

Impermeabilización del embalse de Anllares^(*)

Por R. DEL HOYO FERNANDEZ-GAGO
Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Unión Eléctrica Fenosa, S. A.

J. LUIS FERNANDEZ BERTOLEZ
Ingeniero Técnico de Obras Públicas
Unión Eléctrica Fenosa, S. A.

Se describe en este artículo la selección de materiales, construcción y control de la impermeabilización en el embalse de Anllares, mediante un tapiz de arcilla de espesores variables entre 0,7 y 1,50 metros.

INTRODUCCION

La Central Térmica de Anllares, construida por Unión Eléctrica-Fenosa, S. A. en el término municipal de Páramo de Sil, en la provincia de León, necesita una aportación de 0,35 m³/seg. de agua, tanto para reponer las pérdidas del sistema de refrigeración en circuito cerrado, como para atender a los distintos servicios de la Central.

La existencia de un canal situado a una distancia de 1,5 Km., de la Central, que parte del embalse de Ondinas y alimenta a la Central Hidroeléctrica de Peñadrada, explotada por Endesa, sugirió la solución de extraer del citado canal los 0,35 m³/seg., y bombearlos al embalse de Anllares, el cual dispone de la capacidad suficiente para garantizar el suministro de agua en las épocas en que, por revisión o reparaciones del canal, éste se encuentre fuera de servicio.

GEOLOGIA Y RECONOCIMIENTOS

La zona en que se sitúa el embalse de Anllares está formada por pizarras gris oscuro del Paleozoico (Ordovícico), las cuales han sufrido una mayor erosión que los terrenos más consistentes de cuarcitas, pizarras y areniscas cercanos, habiéndose depositado sobre estas cuencas de erosión sedimentos detríticos del Terciario reciente (Mioceno o Plioceno), continuando después la erosión por los glaciares, con depósitos cuaternarios posteriores.

En los primeros sondeos realizados en el emplazamiento de la Central se ha llegado a profundidades de 31 m., para alcanzar las pizarras de fondo.

En la primavera de 1981 se completó el reconocimiento del vaso con ocho sondeos, con extracción de testigos y pruebas de permeabilidad y una campaña geofísica, sísmica de refracción y eléctrica resistiva, en dos fases.

Con estos reconocimientos se pudo comprobar que tanto la ladera derecha como el curso del arroyo están formados por gravas y bolos del Mioceno, con arcillas cuaternarias en algunas zonas, principalmente hacia la ladera derecha y que en el cauce del arroyo las gravas y arenas están recubiertas en bastantes zonas por materiales orgánicos cuaternarios. A la vista de estos resultados se pudo decidir el tipo de presa a adoptar (materiales sueltos y núcleo de arcilla), así como la necesidad de impermeabilizar el vaso en toda su superficie (140.000 m².) con un manto de arcilla de espesor variable entre 0,7 y 1,5 m., con objeto de limitar al máximo las pérdidas de agua.

MATERIALES

En la zona próxima al embalse existen posibles canteras para obtener tanto las gravas y arenas necesarias para la constitución de filtros, drenes y espaldones de presa, como las arcillas a emplear en el núcleo impermeable y tapices del vaso.

Como posibles zonas de préstamo para las arcillas se seleccionaron tres emplazamientos, de

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 30 de abril de 1988.

