINT*D)+1/(2*C(3,4)))

IB(I,J)=5

252 CONTINUE

250 END DO

WRITE(95,*) K(UE(K2),M3,2)

!!!!!!!!!!!!

DO 260 J=M1,M2

```

260  IB(2,J)=4
      END DO
      MM2=M2
      IF (ND(1).EQ.0) MM2=M3
      DO 240 J=MM2+1,M4
        K(L1,J,2)=1/(1/(HCLAT*D)+1/(2*C(3,4)))
        IB(L1,J)=4
240  END DO
      WRITE(95,*) K(L1,M4,2)          !!!!!!!!!!!!!!!

```

```

*      Faltan las instrucciones de contorno-aire
*      por no ser necesarias

```

```

      DO 271 J=2;M1                    ! MB-ME
      DO 270 I=3,LH-1
        K(I,J,2)=C(2,4)
        IB(I,J)=3
270  END DO
271  END DO

```

```

      DO 281 J=M1+1,M2                ! Hor- Hor
      DO 280 I=3,LH-1
        K(I,J,2)=C(3,4)
        IB(I,J)=0
280  END DO
281  END DO

```

```

      DO 291 J=M3+1,M4
      DO 290 I=L1+1,LH-1
        K(I,J,2)=C(3,4)
        IB(I,J)=0
290  END DO
291  END DO

```

```

      DO 300 J=M2+1,M3
      DO 301 K2=1,2*INT(IND/2.),2
      DO 302 K1=OE(K2)+1,OE(K2+1)-2
        I=K1
        K(I,J,2)=C(3,4)
        IB(I,J)=0
302  END DO
301  END DO

```

```

      IF((IND-2*INT(IND/2.)).EQ.0) GOTO 304
      DO 303 K1=OE(IND)+1,LH-1
        I=K1
        K(I,J,2)=C(3,4)
        IB(I,J)=0
303  END DO
304  CONTINUE
300  END DO

```

```

      DO 310 J=M2+1,M3                ! Hor - Aire
      DO 311 K1=2,2*INT(IND/2.),2
        I=OE(K1)-1
        K(I,J,2)=1/(1/(HCLAT*D)+1/(2*C(3,4)))
        IB(I,J)=5
311  END DO
310  END DO

```

Condiciones en el eje de simetria

```

      DO 320 J=1,MU
        K(LH,J,2)=1.0E-20
        IB(LH,J)=9
320  END DO

```

```

      OPEN(102,FILE='HORI2::11')

```

```
DO 1000 J=1,NFIL
WRITE(102,1001)(IB(I,J),I=1,NCOL)
1000 CONTINUE
WRITE(102,1004)
1004 FORMAT(////)
1001 FORMAT(1X,70I1)
CLOSE (102)

RETURN
END
```

SUBRRUTINA INP3

```

*****
*
*           INP3           Conductividad vertical
*
*****
SEMA /EF/, /AB/, /ESC/
SUBROUTINE INP3
*****
REAL*4 K
COMMON /EF/ K(0:100,0:100,2)
COMMON /P1/ ND(5),NU(5),C(4,4),UE(10),IND
COMMON /P2/ LH,MU,M1,M2,M3,M4,L1
COMMON /AB/ TEM(0:100,0:100), TEI(100,100), NCOL,NFIL,DELTAT,D
COMMON /ESC/ IB(100,100),NCD,NCR(30),IPE
COMMON /MET/ TEMP,T1,TO1,START,HCSUP,HCINF,HCINT,HCLAT

*           Aire, inicialmente todos los puntos

DO 500 J=1,MU
DO 500 I=1,LH
K(I,J,1)=C(1,3)
IB(I,J)=1
500 CONTINUE

DO 510 I=3,LH
K(I,1,1)=1/(1/(HCSUP*D)+1/(2*C(2,3)))           ! Aire - MB
IB(I,1)=2
IF(M1.EQ.2) GOTO 515
DO 520 J=2,M1-1
K(I,J,1)=C(2,3)           ! MB - MB
IB(I,J)=3
520 END DO
515 CONTINUE
K(I,M1,1)=(2*C(2,3)*C(3,3))/(C(2,3)+C(3,3))           ! MB - Horm
K(I,M2,1)=1/(1/(HCINF*D)+1/(2*C(3,3)))           ! Horm - Aire
IB(I,M1)=6
IB(I,M2)=4
510 END DO
WRITE (95,*) K(LH,1,1)           !!!!!!!!!!!
WRITE (95,*) K(LH,M1,1)           !!!!!!!!!!!
WRITE (95,*) K(LH,M2,1)           !!!!!!!!!!!
DO 530 I=L1+1,LH
K(I,M4,1)=1/(1/(HCINF*D)+1/(2*C(3,3)))
IB(I,M4)=4
530 END DO

DO 541 J=M1+1,M2-1           ! Comienza Horm - Horm
DO 540 I=3,LH
K(I,J,1)=C(3,3)
IB(I,J)=0
540 END DO
541 END DO
DO 550 J=M2,M3
DO 551 K2=1,2*INT(IND/2.),2
DO 556 K1=UE(K2)+1,UE(K2+1)-1
I=K1
K(I,J,1)=C(3,3)
IB(I,J)=0
556 END DO
551 END DO
IF ((IND-2*INT(IND/2.)).EQ.0) GOTO 553
DO 552 K1=UE(IND)+1,LH
I=K1

```

```

552 IB(I,J)=0
553 END DO
554 CONTINUE
555 END DO
      DO 561 J=M3+1,M4-1
      DO 560 I=L1+1,LH
      K(I,J,1)=C(3,3)
      IB(I,J)=0
560 END DO
561 END DO          ! Fin, Horm- Horm

      IF(ND(1).NE.0) GOTO 1010      ! Condiciones en talon
      DO 1020 K1=L1+1,UE(1)
      I=K1
      K(I,M3,1)=1/(1/(HCLAT*D)+1/(2*C(3,3)))
      IB(I,M3)=8
1020 END DO

1010 DO 651 K2=2,2*INT(IND/2.)-1,2      ! Aire - Horm
      DO 650 K1=UE(K2),UE(K2+1)
      I=K1
      K(I,M3,1)=1/(1/(HCINT*D)+1/(2*C(3,3)))
      K(I,M2,1)=1/(1/(HCINT*D)+1/(2*C(3,3)))
      IB(I,M3)=5
      IB(I,M2)=5
650 END DO
651 END DO
      IF ((IND-2*INT(IND/2.)).EQ.0) GOTO 660
      DO 655 K1=UE(IND-1),UE(IND)
      I=K1
      K(I,M3,1)=1/(1/(HCINT*D)+1/(2*C(3,3)))
      K(I,M2,1)=1/(1/(HCINT*D)+1/(2*C(3,3)))
      IB(I,M3)=5
      IB(I,M2)=5
655 END DO
      GOTO 670
660 DO 665 K1=UE(IND),LH
      I=K1
      K(I,M3,1)=1/(1/(HCINT*D)+1/(2*C(3,3)))
      K(I,M2,1)=1/(1/(HCINT*D)+1/(2*C(3,3)))
      IB(I,M3)=5
      IB(I,M2)=5
665 END DO
670 CONTINUE

      Condiciones en el borde interior

      DO 300 I=1,LH
      K(I,MU,1)=1.0E-20
      IB(I,MU)=9
300 CONTINUE

      OPEN(103,FILE='UERTI1::11')
1001 FORMAT(1X,70I1)
      WRITE(103,1005)
1005 FORMAT(////)
      DO 1000 J=1,NFIL
      WRITE(103,1001)(IB(I,J),I=1,NCOL)
1000 CONTINUE
      WRITE(103,1005)
      CLOSE(103)

      RETURN
      END

```

A·N·E·J·O·3

FICHERO DE DATOS DEL PROGRAMA BRIDGE

1 C 2
4 16 9500
15 40 14 15 8
C.C1 +1 21 23 3 4 C.5 0
PUENTE EN SECCION CAJON
CALCULO DIURNO

24.51	24.51	24.51	24.51	24.51	24.51	24.51	24.51	24.51	24.51
21.52	21.52	21.52	21.52	21.52	21.52	21.52	21.52	21.52	21.52
17.52	17.52	17.52	17.52	17.52	17.52	17.52	17.52	17.52	17.52
15.73	15.73	15.73	15.73	15.73	15.73	15.73	15.73	15.73	15.73
15.14	15.14	15.14	15.14	15.14	15.14	15.14	15.14	15.14	15.14
15.04	15.04	15.04	15.04	15.04	15.04	15.04	15.04	15.04	15.04
15.01	15.01	15.01	15.01	15.01	15.01	15.01	15.01	15.01	15.01
15.01	15.01	15.01	15.01	15.01	15.01	15.01	15.01	15.01	15.01
15.05	15.05	15.05	15.05	15.05	15.05	15.05	15.05	15.05	15.05
15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20
15.64	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64
16.71	16.71	16.71	16.71	16.71	16.71	16.71	16.71	16.71	16.71
19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82	19.82

TIEMPO = 10.00 HORAS
TEMPERATURA AMBIENTE = 27.40 GRADOS

DEFORMACION GANADA (+), POR TEMPERATURA EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = 2.16 (M/M/HR)
 DEFORMACION GANADA (+), POR TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR EN UNA HORA = 72.30 (M/M/HR)
 DEFORMACION GANADA (-), POR RADIACION EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = 257.35 (M/M/HR)
 DEFORMACION GANADA (-), POR RADIACION EN LA CARA INFERIOR EN UNA HORA = 327.09 (M/M/HR)

24.51	24.51
21.52	21.52
17.52	17.52
15.73	15.73
15.14	15.14
15.04	15.04
15.01	15.01
15.01	15.01
15.05	15.05
15.20	15.20
15.64	15.64
16.71	16.71
19.82	19.82

24.51	24.51
17.52	17.52
15.73	15.73
15.20	15.20
15.04	15.04
15.01	15.01
15.12	15.12
15.41	15.41
16.18	16.18
16.42	16.42
16.80	16.80

TEMPERATURA EN LA CARA DEL PUENTE = 15.64

TEMPERATURA EN BORDE SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTODEFORMACION 18.95
 TEMPERATURA EN BORDE INFERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTODEFORMACION 14.53

