

MODIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN POR FASES DE UNA PRESA CIMENTADA SOBRE SUELOS BLANDOS (PRESA DE LA ESPERANZA. ECUADOR)

F. Mendaña.

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Dirección Técnica de Dragados. Jefe de los Servicios Técnicos.

J.A. Marsella.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Dirección Técnica de Dragados. Jefe de la División de Obras Hidráulicas.

R.T. Alonso Peces.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

División de Obras Hidráulicas de INTECSA.

RESUMEN

A causa de los problemas creados durante la construcción de un primer proyecto de los años 70, la Presa de La Esperanza (núcleo de arcilla; 47 m de altura) fue rediseñada por INTECSA y GEOCISA en 1982 para su construcción en dos fases. Se pretendía estudiar el comportamiento de la de los suelos blandos sobre los que se cimenta la presa, una vez terminada la 1ª fase. Al proceder a su construcción, en 1991 DRAGADOS reestudió todo el diseño, teniendo en cuenta los avances llevados a cabo en la ingeniería geotécnica en los años 80 y las experiencias sobre este tipo de terrenos. Ello permitió abordar en una sola fase la construcción de la presa, actualmente en ejecución, previendo su terminación en 1995.

ABSTRACT

In view of the difficulties encountered during the Esperanza dam (clay nucleus, 47 meters high) was re-design in 1982 by INTECSA and GEOCISA for construction in two stages. The idea was to study the behaviour of the soft soils on which the dam was laid on completion of the first stage. In 1991, on proceeding to start construction. DRAGADOS made yet another Study of the whole design, bearing in mind the advances in geotechnical engineering of the eighties and recent experience on this type of soil. This made it possible to tackle the construction in a single phase. The work is now being carried out, and is expected to be completed in 1995.

1.- INTRODUCCIÓN

La Presa de *La Esperanza* está situada en el río Carrizal, en la cuenca del Pacífico, a unos 150 km al norte de la ciudad de Guayaquil. La presa es del tipo de materiales sueltos, con un núcleo de arcilla y espaldones de arenas limosas. Tiene 47 m de altura sobre cimientos y unos 700 m de longitud de coronación.

En 1981 el Centro de Rehabilitación de Manabí (C.R.M.), propietario de la obra, abrió un concurso internacional para el estudio de la cimentación y rediseño de la presa, cuya construcción se había iniciado según un proyecto de 1970. Las obras se habían interrumpido en 1980, como consecuencia de los problemas creados por las malas condiciones de los sedimentos aluviales blandos del cimiento, que no habían sido debidamente identificadas en el diseño.

El nuevo diseño fue encomendado conjuntamente a INTECSA (Madrid) y GEOSISA (Quito). Vistas la complejidad geotécnica de la cerrada y las incertidumbres del comportamiento del terreno de cimentación bajo las cargas de la presa y embalse, los proyectistas decidieron realizar una exhaustiva campaña de investigación para el rediseño de la presa. Los trabajos de campo desarrollados en 1982 consistieron en sondeos de reconocimiento, pruebas de bombeo en el aluvial, calicatas diversas y ensayos típicos de laboratorio, además de un terraplén de ensayo de unos 10 m. de altura (Ver Bernal y Marín, Congreso ICOLD, Lausanne 1985).

Como consecuencia de dichos estudios, se vio que la cimentación de la presa descansaba sobre lutitas, que presentaban varios deslizamientos antiguos y otros más modernos, posiblemente activos, en las laderas. En la zona central de cauce se confirmó la existencia de un paleocauce en forma de V, con un relleno de aluvial reciente, de una potencia de unos 60 metros. El relleno está formado por arenas limosas, con intercalaciones de arcillas, presentando una capa altamente impermeable en la parte más profunda.

Otros datos de interés fueron los siguientes: el caudal de filtración previsible en el aluvial podría alcanzar los 2 m³/s; la zona superficial del lecho arenoso podría licuefactar en caso de sismo y, finalmente, el asiento de la superficie original del terreno, bajo el terraplén de ensayo fue de 0,42 m después de 100 días, lo que hacía prever asientos del orden de los 3 a 4 m con importantes valores

diferenciales en las zonas apoyadas en roca, respecto de las centrales apoyadas en aluvial.

