

Tensiones y deformaciones de la presa de Zahara ⁽¹⁾

J.L. RAMÍREZ-VACAS (*)

A. SORIANO (**)

F.J. SÁNCHEZ (***)

RESUMEN En el presente artículo se describe el conjunto de la información obtenida durante la construcción de la presa de Zahara (Cádiz, en el sur de España), así como su interpretación, mediante el análisis basado en un modelo de elementos finitos que reproduce una sección principal de la presa.

La presa de Zahara responde a una tipología de materiales sueltos, con un núcleo central de margas alteradas y unos espaldones formados por materiales aluviales de tipo granular protegidos exteriormente por calizas procedentes de cantera. El cimiento de la presa puede describirse como una alternancia de estratos de margas y areniscas terciarias con buzamiento subvertical.

La formulación utilizada para la interpretación, mediante un modelo de elementos finitos, incluye el efecto tiempo durante el propio período de construcción de la presa, así como durante el tiempo de observación posterior. También se ha simulado el efecto derivado de las deformaciones por humectación para pronosticar los movimientos previsibles y las tensiones que tendrían lugar durante el llenado del embalse que, en estos momentos, ya ha comenzado.

STRESSES AND DEFORMATIONS OF ZAHARA DAM

ABSTRACT The paper describes the data observed during the construction of Zahara dam (southern Spain) and its interpretation by means of a finite element model of the main cross section.

Zahara dam has a central core of weathered marls and outer shells of granular alluvium and quarried limestone. Its foundation consists of almost vertical alternating strata of tertiary marls and sandstones.

The mathematical formulation of the finite element model used for the interpretation includes the effect of time for the simulation of construction as well as for the period of observation after the end of construction. It also includes the effect of wetting deformations to predict movements and stresses during the filling of the reservoir which is starting these days.

Palabras clave: Presa de tierra; Auscultación; Deformación; Tensiones; Elementos finitos; Zahara.

INTRODUCCIÓN

La presa de Zahara, que se encuentra localizada en la provincia de Cádiz (España), se ha construido con objeto de regular el curso alto del río Guadalete. La formación rocosa en el emplazamiento se encuentra formada por una alternancia de estratos de margas y areniscas terciarias. El comportamiento de las margas es tal que, cuando se encuentran meteorizadas, derivan en arcillas de carácter expansivo. La posición del eje de presa, se localiza en una cerrada particularmente estrecha, gracias a la presencia de estratos más gruesos de areniscas (en comparación con otras posibles localizaciones a lo largo del río).

Como la roca de cimentación puede considerarse bastante débil, se proyectó una presa de materiales sueltos, uti-

lizando las margas locales para la construcción del núcleo central impermeable y el aluvial del río para la parte interna de los espaldones. Se dispuso una protección externa de éstos mediante escollera de calizas procedentes de cantera, en ambos taludes.

Las figuras 1 y 2 incluyen una planta de la presa y la sección tipo transversal, respectivamente.

Las características principales de las margas, después de su excavación desde las zonas de préstamos y tras la compactación en el núcleo de la presa, pueden resumirse como sigue: (valor medio y desviación típica).

- Peso específico seco, $\gamma_d = 16,2 \pm 0,8$ KN/m³ (Máxima Proctor Normal).
- Humedad, $w = 20 \pm 2\%$ (Optima Proctor Normal).
- Límite Líquido, $w_L = 51 \pm 4,9\%$.
- Límite Plástico, $w_P = 27 \pm 4,0\%$.
- Cohesión efectiva, $c' = 10 \pm 2$ KN/m².
- Ángulo de rozamiento efectiva, $\phi' = 22 \pm 3$ (°).
- Presión de hinchamiento, $P_h = 350 \pm 100$ KN/m².
- Hinchamiento libre, $\epsilon_h = 8 \pm 3\%$ (bajo carga de 1 KN/m²).
- Dispersividad natural: Positiva bajo algunos tipos de ensayos.

(1) Presentado para el XIII ICSMFE celebrado en Nueva Delhi, Enero 1994.

(*) Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

(**) Universidad Politécnica de Madrid.

(***) Ingeniería del Suelo, S.A.