IMPERMEABILIZACION DEL EMBALSE DE ANLLARES

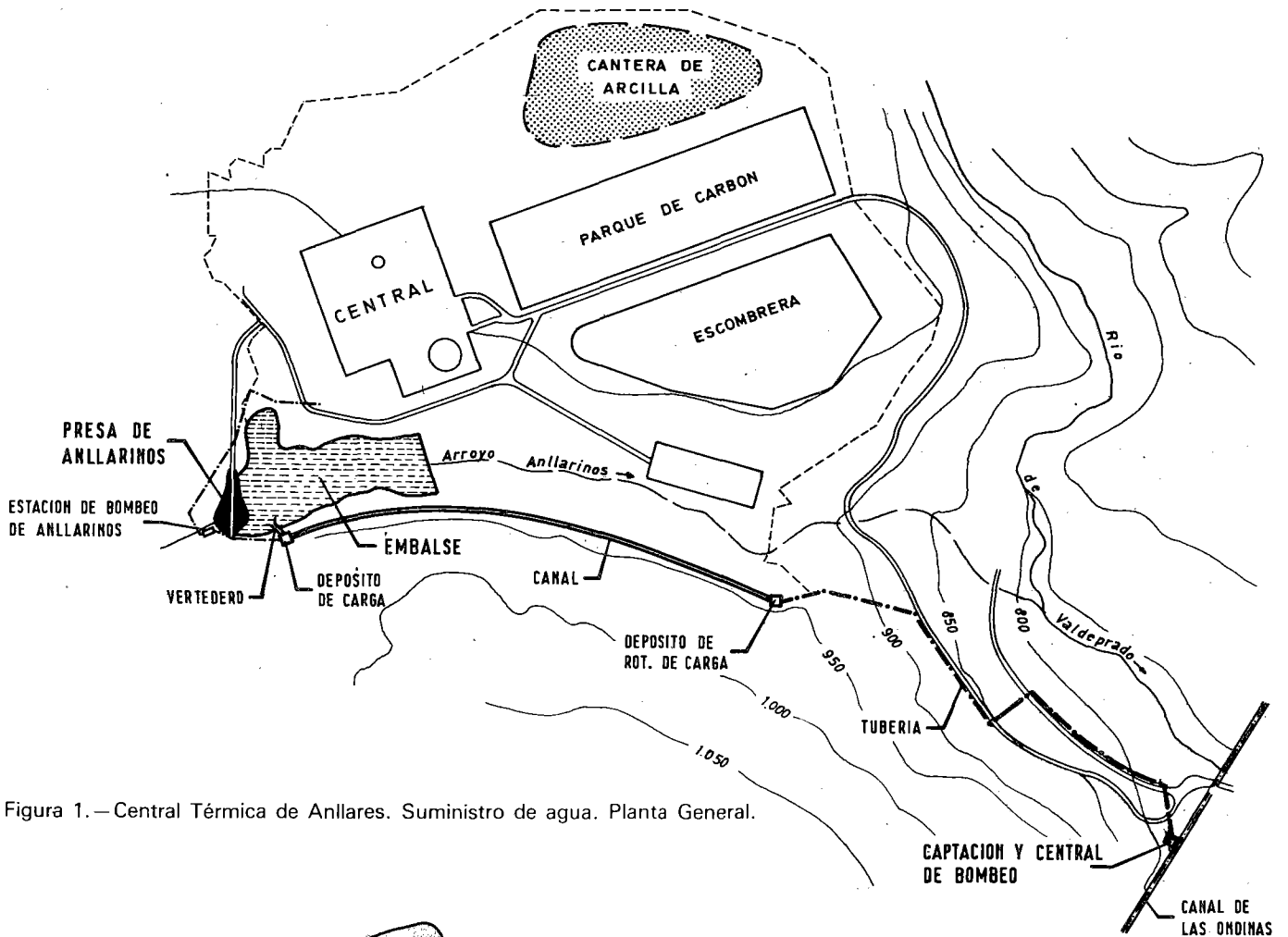


Figura 1.—Central Térmica de Anllares. Suministro de agua. Planta General.