La solución propuesta, que tuvo el asesoramiento de especialistas importantes (Sherard, 1982) concebía la construcción en dos fases. En la primera se construiría la ataguía, diseñada para funcionar como presa durante cierto tiempo, a cuyo fin estaba dotada de las obras provisionales de aliviadero y torre de toma. El nuevo diseño incluía la construcción de dos pantallas de hormigón plástico: la principal, de aguas arriba, tendría 0,8 m de espesor, unos 5500 m² de superficie y 65 m de altura; la segunda, de altura parecida, superficie de 6000 m² y espesor de 0,6 m, serviría para facilitar la excavación de unos 12 m de relleno aluvial ambas (unos 350.000 m³), que habrían de ser sustituidos con material adecuado. En la segunda fase se completaría la construcción del resto del cuerpo de presa.

El período de espera entre fases sería fijado una vez verificado el comportamiento del cimiento, básicamente el control de sus asientos. Si bien no se excluía la posibilidad de que este período fuera corto, la interrupción de la obra habría de durar hasta que se estabilizaran los asientos. Por la importancia del asiento final previsible, y por tanto de su posible larga duración, una interrupción importante de la construcción debía preverse por el constructor, hasta reanudar la segunda fase.

2.- PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

En 1989 se adjudicó a DRAGADOS la construcción del proyecto de 1982. Previamente al inicio de las obras, previsto para 1992, DRAGADOS reconsideró el estudio de la cimentación: los avances de la ingeniería geotécnica durante los años 80, el aumento de las experiencias constructivas sobre este tipo de suelos y el desarrollo de los medios de cálculo permitían mejorar algunos aspectos del diseño y, al mismo tiempo, considerar la posible eliminación del período de espera entre fases.

Para ello contó en todo momento con la asesoría del profesor J.M. Duncan, que ha marcado las pautas del Estudio realizado (Bolinaga et al., 1993) que fué aprobado por el propietario y de acuerdo con el cual se llevó a cabo el Proyecto definitivo que está sirviendo para la construcción. Como consecuencia de dicho Estudio se ha comprobado lo siguiente:

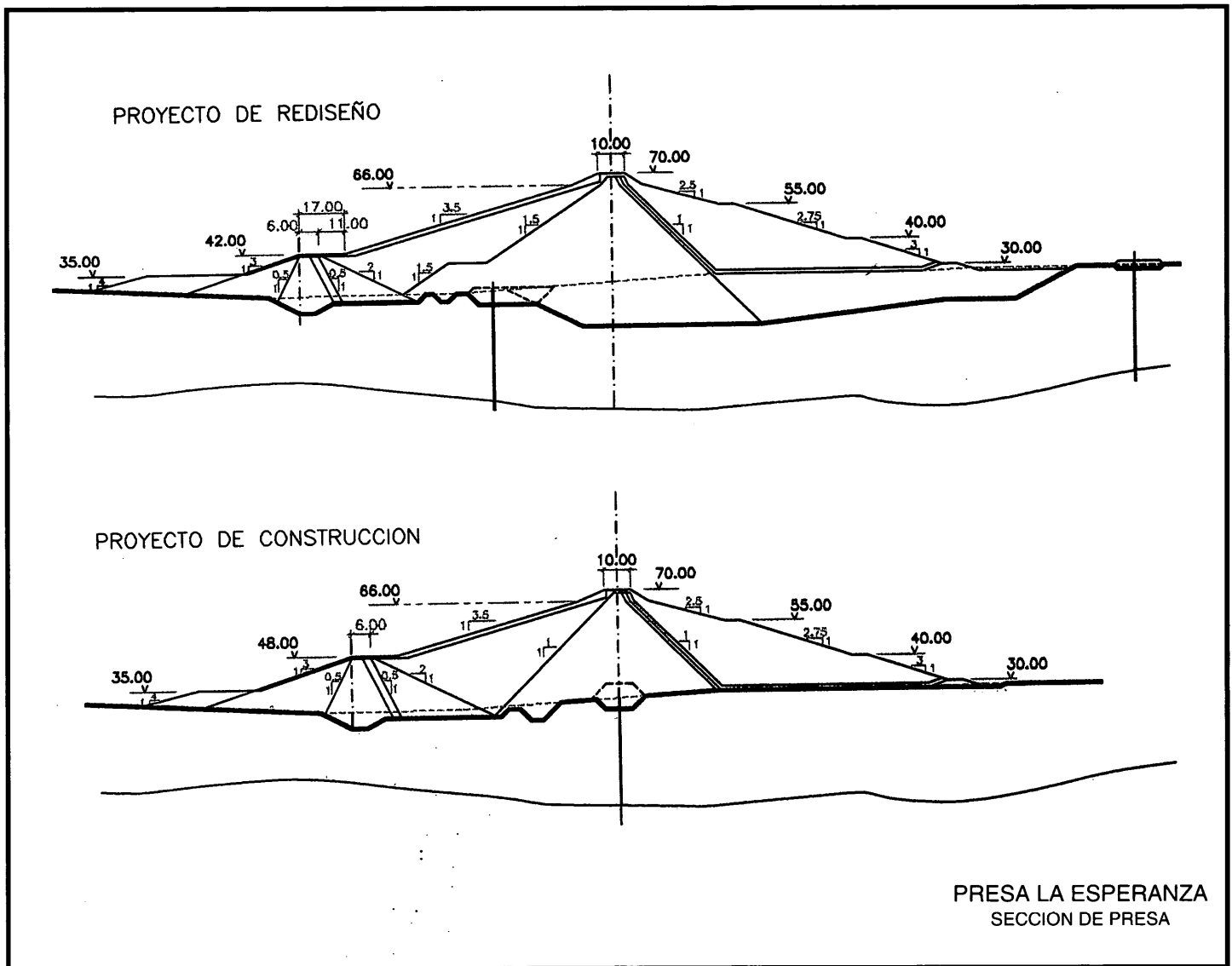


Figura 1.

▼ La capacidad portante del aluvial puede mejorarse adecuadamente por compactación dinámica. Se rebaja así el riesgo de licuefacción en caso de sismo y, por otra parte, es innecesaria la sustitución de material prevista y, por tanto, la excavación del relleno aluvial en la zona de implantación de la presa.

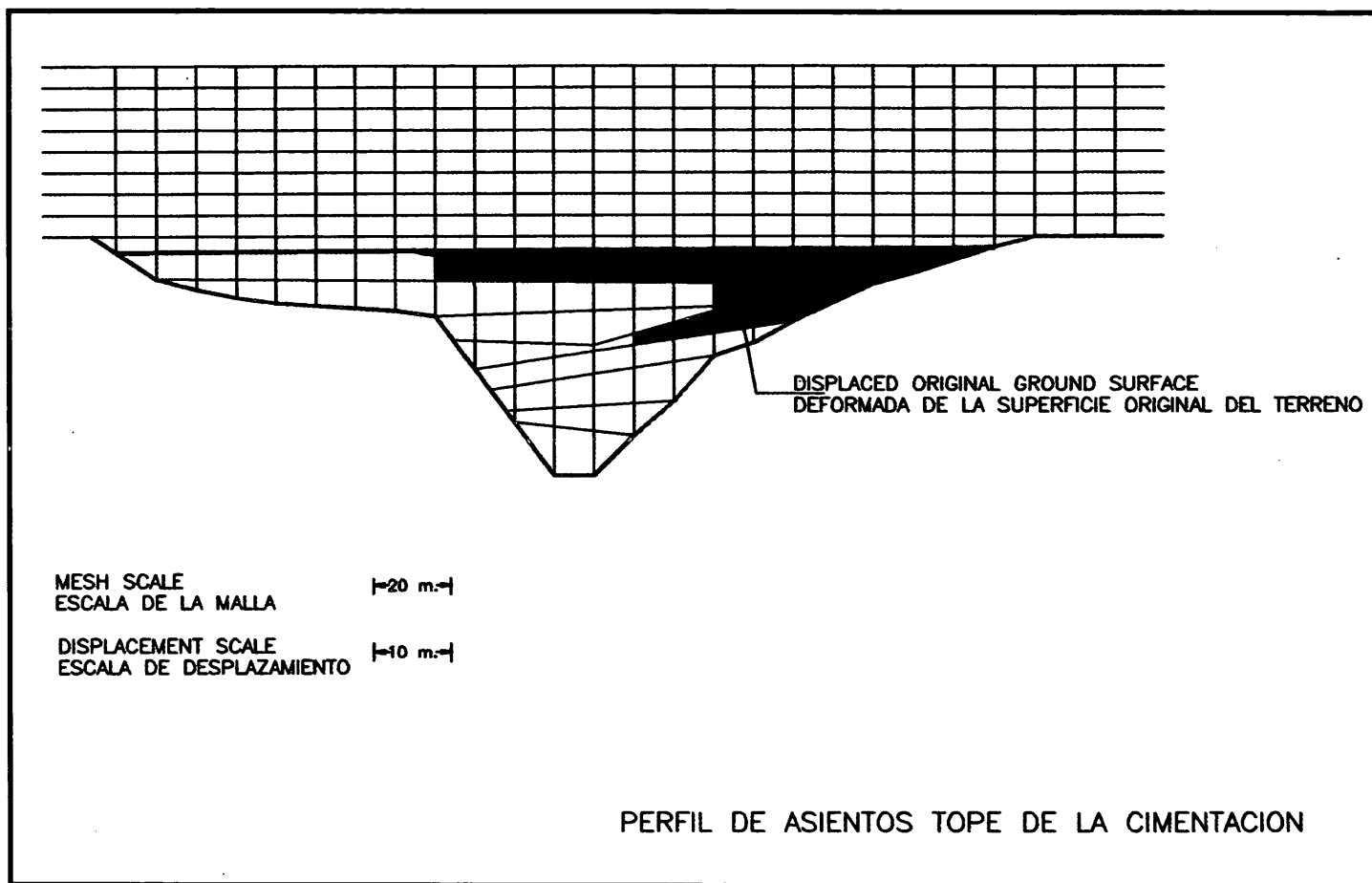
En la figura 1 se incluyen las secciones transversales de la solución propuesta y la definitiva de construcción.