DILATACION UNITARIA UNIFORME DEL TABLERO = 0.0001636 M/M. (+ = ALARGAMIENTO)
 DILATACION UNITARIA EN FIBRA SUPERIOR => CENTRO DE CURVATURA DEBAJO DEL TABLERO

2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07
2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34	2.34
-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37
-0.57	-0.57	-0.57	-0.57	-0.57	-0.57	-0.57	-0.57	-0.57	-0.57
-0.49	-0.49	-0.49	-0.49	-0.49	-0.49	-0.49	-0.49	-0.49	-0.49
-0.24	-0.24	-0.24	-0.24	-0.24	-0.24	-0.24	-0.24	-0.24	-0.24
-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16
1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15

10

TIEMPO = 11.00 HORAS
 TEMPERATURA AMBIENTE = 29.99 GRADOS

ENERGIA GANADA (+), POR TEMPERATURA EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = -50.58 (W/M**2)
 ENERGIA GANADA (+), POR TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR EN UNA HORA = 83.53 (W/M**2)
 PERDIDA GANADA (+), POR RADIACION EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = 343.28 (W/M**2)
 PERDIDA GANADA (+) POR EL TABLERO EN UNA HORA = 376.22 (W/M**2)

33.06	30.95	29.03	27.29	25.73
24.52	23.07	21.95	20.96	20.01
19.33	18.06	18.08	17.58	17.15
16.78	16.47	16.20	15.98	15.80
15.64	15.52	15.41	15.31	15.26
15.20	15.16	15.13	15.10	15.04
15.07	15.06	15.06	15.06	15.06
15.07	15.08	15.10	15.12	15.15
15.18	15.22	15.27	15.36	15.41
15.50	15.60	15.72	15.89	16.03
16.22	16.43	16.68	16.95	17.28
17.62	18.02	18.43	18.92	19.51
20.13				

TEMPERATURA EN EL PUNTO = 17.02

TEMPERATURA EN EL PUNTO SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE INTENSIDAD 21.15
 TEMPERATURA EN EL PUNTO INFERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE INTENSIDAD 14.01

DEVIACION INICIAL Y DEFLEXION DEL TABLERO = 0.0002614/M. (+ = ABAJAMIENTO)
 DEVIACION DEL TABLERO = 0.0011777 (+ = ABAJAMIENTO) EN EL PUNTO SUPERIOR => CENTRO DE CURVATURA DEBAJO DEL TABLERO

3.374	2.984	2.693	2.485	2.324	2.194	2.097	2.021	1.961	1.914	1.878	1.851	1.832	1.821	1.816	1.816	1.821	1.832	1.851	1.878	1.914	1.961	2.021	2.097	2.194	2.324	2.485	2.693	2.984	3.374																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
-0.194	-0.334	-0.494	-0.664	-0.844	-1.034	-1.234	-1.444	-1.664	-1.894	-2.134	-2.384	-2.644	-2.914	-3.194	-3.484	-3.784	-4.094	-4.414	-4.744	-5.084	-5.434	-5.794	-6.164	-6.544	-6.934	-7.334	-7.744	-8.164	-8.594	-9.034	-9.484	-9.944	-10.414	-10.894	-11.384	-11.884	-12.394	-12.914	-13.444	-13.984	-14.534	-15.094	-15.664	-16.244	-16.834	-17.434	-18.044	-18.664	-19.294	-19.934	-20.584	-21.244	-21.914	-22.594	-23.284	-23.984	-24.694	-25.414	-26.144	-26.884	-27.634	-28.394	-29.164	-29.944	-30.734	-31.534	-32.344	-33.164	-33.994	-34.834	-35.684	-36.544	-37.414	-38.294	-39.184	-40.084	-40.994	-41.914	-42.844	-43.784	-44.734	-45.694	-46.664	-47.644	-48.634	-49.634	-50.644	-51.664	-52.694	-53.734	-54.784	-55.844	-56.914	-57.994	-59.084	-60.184	-61.294	-62.414	-63.544	-64.684	-65.834	-66.994	-68.164	-69.344	-70.534	-71.734	-72.944	-74.164	-75.394	-76.634	-77.884	-79.144	-80.414	-81.694	-82.984	-84.284	-85.594	-86.914	-88.244	-89.584	-90.934	-92.294	-93.664	-95.044	-96.434	-97.834	-99.244	-100.664	-102.094	-103.534	-104.984	-106.444	-107.914	-109.394	-110.884	-112.384	-113.894	-115.414	-116.944	-118.484	-120.034	-121.594	-123.164	-124.744	-126.334	-127.934	-129.544	-131.164	-132.794	-134.434	-136.084	-137.744	-139.414	-141.094	-142.784	-144.484	-146.194	-147.914	-149.644	-151.384	-153.134	-154.894	-156.664	-158.444	-160.234	-162.034	-163.844	-165.664	-167.494	-169.334	-171.184	-173.044	-174.914	-176.794	-178.684	-180.584	-182.494	-184.414	-186.344	-188.284	-190.234	-192.194	-194.164	-196.144	-198.134	-200.134	-202.144	-204.164	-206.194	-208.234	-210.284	-212.344	-214.414	-216.494	-218.584	-220.684	-222.794	-224.914	-227.044	-229.184	-231.334	-233.494	-235.664	-237.844	-240.034	-242.234	-244.444	-246.664	-248.894	-251.134	-253.384	-255.644	-257.914	-260.194	-262.484	-264.784	-267.094	-269.414	-271.744	-274.084	-276.434	-278.794	-281.164	-283.544	-285.934	-288.334	-290.744	-293.164	-295.594	-298.034	-300.484	-302.944	-305.414	-307.894	-310.384	-312.884	-315.394	-317.914	-320.444	-322.984	-325.534	-328.094	-330.664	-333.244	-335.834	-338.434	-341.044	-343.664	-346.294	-348.934	-351.584	-354.244	-356.914	-359.594	-362.284	-364.984	-367.694	-370.414	-373.144	-375.884	-378.634	-381.394	-384.164	-386.944	-389.734	-392.534	-395.344	-398.164	-400.994	-403.834	-406.684	-409.544	-412.414	-415.294	-418.184	-421.084	-423.994	-426.914	-429.844	-432.784	-435.734	-438.694	-441.664	-444.644	-447.634	-450.634	-453.644	-456.664	-459.694	-462.734	-465.784	-468.844	-471.914	-474.994	-478.084	-481.184	-484.294	-487.414	-490.544	-493.684	-496.834	-499.994	-503.164	-506.344	-509.534	-512.734	-515.944	-519.164	-522.394	-525.634	-528.884	-532.144	-535.414	-538.694	-541.984	-545.284	-548.594	-551.914	-555.244	-558.584	-561.934	-565.294	-568.664	-572.044	-575.434	-578.834	-582.244	-585.664	-589.094	-592.534	-595.984	-599.444	-602.914	-606.394	-609.884	-613.384	-616.894	-620.414	-623.944	-627.484	-631.034	-634.594	-638.164	-641.744	-645.334	-648.934	-652.544	-656.164	-659.794	-663.434	-667.084	-670.744	-674.414	-678.094	-681.784	-685.484	-689.194	-692.914	-696.644	-700.384	-704.134	-707.894	-711.664	-715.444	-719.234	-723.034	-726.844	-730.664	-734.494	-738.334	-742.184	-746.044	-749.914	-753.794	-757.684	-761.584	-765.494	-769.414	-773.344	-777.284	-781.234	-785.194	-789.164	-793.144	-797.134	-801.134	-805.144	-809.164	-813.194	-817.234	-821.284	-825.344	-829.414	-833.494	-837.584	-841.684	-845.794	-849.914	-854.044	-858.184	-862.334	-866.494	-870.664	-874.844	-879.034	-883.234	-887.444	-891.664	-895.894	-900.134	-904.384	-908.644	-912.914	-917.194	-921.484	-925.784	-930.094	-934.414	-938.744	-943.084	-947.434	-951.794	-956.164	-960.544	-964.934	-969.334	-973.744	-978.164	-982.594	-987.034	-991.484	-995.944	-1000.414

TIEMPO = 12.00 HORAS
 TEMPERATURA AMBIENTE = 32.49 GRADOS

ENERGIA GANADA (+) POR TEMPERATURA EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = -99.71 (W/M**2)
 ENERGIA GANADA (+) POR TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR EN UNA HORA = 94.20 (W/M**2)
 ENERGIA GANADA (+) POR RADIACION EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = 424.08 (W/M**2)
 ENERGIA TOTAL GANADA (+) POR EL TABLERO EN UNA HORA = 414.57 (W/M**2)

17.41	35.10	32.97	31.02	79.23
27.61	26.13	24.80	23.50	72.51
21.54	20.68	19.91	19.23	18.64
18.11	17.65	17.25	16.90	16.61
16.35	16.13	15.94	15.78	15.65
15.54	15.45	15.37	15.31	15.27
15.23	15.21	15.17	15.14	15.19
15.20	15.22	15.25	15.29	15.33
15.39	15.46	15.54	15.64	15.75
15.86	16.03	16.29	16.39	16.61
16.85	17.13	17.44	17.78	18.17
19.59	19.06	19.58	20.15	20.77
21.45				

TEMPERATURA DEL PUNTO 2 DEL PUEBLO = 18.71

TEMPERATURA EN LA CARA SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 23.51
 TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 13.90

ELECTRICIDAD INICIAL POR FASE DEL TABLERO = 0.00337747 MVA. (*) = ALARGAMIENTO
 LONGITUD DEL TABLERO = 0.00150716 = ALARGAMIENTO EN FICHA SUPERIOR => CENTRO DE CURVATURA DEBAJO DEL TABLERO

4.17	2.92	2.21	1.47	1.97	.72	.41
1.11	1.32	1.50	1.79	1.99	1.05	1.12
-1.19	-1.11	-1.11	-1.12	-1.17	-1.16	-1.11
-1.74	-1.50	-1.26	-1.01	-0.76	-0.70	-0.52
-1.14	-1.17	-1.17	-1.13	-1.04	0.95	0.17
1.37	1.24	1.08	0.99	1.17	1.55	1.76
2.07						2.01