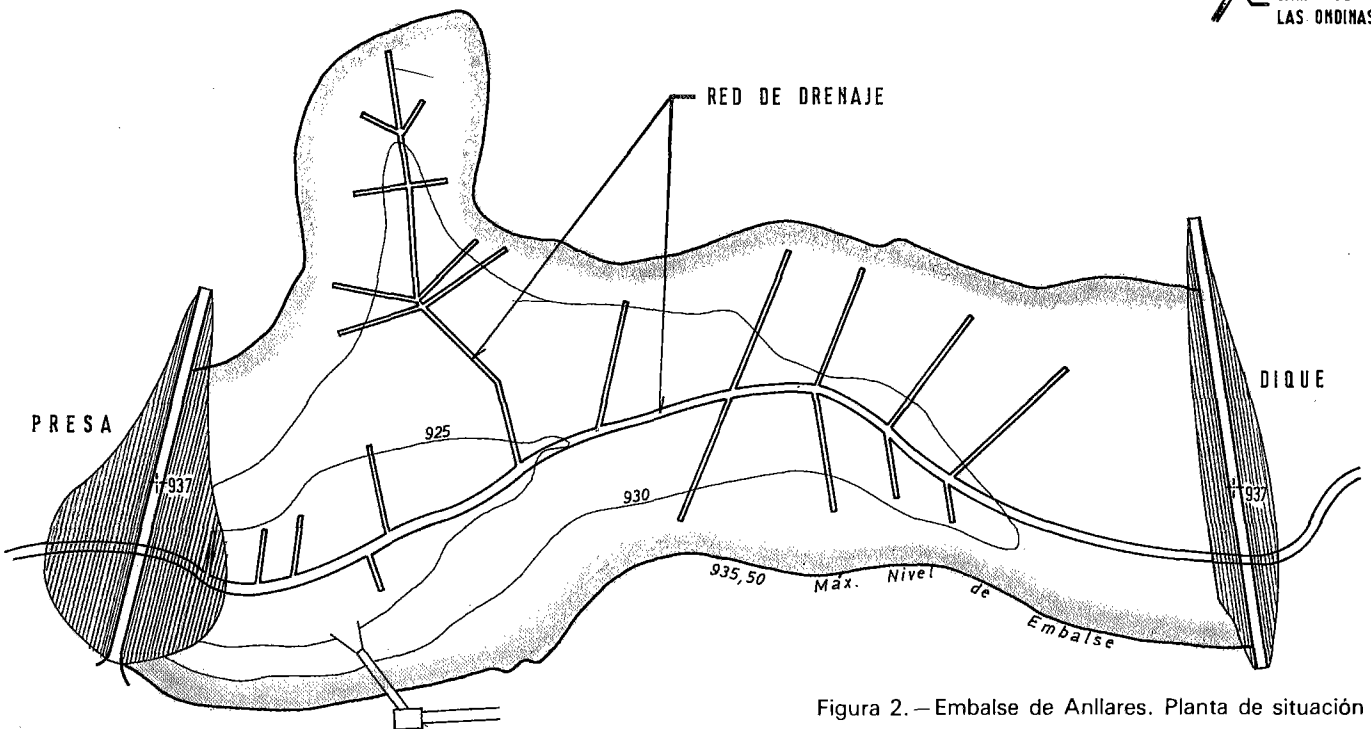


Figura 2.—Embalse de Anllares. Planta de situación de la red de drenaje, bajo el tapiz de arcilla.