▼ Como consecuencia, no es necesaria la pantalla de hormigón plástica de aguas abajo. Con ello se eliminan ciertas dudas que la presencia de esta estructura planteaba para el funcionamiento futuro de la presa.

▼ Los asentos máximos son menores de lo inicialmente previsto y se producen prácticamente durante la construcción. En consecuencia, la presa puede construirse sin interrupciones, lo que permite eliminar la construcción por fases, y corregir el Programa de trabajos.

▼ Con el nuevo Programa se han podido establecer con certeza razonable los costos y plazos de ejecución.

En los apartados siguientes resumiremos, primero, los principales estudios llevados a cabo para el actual Proyecto de Construcción y, finalmente, los datos más importantes relativos a la construcción, así como los trabajos de investigación y



Figuras 2 y 3.

**PRESA LA ESPERANZA
ESFUERZO PRINCIPAL MENOR
EN EL CUERPO DE PRESA**

4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
11,8	11,2	10,9	10,9	11,1	11,4	11,6
18,9	18,0	17,6	17,7	18,1	18,6	18,9
25,9	24,9	24,5	24,8	25,3	25,9	26,4
33,0	31,9	31,8	32,1	32,9	33,5	34,0
40,3	39,3	39,0	39,9	40,7	41,4	41,8
48,7	46,9	47,2	48,1	49,0	49,4	49,8
58,2	56,9	56,2	57,4	57,6	57,7	57,9
68,2	66,9	67				
92,7	94,9					

Minor Principal Stress, 1/m2
Esfuerzo Principal Menor

control realizados durante dicha etapa final del proyecto.

3.- ESTUDIOS REALIZADOS PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

El problema principal de la cimentación de la presa radica en la influencia que el asiento por consolidación del terreno puede tener durante el proceso constructivo (disipación de presiones intersticiales y estabilidad) así como en el estado final de explotación de la presa (grietas y estabilidad). Los principales estudios llevados a cabo para el estudio de esta problemática se resumen a continuación.

3.1.- ANALISIS DE LA VELOCIDAD DE ASIENTO

La investigación de la velocidad de asiento se hizo utilizando el programa CONSOL (Wong et al.,

1988). Los valores de compresibilidad y de tensión de preconsolidación fueron los determinados en los ensayos de laboratorio del estudio de rediseño de INTECSA y GEOSISA de 1982 y el coeficiente de consolidación ($C_v = 0,52 \text{ m}^2/\text{día}$) el obtenido en el terraplén de ensayo del mismo estudio. El terraplén se simuló con una carga de 45 m de relleno de densidad $1,82 \text{ t/m}^3$ y el período de aplicación fué de 400 días (inferior al que resultará en la realidad).

