

COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE PRESAS DE HORMIGÓN FRENTE A LA ACCIÓN TÉRMICA AMBIENTAL

Luis Agulló Fite,
Enrique Mirambell Arrizabalaga,
Antonio Aguado de Cea.
Doctores Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
Universitat Politècnica de Catalunya.
E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

RESUMEN

El presente artículo se encuadra en el ámbito de las presas de hormigón en etapa de explotación y, dentro de éste, se centra en el análisis de las temperaturas que se alcanzan en la presa frente a la actuación de la acción térmica ambiental.

En primer lugar se describe sucintamente un modelo numérico el cual, contemplando la presencia de distintas variables que caracterizan al hormigón, a la geometría y al emplazamiento de la presa y a la acción térmica ambiental, proporciona la temperatura en los nodos de la malla de discretización adoptada. Las temperaturas que predice el modelo se han contrastada satisfactoriamente con los registros térmicos de distintas presas españolas actualmente en explotación y que corresponden a distintos emplazamiento y tipos estructurales (Almendra, Baserca, Llauset y Mequinenza).

Seguidamente se presentan el método seguido y las conclusiones generales de un exhaustivo estudio paramétrico, realizado en orden a priorizar la influencia relativa de las numerosas variables que intervienen en el problema. Como fruto de este estudio se ha puesto de manifiesto la existencia de un grupo de parámetros principales que gobiernan el comportamiento térmico de la presa.

Finalmente, se propone una formulación analítica sencilla, función de los parámetros principales, para predecir la evolución anual de la temperatura en la presa. Esta formulación se contrasta también con resultados experimentales obtenidos en presas actualmente en explotación.

ABSTRACT

This paper present briefly a numerical model based on an explicit finite difference scheme that provide the temperature at the nodes of the discretization mesh at any time, considering the most significant variables that characterize the concrete properties, the geometry and location dam, and the environmental thermal effects. The results predicted by the model were satisfactorily compared with the experimental thermal records of dams currently in operation, which correspond to different sites an structural types (Almendra, Baserca, Llauset and Mequinenza).

In addition, an exhaustive parametric study is carried out. General conclusions derived from this study shaw the relative influence of the variables involved in the problem. This study has shown the existence of a set of main parameters that govern the thermal behaviour of concrete dams in operation.

These parameter are combined in a simple analytical formula that may be use for the prediction of the anual evolution of the temperature in the concrete dam. This formula is also compared with experimental records obtained in dams in operation.

Se admiten
comentarios a este
artículo, que deberán
ser remitidos a la
Redacción de la ROP
antes del 30 de
abril de 1997.

Recibido en ROP:
junio de 1995

1. INTRODUCCIÓN

La presa de hormigón en su etapa de explotación, se ve sometida de forma permanente a la acción térmica procedente del ambiente en el cual está ubicada. Esta acción térmica se configura por las condiciones climatológicas y ambientales del emplazamiento y por las condiciones térmicas del agua embalsada.

La respuesta de la presa, en términos de las temperaturas que en ella se alcancen en esta etapa, dependerá también de las características térmicas del hormigón y de la propia geometría de la presa.

Por otra parte, el carácter masivo de estas estructuras les confiere una inercia térmica que singulariza su comportamiento térmico en explotación en relación al que experimentan otros tipos de estructuras de hormigón.

Asimismo, la acción térmica condiciona en gran medida el comportamiento de la presa en explotación; en este sentido, para determinadas tipologías y circunstancias, la incidencia de los efectos térmicos sobre la estructura es de un orden de magnitud comparable a los debidos a otras solicitaciones mecánicas o hidráulicas (Ref. 1).

También, el carácter permanente en el tiempo que rige la actuación de la acción térmica y su ciclicidad hacen que las consecuencias derivadas de su actuación durante el período

de vida útil de la presa puedan ser significativas en relación a la durabilidad del hormigón.

Dentro de este marco general, las publicaciones al respecto no son numerosas y obedecen generalmente a aspectos puntuales relativos a los resultados de la auscultación térmica de la presa, las cuales no contemplan en un contexto general la respuesta térmica de la presa en explotación frente a la acción térmica ambiental. En este sentido una referencia significativa son los trabajos desarrollados por Stucky y Derron (Ref. 2) los cuales constituyen un primer paso de cara a obtener de una forma sencilla, utilizando ecuaciones analíticas, las temperaturas en la presa durante la etapa de explotación.

2. MODELO DE ANÁLISIS

Para el estudio del comportamiento térmico de la presa en explotación, y en particular para la obtención de las temperaturas que se alcanzan en la presa en esta etapa frente a la actuación de la acción térmica ambiental, se ha desarrollado un modelo numérico. Este modelo, basado en un esquema explícito en diferencias finitas proporciona la temperatura en los nodos de la malla de discretización adoptada y en cualquier instante; este constituye un modelo sencillo, el cual contempla la presencia de distintas variables que caracterizan térmicamente al hormigón, a la geometría y al emplazamiento de la presa, y a la acción térmica ambiental.

El modelo se fundamenta en la resolución de la ecuación diferencial que rige el fenómeno de la conducción de calor aplicada a la presa de hormigón, en fase de explotación; en esta ecuación se considera idénticamente nulo el término correspondiente al calor generado por unidad de tiempo y unidad de volumen en el seno del hormigón.

En relación al hormigón, se adoptan, desde un punto de vista térmico, las hipótesis de medio homogéneo, continuo e isotrópico y de permanencia de las propiedades térmicas.

Para obtener, a nivel de sección transversal de la presa, la distribución de temperaturas en el hormigón, a las hipótesis ya mencionadas se suma la hipótesis de que el flujo de calor en la sección transversal es, predominantemente, unidireccional según el espesor; esta hipótesis, adoptada en otros trabajos relativos al estudio de la respuesta térmica del hormigón frente a solicitaciones térmicas ambientales (Ref. 2, 3 y 4), conduce a realizar el análisis del comportamiento térmico de la sección transversal mediante el análisis del comportamiento térmico de distintas secciones a cotas determinadas y de espesor variable en función, primordialmente, de la altura de presa (Fig.1).