IMPERMEABILIZACION DEL EMBALSE DE ANLLARES

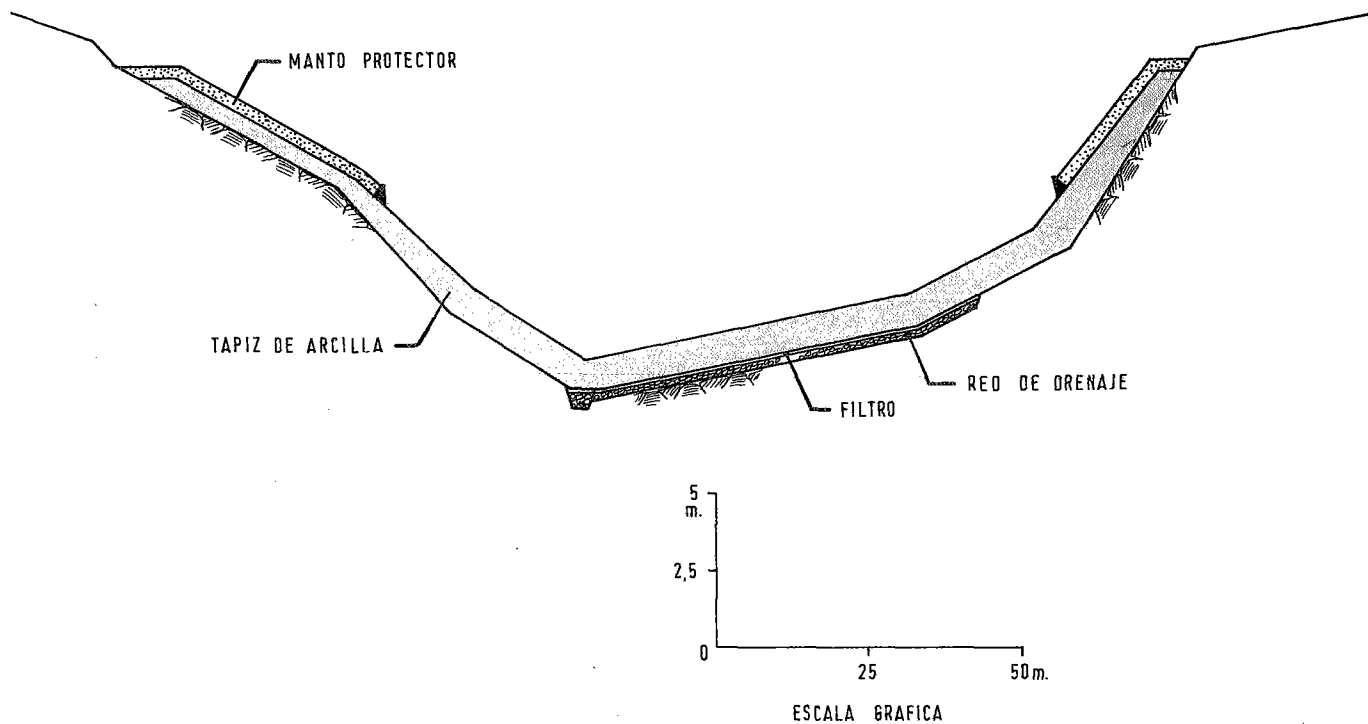


Figura 3.—Embalse de Anllares. Sección Tipo con disposición de red de drenaje y tapiz de arcilla.