Los resultados fueron que el asiento final alcanzaría 2,20 metros y que los asientos ocurrirán a la misma velocidad que se aplica la carga, sin que se produzcan valores significativos de exceso de presión intersticial en la arcilla. En consecuencia, se espera que los asientos se produzcan fundamentalmente durante el período de construcción.

3.2.- ANALISIS DE TENSIONES-DEFORMACIONES

Se hizo un análisis por elementos finitos de la distorsión producida por los asientos en el núcleo (posibilidad de fisuración del mismo). Se utilizaron características no lineales de tensión-deformación para el cuerpo de presa, tanto la arcilla del núcleo, como las arenas limosas de los espaldones. Se

supuso un relleno compactado al 95% Proctor Normal, con un porcentaje de humedad superior en un 2% a la óptima y se usaron parámetros hiperbólicos de tensión-deformación y de resistencia (Duncan et al., 1980).

Las conclusiones fueron: asiento máximo final de 2,1 metros (ligeramente inferior al del programa CONSOL, consecuencia del efecto arco que tiende a crear la presa) y valores siempre positivos de la tensión principal menor (probabilidad mínima de grietas). Ver figuras 2 y 3.

3.3.- ESTABILIDAD DEL CUERPO DE PRESA

Se evaluó la estabilidad al final de la construcción considerando núcleo de arcilla no drenado y condiciones de drenaje tanto en los espaldones como en la arena limosa del aluvial de la cimentación y sus arcillas intercalares. El análisis se hizo con el programa STBGM (Duncan et al., 1985)

La sección transversal analizada es la de la fig. 4. El factor de seguridad mínimo, para el círculo señalado, fué de 1,7, lo que se consideró suficientemente alto.

Como consecuencia de los análisis anteriores, se tomaron las decisiones básicas señaladas al principio de este apartado 3 (no excavar el relleno