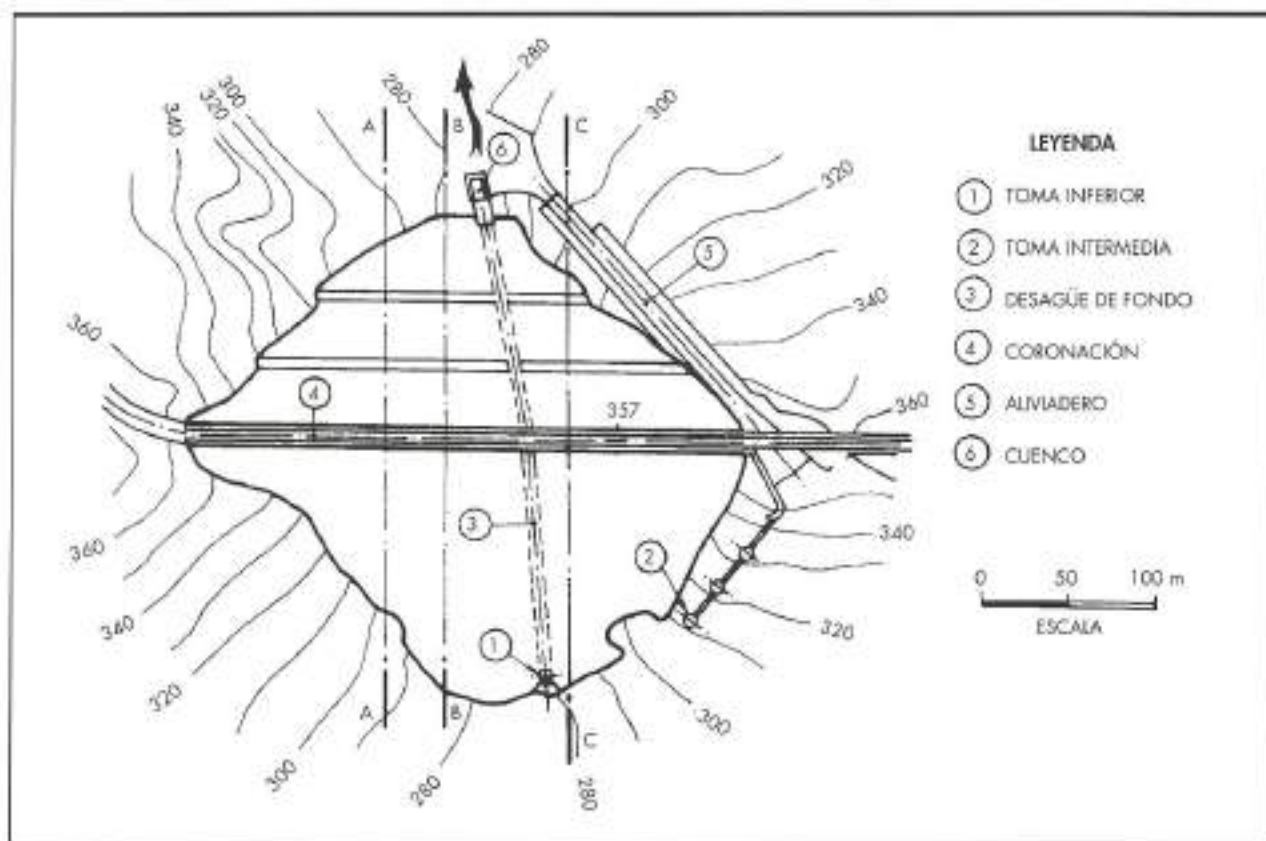


FIGURA 1. Planta de la presa de Zahara.

La zona superior del núcleo se construyó a partir de material margoso seleccionado, de forma que se limitara su presión de hinchamiento ($P_h < 100 \text{ KN/m}^2$).

El material aluvial utilizado para la construcción de la zona interna de los espaldones puede considerarse como una grava arenosa con un contenido de finos ($\pm 200 \text{ ASTM}$) alrededor del 6%. Las características principales de este material son las siguientes:

- Peso específico seco (Máxima Proctor Normal) = $21,6 \pm 0,8 \text{ KN/m}^3$.
- Humedad (Optima Proctor Normal) = $5,5 \pm 0,5\%$.
- Índice plasticidad de los finos, IP = 5 al 12%.
- Cohesión efectiva (Compactada al óptimo P.N.) = $10 \pm 6 \text{ KN/m}^2$.
- Ángulo de rozamiento efectivo (Compactada al óptimo P.N.) = $39 \pm 4 (^\circ)$.

Las calizas utilizadas para la construcción de la zona externa en los espaldones, aunque pueden considerarse bastante débiles (porosidad media del 5%, coeficiente medio en ensayo de desgaste Los Angeles del 50%), presentan, sin embargo, un ángulo de rozamiento grande y una baja compresibilidad cuando se les aplican cargas moderadas.

DESCRIPCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

En la figura 2 también se representan los distintos dispositivos de auscultación existentes en la sección central de la presa. Existen otras dos secciones adicionales, instrumentadas de forma similar.

Además de la información derivada de las células hidráulicas de asiento, se viene realizando el control topográfico de nivelación del desagüe de fondo durante el período de la propia construcción de la presa y con posterioridad al mismo. Este control permite la medida del asiento en la base de la presa, a lo largo de todo el desarrollo (desde aguas arriba hasta aguas abajo).