Como condiciones de contorno para la resolución de la ecuación diferencial, representativas éstas de los intercambios de calor entre la presa y el medio en el cual se encuentra inmersa, se imponen las siguientes:

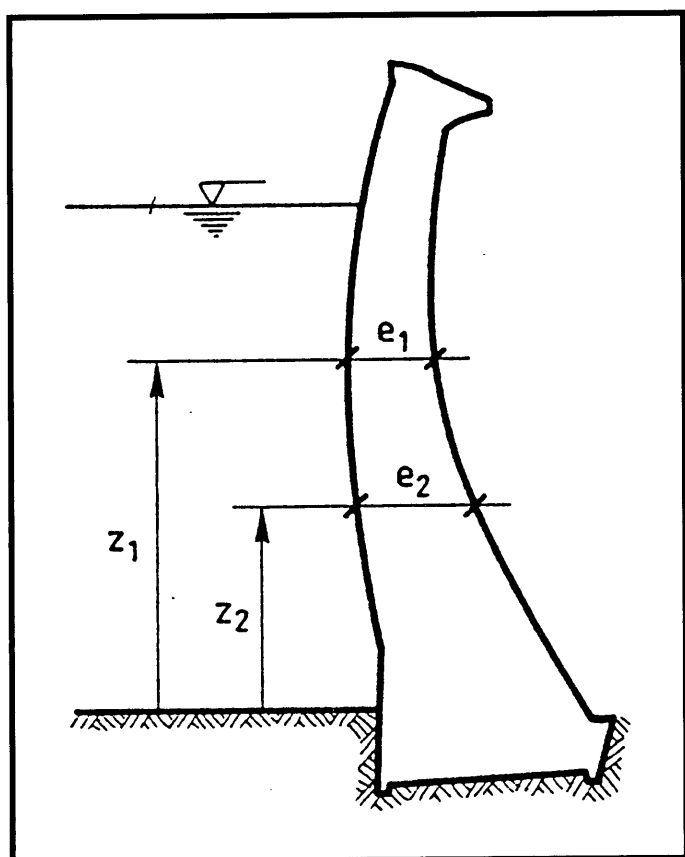


Figura1.
Modelo de
análisis
a nivel
sección
transversal.

TABLA 1.- PARAMETROS CONTEMPLADOS EN EL MODELO PROPUESTO

CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DEL HORMIGÓN

- Conductividad térmica
- Calor específico
- Peso específico
- Coeficiente de absorción
- Emisividad

CARACTERIZACIÓN DE GEOMETRÍA Y EMPLAZAMIENTO

- Latitud
- Declinación solar
- Acimut paramento aguas abajo
- Espesor
- Inclinação paramento aguas abajo

CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DEL AMBIENTE

- Temperatura ambiente
- Temperatura del agua
- Coeficiente de convección
(velocidad del viento)
- Radiación solar
- Coeficiente de reflexión del entorno

▼ En el paramento de aguas abajo se adopta una condición de flujo prescrito; mediante esta condición se pretende representar la transferencia de calor en el paramento originada por los distintos mecanismos presentes de transmisión de calor (radiación solar, convección, re- radiación).

▼ En el paramento de aguas arriba se impone una condición de temperatura prescrita; esta condición supone conocida para todo instante la temperatura en cualquier punto del paramento. Como temperatura prescrita en un punto del paramento se adopta la temperatura que tiene el agua del embalse en ese punto y en el mismo instante.

El modelo propuesto contempla el conjunto de parámetros que se exponen en la tabla 1, los cuales se presentan según tres grupos principales que se refieren a la caracterización térmica del hormigón, a la caracterización de geometría y emplazamiento de la presa, y a la caracterización térmica del ambiente en el cual se ubica la presa.

La descripción pormenorizada del modelo desarrollado, tanto en lo que hace referencia a las hipótesis en que se fundamenta y al método de resolución adoptado, como en lo concerniente a la evaluación e implementación numérica de los distintos parámetros que se contemplan en él, pueden consultarse en la Ref. 5.

Las temperaturas teóricas que predice el modelo se han contrastado con las temperaturas registradas experimentalmente como fruto de la auscultación térmica de distintas presas españolas actualmente en explotación, las cuales responden a diferentes emplazamientos y tipos estructurales. Estas presas, así como algunas de sus características y el número de termómetros de cada una de ellas utilizado en la contrastación se exponen en la tabla 2.

La contrastación de las temperaturas que predice el modelo se ha realizado en términos de la evolución anual de la temperatura registrada en un total de 40 termómetros. Para cada presa, éstos están localizados en la sección transversal correspondiente al perfil central de la presa, a distintas cotas dentro de la sección transversal y en diferentes posiciones relativas en una misma cota (próximos a o sobre paramentos, zonas centrales del espesor).

Los datos de entrada para la obtención de las temperaturas en la presa utilizando el modelo presentado, los cuales se han expuesto anteriormente en la tabla 1, se han obtenido en la medida de lo posible a partir de la información disponible en cada presa. Este es el caso de los correspondientes a la caracterización de la geometría y el emplazamiento de la presa y de las temperaturas ambiente y del agua dentro del grupo de los parámetros relativos a la caracterización térmica del ambiente; el resto de éstos parámetros se han estimado, teniendo en cuenta la localización geográfica de cada presa, en base a datos recogidos en distintas publicaciones del Instituto Nacional de Meteorología.

En relación al grupo de parámetros que caracterizan térmicamente al hormigón de la presa, su estimación se ha realizado adoptando valores medios de los mismos según los recogidos en diferentes publicaciones, correspondientes a los determinados en hormigones empleados en la construcción de distintas presas o a los utilizados por otros autores en estudios térmicos relativos al hormigón (Ref. 4, 6, 7, 8 y 9).