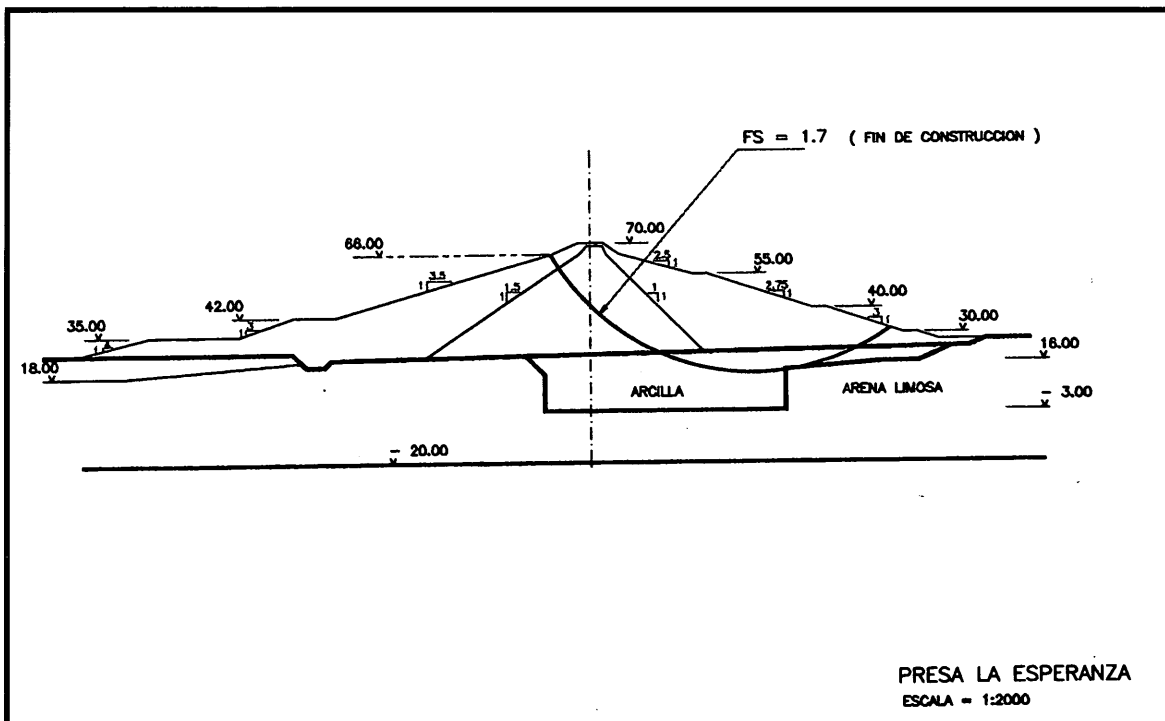
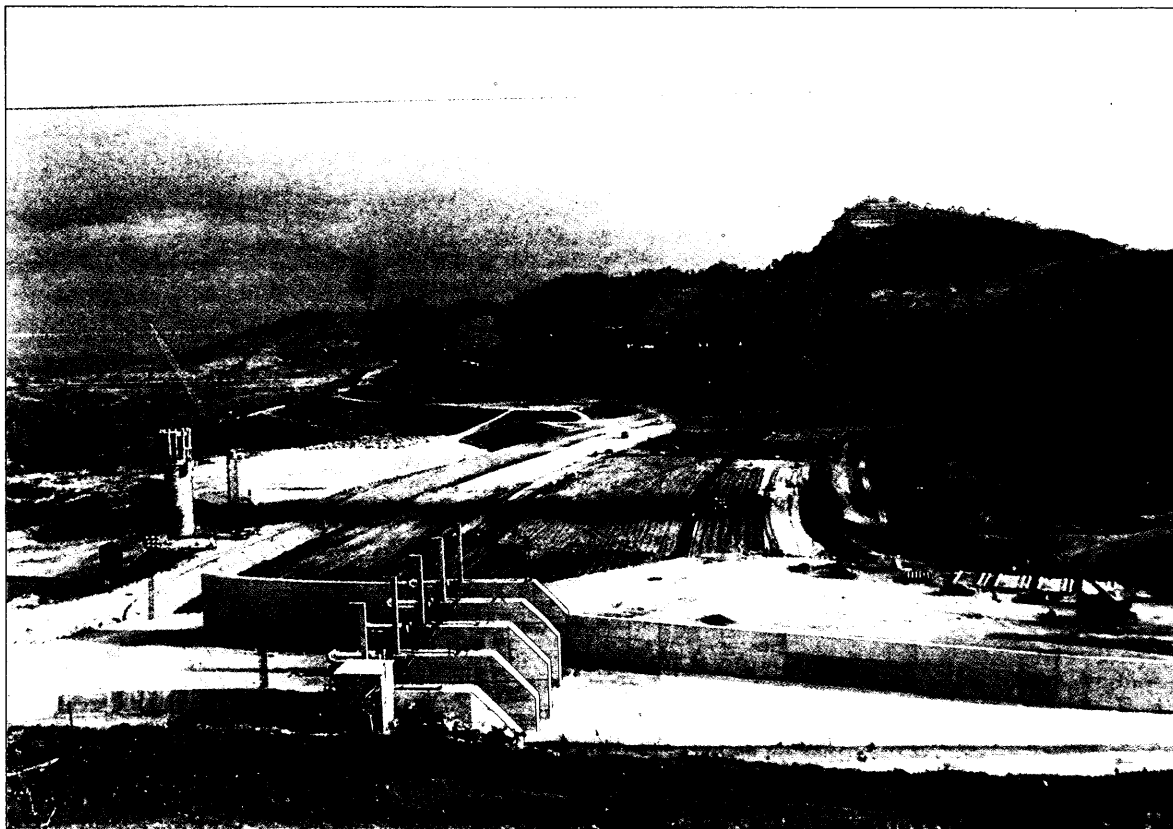