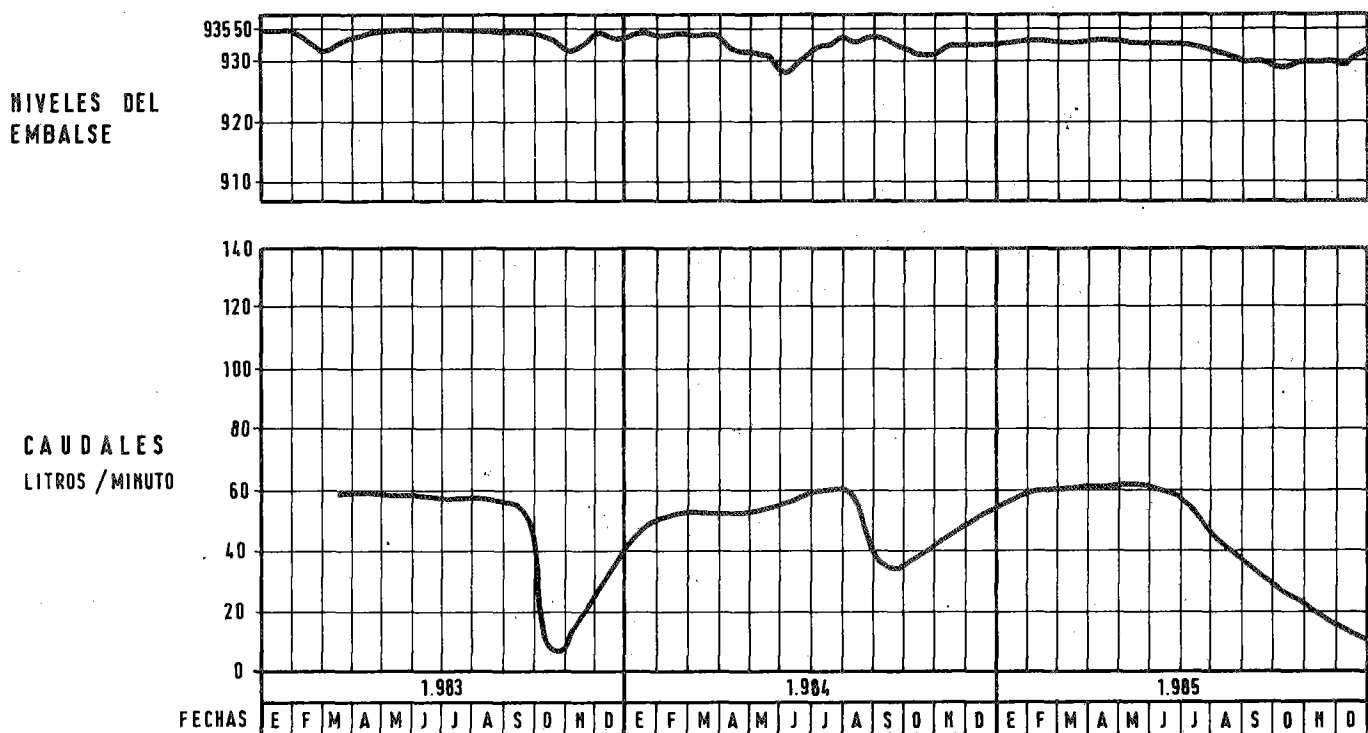


Figura 4.—Embalse de Anllares. Evolución de caudales aportados por la red de drenaje una vez corregido el efecto de las lluvias.

IMPERMEABILIZACION DEL EMBALSE DE ANLLARES

los que sólo se llegó a utilizar el que se encuentra situado al norte del parque de almacenamiento de carbones y separado de éste por la carretera que lo circunda, formado por sedimentos del Mioceno y conos de deyección, que bajo una capa de tierra vegetal, presenta un material limo-arcillosos con arenas y grava, de potencia variable, que se va reduciendo de norte a sur.

La investigación realizada en esta zona consistió en la apertura de diez catas, cuya profundidad osciló entre 1,35 y 3,80 m., en las que se tomaron en el momento de apertura un total de treinta y cuatro muestras, diecisiete de ellas para la determinación de la humedad natural existente en estos suelos y las diecisiete restantes para su posterior ensayo en laboratorio.

Los ensayos realizados en laboratorio y las Normas aplicadas en la realización de los mismos, de acuerdo con el posible empleo de los materiales a estudiar, fueron los siguientes: humedad natural (NLT-102), granulometría por tamizado (NLT-104), granulometría por sedi-

mentación (MELC-1601-a), determinación del límite líquido (NLT-105), determinación del límite plástico (NLT-106), peso específico de las partículas del suelo (UNE 7001), compactación Proctor Normal (NLT-107), compactación Proctor Modificado. Se procedió después a la clasificación de los suelos ensayados según Casagrande.

Para cada uno de los distintos grupos de suelo obtenidos, después de la clasificación realizada en base a los ensayos de identificación, se realizaron ensayos de hinchamiento libre, presión de hinchamiento, permeabilidad y triaxial.

Para la realización de los ensayos de Permeabilidad y Triaxial, se aplicó, en la confección de las probetas remodeladas, la humedad óptima obtenida en los ensayos de compactación Proctor Modificado y de 95 por 100 de la densidad máxima del mismo ensayo, por ser normativa corriente la aplicación de esta densidad, como mínimo, en las especificaciones de terraplén de presas de materiales sueltos, manteniéndose en las probetas fabricadas, los por-



Figura 5.—Comienzo de los trabajos del saneo del vano, previo a la construcción de la red de drenaje y del tapiz de arcilla.