A efectos de visualizar los resultados obtenidos en la contrastación, en las figuras 2, 3, y 4 se presenta, a modo de ejemplo, la evolución anual de la temperatura que predice el modelo junto a la evolución anual de la temperatura registrada experimentalmente en los termómetros ubicados en la presa, y

TABLA 2. PRESAS EMPLEADAS PARA LA CONTRASTACIÓN DEL MODELO

PRESA	TIPO	ALTURA (m)	VOLUMEN (103 m ³)	Nº. TERMÓMETROS
Baserca	Bóveda	86	225	11
LLauset	Bóveda	82	227	7
Almendra	Bóveda	202	2.186	12
Mequinenza	Gravedad	81	1.100	10

en los distintos años en los que se ha dispuesto de registros experimentales. Los ejemplos presentados responden a distintas disposiciones tipo de termómetros usualmente utilizadas en la auscultación térmica de la presa.

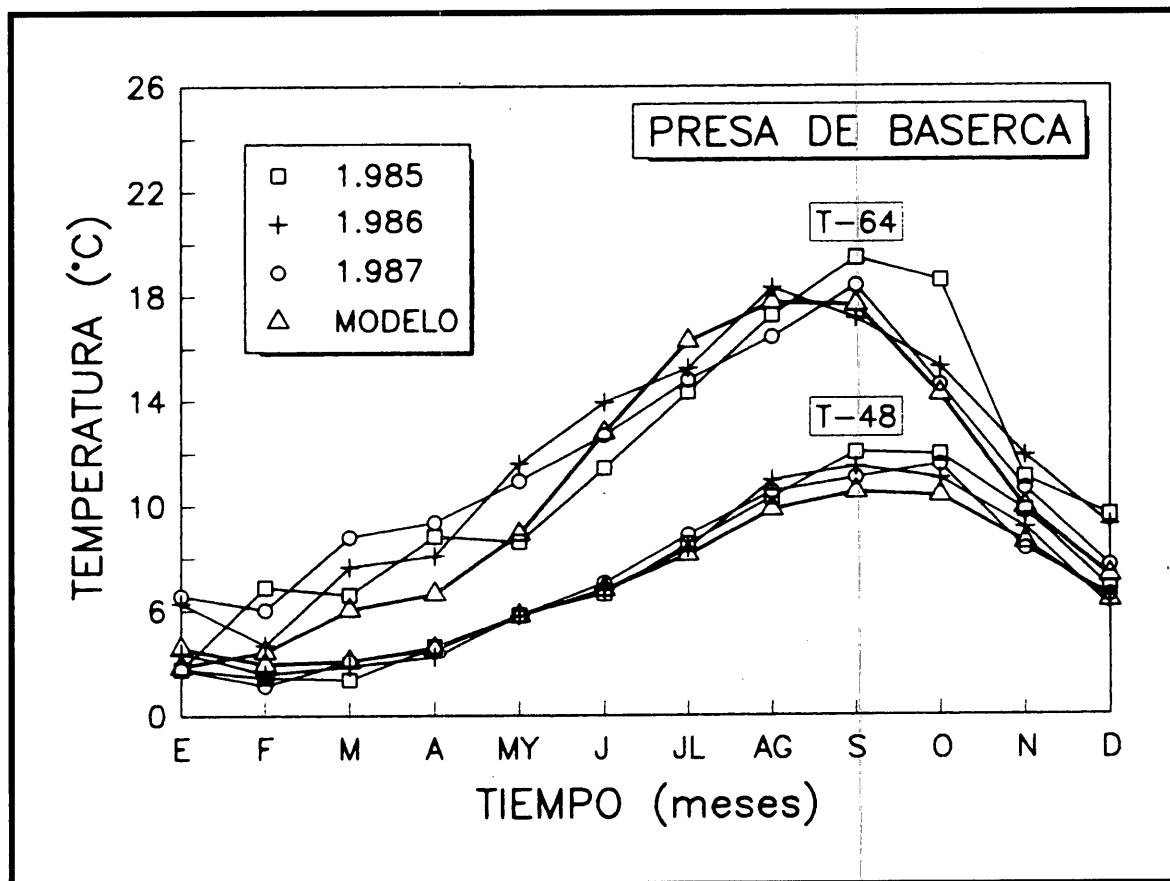
En la figura 2, se muestra la evolución de la temperatura para un termómetro dispuesto a 1 m. del paramento de aguas arriba (T-48) y para otro dispuesto a 1 m. del paramento aguas abajo (T-64), ambos correspondientes a la presa de Baserca.

La figura 3 refleja la evolución anual de la temperatura para un termómetro dispuesto en un punto central de un espesor de 12.50 m. (T-41, Presa de LLauset), mientras que en la figura 4 se presenta la evolución para un termómetro dispuesto en el paramento de aguas abajo (A-82, Presa de Almendra); en esta última se presentan los resultados teóricos correspondientes a horas diurnas y nocturnas a efectos de visualizar las variaciones diarias de la temperatura en el paramento de aguas abajo predichas por el modelo.

Los resultados obtenidos en la contrastación realizada muestran, en conjunto, que el modelo propuesto para obtener la respuesta térmica de la presa en explotación frente a la sollicitación térmica ambiental es capaz de reproducir de forma satisfactoria la evolución de la temperatura en los diferentes nodos analizados, ya sea para los que representan

los termómetros dispuestos en zonas próximas a los paramentos de aguas arriba y de aguas abajo, bien en la superficie del paramento de aguas abajo o bien en las zonas centrales de los respectivos espesores. En este sentido, el modelo refleja bien la inercia térmica del hormigón, que puede visualizarse mediante los desfases existentes en el tiempo entre los valores extremos de las condiciones térmicas ambientales y los valores extremos alcanzados por la temperatura del hormigón de la presa.

Figura 2.
Evolución anual de la temperatura.
T-48 (A 1 m. del paramento de aguas arriba).
T-64 (A 1 m. del paramento de aguas abajo).
Presa de Baserca.