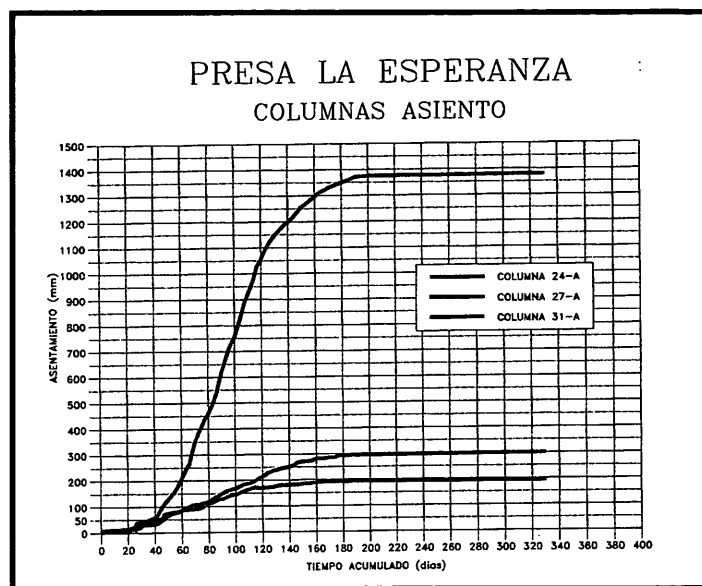
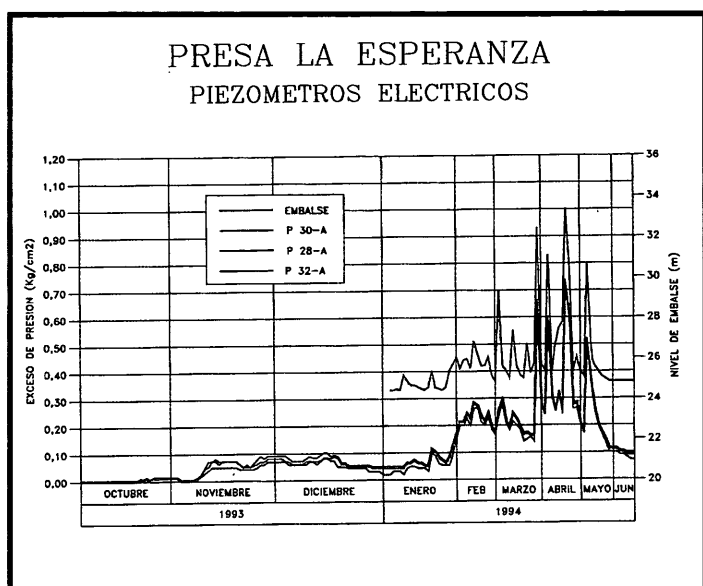
Figura 4.

Septiembre 1994.



Enero 1995





Figuras 5 y 6.

aluvial y suprimir la pantalla de aguas abajo). No obstante, dada la incuestionable complejidad geotécnica de la cerrada, de la que inmediatamente hubo experiencias directas, que comentaremos, se decidió instalar en la ataguía un importante dispositivo de auscultación para el control de la evolución de las magnitudes principales (presiones intersticiales y asentos).

4.- CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA. INVESTIGACIONES Y CONTROLES DURANTE LA MISMA

4.1.- DATOS RELATIVOS A LA CONSTRUCCIÓN

Los hitos e incidencias más notables de la construcción de la presa hasta el presente (agosto de 1994) fueron los siguientes:

- a) Movilización
- b) Excavación para presa y aliviadero.
- c) Galerías de visita.
- d) Hormigón aliviadero

4.2.- INVESTIGACIONES Y CONTROLES DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

Desde el comienzo de la construcción (Mayo 1992) se realizaron múltiples sondeos complementarios de reconocimiento, que confirmaron,

prácticamente, todas las hipótesis del Proyecto definitivo.

La ataguía, construida básicamente durante la estación seca (abril - noviembre) de 1993 ha aportado numerosos datos que han permitido calibrar los valores utilizados en los estudios. Las figuras 5 y 6 muestran la evolución de las presiones intersticiales y de los asentos. La primera demuestra la alta permeabilidad del cimient, al variar las presiones con el nivel de embalse, si bien no hay registros de presiones en exceso. En cuanto a la curva asientos-tiempo se observa que las arenas limosas del cimient son más compresibles de lo previsto: reproducida con el programa CONSOL una curva análoga a la observada en la ataguía, se ha precisado en 2,60 el asiento máximo esperable en la presa. El estado tensión-deformación no varía del previsto en el cálculo por elementos finitos. Por último, en cuanto al problema de la posible licuefacción de las arenas, a la berma que se introdujo, en el rediseño de 1982, en el pie de aguas arriba de la ataguía se añadió la compactación dinámica del aluvial en las zonas más arenosas de la porción de aguas abajo del área de implantación de la presa.