La principal información sobre los asientos medidos con las células hidráulicas dispuestas en el núcleo, se muestra en la figura 3, donde puede observarse que el máximo asiento constructivo fue del orden de 1,2 m y tuvo lugar hacia la cota 315 m (aprox.), esto es, a una altura sobre la cimentación próxima a la mitad de la altura total del núcleo. También puede observarse que, en los años posteriores a la construcción del cuerpo de presa, dicho asiento se incrementa debido a la deformabilidad diferida de la presa, sin que en ese período supere los 10 cm en ningún punto instrumentado de la presa.

La presión vertical total en el núcleo de la presa, medida mediante células de presión con dispositivo de cuerda vibrante, parece indicar, como se muestra en la figura 4, que buena parte del propio peso del núcleo es soportado por los espaldones, de manera que la relación de dicha presión total registrada, respecto de la geostática, apenas supera el 50% como valor medio.

La distribución de asientos bajo el desagüe intermedio, también indica este mismo efecto, tal como muestra la figura 5. Al final de la construcción, el asiento medido en la parte central (bajo el núcleo) era del orden de la mitad del que se registraba en el contacto del núcleo con la parte interior de los espaldones (bajo la zona de filtros).

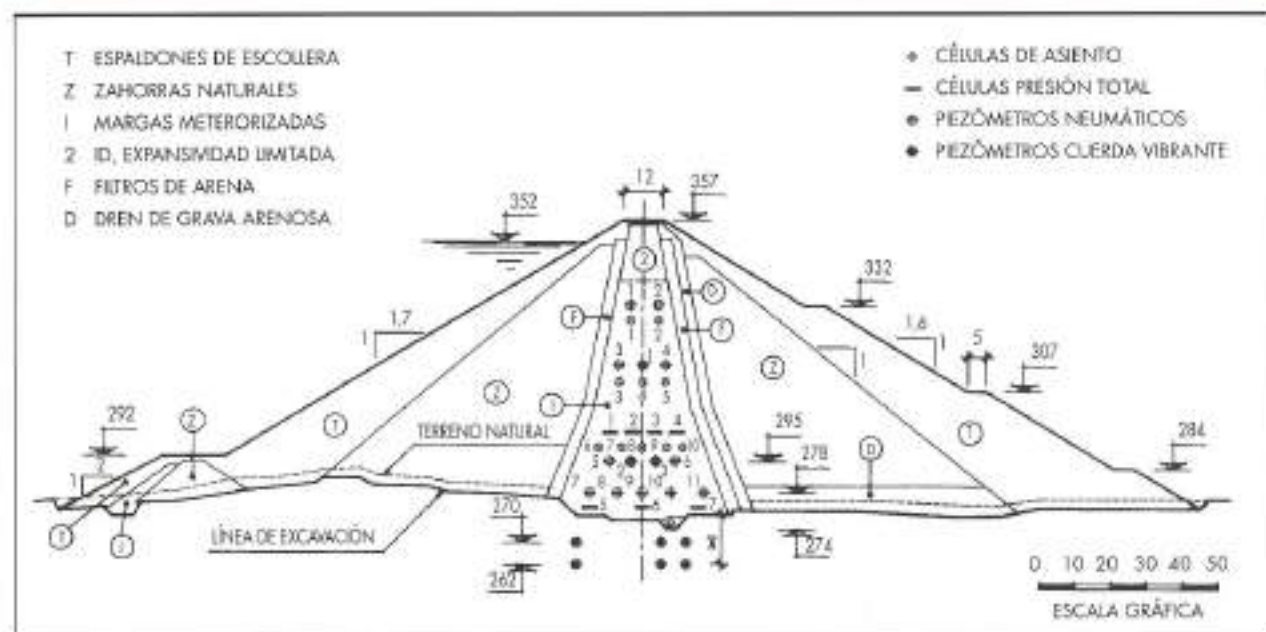


FIGURA 2. Sección tipo e instrumentación.

La mayor parte de los piezómetros instalados en el núcleo de la presa indicaban que no existían, durante la construcción, fenómenos de generación de presiones intersticiales. Únicamente dos aparatos de este tipo, localizados en la parte baja del núcleo, en la zona próxima al cimiento, midieron presiones positivas aunque moderadas.

La puesta en obra de la arcilla del núcleo se realizó con una humedad algo inferior a la humedad óptima y con una densidad próxima a la máxima del ensayo Proctor Normal, alcanzándose un grado de saturación medio, tras la compactación, del orden del 80%.

Los piezómetros situados en el cimiento de la presa también indican la inexistencia de generación de presiones intersticiales durante la construcción (a excepción de algún punto muy localizado). Los niveles piezométricos del cimiento estaban controlados, en gran medida, por la variación del nivel de agua en el pequeño embalse creado por la ataguía.

INTERPRETACIÓN REALIZADA

Con objeto de ayudar a la interpretación de los datos observados, se preparó un modelo bidimensional de elementos finitos de la presa, correspondiente a una sección central de la misma, según se muestra en la figura 6.