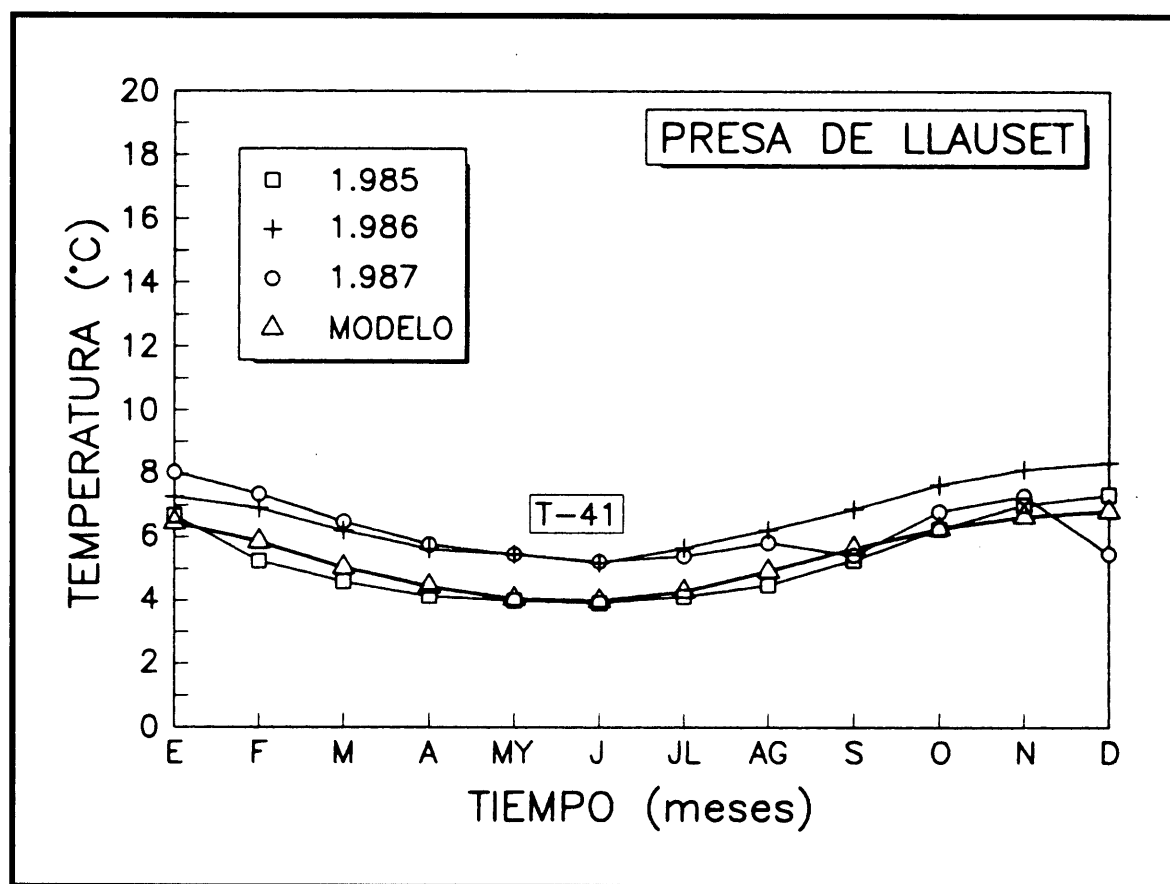


Figura 3.
Evolución anual
de la temperatura.
T-41
(Punto central de
un espesor de
12,50 m.).
Presa de Llauset.

Los resultados de este estudio se han analizado en términos de la evolución anual de la temperatura media en la sección (ponderada a través del espesor), de la evolución anual de la temperatura en el paramento de aguas abajo, de los efectos de las variaciones diarias de temperatura sobre dicho paramento y en la temperatura media de la sección, y de la distribución

3. VARIABLES PRINCIPALES QUE INCIDEN EN LAS TEMPERATURAS DE LA PRESA EN EXPLOTACIÓN

A efectos de analizar la influencia relativa de las numerosas variables que afectan el comportamiento térmico de la presa en explotación y de poder priorizar dicha influencia, se ha realizado mediante el modelo presentado un exhaustivo estudio paramétrico.

Para este estudio se ha adoptado un conjunto de valores de los parámetros que define unas condiciones de base o de referencia respecto a las cuales se realiza el análisis individualizado de la influencia relativa de cada parámetro. Así, para analizar la influencia de un determinado parámetro se establece para el mismo un posible rango de variación y en él una secuencia de valores; seguidamente, se obtienen las temperaturas en la presa para cada uno de éstos valores adoptándose, en cada caso, para el resto de parámetros los valores dados por las condiciones de referencia.

Siguiendo este procedimiento se ha analizado la influencia del conjunto de parámetros presentados anteriormente en la tabla 1, a excepción del peso específico del hormigón, siempre próximo a los 2.500 Kg/m³ en el caso de presas, y de la latitud de la presa, magnitud ésta estrechamente vinculada a la radiación solar en el emplazamiento.

de temperaturas en la sección (a lo largo del espesor).

A efectos de ilustrar el método seguido en el estudio realizado, en la figura 5 se visualiza la influencia de la radiación solar en términos de la evolución anual de la temperatura en el paramento de aguas abajo y de la temperatura media en la sección, en una hora diurna (11.0 horas) y para un espesor de 5 m.; la figura 6 muestra la incidencia de esta misma variable en términos de la distribución de la temperatura en la misma sección en una hora diurna (11.0 horas) y en una hora nocturna (23.0 horas) obtenida para los meses de agosto (alta radiación solar) y de enero (baja radiación solar).

En estas figuras se aprecia, por una parte, que la incidencia de la radiación solar en horas diurnas en las temperaturas del paramento es de un orden de magnitud superior a la que presenta en las temperaturas medias que se obtienen a nivel sección; por otra parte, se pone de manifiesto que las variaciones diarias de la radiación solar (hora diurna, hora nocturna) repercuten prácticamente sólo en una zona próxima al paramento sobre el cual éstas inciden, mientras que la variación de radiación considerada en el período anual (agosto, enero) afecta también, aunque en menor medida, a la distribución de temperaturas a lo largo del espesor.

Las conclusiones de carácter general derivadas de este estudio se exponen a continuación; otras conclusiones de carácter más específico pueden consultarse en la Ref. 5.

Figura 4.
Evolución anual de
la temperatura.
A-82 (En
paramento de
aguas abajo).
Presa de
Almendra.