En la fase actual de construcción, que corresponde a la temporada seca de 1994, se siguen realizando estos controles, manteniéndose los resultados en el mismo orden de magnitud de los comentados. Ello permite esperar la terminación de la obra según las previsiones del Plan de trabajos del Proyecto definitivo de construcción. ●

REFERENCIAS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Jefe de Proyecto de CRM, Juan Peláez, y al personal de DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES (DyC) en la Esperanza, por su asistencia durante nuestra visita a la obra. Fernando Abadía, Jefe de Obra (DyC) y Angel Pamplona, Jefe de la Oficina Técnica (DyC), han proporcionado sugerencias y comentarios que han contribuido al desarrollo de esta nota.

- **Bernal, A. Marín, J.A.**, (1985) "Design of the Foundation of the la Esperanza Dam". Fifteenth Congress on Large Dams. Commission Internationale des Grands Barrages, Lausanne 1985.

- **Fernando J. Bolinaga H., James Michael Duncan, George M. Filz, Miguel Sanz Santacruz, Fernando del Campo Ruiz**, "Influencia de un gran asiento de la cimentación en la Presa La Esperanza", Simposio sobre Geotecnia de Presas de Materiales Suelos, Zaragoza 1993.

- **Daehn, W.W.** (1955), "Behaviour of a rolled earth dam constructed on a compressible foundation", 5th International Congress on Large Dams, Question nº 18, Commission Internationale des Grands Barrages, Vol III, Paris 1955.

- **Duncan, J.M.** (1993), "Limitations of Conventional Analysis of Consolidation Settlement", 27th Terzaghi Lecture, Journal of the Geotechnical Division, ASCE, September, 1993.

- **Duncan, J.M., B.K. Low and V.R. Shaefer** (1985), "STABGM: A Computer Program for Slope Stability Analysis of Reinforced Embankments and Slopes", Geotechnical Engineering Report, Department of Civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, September, 1985. 29 pages.

- **Duncan, J.M., Byrne, P. Wong, K.S. and Mabry, P.** (1980) "Strength, stress-strain and movements in soil masses". Geotechnical Engineering report nº UCB/GT/01, Univ. of California, Berkeley, Calif., Aug.

- **Garga, V.K., Rocha, A., and Ramos, H.** (1984), "The Santa Helena Dam on Compressible Foundation". Paper presented at the First International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, May, 1984.

- **INTECSA (España) y GEOSISA (Ecuador)** (1982a), "Estudios Adicionales para el Rediseño de la Presa La Esperanza del Proyecto Carrizal-Chone", Informe Geotécnico, Informes 11-A, 11-B y 11-C, República del Ecuador, Centro de Rehabilitación, Manabi, Agosto 1982.

- **INTECSA (España) y GEOSISA (Ecuador)** (1982b), "Estudios Adicionales para el Rediseño de la Presa La Esperanza del Proyecto Carrizal-Chone, Informe 10-A, Estudio Ginal de Materiales, Volumen 1, República del Ecuador, Centro de Rehabilitación de Manabi, Agosto 1982.

- **INTECSA (España) y GEOSISA (Ecuador)** (1986), "Proyecto de Aprovechamiento múltiple Carrizal-Chone: Construcción de la Presa La Esperanza, Volumen 4: Planos". Documentos de Licitación, República del Ecuador, Centro de Rehabilitación de Manabi, Mayo 1986.

- **Laroque Guy, S.** (1991) "Dams on Difficult Foundations - Qestion 65", General Report, Seventeenth Congress on Large Dams, Commission Internationale des Grands Barrages, Viena 1991.

- **Peters, N. and Lamb, K.N.** (1979), "Experiences with Alluvial Foundations for Earth Dams in the Praire Provinces", Canadian Journal, National Research Council of Canada, V.16, nº 2, May 1979.

- **Sherard, Woodward, Gizienski, Clevenger** (1963), "Earth and Earth-Rock Dams", John Wiley and Sons, 1963.

- **Wong, K.S., J.M. Duncan, Smith, R.W. and Brandon T.L.** (1988), "CONSOL: A Computer Program for 1-D Consolidation Analysis of layered Soil Masses Microcomputer Version", Geotechnical Engineering Report, Department of Civil Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, 44 pages, Feb. 1988.