IMPERMEABILIZACION DEL EMBALSE DE ANLLARES

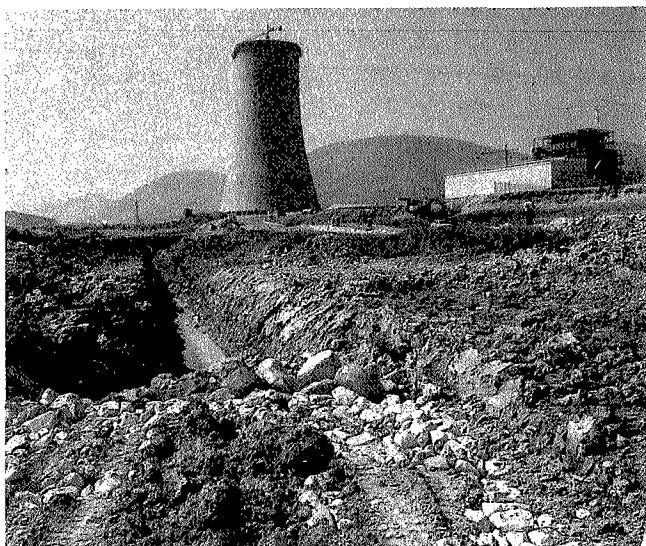


Figura 6. — Ejecución del drenaje situado bajo el tapiz.

centajes de gruesos, con sus correcciones normalizadas y de finos que contienen estos suelos.

Por el contrario, para ensayos de hinchamiento y de presión crítica de hinchamiento, dadas las características de los equipos de ensayos normalizados, fue utilizada la fracción fina de cada muestra, compactadas éstas con densidades aproximadas equivalentes a la óptima y noventa y cinco por ciento (100 por 100 y 95 por 100) de la alcanzada por la fracción fina de la mezcla en el ensayo de compactación Proctor Modificado.

Los materiales estudiados se pueden definir como unas arenas limo-arcillosas de plasticidad media a baja con algunos lentejones de limos areno-arcillosos y en todos los casos mezclados con gravas cuarcíticas o pizarrosas, en porcentajes variables. Estos suelos pertenecen al grupo SC ó SM de Casagrande con intercalaciones de los grupos CL y ML. En cuanto a granulometría se refiere, éstos suelos están formados por porcentajes de grava y arena, limos y arcillas (de acuerdo con las curvas granulométricas obtenidas en los ensayos por tamizado y densimetría) que varían aproximadamente entre 40 y 75 para la arena y grava y 16 y 41 para el limo y 6 y 13 para la arcilla. En cuanto a su plasticidad, los límites líquidos están comprendidos entre 44 y 23, con índices de plasticidad entre 15 y 17, con predominio de los suelos de

plasticidad media, con límite líquido entre 30 y 37.

Respecto al peso específico de las partículas del suelo, se observan variaciones que oscilan entre 2,70 y 2,79 gr/cm³, para la fracción fina y 2,58 y 2,67 gr/cm³, para la gruesa.

Estudiando las curvas obtenidas tras el ensayo de compactación Proctor Modificado, se pudo observar que con aumentos de un 2 por 100 sobre la humedad óptima, su densidad descendía hasta un 96 por 100 respecto a la máxima.

Con ocho muestras que se consideraron representativas de los suelos existentes, se realizaron los ensayos Triaxial, Permeabilidad e Hinchamiento. Los resultados obtenidos se incluyen en los cuadros números 1 y 2.