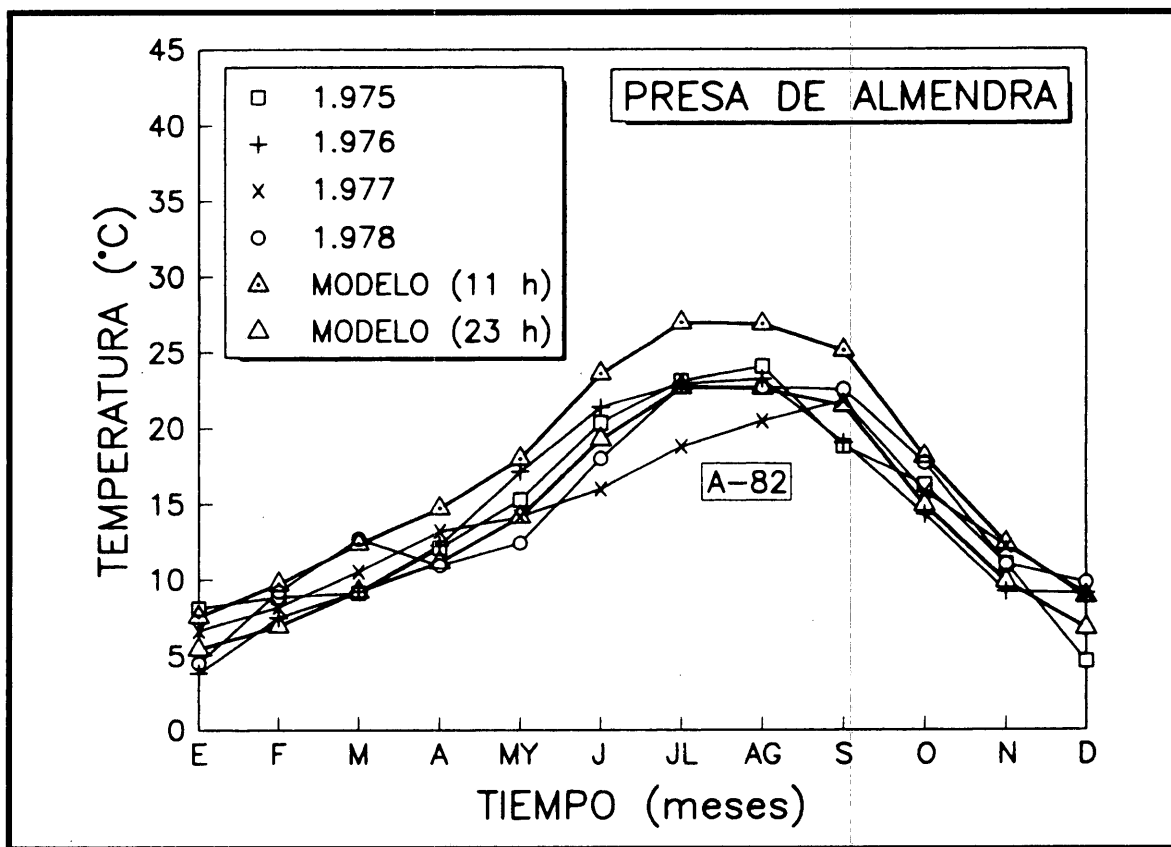
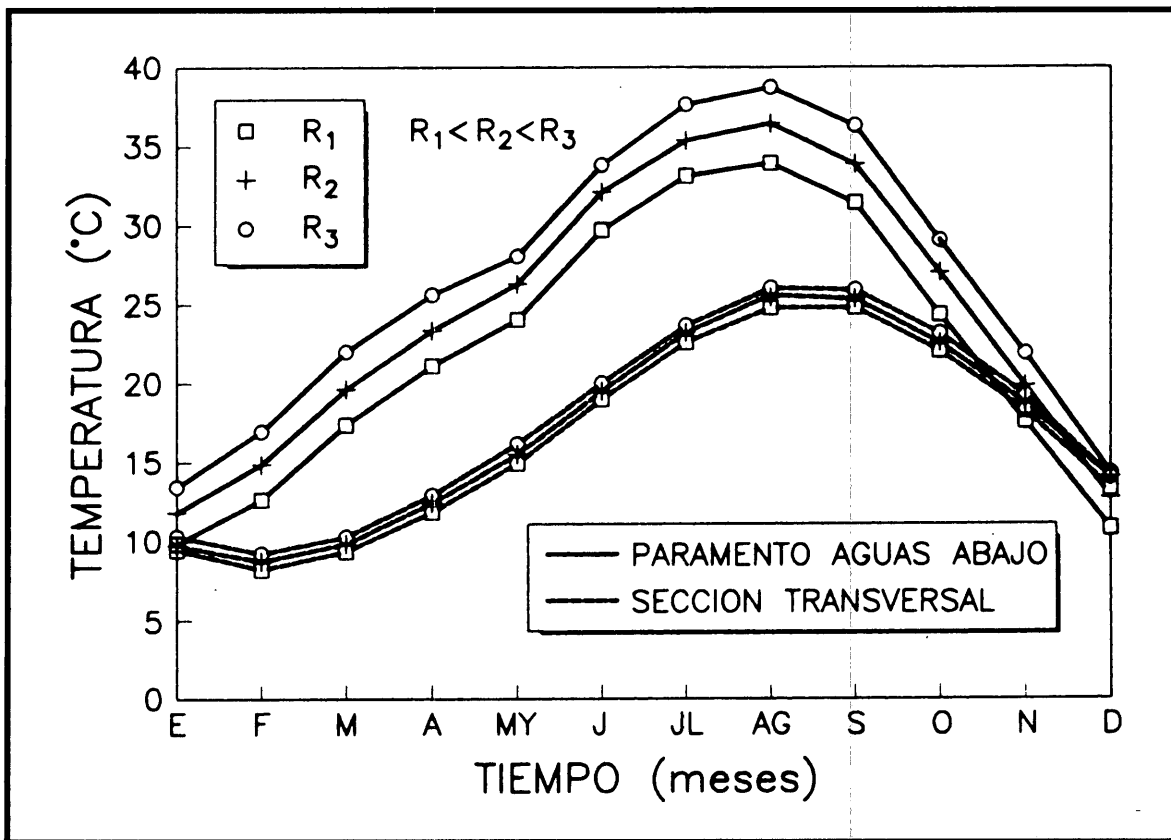


Figura 5.
Evolución anual de
la temperatura en
el paramento de
aguas abajo y de la
temperatura media
en la sección ($e = 5$
m.) en función de la
radiación solar
(11.0 horas).