TIEMPO EN AUTOTENSION EN LA SECCION (MESPASCAULT) (+) = COMPRESION

ENERGIA GANADA (+) POR TEMPERATURA EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = -161.01 (W/M**2)
 ENERGIA GANADA (+) POR TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR EN UNA HORA = 107.67 (W/M**2)
 ENERGIA GANADA (+) POR RADIACION EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = 445.57 (W/M**2)
 ENERGIA TOTAL GANADA (+) POR EL TABLERO EN UNA HORA = 392.23 (W/M**2)

41.33	38.71	35.55	34.56
30.83	29.18	27.67	26.28
23.88	22.65	21.91	21.07
19.64	19.04	18.51	18.04
17.25	16.74	16.67	16.22
16.05	15.90	15.74	15.67
15.53	15.48	15.45	15.43
15.44	15.46	15.50	15.61
15.69	15.74	15.82	16.17
16.33	16.52	16.74	17.25
17.55	17.88	18.25	19.10
19.59	20.13	20.71	22.05
22.80			

TEMPERATURA EN LA ZONA DEL PUENTE = 19.88

TEMPERATURA EN LA PARTE SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 25.93
 TEMPERATURA EN LA PARTE INFERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 13.83

DEFORMACION UNIFORME DEL TABLERO = 0.00047074% (+ = ALARGAMIENTO)
 DEFORMACION EN LA PARTE SUPERIOR = 0.00201677% (+ = ALARGAMIENTO) EN LA PARTE SUPERIOR => CENTRO DE CURVATURA DEBAJO DEL TABLERO

6.52%	3.95%	3.14%	2.77%	2.25%	1.77%	1.34%	.95%	.59%	.27
-0.21%	-0.26%	-0.48%	-0.67%	-0.74%	-0.94%	-1.10%	-1.20%	-1.28%	-1.34
-1.33%	-1.42%	-1.45%	-1.46%	-1.46%	-1.45%	-1.44%	-1.41%	-1.36%	-1.35
-1.30%	-1.25%	-1.21%	-1.15%	-1.09%	-1.07%	-0.96%	-0.89%	-0.82%	-0.74
-0.25%	-0.55%	-0.47%	-0.37%	-0.27%	-0.14%	-0.04%	-0.09%	-0.22%	-0.55
0.31%	0.34%	0.34%	0.37%	0.44%	0.52%	0.61%	0.69%	0.74%	0.77
2.53%									

TENSIONES DE AUTOTENSION EN LA SECCION (RESAPASCALES) (+) = COMPRESION

TEMPERATURA EN LA ZONA DEL PUENTE = 37.49 (20.00)

DEFORMACION UNIFORME DEL TABLERO = 0.00047074% (+ = ALARGAMIENTO)
 DEFORMACION EN LA PARTE SUPERIOR = 0.00201677% (+ = ALARGAMIENTO) EN LA PARTE SUPERIOR => CENTRO DE CURVATURA DEBAJO DEL TABLERO

44.03	42.00	37.74
33.53	32.07	28.97
26.24	25.92	23.01
21.31	20.82	18.34
18.05	17.92	17.25
16.74	16.51	15.67

15.83
15.84
16.32
17.34
19.11
21.88

15.77
15.90
16.48
17.63
19.57
22.59

15.88
15.80
16.18
17.09
18.39
20.63
24.18

TEMPERATURA EN T A Z DEL PUENTE = 21.09

TEMPERATURA EN BORDE SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 28.23
TEMPERATURA EN BORDE INFERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 13.91

DILATACION UNITARIA UNIFORME DEL TABLERO = .00005092 1/M. (+ = ALARGAMIENTO)
CURVATURA DEL TABLERO = .00023966 (+ = ALARGAMIENTO EN FIBRA SUPERIOR => CENTRO DE CURVATURA DEBAJO DEL TABLERO)

TENSIONES DE AUTOTENSION EN LA SECCION (MPASCALES) (+) = COMPRESION	
4.31	1.15
4.25	1.28
-1.17	-1.39
-1.54	-1.62
-1.54	-1.31
-1.49	-1.07
-1.44	-0.98
-0.79	-0.25
-0.60	-0.10
0.73	2.18
3.08	2.46

TEMPERATURA EN BORDE SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 28.23
TEMPERATURA EN BORDE INFERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 13.91

TIEMPO = 15.00 HORAS
TEMPERATURA AMBIENTE = 39.09 GRADOS

ENERGIA CALOR (+) POR TEMPERATURA EN LA CADA SUPERIOR DE UNA VIGA = 127.19 (W/M^2)
ENERGIA CALOR (+) POR TEMPERATURA EN LA CADA INFERIOR DE UNA VIGA = 126.59 (W/M^2)
ENERGIA CALOR (+) POR RADIACION EN LA CADA SUPERIOR DE UNA VIGA = 544.13 (W/M^2)
ENERGIA CALOR (+) POR RADIACION EN LA CADA INFERIOR DE UNA VIGA = 497.05 (W/M^2)

47.12	42.57	40.43
36.48	32.97	29.97
26.52	26.05	25.95
23.05	21.85	20.13
19.56	19.69	17.85
17.53	17.07	16.69
16.52	16.53	16.25
16.26	16.49	16.40
16.54	16.63	17.22
17.45	17.03	16.73
19.17	20.07	20.54
21.71	23.58	21.13
25.59	29.97	24.77

TEMPERATURA EN T A Z DEL PUENTE = 21.09

TEMPERATURA EN BORDE SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 30.44
 TEMPERATURA EN BORDE INFERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 14.13
 DILATACION UNITARIA UNIFORME DEL TABLERO = .00007314141/M. (+ = ALARGAMIENTO)
 CURVATURA DEL TABLERO = .00227073(+ = ALARGAMIENTO EN FIRBA SUPERIOR => CENTRO DE CURVATURA DEBAJO DEL TABLERO)

TENSIONES DE AUTOTENSION EN LA SECCION (MEGAPASCALAS) (+ = COMPRESION								
.5.02	3.40	2.71	2.22	1.76	1.33	.93		
.24	-.07	-.34	-.59	-.81	-1.00	-1.17	-1.32	-1.44
-1.54	-1.71	-1.89	-1.84	-1.84	-1.84	-1.84	-1.83	-1.81
-1.74	-1.69	-1.53	-1.57	-1.42	-1.33	-1.24	-1.24	-1.14
-.72	-.80	-.53	-.39	-.26	-.08	.09	.09	.27
.56	.87	1.10	1.34	1.54	1.85	2.13	2.43	2.74
3.42								3.07

TIEMPO = 14.00 HORAS
 TEMPERATURA AMBIENTE = 39.15 GRAUOS

ENERGIA GANADA (+), POR TEMPERATURA EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = -207.54 (W/MER2)
 ENERGIA PERDIDA (-), POR TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR EN UNA HORA = 117.87 (W/MER2)
 ENERGIA GANADA (+), POR RADIACION EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = 496.56 (W/MER2)
 ENERGIA TOTAL GANADA (+) POR EL TABLERO EN UNA HORA = 405.90 (W/MER2)

47.11	45.47	43.60	41.81	40.03
38.30	36.91	34.93	33.44	31.96
26.57	24.20	25.07	26.84	25.78
24.77	23.95	23.07	22.27	21.51
20.85	20.27	19.75	19.27	18.84
18.47	18.17	17.84	17.59	17.35
17.20	17.06	16.95	16.87	16.82
16.80	16.81	16.84	16.90	16.99
17.11	17.26	17.47	17.61	17.85
18.13	18.42	18.75	19.11	19.51
19.95	20.52	20.93	21.47	22.05
22.67	23.33	24.01	24.72	25.45

TEMPERATURA = 31.47 DEL PUENTE = 25.37

TEMPERATURA EN BORDE SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 32.05
 TEMPERATURA EN BORDE INFERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 14.09

DILATACION UNITARIA UNIFORME DEL TABLERO = .00007374141/M. (+ = ALARGAMIENTO)

TENSIONES DE AUTOTENSION EN LA SECCION (MELAPASCALLES) (+) = COMPRESION			
4.54	3.19	2.31	1.89
.62	-1.18	-1.44	-1.57
-1.62	-1.78	-1.86	-1.91
-1.85	-1.81	-1.62	-1.54
-1.01	-88	-74	-59
.71	.94	1.18	1.43
3.40		1.59	1.95
		2.24	2.54
			.09
			-10
			-1.45
			-1.92
			-1.91
			-1.57
			1.07
			1.24
			1.47
			1.11
			.75

TIEMPO = 17.00 HORAS
 TEMPERATURA AMBIENTE = 36.30 GRAOS

MEGIA GANADA (+) POR TEMPERATURA EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = -232.78 (W/M²)
 MEGIA GANADA (+) POR TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR EN UNA HORA = 93.09 (W/M²)
 MEGIA GANADA (+) POR RADIACION EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = 440.93 (W/M²)
 MEGIA TOTAL GANADA (+) DEL TABLERO EN UNA HORA = 306.24 (W/M²)

45.67	44.43	43.07	41.63	40.21
38.85	37.43	36.02	34.64	33.23
31.92	30.74	29.56	28.40	27.27
26.31	25.34	24.67	23.64	22.87
22.17	21.53	20.94	20.40	19.97
19.49	19.10	18.76	18.44	18.21
17.99	17.82	17.63	17.57	17.50
17.47	17.44	17.43	17.55	17.64
17.76	17.91	18.03	18.31	18.55
18.33	18.14	19.07	19.85	20.25
20.61	21.14	21.54	22.16	22.70
23.27	23.75	24.57	25.03	25.72
26.34				

TEMPERATURA EN LA CARA DEL PUENTE = 24.17

TEMPERATURA EN LA CARA SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE INTENSIDAD 22.98
 TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE INTENSIDAD 15.58

DEVIACION UNITARIA OBTENIDA DEL TABLERO = .00028951(+ = ALARGAMIENTO EN FIBRA SUPERIOR => CENTRO DE CURVATURA DEBAJO DEL TABLERO)

TENSIONES DE AUTOTENSION EN LA SECCION (MELAPASCALLES) (+) = COMPRESION			
3.41	3.52	2.29	1.59
.78	.79	-1.44	-1.95
-1.56	-1.57	-1.70	-1.97
-1.85	-1.77	-1.73	-1.54
			.09
			-10
			-1.45
			-1.92
			-1.91
			-1.57
			1.07
			1.24
			1.47
			1.11
			.75