La ley de comportamiento tensión-deformación utilizada para la simulación de la construcción de la presa, tomada a tongada (discretización del proceso constructivo), ha sido la establecida mediante la formulación de un modelo hiperbólico, aunque se han incorporado dos modificaciones apreciables para incluir, en cierta medida, la experiencia de los autores en la observación del comportamiento de presas.

La primera modificación realizada se refiere al efecto del paso del tiempo (deformaciones bajo carga constante) y, aunque han sido muy moderadas en esta presa particular, es un efecto que debe considerarse. Para ello, se ha postulado que

las deformaciones de un elemento vienen determinadas por una expresión de tipo logarítmico:

$$\epsilon(t) = \epsilon_0 \left(1 + a \ln \frac{t}{t_0} \right) \quad (t > t_0)$$

Para evaluar los parámetros presentes en esta ecuación (ϵ_0 , a , t_0), se ha investigado el comportamiento de estos materiales mediante ensayos de laboratorio.

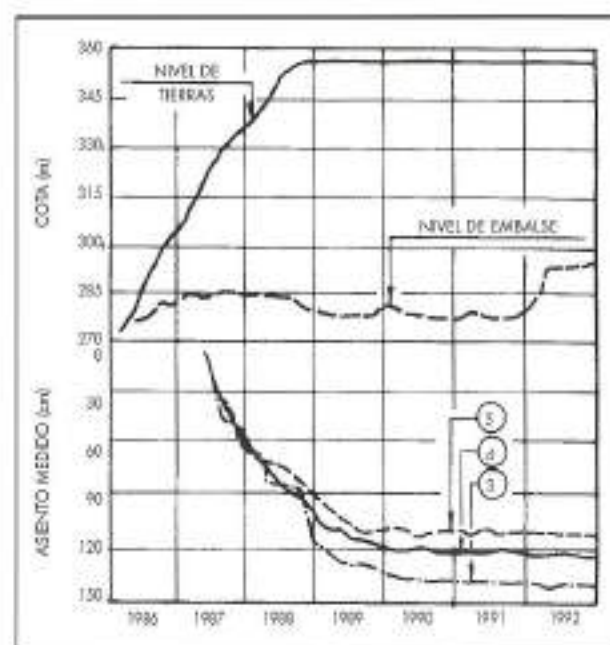


FIGURA 3. Evolución de los asentamientos durante construcción.

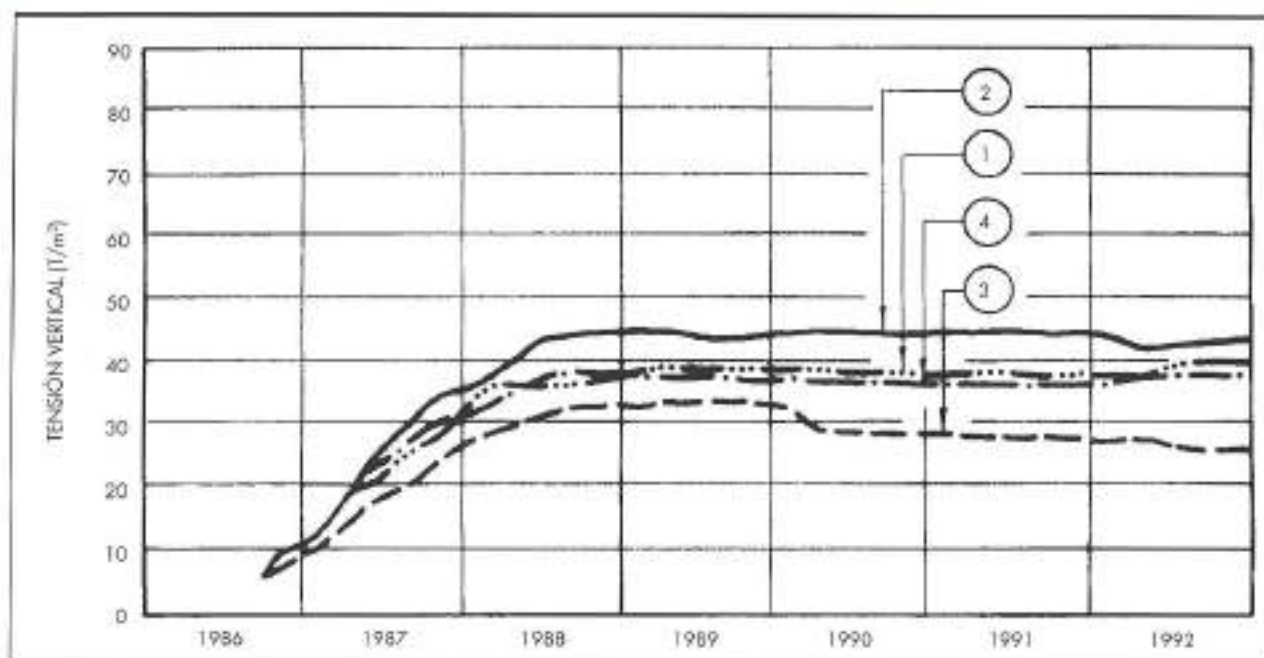


FIGURA 4. Evolución de tensiones verticales totales.