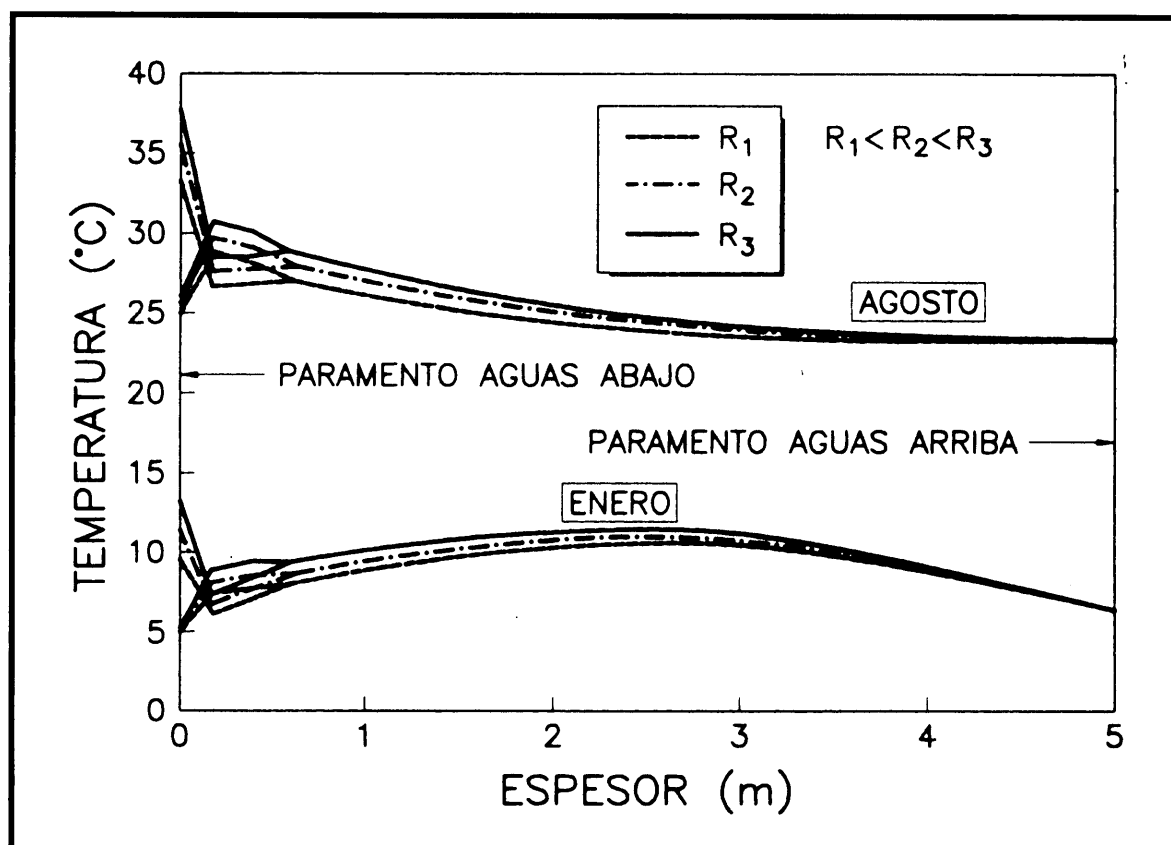


Figura 6.
Distribución
de temperaturas
en la sección
($e=5$ m.) en
función de la
radiación solar
(11.0 horas
y 23.0 horas).

puesta térmica de la presa en el paramento de aguas abajo un aspecto claramente diferenciado en relación a la respuesta térmica considerada a nivel sección, en donde gran parte de las influencias térmicas de carácter superficial se disipan a través del espesor.

▼ La temperatura media anual de la sección depende, fundamentalmente, de la temperatura ambiente media anual, de la temperatura media anual del agua y de la radiación solar global diaria media anual en el emplazamiento.

▼ El rango anual de la temperatura media en la sección se ve primordialmente influenciado por su espesor y por los rangos anuales de la temperatura ambiente y de la temperatura del agua.

▼ El comportamiento térmico experimentado por el paramento de aguas abajo, se ve influenciado por el coeficiente de absorción del hormigón, su inclinación y orientación (acimut), el coeficiente de reflexión del entorno, el coeficiente de convección (velocidad del viento), la radiación solar global en el emplazamiento y la temperatura ambiente. De ellas, la radiación solar es la que condiciona, en mayor medida, la temperatura en el citado paramento.

▼ El paramento aguas abajo es el paramento sobre el cual inciden directamente la radiación solar, la temperatura ambiente y la velocidad del viento; en consecuencia, las temperaturas que en él se alcanzan se rigen, en gran medida, por las variaciones en el tiempo que puedan presentar estas variables ambientales y en particular, por sus variaciones diarias.

Este hecho, junto al de que son numerosos los parámetros que condicionan su comportamiento térmico, confiere a la res-

4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

El estudio paramétrico realizado ha puesto de manifiesto la existencia de un grupo de variables que rigen la temperatura media anual de la sección y el rango anual de esta temperatura. Adoptando estas variables como parámetros principales, y considerando para el resto de parámetros los valores correspondientes a las condiciones de referencia del estudio paramétrico, se han obtenido sendas expresiones que proporcionan esta temperatura y su rango anual en función únicamente de los parámetros principales.

$$T_{\text{media}} = a_0 + \alpha_T \quad (1)$$

en donde:

$$a_0 = 2,3 + \frac{R_0 - 4.608}{1.844} \quad (2)$$

$$\alpha_t = \frac{T_a + T_w}{2} \quad (3)$$

y

$$R = \alpha_R \cdot \beta(e_0) \quad (4)$$

en donde:

$$\alpha_R = \frac{R_a + R_w}{2} \quad (5)$$

$$\frac{1}{\beta(e_0)} = -0,12410 + 0,23459 \cdot e_0 \quad (6)$$

siendo

T_{media} : Temperatura media anual en la sección de hormigón ($^{\circ}\text{C}$)