-1.04, -0.91, -0.77, -0.61, -0.28, -0.09, -29, -50
-0.71, 1.18, 1.42, 1.67, 1.93, 2.47, 2.74, 3.02
3.10

TIEMPO = 18.00 HORAS
TEMPERATURA AMBIENTE = 34.44 GRADOS

ERGIA GANADA (+), POR TEMPERATURA EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = -229.12 (W/M²)
ERGIA GANADA (+), POR TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR EN UNA HORA = 61.27 (W/M²)
ERGIA GANADA (+), POR RADIACION EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = 363.94 (W/M²)
ERGIA TOTAL GANADA (+) POR EL TABLERO EN UNA HORA = 216.09 (W/M²)

43.23	42.45	41.57	40.60	39.55
38.47	37.35	36.21	35.05	33.90
32.76	31.65	30.54	29.50	28.49
27.51	26.59	25.71	24.88	24.11
23.39	22.71	22.09	21.52	21.00
20.53	20.11	19.73	19.40	19.11
18.96	18.65	18.43	18.34	18.27
18.21	18.10	18.21	18.25	18.36
18.48	18.60	18.73	18.94	19.23
19.50	19.79	20.17	20.48	20.85
21.27	21.70	22.19	22.63	23.12
23.03	24.14	24.87	25.20	25.73
26.26				

TEMPERATURA EN EL AZUL PUENTE = 24.74

TEMPERATURA EN EL PUNTO SUPERIOR DE LA LOSA EN EL CENTRO DE AUTOTENSION = 33.50
TEMPERATURA EN EL PUNTO INFERIOR DE LA LOSA EN EL CENTRO DE AUTOTENSION = 16.17

ESTADO DE LA MATERIA EN EL TABLERO DE LA LOSA EN EL CENTRO DE CURVATURA DEBAJO DEL TABLERO

2.86	2.84	2.83	2.82	2.81	2.80	2.79	2.78	2.77	2.76	2.75	2.74	2.73	2.72	2.71	2.70	2.69	2.68	2.67	2.66	2.65	2.64	2.63	2.62	2.61	2.60	2.59	2.58	2.57	2.56	2.55	2.54	2.53	2.52	2.51	2.50	2.49	2.48	2.47	2.46	2.45	2.44	2.43	2.42	2.41	2.40	2.39	2.38	2.37	2.36	2.35	2.34	2.33	2.32	2.31	2.30	2.29	2.28	2.27	2.26	2.25	2.24	2.23	2.22	2.21	2.20	2.19	2.18	2.17	2.16	2.15	2.14	2.13	2.12	2.11	2.10	2.09	2.08	2.07	2.06	2.05	2.04	2.03	2.02	2.01	2.00	1.99	1.98	1.97	1.96	1.95	1.94	1.93	1.92	1.91	1.90	1.89	1.88	1.87	1.86	1.85	1.84	1.83	1.82	1.81	1.80	1.79	1.78	1.77	1.76	1.75	1.74	1.73	1.72	1.71	1.70	1.69	1.68	1.67	1.66	1.65	1.64	1.63	1.62	1.61	1.60	1.59	1.58	1.57	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.29	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.06	-0.07	-0.08	-0.09	-0.10	-0.11	-0.12	-0.13	-0.14	-0.15	-0.16	-0.17	-0.18	-0.19	-0.20	-0.21	-0.22	-0.23	-0.24	-0.25	-0.26	-0.27	-0.28	-0.29	-0.30	-0.31	-0.32	-0.33	-0.34	-0.35	-0.36	-0.37	-0.38	-0.39	-0.40	-0.41	-0.42	-0.43	-0.44	-0.45	-0.46	-0.47	-0.48	-0.49	-0.50	-0.51	-0.52	-0.53	-0.54	-0.55	-0.56	-0.57	-0.58	-0.59	-0.60	-0.61	-0.62	-0.63	-0.64	-0.65	-0.66	-0.67	-0.68	-0.69	-0.70	-0.71	-0.72	-0.73	-0.74	-0.75	-0.76	-0.77	-0.78	-0.79	-0.80	-0.81	-0.82	-0.83	-0.84	-0.85	-0.86	-0.87	-0.88	-0.89	-0.90	-0.91	-0.92	-0.93	-0.94	-0.95	-0.96	-0.97	-0.98	-0.99	-1.00
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

ESTADO DE LA MATERIA EN EL TABLERO DE LA LOSA EN EL CENTRO DE CURVATURA DEBAJO DEL TABLERO

TIEMPO = 19.00 HORAS
 TEMPERATURA AMBIENTE = 32.50 GRADOS

ENERGIA GANADA (+), POR TEMPERATURA EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = -205.67 (W/M²)
 ENERGIA GANADA (+), POR TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR EN UNA HORA = 65.16 (W/M²)
 ENERGIA GANADA (+), POR RADIACION EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = 274.98 (W/M²)
 ENERGIA TOTAL GANADA (+) POR EL TABLERO EN UNA HORA = 134.37 (W/M²)

40.20	39.39	38.81
37.39	35.71	34.87
32.94	31.05	30.13
28.34	26.65	25.13
24.42	23.16	22.56
21.54	20.70	20.36
19.76	19.54	19.19
19.00	18.95	18.99
19.15	19.45	19.64
20.11	20.69	21.02
21.72	22.53	22.96
23.81	24.70	25.14
26.01		

TEMPERATURA = I C A Z DEL PUENTE = 25.09

TEMPERATURA EN LA CARA SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE INTENSIDAD 13.10
 TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE INTENSIDAD 17.63

DEVIACION INFERIOR UNIFORME DEL TABLERO = 0.001096774. (+ = ALARGAMIENTO)
 CURVATURA DEL TABLERO = 0.0025698(+ = ALARGAMIENTO EN FIBRA SUPERIOR -> CENTRO DE CURVATURA DEBAJO DEL TABLERO)

2.13	2.11	2.05	1.95	1.73	1.52	1.34	1.15	0.9
0.75	0.56	0.35	0.27	0.20	0.15	0.11	0.07	0.04
-1.00	-1.12	-1.23	-1.33	-1.43	-1.52	-1.59	-1.64	-1.67
-1.50	-1.59	-1.66	-1.73	-1.79	-1.84	-1.88	-1.91	-1.93
-2.28	-2.35	-2.43	-2.50	-2.57	-2.63	-2.68	-2.72	-2.75
-3.00	-3.09	-3.19	-3.28	-3.37	-3.45	-3.52	-3.58	-3.63
-3.59	-3.70	-3.80	-3.90	-4.00	-4.09	-4.17	-4.25	-4.32

DEVIACION INFERIOR UNIFORME DEL TABLERO = 0.001096774. (+ = ALARGAMIENTO)

TIEMPO = 20.00 HORAS
 TEMPERATURA AMBIENTE = 30.72 GRADOS

ENERGIA GANADA (+) POR TEMPERATURA EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = -173.45 (W/M²)
 ENERGIA GANADA (+) POR TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR EN UNA HORA = 52.23 (W/M²)
 ENERGIA GANADA (+) POR RADIACION EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = 124.50 (W/M²)
 ENERGIA TOTAL GANADA (+) POR EL TABLERO EN UNA HORA = 63.28 (W/M²)

36.71	36.93	35.82	36.59
35.79	35.27	34.58	34.03
32.62	31.87	31.10	30.33
28.79	28.04	27.30	26.59
25.24	24.61	24.07	23.46
22.46	22.02	21.61	21.25
20.64	20.40	20.19	20.02
19.80	19.74	19.72	19.77
19.85	19.96	20.09	20.45
20.67	20.92	21.14	21.77
22.10	22.43	22.79	23.14
23.87	24.24	24.61	24.97
25.85			25.32

TEMPERATURA = F I C A Z DEL PUNTO = 25.25

TEMPERATURA EN SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 32.47
 TEMPERATURA EN SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 18.03

DEVIACION LINEARIA UNIFORME DEL TABLERO = 0.00102514/M. (+ = ALARGAMIENTO)
 DEVIACION DEL TABLERO = 0.0022076(+ = ALARGAMIENTO EN FICHA SUPERIOR => CENTRO DE CURVATURA DEBAJO DEL TA-L-40)

1.33	1.41	1.45	1.45	1.27	1.17	1.09
0.77	0.81	0.89	0.90	0.82	0.82	0.87
0.73	0.64	0.54	0.44	0.20	0.31	0.34
1.38	1.36	1.17	1.04	0.82	0.82	0.82
0.40	0.74	0.87	0.83	0.82	0.82	0.82
0.50	0.67	0.85	0.83	0.82	0.82	0.82
0.29						
0.29						

TIEMPO = 21.00 HORAS
 TEMPERATURA AMBIENTE = 28.97 GRADOS

ENERGIA GANADA (+) POR TEMPERATURA EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = -137.35 (W/M²)
 ENERGIA GANADA (+) POR TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR EN UNA HORA = 51.15 (W/M²)
 ENERGIA GANADA (+) POR RADIACION EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = 102.67 (W/M²)
 ENERGIA TOTAL GANADA (+) POR EL TABLERO EN UNA HORA = 16.47 (W/M²)

33.95	34.11	34.15	34.09
33.64	33.30	32.89	32.43
31.91	30.77	30.16	29.54
28.90	27.64	27.02	26.41
25.82	24.71	24.19	23.70
23.24	22.43	22.07	21.75
21.46	21.00	20.82	20.67
20.56	20.45	20.44	20.46
20.51	20.59	20.70	20.99
21.17	21.38	21.60	22.10
22.37	22.05	22.94	23.54
23.84	24.13	24.24	24.96
25.20			

TEMPERATURA EN BORDE SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 31.56
 TEMPERATURA EN BORDE INFERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 18.97

DILATACION UNITARIA UNIFORME DEL TABLERO = .00010265M./M. (* = ALARGAMIENTO)
 CURVATURA DEL TABLERO = .00027991(* = ALARGAMIENTO EN FIBRA SUPERIOR => CENTRO DE CURVATURA DEBAJO DEL TABLERO)