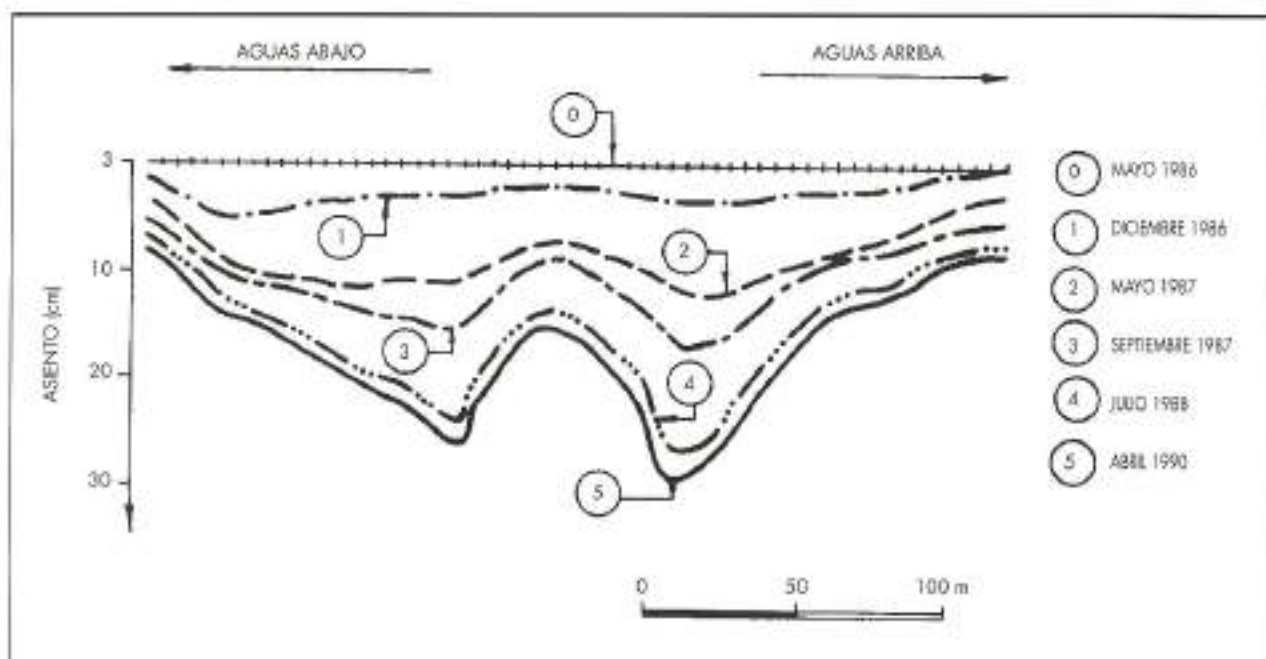


FIGURA 5. Asientos del desagüe de fondo.

Así, por ejemplo, bajo condiciones edométricas, el decremento del índice de poros de la arcilla del núcleo, cuando se duplica la carga vertical, puede aproximarse por:

$$\Delta e(t) = C_c \log_{10} 2 + C_\alpha \log_{10} \frac{t}{t_0} \quad (t > t_0)$$

En esa expresión " C_c " y " C_α " son los bien conocidos coeficientes correspondientes a la consolidación primaria y se-

cundaria, respectivamente. El valor de " t_0 " es, precisamente, el tiempo en el cual puede considerarse finalizado el proceso de consolidación primaria.

Si se comparan ambas ecuaciones, puede postularse que el valor de α descrito es:

$$\alpha = \frac{C_\alpha}{C_c} \frac{\log_{10} e}{\log_{10} 2} = 1,44 \frac{C_\alpha}{C_c}$$

RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN

En la figura 7 se representan algunos resultados de esta interpretación. En ella pueden observarse los asentamientos obtenidos con el modelo en la vertical del núcleo, para distintos parámetros geotécnicos.

El conjunto de parámetros definitivos, que se consideraron razonables para modelizar el comportamiento observado, son los que se incluyen en la figura 6.

Este conjunto de parámetros ha sido usado, también, para predecir el estado tenso-deformacional de la presa durante el primer llenado, que se ha iniciado recientemente (final de 1992).

Los principales aspectos relacionados con el estado tensional y los movimientos obtenidos, se incluyen en la figura 8 (presiones verticales totales) y en la figura 9 (movimientos horizontales).

Merece la pena dar alguna explicación adicional sobre la deformabilidad del cimientado. El asiento observado en la presa ha sido considerable, y el cálculo posterior del módulo de deformación del cimientado no puede realizarse mediante un modelo bidimensional de elementos finitos. Por ello, se realizó un cálculo tridimensional simplificado, que ha permitido evaluar un módulo de elasticidad medio para el cimientado (necesario para explicar el asiento observado) del orden de 700 MN/m^2 .