CUADRO N.º 1

Muestra	Triaxial		Coeficiente de permeabilidad en cm/seg.
	kg/cm ² c	ϕ	
ES-734	0,45	24°	$6,8 \times 10^{-7}$
ES-738	0,31	30°	$9,5 \times 10^{-7}$
ES-740	—	—	$1,8 \times 10^{-6}$
ES-741	—	—	$4,0 \times 10^{-7}$
ES-744	0,20	32°	$7,3 \times 10^{-7}$
ES-747	—	—	$4,6 \times 10^{-7}$
ES-749	0,90	28°	$9,8 \times 10^{-7}$
ES-750	—	—	$1,8 \times 10^{-7}$

CUADRO N.º 2

Muestra	Densidad inicial	Grado de saturación inicial	% hinchamiento	Densidad final	% Densidad respecto a la inicial
ES-734	1,68	96,9	4,4	1,61	95,8
	1,59	84,3	2,8	1,55	97,5
ES-738	1,81	83,1	9,6	1,65	91,2
	1,70	69,9	4,8	1,62	95,3
ES-741	1,82	93,9	10,0	1,65	90,7
	1,73	81,2	8,3	1,60	92,5
ES-744	2,01	86,2	7,8	1,87	93,0
	1,89	69,4	6,8	1,77	93,7
ES-747	1,81	84,5	5,9	1,71	94,5
	1,70	71,0	2,3	1,66	97,6
ES-749	1,83	73,8	4,5	1,76	96,2
	1,70	59,9	2,4	1,66	97,6
ES-750	1,92	83,6	6,3	1,81	94,3
	1,81	70,0	6,7	1,70	93,9

Los valores de hinchamiento libre van del 4,4 por 100 al 10 por 100; no obstante, hay que tener en cuenta que el ensayo se realiza con los finos solamente, por lo que el material empleado en obra, al ser mezcla de finos y gruesos, tendrá un hinchamiento sensiblemente menor.

Posteriormente se realizaron ensayos de presión crítica de hinchamiento.

Respecto al estado de estos suelos en cantera, podemos decir que, a partir de cierta cota, están saturados o próximos a la saturación, con humedades que varían entre el 12 al 27 por 100, aumentando en profundidad. Esto que, en principio, pareció un problema para la compactación, en realidad suplió la necesidad de regarlos, ya que con la carga, extendido y un cierto oreo en algunos casos, se alcanzaba una humedad muy próxima a la humedad óptima.

CONSTRUCCION

Conocidas las características físicas del suelo y con objeto de estudiar las posibilidades prácticas de compactación en diferentes condiciones de humedad, se prepararon unas áreas de ensayo, consistentes en ocho bandas de 4 x 32 m., que se subdividen a su vez en tres zonas, de 8, 16 y 8 m, respectivamente y que coinciden con las de aceleración, velocidad de régimen y salida de los medios mecánicos a utilizar.

Se ensayaron tongadas de 15, 20 y 25 cm., de espesor, empleándose los medios disponibles en obra para la carga en cantera, transporte, extensión del material, desecación y compactación, comprobándose la densidad, granulometría, límites y Proctor Normal y Modificado.

Estas áreas de ensayo, además de determinar el espesor de tongada adecuado, número de pasadas del equipo utilizado para obtener la densidad requerida, humedad a la que se obtiene esta densidad con la energía utilizada y unión entre dos tongadas sucesivas, sirvieron para calibrar correctamente el aparato de isótopos radiactivos destinado a las comprobaciones rutinarias de densidad.

Como consecuencia de estos ensayos, el espesor de tongada adoptada ha sido de 15 cm.,



Figura 7. — Construcción del tapiz de arcilla, enlace del mismo con el núcleo de presa y arranque del espaldón de grava.

y el número de pasadas del rodillo pata de cabra tipo Caterpillar-825 B, de 30 Tn., oscilan entre 14 y 18.

A mediados de agosto de 1981 se iniciaron las obras. Previamente se hizo una limpieza total de tierra vegetal del vaso y un drenaje general consistente en una «espina de pez» tipo dren francés para captar los manantiales que aparecieron en las laderas y al mismo tiempo rebajar en lo posible el nivel freático. Con objeto de evitar la contaminación de este dren y de las zonas de gravas naturales, se colocó, antes del extendido de la arcilla, un filtro de arena.

Como consecuencia de la climatología existentes, fue necesario parar el tajo de colocación de arcilla, a partir del mes de noviembre.