.63	.78	.97	1.01	1.02	1.00	.96	.83
.73	.63	.40	.27	.15	.02	-.11	-.35
-.40	-.57	-.76	-.85	-.92	-.99	-1.04	-1.12
-1.14	-1.15	-1.15	-1.13	-1.10	-1.06	-1.01	-.88
-.80	-.71	-.52	-.40	-.28	-.16	-.03	.25
.39	.54	.69	.84	.89	1.15	1.45	1.73
1.27							

ENERGIA SANADA (+), POR TEMPERATURA EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = -105.86 (W/M**2)
 ENERGIA SANADA (+), POR TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR EN UNA HORA = 25.74 (W/M**2)
 ENERGIA SANADA (+), POR RADIACION EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = 42.21 (W/M**2)
 ENERGIA TOTAL SANADA (+) POR EL TABLERO EN UNA HORA = -35.73 (W/M**2)

TIEMPO = 21.00 HRS.
 TEMPERATURA AMBIENTE = 27.01 GRADUS

33.95	34.11	34.15	34.09	31.19	31.23	31.77	31.77
33.64	33.30	32.89	32.43	31.84	31.85	31.54	31.54
31.91	30.77	30.16	29.54	30.87	30.87	29.70	29.70
28.90	27.64	27.02	26.41	28.23	27.71	27.20	27.20
25.82	24.71	24.19	23.70	25.86	25.23	24.74	24.74
23.24	22.43	22.07	21.75	23.61	22.71	22.21	22.21
21.46	21.00	20.82	20.67	21.46	21.74	21.74	21.74
20.56	20.45	20.44	20.46				
20.51	20.59	20.70	20.99				
21.17	21.38	21.60	22.10				
22.37	22.05	22.94	23.54				
23.84	24.13	24.24	24.96				
25.20							

21.09
21.47
22.36
23.50
24.53

21.09
21.35
22.15
23.26
24.35

21.12
21.25
21.96
23.03
24.16

21.19
21.17
21.78
22.80
23.95

21.29
21.12
21.62
22.53
23.72
24.69

TEMPERATURA F = I - A Z DEL PUENTE = 25.17

TEMPERATURA EN BORDE SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 30.49
TEMPERATURA EN BORDE INFERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 19.84

DILATACION UNITARIA UNIFORME DEL TABLERO = .00010169M./M. (+ = ALARGAMIENTO)
CURVATURA DEL TABLERO = .000177(+ = ALARGAMIENTO EN FIBRA SUPERIOR => CENTRO DE CURVATURA DEBAJO DEL TABLERO)

TENSIONES DE AUTOTENSION EN LA SECCION (MEGAPASCAL) (+) = COMPRESION	
.07	.74
.26	.75
.54	.70
.82	.54
.61	.37
.34	.27
.51	.17
.37	.07
.50	-.03
.58	-.77
.82	-.72
.93	-.85
.92	-.88
.84	-.84
.45	-.36
.27	-.17
.78	-.06
.05	.17
.90	.05
.92	1.13
.74	.74
.13	-.03
.86	-.82
.74	-.84
.17	-.06
.35	1.25

TIEMPO = 23.00 HORAS
TEMPERATURA AMBIENTE = 25.15 GRADOS

ENERGIA SENSIBLE (+) POR TEMPERATURA EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = -57.51 (W/M²)
ENERGIA SENSIBLE (+) POR TEMPERATURA EN LA CARA INFERIOR EN UNA HORA = 14.46 (W/M²)
ENERGIA SENSIBLE (+) POR RADIACION EN LA CARA SUPERIOR EN UNA HORA = 7.66 (W/M²)
ENERGIA TOTAL SENSIBLE (+) DEL TABLERO EN UNA HORA = -63.27 (W/M²)

27.51
30.07
28.72
26.76
25.11
23.07
22.06

27.03
30.14
29.06
27.16
25.11
23.36
22.13

29.31
30.17
29.36
27.57
25.50
23.67
22.37

26.02
30.17
29.62
27.07
25.91
24.00
22.59

26.52
30.06
29.82
28.36
26.33
24.36
22.87

TEMPERATURA F = I - A Z DEL PUENTE = 25.00

TEMPERATURA EN BORDE SUPERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 23.42
 TEMPERATURA EN BORDE INFERIOR DE LA LOSA EN DIAGRAMA DE AUTOTENSION 20.59

DILATACION UNITARIA UNIFORME DEL TABLERO = .00010004M./M. (+ = ALARGAMIENTO)
 CURVATURA DEL TABLERO = .00014710(+ = ALARGAMIENTO EN FIBRA SUPERIOR => CENTRO DE CURVATURA DEBAJO DEL TABLERO)

TENSIONES DE AUTOTENSION EN LA SECCION (MEGAPASCALAS) (+ = COMPRESION)										
1	-.32	-.12	.36	.20	.32	.42	.49	.54	.57	.55
2	.57	.55	.51	.47	.41	.36	.27	.20	.14	.04
3	-.04	-.12	-.20	-.29	-.35	-.42	-.48	-.53	-.58	-.62
4	-.66	-.68	-.70	-.71	-.71	-.71	-.59	-.67	-.64	-.61
5	-.56	-.51	-.45	-.39	-.32	-.24	-.16	-.08	.01	.10
6	.20	.29	.38	.48	.57	.67	.75	.84	.91	.99
7	1.06									

ANEXO 4

FICHERO DE DATOS DEL PROGRAMA CAL2D

4.6.80,5.50,1.30,0.40,0.50,0.20,0.20,2.20,0.1,0.1
1.29 1004 0.24 0.24
2400 960 1.3 1.3
2400 960 1.4 1.4
1.29 1004 0.24 0.24
6,20,4,9000,-100
20,10,15
35,15,3,15
0.200000000,1
11
15
16
17
18
19
20
21
43
44
69
70

22.6	15.8	15.1	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
22.6	15.8	15.1	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
22.6	15.9	15.2	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1
22.6	16.5	15.9	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8
22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6
22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6

TIEMPO =10.00 HORAS
 TEMPERATURA = 25.00 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = 951.84 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .4783
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6
18.3	18.1	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
17.0	15.9	15.5	15.4	15.4	15.4	15.5	15.4	15.4	15.4	15.4
25.0	16.6	15.3	15.1	15.1	15.1	15.2	15.1	15.1	15.1	15.1
25.0	16.7	15.3	15.0	15.0	15.0	15.1	15.0	15.0	15.0	15.0
25.0	16.7	15.3	15.0	15.0	15.0	15.1	15.0	15.0	15.0	15.0
25.0	16.7	15.3	15.0	15.0	15.0	15.1	15.0	15.0	15.0	15.0
25.0	16.7	15.3	15.0	15.0	15.0	15.1	15.0	15.0	15.0	15.0
25.0	16.7	15.3	15.0	15.0	15.0	15.1	15.0	15.0	15.0	15.0
25.0	16.8	15.3	15.0	15.0	15.0	15.1	15.0	15.0	15.0	15.0
25.0	16.8	15.3	15.1	15.0	15.0	15.2	15.0	15.0	15.0	15.0
25.0	17.0	15.6	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3
25.0	18.1	17.0	16.8	16.8	16.7	16.8	16.7	16.7	16.7	16.7
25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0

TIEMPO =11.00 HORAS
 TEMPERATURA = 27.07 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = 1160.15 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .3229
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1
42.7	42.6	42.6	42.6	42.6	42.6	42.6	42.6	42.6	42.6	42.6
21.7	21.4	21.3	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2
18.5	17.0	16.3	16.2	16.2	16.2	16.3	16.2	16.2	16.2	16.2
27.1	17.5	15.7	15.3	15.2	15.2	15.7	15.2	15.2	15.2	15.2
27.1	17.7	15.6	15.1	15.0	15.0	15.4	15.0	15.0	15.0	15.0
27.1	17.7	15.6	15.1	15.0	15.0	15.3	15.0	15.0	15.0	15.0

27.1	17.7	15.6	15.1	15.0	15.0	15.2	15.0	15.0	15.0	15.0
27.1	17.7	15.6	15.1	15.0	15.0	15.2	15.0	15.0	15.0	15.0
27.1	17.7	15.6	15.1	15.0	15.0	15.3	15.0	15.0	15.0	15.0
27.1	17.8	15.7	15.2	15.1	15.1	15.4	15.1	15.1	15.1	15.1
27.1	18.2	16.2	15.7	15.6	15.6	15.7	15.6	15.6	15.6	15.6
27.1	19.7	18.2	17.8	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7
27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1
27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1

TIEMPO =12.00 HORAS
 TEMPERATURA = 28.66 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = 1245.43 W/m²
 ERROR TOTAL EN LA ITERACCION = .6057
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7
51.8	51.7	51.6	51.6	51.6	51.6	51.6	51.6	51.6	51.6	51.6
25.9	25.5	25.2	25.2	25.1	25.1	25.2	25.1	25.1	25.1	25.1
20.5	18.5	17.7	17.4	17.3	17.4	17.6	17.4	17.3	17.4	17.3
28.7	18.5	16.2	15.6	15.5	15.5	16.5	15.5	15.5	15.5	15.5
28.7	18.6	16.0	15.3	15.1	15.1	15.9	15.1	15.1	15.1	15.1
28.7	18.7	16.0	15.2	15.1	15.0	15.6	15.0	15.0	15.0	15.0
28.7	18.7	16.0	15.2	15.0	15.0	15.5	15.0	15.0	15.0	15.0
28.7	18.7	16.0	15.2	15.0	15.0	15.4	15.0	15.0	15.0	15.0
28.7	18.7	16.0	15.2	15.1	15.0	15.4	15.0	15.0	15.0	15.0
28.7	18.7	16.0	15.3	15.1	15.1	15.5	15.1	15.0	15.1	15.0
28.7	18.8	16.2	15.5	15.3	15.3	15.7	15.3	15.2	15.3	15.2
28.7	19.3	16.9	16.2	16.1	16.0	16.2	16.0	16.0	16.0	16.0
28.7	21.2	19.3	18.8	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7
28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7
28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7

TIEMPO =13.00 HORAS
 TEMPERATURA = 29.66 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = 1188.13 W/m²
 ERROR TOTAL EN LA ITERACCION = .2302
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7
58.6	58.5	58.4	58.4	58.3	58.3	58.4	58.3	58.3	58.3	58.3
30.4	29.8	29.5	29.3	29.3	29.3	29.4	29.3	29.3	29.3	29.3
22.8	20.5	19.4	19.0	18.9	18.9	19.5	18.9	18.8	18.9	18.8
29.7	19.6	17.0	16.2	15.9	16.0	17.6	16.0	15.9	16.0	15.9
29.7	19.6	16.5	15.5	15.2	15.2	16.5	15.2	15.2	15.2	15.2