CONCLUSIÓN

El artículo describe la información más relevante, relativa a movimientos y tensiones en el núcleo de la presa de Zahara,

así como un sencillo modelo numérico que reproduce las líneas principales de este comportamiento.

Este mismo modelo numérico, una vez calibrado para tratar de ajustar los datos observados, se utiliza para predecir el futuro comportamiento de la presa durante el llenado del embalse. Para ello se ha tenido en cuenta que los mecanismos de deformación existentes en los procesos de llenado son bien diferentes de aquellos que controlan las deformaciones constructivas.

Hasta este instante del proceso de observación, los principales aspectos derivados de la auscultación han sido ajustados utilizando parámetros razonables de comportamiento de los distintos materiales, acordes con aquellos que se derivan de los ensayos de laboratorio que se realizaron tanto en la etapa de proyecto como durante la construcción de la presa.

REFERENCIAS

- MESRI, G. y CASTRO, A. (1987) " C_u/C_c Concept and K_0 during secondary compression" *Journal of Geotechnical Engineering*. ASCE. Vol. 113 pp 230-247.
- SORIANO, A. (1989). "Puesta en obra y compactación de rellenos en obras de infraestructura viaria". Simposio sobre el Agua y el Terreno de las Infraestructuras Viarias. Torremolinos. pp 129-150.
- SORIANO, A., SÁNCHEZ, F.J. y SERRANO, C. (1990). "Simulation of wetting deformations of rock fills". *Proc. Second European Specialty Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering*. Santander. pp 495-517.

OBRASCON: Obras con profesionalidad.



Banco de Pruebas
de Desarrollo
de Turboreactores
I.N.T.A. (Madrid)

El término "*profesionalidad*" alude al hecho de que el control de la sociedad corresponde a un grupo de profesionales de la construcción, pero sobre todo, a la actitud frente al trabajo, en busca de la calidad óptima de las obras. Soluciones técnicas de ingeniería; aseguramiento de la calidad en la ejecución; cumplimiento de los plazos.

La marcha de OBRASCON está orientada con rigor y seguridad, basada en una configuración precisa de sus metas y de su política empresarial.



Autovía
Ronda Oeste
de Málaga



Presal
del Embalse
de Zahara



Puerto
de Garrucha

El realismo de sus planteamientos y una constante actualización tecnológica, proporcionan a OBRASCON unos consistentes resultados. En obras y en dividendos.



Obras con profesionalidad.

Drayfil

ecofilm

IMPERMEABILIZANTES DE PVC PARA CULMINAR CUALQUIER OBRA BIEN HECHA



MIEMBRO DE LA
FUNDACIÓN ESPAÑOLA
DE LOS PLÁSTICOS
PARA LA PROTECCIÓN
DEL MEDIO AMBIENTE

AISCONDEL LAMINADOS, desde hace más de quince años, viene investigando, desarrollando y produciendo láminas impermeabilizantes para todo tipo de instalaciones, en la construcción, obras públicas y agricultura. Esta larga experiencia, unida a los constantes avances tecnológicos, la sitúa en la primera línea de su sector.

Todas las láminas impermeabilizantes de PVC plastificado fabricadas por AISCONDEL LAMINADOS, bajo la marca DRAYFIL, poseen la certificación AENOR y son conformes a las correspondientes normas UNE.

DRAYFIL y ECOFILM marcan la diferencia en láminas impermeabilizantes.

DRAYFIL-TUNEL

Túnel de Puymorens: láminas de PVC flexibles que evitan la formación de hielo en invierno. Evitan la agresión y destrucción con el tiempo del cemento. La ausencia del ataque de la humedad y la ayuda del perfecto mantenimiento de todas las instalaciones ofrecen seguridad y confianza.



DRAYFIL-AGRICULTURA

Láminas de PVC flexibles, sin armar, para la impermeabilización de balsas, edificios, obra civil, etcétera. Las cualidades más destacables son la estanquidad, resistencia a los rayos ultravioletas, imputrescibilidad y permeabilidad al vapor.



DRAYFIL-CONSTRUCCION

Láminas de PVC plastificado, reforzadas con fibra de vidrio o malla de poliéster, diseñadas para impermeabilizaciones que requieran una gran estabilidad dimensional y una mayor resistencia mecánica. Por sus características es la lámina idónea para cualquier tipo de impermeabilizaciones en el sector de la edificación.



DRAYFIL-ECOFILM

Láminas flexibles de PVC y Asaprene, idóneas para instalaciones de residuos sólidos urbanos (RSU), vertederos controlados e impermeabilizaciones que requieran propiedades muy superiores a las láminas convencionales.



AISCONDEL
LAMINADOS, S.A.