Durante esta primera etapa, de agosto a noviembre de 1981, se tomaron 123 muestras y se realizaron 452 ensayos de identificación de suelos, compactación (Próctor Modificado), determinación de materia orgánica, permeabilidad en laboratorio, estudios de humedad en los materiales a emplear (Zona de Préstamos y acopios), determinación de la humedad y densidad «in situ» y permeabilidad «in situ».

De cada tongada se levantó una planta coordenada, en la que se marcaban los puntos ensayados por bisección desde puntos fijos exteriores.

IMPERMEABILIZACION DEL EMBALSE DE ANLLARES

A finales de mayo de 1982 se reiniciaron los trabajos, comenzando por los ensayos de comprobación de las arcillas, tanto de las últimas colocadas la temporada anterior, como de las de cantera.

Este segundo período abarca desde finales de mayo de 1982 hasta el 30 de septiembre del mismo año. Durante esta etapa se realizaron 1.204 ensayos, que podemos agrupar en ensayos de laboratorio (tomas de muestras alteradas, granulometrías por tamizado, determinación límite líquido, determinación límite plástico, determinación no plasticidad, Proctor Modificado, determinación de permeabilidad, clasificación y descripción del suelo) y ensayos «in situ» (determinación de la humedad en zona de préstamo y vaso presa, determinación de la densidad y humedad en núcleo y revestimiento de vaso, determinación de la densidad en filtros, determinación de la permeabilidad). Se colocaron en total 216.286 m³, de arcilla, de los cuales 13.379 m³, corresponden al núcleo de presa y el resto al tapiz, que alcanza espesores de 75, 100 y 150 cm., en función de la altura de agua en el punto.

Los cinco metros superiores del tapiz de arcilla, en los que es de prever, a causa de las oscilaciones del nivel del embalse, la acción del oleaje, se colocó un manto de protección de gravas de 30 cm., de espesor.

CONTROL DE LA IMPERMEABILIZACION

Como antes hemos dicho, bajo el tapiz de arcilla se ha construido un sistema de drenaje que recoge, además de las aportaciones de manantiales existentes en las laderas, las eventuales pérdidas de agua del embalse. Los caudales aportados por este sistema de drenaje se reúnen aguas abajo de la presa y son controlados mediante un aforador triangular. En la figura 4 se representan las evoluciones de este caudal en el tiempo. Como puede observarse, para si-

tuaciones análogas de cota de embalse, los caudales se conservan prácticamente constantes, lo que demuestra que no han aumentado las filtraciones a través del tapiz.

Rodrigo del Hoyo Fernández-Gago



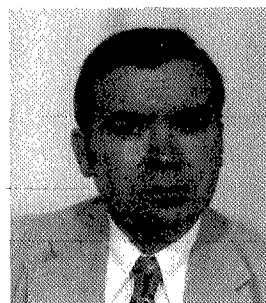
Ingeniero de Caminos, 1963. Doctor Ingeniero de Caminos, 1971. Diplomado P.D.G. del I.E.S.E.. Desde 1964 a 1966 Ingeniero en Cementaciones Especiales, S. A. y Swissboring.

A partir de 1966 trabaja en FENOSA donde ha intervenido en el proyecto y dirección de obra, entre otros, de los aprovechamientos hidroeléctricos de Frieria, Albarellos,

Salas, así como en las presas de Villagudín, Edrada, San Cosmade y Anllares.

En la actualidad es Director de Construcción de Unión Eléctrica-Fenosa, S. A. y vocal del Comité Español de Grandes Presas.

José Luis Fernández Bertólez



Promoción de 1965 de la Escuela de Obras Públicas. Desde el 64 al 66 en obras de reparación de Renfe y carreteras con Entrecanales. El 67 en la Jefatura Regional de Costas de Galicia. A partir de 1968 en Fenosa en la construcción de la Central de Regueiro y embalses de Albarellos, Edrada, Villagudín y Anllares. En los tres últimos años dedicado a obras de Redes y Edificación

(Subestación de Monforte, ampliaciones de Tambre II y Mourente) y rehabilitación de minicentrales (Güimil y Fervenza).