29.7	19.6	16.5	15.4	15.1	15.1	16.0	15.1	15.0	15.1	15.0
29.7	19.6	16.4	15.4	15.1	15.1	15.8	15.0	15.0	15.0	15.0
29.7	19.6	16.4	15.4	15.1	15.1	15.7	15.0	15.0	15.0	15.0
29.7	19.6	16.5	15.4	15.1	15.1	15.6	15.1	15.0	15.1	15.0
29.7	19.6	16.5	15.5	15.2	15.1	15.8	15.1	15.1	15.1	15.1
29.7	19.8	16.8	15.7	15.5	15.4	16.1	15.4	15.4	15.4	15.4
29.7	20.5	17.7	16.8	16.5	16.5	16.7	16.5	16.5	16.5	16.5
29.7	22.6	20.5	19.8	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6
29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7
29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7

TIEMPO =14.00 HORAS
 TEMPERATURA = 30.00 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = 1001.36 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .0589
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
62.2	62.0	61.8	61.8	61.8	61.8	61.8	61.8	61.8	61.8	61.8
34.5	33.8	33.4	33.2	33.1	33.1	33.3	33.1	33.1	33.1	33.1
25.2	22.7	21.4	20.8	20.7	20.8	21.7	20.8	20.6	20.9	20.6
30.0	20.8	17.9	16.9	16.6	16.6	18.9	16.6	16.5	16.6	16.5
30.0	20.4	17.1	15.9	15.5	15.5	17.3	15.5	15.4	15.5	15.4
30.0	20.3	16.9	15.6	15.2	15.2	16.6	15.2	15.1	15.2	15.1
30.0	20.3	16.9	15.6	15.2	15.1	16.2	15.1	15.0	15.1	15.0
30.0	20.3	16.9	15.6	15.2	15.1	16.0	15.1	15.0	15.1	15.0
30.0	20.4	16.9	15.6	15.2	15.1	15.9	15.1	15.1	15.1	15.1
30.0	20.4	17.0	15.7	15.3	15.2	16.1	15.2	15.2	15.2	15.2
30.0	20.7	17.4	16.1	15.7	15.7	16.5	15.6	15.6	15.6	15.6
30.0	21.5	18.5	17.4	17.0	17.0	17.3	17.0	16.9	17.0	16.9
30.0	23.7	21.5	20.7	20.4	20.4	20.5	20.4	20.4	20.4	20.4
30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0

TIEMPO =15.00 HORAS
 TEMPERATURA = 29.66 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = 727.97 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .0385
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7
62.1	61.8	61.7	61.6	61.6	61.6	61.6	61.6	61.6	61.6	61.6
37.9	37.1	36.5	36.2	36.1	36.2	36.4	36.2	36.1	36.2	36.1

29.7	21.9	19.0	17.8	17.4	17.5	20.4	17.4	17.3	17.4	17.3
29.7	21.1	17.7	16.3	15.8	15.8	18.3	15.8	15.6	15.8	15.6
29.7	21.0	17.4	15.9	15.4	15.3	17.2	15.3	15.2	15.3	15.2
29.7	21.0	17.4	15.8	15.3	15.2	16.6	15.1	15.1	15.1	15.1
29.7	21.0	17.4	15.8	15.3	15.2	16.4	15.1	15.0	15.1	15.0
29.7	21.0	17.4	15.8	15.3	15.2	16.3	15.1	15.1	15.1	15.1
29.7	21.1	17.5	16.0	15.5	15.4	16.5	15.3	15.3	15.3	15.3
29.7	21.4	18.0	16.5	16.0	15.9	17.0	15.9	15.8	15.9	15.8
29.7	22.3	19.3	18.0	17.6	17.5	17.9	17.5	17.4	17.5	17.4
29.7	24.5	22.3	21.4	21.1	21.0	21.1	21.0	21.0	21.0	21.0
29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7
29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7

TIEMPO =16.00 HORAS
 TEMPERATURA = 28.86 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = 430.53 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .1212
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7
58.8	58.5	58.3	58.2	58.1	58.1	58.2	58.1	58.1	58.1	58.1
40.1	39.2	38.5	38.2	38.1	38.2	38.5	38.1	38.0	38.1	38.0
29.5	27.0	25.4	24.6	24.4	24.7	26.3	24.7	24.3	24.7	24.3
28.7	22.9	20.1	18.8	18.4	18.5	22.0	19.4	18.2	18.4	18.2
28.7	21.7	18.4	16.8	16.2	16.2	19.3	16.1	16.0	16.1	16.0
28.7	21.4	17.9	16.2	15.6	15.5	17.9	15.4	15.3	15.4	15.3
28.7	21.4	17.8	16.1	15.4	15.3	17.1	15.2	15.1	15.2	15.1
28.7	21.4	17.8	16.1	15.4	15.3	16.8	15.2	15.1	15.2	15.1
28.7	21.4	17.8	16.1	15.4	15.3	16.7	15.2	15.1	15.2	15.1
28.7	21.5	18.0	16.3	15.7	15.6	16.8	15.5	15.4	15.5	15.4
28.7	21.9	18.6	17.0	16.4	16.2	17.4	16.2	16.1	16.2	16.1
28.7	22.9	20.0	18.6	18.1	18.0	18.5	18.0	17.8	18.0	17.8
28.7	24.9	22.9	21.9	21.6	21.5	21.6	21.5	21.4	21.5	21.4
28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7
28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7

TIEMPO =17.00 HORAS
 TEMPERATURA = 27.07 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = 177.20 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .1290
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1
53.3	52.9	52.7	52.6	52.5	52.5	52.6	52.5	52.5	52.5	52.5

41.0	40.0	39.3	39.9	38.8	38.9	39.4	38.9	38.7	38.9	38.7
31.0	28.7	27.1	26.3	26.0	26.4	28.4	26.4	25.9	26.4	25.9
27.1	23.7	21.2	19.8	19.4	19.5	23.5	19.4	19.1	19.4	19.1
27.1	22.1	19.0	17.4	16.7	16.7	20.2	16.6	16.4	16.6	16.4
27.1	21.7	18.4	16.6	15.8	15.8	18.5	15.6	15.5	15.6	15.5
27.1	21.6	18.2	16.3	15.6	15.5	17.6	15.3	15.2	15.3	15.2
27.1	21.6	18.2	16.3	15.5	15.4	17.2	15.2	15.1	15.2	15.1
27.1	21.6	18.2	16.4	15.6	15.5	17.0	15.3	15.2	15.3	15.2
27.1	21.8	18.5	16.7	15.9	15.8	17.2	15.6	15.5	15.6	15.5
27.1	22.2	19.1	17.4	16.7	16.6	17.9	16.4	16.3	16.4	16.3
27.1	23.2	20.6	19.1	18.5	18.5	19.0	18.4	18.2	18.4	18.2
27.1	24.9	23.2	22.2	21.8	21.7	21.9	21.7	21.6	21.7	21.6
27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1
27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1

TIEMPO =18.00 HORAS
 TEMPERATURA = 25.00 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = 26.01 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .0981
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
47.0	46.7	46.4	46.3	46.2	46.3	46.4	46.2	46.2	46.2	46.2
40.7	39.8	39.0	38.6	38.5	38.7	39.2	38.6	38.4	38.6	38.4
31.9	29.9	28.4	27.5	27.3	27.8	30.0	27.7	27.1	27.7	27.1
25.0	24.3	22.2	20.9	20.4	20.5	24.7	20.4	20.0	20.4	20.0
25.0	22.3	19.6	18.0	17.3	17.3	21.1	17.1	16.9	17.1	16.9
25.0	21.7	18.8	16.9	16.2	16.1	19.1	15.9	15.7	15.9	15.7
25.0	21.6	18.5	16.6	15.8	15.7	18.1	15.5	15.3	15.5	15.3
25.0	21.5	18.5	16.6	15.7	15.6	17.5	15.3	15.2	15.3	15.2
25.0	21.6	18.6	16.7	15.8	15.6	17.4	15.4	15.3	15.4	15.3
25.0	21.8	18.8	17.0	16.2	16.0	17.6	15.8	15.6	15.8	15.6
25.0	22.2	19.5	17.8	17.0	16.9	18.3	16.7	16.6	16.7	16.6
25.0	23.2	21.0	19.5	18.9	18.9	19.5	18.7	18.5	18.7	18.5
25.0	24.6	23.2	22.3	21.8	21.7	21.9	21.7	21.6	21.7	21.6
25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0

TIEMPO =19.00 HORAS
 TEMPERATURA = 22.59 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = -13.33 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .0743
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6
41.5	41.2	40.9	40.7	40.7	40.7	40.9	40.7	40.6	40.7	40.6	40.6
39.6	38.8	38.0	37.5	37.4	37.7	38.4	37.6	37.3	37.6	37.3	37.3
32.1	30.6	29.2	28.4	28.1	28.7	31.2	28.6	27.9	28.6	27.9	27.9
22.6	24.6	23.0	21.8	21.3	21.5	25.7	21.3	20.9	21.3	20.9	20.9
22.6	22.3	20.2	18.6	17.9	17.9	21.9	17.7	17.4	17.7	17.4	17.4
22.6	21.6	19.1	17.3	16.5	16.4	19.7	16.2	15.9	16.2	15.9	15.9
22.6	21.3	18.8	16.9	16.0	15.9	18.5	15.6	15.4	15.6	15.4	15.4
22.6	21.3	18.7	16.8	15.9	15.7	17.9	15.4	15.3	15.4	15.3	15.3
22.6	21.4	18.8	16.9	16.0	15.8	17.7	15.5	15.4	15.5	15.4	15.4
22.6	21.6	19.1	17.3	16.4	16.2	17.9	15.9	15.8	15.9	15.8	15.8
22.6	22.0	19.8	18.2	17.4	17.2	18.6	17.0	16.8	17.0	16.8	16.8
22.6	22.9	21.2	19.9	19.2	19.2	19.8	19.0	18.8	19.0	18.8	18.8
22.6	23.9	22.9	22.0	21.6	21.5	21.7	21.4	21.3	21.4	21.3	21.3
22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6
22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6