Santa Ana, 101 - 08290 CERDANYOLA (Barcelona) - Tels. (93) 580 44 77 / 580 80 84 - Fax (93) 580 48 45

Entre en el mundo de la *Cartografía Digital...*



✓ Redes de distribución, ✓ Puntos de venta, ✓ Localización de mercados, ✓ Tendidos eléctricos, ✓ Previsión de riesgos, ✓ Optimización de rutas, ✓ Obra civil, ✓ Estudios medioambientales, demográficos, etc.

...y descubra sus múltiples aplicaciones.

PRODUCTOS

Base de Datos 1:200.000 (BCN200), Base de Datos 1:1.000.000 (BCN1000), Modelo Digital del Terreno (BCN200), Base de Datos Monotensiótricos, Mapa de Usos del Suelo (Corine-Land Cover), Datos Teledetección (Landsat TM) (Spot Pancromático), Líneas Límite (Varías escalas).



ACSA
 AUXILIAR DE CANALIZACIONES, S.A.

Joaquín Torruella, 1-5 - 08758 Cervelló
 Mas Casanovas, s/n - 08026 Barcelona

Tel. (93) 660 10 00 - Fax (93) 660 03 16
 Tel. (93) 436 87 00 - Fax (93) 347 10 85

- CANALIZACIONES DE AGUA POTABLE
- SANEAMIENTOS
- ESTACIONES DEPURADORAS
- DEPOSITOS
- EMISARIOS SUBMARINOS

- REMODELACION DE ESPACIOS URBANOS
- CANALIZACIONES DE GAS
- PERFORACIONES HORIZONTALES
- CONTRATAS Y SERVICIOS
- JARDINERIA

- EDIFICACIONES
- REHABILITACION DE TUBERIAS
Licenda
- PROTECCION DE TALUDES
Licenda

PHOENIX
ARMORFLEX

MAQUINARIA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA



Desbaste y tamizado:

- Rejas automáticas y manuales.
- Filtros y tamices.

Organos de cierre:

- Compuertas canal (3 estanquidades).
- Compuertas mural (4 estanquidades).
- Compuertas de grandes dimensiones para centrales hidroeléctricas.
- Vertederos regulables manuales y motorizados.

Caldereria Industrial

Decantación:

- Decantadores.
- Desarenadores.
- Desengrasadores.
- Espesadores de lodos.

Bombas:

- Tornillos de Arquimedes.

Aeración:

- Aeradores superficiales.
- Rotores horizontales.
- Difusores de aire.

€ COUTEX®

Maquinaria especial:

- Diseño y construcción según necesidades específicas de cada aplicación

Análisis estadístico de las series anuales de máximas lluvias diarias en España

JAVIER FERRER POLO (*)
LIANA ARDILES LÓPEZ (*)

RESUMEN Se presentan los trabajos realizados en la modelación estadística de las máximas lluvias diarias a escala nacional, con el objetivo de estimar los cuantiles para distintos periodos de retorno. Se ha adoptado un enfoque de «índice de avenida» en el que los cuantiles locales son el resultado de reescalar una ley regional mediante la media de cada serie de valores que es empleada como factor local de escala.

Se han utilizado las series anuales de máximos de 1.545 estaciones pluviométricas con más de 30 años de registros, que han sido agrupadas en 26 regiones delimitadas con criterios meteorológicos y cuya homogeneización ha sido contrastada mediante análisis estadístico de los coeficientes de variación muestrales empleando el test de χ^2 .

En cada una de estas regiones se han estimado los parámetros correspondientes a cuatro modelos de ley de distribución: a) valores extremos con 2 componentes (TCEV), b) valores extremos generalizados (GEV), c) log-pearson III (LP3) y d) SQRT-ET máx. El análisis de los cuantiles obtenidos muestra pequeñas diferencias entre los resultados, lo cual reduce la trascendencia de la selección. En concreto se ha seleccionado la última de las leyes mencionadas por las siguientes razones: a) está definida con sólo dos parámetros, b) fue propuesta expresamente para el análisis de máximas lluvias diarias, c) conduce necesariamente a resultados más conservadores que la tradicional ley de Gumbel y d) presenta una buena capacidad descriptiva de diversos estadísticos muestrales relacionados con la cola derecha de la distribución, según se ha comprobado con técnicas de simulación de Montecarlo.

La elección de una ley con sólo dos parámetros ha conducido a seleccionar el coeficiente de variación regional como único parámetro determinante de los cuantiles regionales. Ello ha permitido eliminar las discontinuidades resultantes del enfoque regional clásico, suavizando los valores de dicho coeficiente mediante un plano de isocóncas a nivel nacional.

La última fase del trabajo ha consistido en el análisis de la distribución espacial de la media mediante la técnica de Kriging con los datos de 2.231 estaciones pluviométricas con más de 20 datos.

Los resultados finales producto de los cuantiles regionales y la media local han sido obtenidos y presentados con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG) de tipo raster con una resolución espacial de 2.500 m.