R_0 : Radiación solar media anual en el emplazamiento de la presa (Wh/m^2)

T_a : Temperatura ambiente media anual ($^{\circ}\text{C}$)

R_a : Rango anual de la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

T_w : Temperatura media anual del agua en la cota correspondiente a la sección en estudio ($^{\circ}\text{C}$)

R_w : Rango anual de la temperatura del agua en la cota correspondiente a la sección en estudio ($^{\circ}\text{C}$)

e_0 : Espesor de la sección (m.), $5 \text{ m.} \leq e_0 \leq 50 \text{ m.}$

Determinados la temperatura media anual y el rango anual de la temperatura para cada espesor correspondiente a la cota que se analice, puede pensarse en obtener una función sinusoidal, de período anual, que permita modelizar la evolución anual de la temperatura media en la sección para cada uno de los espesores (cotas) que se consideren en el análisis térmico de la sección transversal de la presa.

Así, representando los valores extremos de la temperatura media en el período anual en función de esta temperatura y de su rango anual según las relaciones

$$T_{M\acute{a}x.} = T_{media} + \frac{R}{2} \quad (7)$$

$$T_{M\acute{i}n.} = T_{media} - \frac{R}{2} \quad (8)$$

una evolución anual teórica de la temperatura en la sección puede obtenerse mediante la relación

$$T = T_{media} + \frac{R}{2} \sin \left[\pi \left(\frac{t}{6} - \frac{\varphi_0}{\pi} \right) \right], 1 \leq t \leq 12 \quad (9)$$

en donde t se expresa en meses, siendo el valor $t=1$ el correspondiente al mes de enero y $t=12$ el que corresponde al mes de diciembre y en la cual φ_0 se obtiene en función de los me-

ses en los cuales se alcancen las temperaturas extremas anuales, resultando

$$\varphi_0 = 6 \frac{\pi}{6}, \text{ para extremos en marzo y septiembre}$$

$$\varphi_0 = 7 \frac{\pi}{6}, \text{ para extremos en abril y octubre}$$

Sustituyendo en (9) la temperatura media anual y el rango anual de la temperatura por sus expresiones obtenidas en función de los parámetros que rigen el comportamiento térmico anual de la sección (respectivamente 2 y 4), se tiene

$$T = a_0 + \alpha_t + \frac{\alpha_t \cdot \beta(e_0)}{2} \sin \left[\pi \left(\frac{t}{6} - \frac{\varphi_0}{\pi} \right) \right] \quad (10)$$

o lo que es lo mismo

$$T = 2,30 + \frac{R_0 - 4.608}{1.844} + \left(\frac{T_a + T_w}{2} \right) + \left(\frac{R_a + R_w}{4} \right) \cdot \beta(e_0) \sin \left[\pi \left(\frac{t}{6} - \frac{\varphi_0}{\pi} \right) \right] \quad (11)$$

expresión que proporciona la evolución anual de la temperatura media en la sección de espesor e_0 en función de la radiación solar global media anual en el emplazamiento (R_0), de la temperatura ambiente media anual (T_a), del rango anual de esta temperatura (R_a) y de la temperatura media anual del agua (T_w) y del rango anual de esta temperatura, evaluados los dos últimos en la cota correspondiente al espesor (e_0).

La expresión que define la evolución anual teórica de la temperatura media en la sección en función de los parámetros de diseño, se ha contrastado con resultados experimentales retomando los datos experimentales y las características geométricas de las presas que se han utilizado para la contrastación del modelo de análisis propuesto. A modo de ejemplo, en la figura 7 se visualiza la evolución anual de la temperatura media en la sección que predice la formulación teórica con los valores de la temperatura media en la sección obtenidos como fruto de los registros experimentales correspondientes a la presa de Baserca (cota sección 1.365 m.).

Los resultados obtenidos en esta contrastación ponen de manifiesto, en conjunto, que la formulación propuesta es capaz de reproducir adecuadamente la evolución anual de la temperatura media de la sección para distintos espesores y diferentes condiciones térmicas ambientales. Asimismo, estos