TIEMPO =20.00 HORAS
 TEMPERATURA = 20.00 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = -50.00 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .1740
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
36.9	36.5	36.2	36.0	36.0	36.1	36.3	36.0	35.9	36.0	35.9
38.1	37.3	36.6	36.1	36.0	36.3	37.1	36.2	35.9	36.2	35.9
31.8	30.8	29.7	28.9	28.6	29.3	32.0	29.2	28.4	29.2	28.4
20.0	24.6	23.7	22.6	22.1	22.4	26.5	22.2	21.7	22.2	21.7
20.0	22.1	20.6	19.2	18.5	18.5	22.5	18.3	17.9	18.3	17.9
20.0	21.2	19.4	17.7	16.9	16.8	20.2	16.5	16.2	16.5	16.2
20.0	20.9	18.9	17.2	16.3	16.1	18.9	15.8	15.5	15.8	15.5
20.0	20.8	18.8	17.1	16.1	15.9	18.2	15.6	15.4	15.6	15.4
20.0	20.9	18.9	17.2	16.3	16.0	18.0	15.7	15.5	15.7	15.5
20.0	21.1	19.3	17.6	16.7	16.5	18.2	16.1	16.0	16.1	16.0
20.0	21.6	20.0	18.5	17.7	17.5	18.9	17.2	17.0	17.2	17.0
20.0	22.4	21.2	20.0	19.4	19.3	20.0	19.1	18.9	19.1	18.9
20.0	22.9	22.4	21.6	21.2	21.1	21.3	21.0	20.9	21.0	20.9
20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0

TIEMPO =21.00 HORAS
 TEMPERATURA = 17.41 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = -50.00 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .9835
 ITERACION NUMERO 1

17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4
32.9	32.6	32.3	32.1	32.0	32.1	32.4	32.1	32.0	32.1	32.0
36.3	35.6	35.0	34.5	34.4	34.7	35.6	34.7	34.2	34.7	34.2
31.0	30.6	29.8	29.0	28.8	29.6	32.3	29.4	28.6	29.4	28.6
17.4	24.4	24.2	23.3	22.8	23.1	27.0	22.8	22.4	22.8	22.4
17.4	21.7	21.0	19.8	19.1	19.1	23.0	18.8	18.4	18.8	18.4
17.4	20.6	19.5	18.1	17.3	17.2	20.6	16.8	16.5	16.8	16.5
17.4	20.3	19.0	17.5	16.6	16.4	19.2	16.0	15.7	16.0	15.7
17.4	20.2	18.9	17.3	16.4	16.1	19.5	15.7	15.5	15.7	15.5
17.4	20.3	19.0	17.4	16.5	16.2	18.2	15.8	15.6	15.8	15.6
17.4	20.5	19.3	17.9	17.0	16.7	18.4	16.3	16.1	16.3	16.1
17.4	21.0	20.1	18.7	18.0	17.8	19.0	17.4	17.2	17.4	17.2
17.4	21.6	21.1	20.1	19.5	19.4	20.1	19.2	18.9	19.2	18.9
17.4	21.6	21.6	21.0	20.6	20.5	20.7	20.4	20.2	20.4	20.2
17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4
17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4

TIEMPO =22.00 HORAS
 TEMPERATURA = 15.00 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = -50.00 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .2837
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
29.6	29.3	29.0	28.8	28.8	28.9	29.2	28.8	28.7	28.8	28.7
34.3	33.8	33.3	32.8	32.8	33.1	34.1	33.1	32.6	33.1	32.6
29.9	30.1	29.5	28.9	28.8	29.6	32.3	29.4	28.5	29.4	28.5
15.0	23.9	24.4	23.8	23.4	23.7	27.3	23.4	22.9	23.4	22.9
15.0	21.2	21.2	20.2	19.6	19.7	23.4	19.3	18.9	19.3	18.9
15.0	20.0	19.6	18.4	17.7	17.6	20.9	17.1	16.8	17.1	16.8
15.0	19.6	19.0	17.7	16.8	16.7	19.5	16.2	15.9	16.2	15.9
15.0	19.5	18.8	17.5	16.6	16.4	18.7	15.8	15.6	15.8	15.6
15.0	19.5	18.9	17.6	16.7	16.5	18.4	15.9	15.7	15.9	15.7
15.0	19.8	19.3	18.0	17.2	17.0	18.6	16.5	16.3	16.5	16.3
15.0	20.2	20.0	18.9	18.2	18.0	19.1	17.5	17.4	17.5	17.4
15.0	20.6	20.8	20.0	19.4	19.4	20.0	19.1	18.8	19.1	18.8
15.0	20.2	20.6	20.2	19.9	19.8	20.0	19.6	19.5	19.6	19.5
15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0

TIEMPO =23.00 HORAS
 TEMPERATURA = 12.93 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = -50.00 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .2820
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9
26.6	26.4	26.2	26.0	25.9	26.1	26.4	26.1	25.9	26.1	25.9
32.3	32.0	31.5	31.2	31.1	31.6	32.6	31.5	31.0	31.5	31.0
28.6	29.3	29.1	28.7	28.6	29.4	32.0	29.2	28.3	29.2	28.3
12.9	23.3	24.5	24.1	23.8	24.1	27.4	23.8	23.3	23.8	23.3
12.9	20.5	21.3	20.6	20.1	20.2	23.6	19.8	19.4	19.8	19.4
12.9	19.3	19.6	18.7	18.1	18.0	21.2	17.5	17.2	17.5	17.2
12.9	18.8	18.9	17.9	17.1	17.0	19.7	16.4	16.1	16.4	16.1
12.9	18.6	18.7	17.6	16.8	16.6	18.9	16.0	15.8	16.0	15.8
12.9	18.7	18.8	17.7	16.9	16.7	18.6	16.1	15.9	16.1	15.9
12.9	18.9	19.1	18.2	17.4	17.2	18.7	16.6	16.4	16.6	16.4
12.9	19.3	19.7	19.0	18.3	18.1	19.1	17.6	17.5	17.6	17.5
12.9	19.6	20.3	19.9	19.3	19.3	19.8	18.9	18.7	18.9	18.7
12.9	18.8	19.6	19.3	19.0	19.0	19.2	18.8	18.6	18.8	18.6
12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9
12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9

TIEMPO = .00 HORAS
 TEMPERATURA = 11.34 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = -50.00 W/m²
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .7432
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
24.1	23.9	23.7	23.6	23.5	23.7	24.0	23.7	23.5	23.7	23.5
30.2	30.1	29.9	29.6	29.6	30.0	31.0	29.9	29.4	29.9	29.4
27.1	28.3	28.5	28.2	28.2	29.0	31.5	28.8	27.9	28.8	27.9
11.3	22.6	24.3	24.3	24.1	24.4	27.3	24.0	23.6	24.0	23.6
11.3	19.9	21.2	20.9	20.6	20.7	23.8	20.2	19.8	20.2	19.8
11.3	18.5	19.5	19.0	18.4	18.4	21.4	17.8	17.5	17.8	17.5
11.3	18.0	18.7	18.0	17.4	17.3	19.9	16.6	16.3	16.6	16.3
11.3	17.8	18.5	17.7	17.0	16.8	19.0	16.1	15.9	16.1	15.9
11.3	17.9	18.5	17.8	17.1	16.9	18.7	16.2	16.0	16.2	16.0
11.3	18.1	18.9	18.3	17.6	17.4	18.7	16.7	16.6	16.7	16.6
11.3	18.4	19.4	18.9	18.4	18.2	19.1	17.7	17.5	17.7	17.5
11.3	18.5	19.7	19.4	19.1	19.0	19.6	18.7	18.4	18.7	18.4
11.3	17.4	18.5	18.4	18.2	18.2	18.4	18.0	17.8	18.0	17.8
11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3

TIEMPO = 1.00 HORAS
 TEMPERATURA = 10.34 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = -50.00 W/m²
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .4642
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
21.9	21.8	21.6	21.5	21.5	21.7	22.0	21.6	21.4	21.6	21.4
28.3	28.4	28.3	28.1	28.1	28.6	28.6	28.5	28.0	28.5	28.0
25.7	27.2	27.7	27.6	27.7	29.5	30.9	28.3	27.4	28.3	27.4
10.3	21.9	24.1	24.3	24.3	24.6	27.1	24.2	23.7	24.2	23.7
10.3	19.2	21.1	21.2	20.9	21.1	23.8	20.5	20.2	20.5	20.2
10.3	17.9	19.4	19.2	18.8	18.8	21.5	18.1	17.8	18.1	17.8
10.3	17.3	18.5	18.2	17.6	17.6	20.0	16.8	16.6	16.8	16.6
10.3	17.1	18.2	17.8	17.2	17.1	19.1	16.3	16.1	16.3	16.1
10.3	17.1	18.3	17.9	17.3	17.1	18.7	16.3	16.2	16.3	16.2
10.3	17.3	18.6	18.3	17.7	17.5	18.7	16.8	16.7	16.8	16.7
10.3	17.5	19.0	18.8	18.4	18.3	18.9	17.7	17.5	17.7	17.5
10.3	17.4	19.0	19.0	18.8	18.8	19.2	18.4	18.1	18.4	18.1
10.3	16.1	17.4	17.6	17.4	17.4	17.6	17.2	17.0	17.2	17.0
10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3