STATISTICAL ANALYSIS OF YEARLY SERIES OF MAXIMUM DAILY RAINFALL IN SPAIN

ABSTRACT Work on the statistical modelling of maximum daily rainfalls on a national scale is presented, with a view to estimating the quantiles for different return periods. An «index flood» approach has been adopted in which the local quantiles are a result of rescaling a regional law using the mean of each series of values, that is utilized as a local scale factor.

The annual maximum series have been taken from 1,545 meteorological stations over a 30 year period, and these have been classified into 26 regions defined according to meteorological criteria, the homogeneity of which has been checked by means of a statistical analysis of the coefficients of variation of the samples, using the χ^2 test.

An estimation has been made of the parameters for the following four distribution models: a) Two Component Extreme Value (TCEV), b) General Extreme Value (GEV), c) Log-Pearson III (LP3) and d) SQRT-Exponential Type Distribution of Maximum. The analysis of the quantiles obtained reveals slight differences in the results thus detracting from the importance of the model selection. The last of the above-mentioned distribution has been finally chosen, on the basis of the following: a) it is defined with fewer parameters: only two, b) it is the only that was proposed specifically for the analysis of daily rainfall maximums, c) it yields more conservative results than the traditional Gumbel distribution for the high return periods and d) it is capable of providing a good description of the main sampling statistics concerning the right-hand tail of the distribution, a fact that has been checked with Montecarlo's simulation techniques.

The choice of a distribution model with only two parameters has led to the selection of the regional coefficient of variation as the only determining parameter for the regional quantiles. This has permitted the elimination of the quantiles discontinuity of the classical regional approach, thus smoothing the values of that coefficient by means of an isoline plan on a national scale.

The last stage of the work consisted of analyzing the spatial distribution of the mean of the annual maximum series using the kriging technique with information from 2,231 meteorological stations, each with over 20 years records.

The final quantiles resulting from the regional quantiles, together with the local mean, were obtained and presented with the aid of a raster-type Geographical Information System (GIS), with a spatial resolution of 2,500 m.

Palabras clave: Análisis; Frecuencia lluvias máximas.

INTRODUCCIÓN

El análisis estadístico de las máximas lluvias diarias es el proceso más laborioso y complejo de los incluidos en la metodología propuesta por la actual normativa española de drenaje de carreteras (MOPU, 1990) para la estima-

ción de caudales y que está basada en el método racional. Este hecho, unido al notable incremento de la información pluviométrica disponible desde anteriores trabajos realizados a escala nacional (MOPU, 1978) ha conducido a la Dirección General de Carreteras a solicitar la colaboración del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX para realizar la actualización del mencionado análisis estadístico.

El objeto de dicho trabajo, resumido en el presente artículo, es la estimación de los cuantiles de lluvia diaria para

(*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente).



FIGURA 1. Delimitación de las regiones consideradas.

diferentes períodos de retorno, para lo que se ha llevado a cabo una modelación estadística de las series de máximos anuales.

La modelación estadística (WMO, 1989) requiere la elección de: a) esquema de uso combinado de datos locales y regionales, b) modelo de función de distribución de la población y c) método de estimación de parámetros y cuantiles, con lo que existe una amplia gama de posibilidades que, sin pretender ser exhaustivo, ha sido analizada en el presente trabajo.

USO COMBINADO DE DATOS LOCALES Y REGIONALES

Frente a anteriores trabajos a escala nacional en que se empleaban exclusivamente los datos locales en cada una de las distintas estaciones pluviométricas, se ha optado por un enfoque regional que trata de reducir la varianza de los parámetros estimados con una única muestra, empleando la información de estaciones con similar comportamiento.

El enfoque tradicional de estos métodos asume la existencia de una región homogénea respecto a ciertas características estadísticas lo que permite aprovechar el conjunto de información disponible en dicha región.

En este contexto, las cuestiones a determinar son en esencia las siguientes (Cunnane, 1987):

- características estadísticas asumidas constantes dentro de la región y consecuentemente parámetros que son regionalizados.
- método de delimitación de la región.
- grado de heterogeneidad tolerable dentro de la región.
- estimación de características en las cercanías de los límites de la región.

En general pueden distinguirse dos enfoques distintos a la hora de considerar constantes unos determinados parámetros dentro de la región considerada. Un primer grupo de métodos asumen un coeficiente de sesgo (C_s) constante (USWRC, 1981), existiendo otros métodos que consideran además constante el coeficiente de variación (C_v).

El segundo de los enfoques, más utilizado recientemente (FREND, 1989), es el denominado tradicionalmente de «índice de avenida» que ha sido adoptado en el presente trabajo.

Con este supuesto, la variable Y resultante de dividir en cada estación los valores máximos anuales por su media $Y = P/\bar{P}$, sigue idéntica distribución de frecuencia en toda la región. Los parámetros de dicha distribución, una vez seleccionado el modelo de ley, son obtenidos a partir del conjunto de datos de las distintas estaciones, mientras que el valor local de la media $\bar{P}$ se estima exclusivamente a partir de los