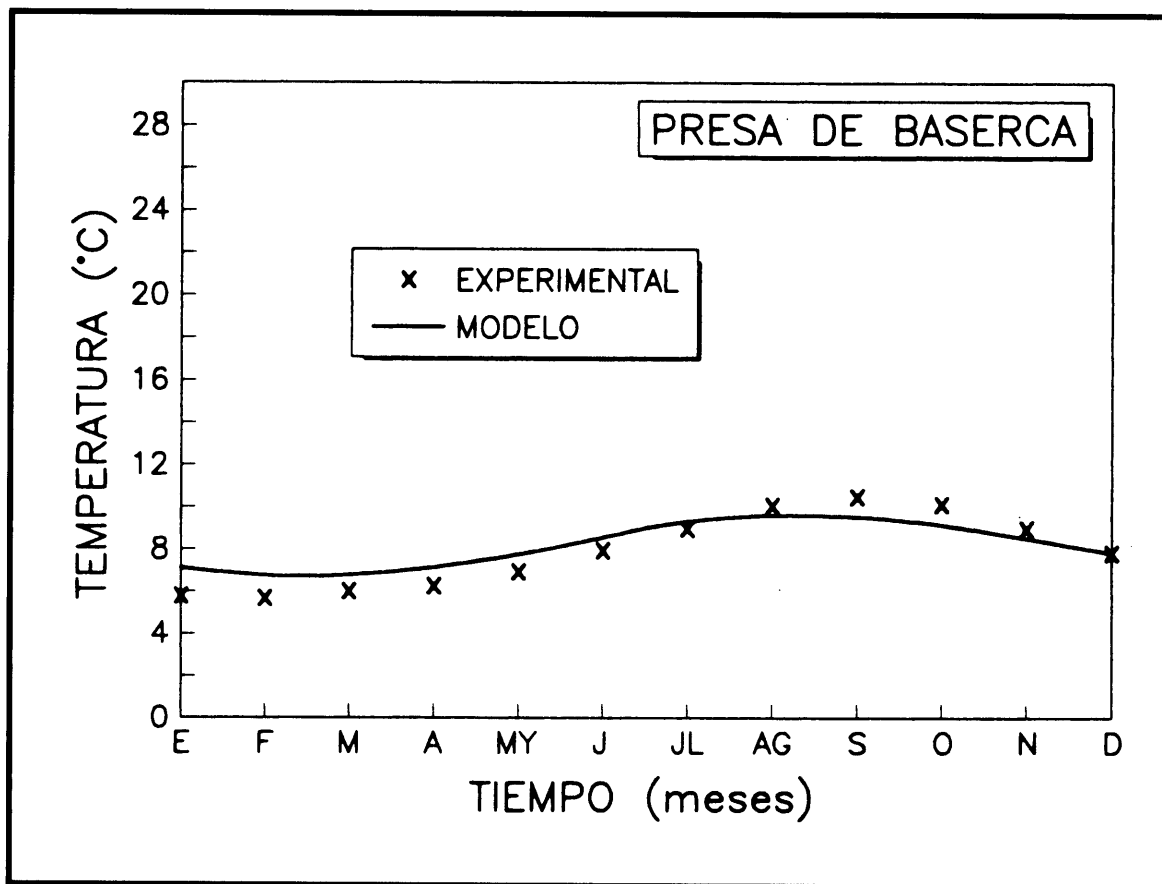


Figura 7.
Presa de Baserca.
Evolución anual de
la temperatura
media en una
sección
(cota 1.365 m.)

ferentes emplazamientos y tipos estructurales (Almendra, Baserca, LLau-set y Mequinenza).

▼ El estudio paramétrico realizado ha puesto de manifiesto la existencia de un grupo de parámetros principales que gobiernan el comportamiento térmico de la presa; en este sentido, la temperatura media anual de la

resultados muestran cuantitativamente que el error medio anual referido a las temperaturas experimentales se sitúa entre los valores extremos de un 3,5 % (presa de Baserca) y de un 12 % (presa de Mequinenza).

5. CONCLUSIONES

Como conclusiones de carácter general derivadas del trabajo presentado se destacan las siguientes:

▼ El modelo numérico desarrollado para el análisis del comportamiento térmico de la presa en explotación constituye un modelo sencillo que, contemplando la presencia de las distintas variables que caracterizan térmicamente al hormigón, al emplazamiento y a la geometría de la presa y a la acción térmica ambiental, proporciona la temperatura en los nodos de la malla de discretización en cualquier instante de tiempo.

El modelo permite representar bien el comportamiento térmico de la presa tal y como muestran los resultados obtenidos fruto de la contrastación de las temperaturas que él predice con los registros térmicos experimentales de distintas presas españolas actualmente en explotación correspondientes a di-

sección depende, fundamentalmente, de las temperaturas medias anuales ambiente y del agua y de la radiación solar global diaria en el emplazamiento, mientras que el rango anual de esta temperatura se rige por el espesor de la sección y por los rangos anuales de la temperatura ambiente y de la temperatura del agua.

Asimismo, las temperaturas que se alcanzan en el paramento de aguas abajo se rigen por las variaciones en el tiempo que presentan las distintas variables térmicas ambientales que inciden directamente en él y, en particular, por sus variaciones diarias; ello confiere al comportamiento térmico del paramento un aspecto claramente diferenciado en relación al considerado a nivel sección, en donde gran parte de las influencias térmicas de carácter local se disipan a través del espesor.

▼ La formulación analítica propuesta para representar el comportamiento térmico medio de la sección permite predecir, tanto en proyecto como en explotación, la evolución anual de la temperatura en función de la geometría de la sección (espesor), de la radiación solar global diaria media anual en el emplazamiento, de la evolución anual de la temperatura ambiente y de la evolución anual de la temperatura del agua a distintas cotas, magnitudes todas ellas que pueden estimarse fácilmente en cada caso.

La sencillez de esta formulación, así como el pequeño número de parámetros que la definen y el buen comportamiento mostrado en su contrastación experimental, hacen que pueda ser una herramienta útil tanto de cara al proyecto como a la explotación de la presa.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo quieren mostrar su agradecimiento a las empresas eléctricas, Empresa Nacional Hidroeléctrica del Ribagorzana, Iberduero, Hidroeléctrica Española e Hidroeléctrica de Cataluña y a la Confederación Hidrográfica del Duero por su inestimable colaboración suministrando los registros térmicos experimentales relativos a diferentes presas españolas actualmente en explotación.

7. REFERENCIAS

- 1.-**Gómez Laa, G.** (1982). "Problemas térmicos en presas de hormigón". Cuestiones térmicas en recintos de hormigón. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Santander. Santander. Noviembre.
- 2.-**Stucky, A., Derron, M.** (1957). "Problèmes thermiques posés par la construction des barrages-réservoirs". École Polytechnique de l'Université de Lausanne. Publication n° 38. Sciences et Technique. Lausanne.
- 3.-**Townsend, C. L.** (1965). "Control of Cracking in Mass Concrete Structures". Bureau of Reclamation. United States Department of the Interior. Washington.
- 4.- **A.C.I.** (1987). "Mass Concrete". A.C.I. Committee 207. 1R-87
- 5.-**Agulló, L.** (1991). "Estudio térmico en presas de hormigón frente a la acción térmica ambiental". Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona. Julio.
- 6.-**Aguado, A. Agulló, L., Vázquez, E.** (1989). "Propuesta de actuación en relación a los hormigones a emplear en la presa de la Llosa del Cavall". Departamento de Ingeniería de la Construcción. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona. Agosto.
- 7.-**C.E.B.** (1985). "Thermal Effects in Concrete Structures". Bulletin d'Information n° 167. Lausanne. Janvier.
- 8.-**Itaipu-Relatorio RC-45/79** (1979). "Determinacao do Calor Especifico de Misturas do Concreto".
- 9.-**Itaipu-Relatorio RC- 37/81** (1981). "Estudo das Propriedades Térmicas do Concreto". ●