TIEMPO = 2.00 HORAS
 TEMPERATURA = 10.00 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = -50.00 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .3353
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
20.0	20.0	19.9	19.8	19.8	20.0	20.4	20.0	19.8	20.0	19.8
26.4	26.7	26.7	26.6	26.7	27.2	28.2	27.1	26.6	27.1	26.6
24.2	26.0	26.9	27.0	27.2	28.0	30.2	27.8	26.9	27.8	26.9
10.0	21.2	23.7	24.2	24.3	24.7	26.8	24.2	23.8	24.2	23.8
10.0	18.6	20.9	21.3	21.2	21.4	23.8	20.8	20.5	20.8	20.5
10.0	17.3	19.2	19.3	19.1	19.1	21.6	18.4	18.1	18.4	18.1
10.0	16.6	18.3	18.2	17.9	17.8	20.1	17.0	16.8	17.0	16.8
10.0	16.4	17.9	17.8	17.4	17.3	19.2	16.5	16.3	16.5	16.3
10.0	16.4	18.0	17.9	17.4	17.3	18.7	16.5	16.3	16.5	16.3
10.0	16.6	18.2	18.2	17.8	17.7	18.7	16.9	16.8	16.9	16.8
10.0	16.7	18.5	18.7	18.4	18.2	18.7	17.6	17.5	17.6	17.5
10.0	16.5	18.3	18.6	18.4	18.4	18.8	18.0	17.8	18.0	17.8
10.0	15.1	16.5	16.8	16.7	16.7	16.9	16.5	16.3	16.5	16.3
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0

TIEMPO = 3.00 HORAS
 TEMPERATURA = 10.34 GRADOS

ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .1795
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
18.5	18.6	18.5	18.5	18.5	18.7	19.1	19.7	18.5	18.7	18.5
24.7	25.1	25.3	25.3	25.5	26.0	26.9	25.9	25.4	25.9	25.4
23.0	24.9	26.0	26.3	26.6	27.4	29.4	27.1	26.3	27.1	26.3
10.3	20.6	23.3	24.1	24.3	24.6	26.5	24.2	23.8	24.2	23.8
10.3	18.2	20.7	21.4	21.4	21.6	23.7	21.0	20.7	21.0	20.7
10.3	16.8	19.0	19.4	19.3	19.4	21.6	18.7	18.4	18.7	18.4
10.3	16.2	18.0	18.3	18.1	18.1	20.1	17.3	17.0	17.3	17.0
10.3	15.9	17.7	17.9	17.6	17.5	19.2	16.6	16.4	16.6	16.4
10.3	15.9	17.7	17.9	17.6	17.5	18.7	16.6	16.4	16.6	16.4
10.3	16.0	17.9	18.1	17.9	17.8	18.6	17.0	16.8	17.0	16.8
10.3	16.1	18.1	18.4	18.3	18.2	18.5	17.5	17.4	17.5	17.4
10.3	15.8	17.7	18.1	18.1	18.1	18.4	17.7	17.5	17.7	17.5
10.3	14.3	15.8	16.2	16.2	16.2	16.4	16.0	15.8	16.0	15.8
10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3

TIEMPO = 4.00 HORAS
 TEMPERATURA = 11.34 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = -50.20 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .0689
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
17.4	17.5	17.5	17.6	17.6	17.9	18.2	17.8	17.6	17.8	17.6
23.2	23.7	24.0	24.2	24.4	24.9	25.8	24.8	24.3	24.8	24.3
21.9	23.9	25.1	25.6	25.9	26.7	28.5	26.5	25.7	26.5	25.7
11.3	20.1	22.9	23.8	24.1	24.5	26.0	24.1	23.7	24.1	23.7
11.3	17.9	20.5	21.4	21.6	21.8	23.5	21.2	20.9	21.2	20.9
11.3	16.6	18.8	19.5	19.5	19.6	21.6	18.9	18.6	18.9	18.6
11.3	15.9	17.8	18.3	18.3	18.3	20.1	17.5	17.2	17.5	17.2
11.3	15.6	17.4	17.8	17.7	17.7	19.2	16.8	16.6	16.8	16.6
11.3	15.6	17.4	17.8	17.7	17.6	18.7	16.7	16.5	16.7	16.5
11.3	15.7	17.5	18.0	17.9	17.8	18.5	17.0	16.9	17.0	16.9
11.3	15.7	17.6	18.2	18.1	18.1	18.3	17.4	17.3	17.4	17.3
11.3	15.3	17.1	17.7	17.7	17.8	17.9	17.3	17.2	17.3	17.2
11.3	14.0	15.3	15.7	15.8	15.9	16.0	15.6	15.5	15.6	15.5
11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3

TIEMPO = 5.00 HORAS

TEMPERATURA = 12.93 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = -48.24 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .1192
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9
16.8	16.9	17.0	17.0	17.1	17.4	17.7	17.3	17.1	17.3	17.1
21.8	22.5	22.9	23.1	23.4	23.9	24.8	23.8	23.3	23.8	23.3
21.0	22.9	24.2	24.9	25.3	26.1	27.7	25.9	25.1	25.9	25.1
12.9	19.8	22.4	23.5	23.9	24.3	25.6	24.0	23.6	24.0	23.6
12.9	17.8	20.3	21.3	21.6	21.9	23.4	21.3	21.1	21.3	21.1
12.9	16.5	18.6	19.5	19.7	19.9	21.5	19.1	18.9	19.1	18.9
12.9	15.8	17.7	18.3	18.4	18.5	20.1	17.7	17.4	17.7	17.4
12.9	15.6	17.2	17.3	17.8	17.9	19.2	16.9	16.8	16.9	16.8
12.9	15.5	17.2	17.7	17.7	17.7	18.7	16.8	16.7	16.8	16.7
12.9	15.5	17.2	17.9	17.9	17.9	18.4	17.0	16.9	17.0	16.9
12.9	15.5	17.2	17.9	18.0	18.0	18.0	17.3	17.2	17.3	17.2
12.9	15.0	16.6	17.3	17.4	17.5	17.6	17.1	16.9	17.1	16.9
12.9	14.0	15.1	15.6	15.7	15.7	15.8	15.5	15.4	15.5	15.4
12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9
12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9	12.9

TIEMPO = 6.00 HORAS
 TEMPERATURA = 15.00 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = -46.27 W/m2
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .2392
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
16.5	16.7	16.8	16.9	17.0	17.3	17.6	17.2	17.0	17.2	17.0
20.8	21.4	22.0	22.3	22.6	23.1	24.0	23.0	22.6	23.0	22.6
20.4	22.1	23.4	24.2	24.7	25.4	26.9	25.2	24.6	25.2	24.6
15.0	19.7	22.0	23.2	23.7	24.1	25.1	23.8	23.4	23.8	23.4
15.0	17.9	20.1	21.2	21.7	22.0	23.1	21.4	21.2	21.4	21.2
15.0	16.7	18.5	19.5	19.8	20.0	21.4	19.3	19.1	19.3	19.1
15.0	16.0	17.6	18.3	18.6	18.7	20.1	17.8	17.6	17.8	17.6
15.0	15.7	17.1	17.8	17.9	18.0	19.2	17.1	16.9	17.1	16.9
15.0	15.6	17.0	17.7	17.8	17.8	18.6	16.9	16.8	16.9	16.8
15.0	15.6	17.0	17.7	17.8	17.9	19.2	17.0	16.9	17.0	16.9
15.0	15.5	16.9	17.6	17.8	17.8	17.8	17.2	17.1	17.2	17.1
15.0	15.1	16.3	17.0	17.2	17.3	17.3	16.8	16.7	16.8	16.7
15.0	14.4	15.1	15.6	15.8	15.8	15.9	15.6	15.5	15.6	15.5
15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0

TIEMPO = 7.00 HORAS
 TEMPERATURA = 17.41 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = -44.31 W/m²
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .3412
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4
16.6	16.8	17.0	17.1	17.3	17.5	17.9	17.5	17.3	17.5	17.3
20.0	20.7	21.2	21.6	22.0	22.5	23.3	22.4	22.0	22.4	22.0
20.1	21.5	22.7	23.5	24.1	24.8	26.1	24.6	24.1	24.6	24.1
17.4	19.7	21.7	22.8	23.4	23.9	24.6	23.5	23.2	23.5	23.2
17.4	18.2	20.0	21.1	21.6	22.0	22.9	21.4	21.2	21.4	21.2
17.4	17.1	18.5	19.5	19.9	20.1	21.3	19.4	19.3	19.4	19.3
17.4	16.4	17.6	18.4	18.7	18.8	20.1	18.0	17.8	18.0	17.8
17.4	16.1	17.1	17.8	18.0	18.1	19.2	17.2	17.1	17.2	17.1
17.4	16.0	16.9	17.6	17.8	17.9	18.6	17.0	16.9	17.0	16.9
17.4	16.0	16.9	17.6	17.8	17.8	18.2	17.0	17.0	17.0	17.0
17.4	15.8	16.7	17.4	17.7	17.7	17.7	17.1	17.0	17.1	17.0
17.4	15.5	16.2	16.8	17.0	17.1	17.1	16.7	16.6	16.7	16.6
17.4	15.1	15.5	15.9	16.1	16.2	16.2	15.9	15.8	15.9	15.8
17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4
17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4

TIEMPO = 8.00 HORAS
 TEMPERATURA = 20.00 GRADOS
 RADIACION INSTANTANEA = -42.35 W/m²
 ERROR TOTAL EN LA ITERACION = .4183
 ITERACION NUMERO 2

(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(43)	(44)	(69)	(70)
20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
17.1	17.3	17.5	17.7	17.8	18.1	18.4	18.1	17.9	18.1	17.9
19.5	20.1	20.7	21.2	21.6	22.1	22.8	22.0	21.6	22.0	21.6
20.0	21.0	22.1	23.0	23.6	24.3	25.4	24.1	23.6	24.1	23.6
20.0	19.9	21.4	22.5	23.1	23.6	24.2	23.3	23.0	23.3	23.0
20.0	18.7	19.9	21.0	21.6	21.9	22.7	21.4	21.3	21.4	21.3
20.0	17.6	18.6	19.5	20.0	20.2	21.2	19.6	19.4	19.6	19.4
20.0	17.0	17.6	18.4	18.8	19.0	20.0	18.2	18.0	18.2	18.0
20.0	16.7	17.1	17.8	18.1	18.2	19.1	17.4	17.2	17.4	17.2
20.0	16.5	17.0	17.5	17.8	17.9	18.5	17.1	17.0	17.1	17.0
20.0	16.5	16.9	17.5	17.7	17.8	18.1	17.0	17.0	17.0	17.0
20.0	16.3	16.7	17.3	17.5	17.6	17.6	17.0	16.9	17.0	16.9
20.0	16.1	16.2	16.7	17.0	17.1	17.0	16.7	16.6	16.7	16.6
20.0	16.1	16.1	16.4	16.6	16.7	16.7	16.5	16.4	16.5	16.4
20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
