

Características geotécnicas de una capa de escorias de alto horno colocada sobre sedimentos fluviales

ENRIQUE DAPENA (*); JOSÉ MARÍA DÍAZ ORTIZ (**); JAIME SANSALVADOR (***)

RESUMEN Los depósitos fluviales en un meandro del río Galindo, próximo a la ría de Bilbao, sirvieron durante 30 años como almacenamiento de escorias de alto horno. En esta zona se construyó recientemente una estación de aguas residuales.

En este trabajo se recogen las características geotécnicas de la capa de escorias y la composición de las aguas existentes en el interior de éstas, así como la influencia que el peso de la capa de escorias tuvo sobre las características de los depósitos fluviales subyacentes.

GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF A LAYER OF BLAST FURNACE SLAG ON FLUVIAL SEDIMENTS

ABSTRACT The fluvial deposits in a meander of the Galindo river, near the Bilbao ria, were used for 30 years as a store for blast furnace slag. A sewage plant has been constructed.

This article describes the geotechnical characteristics of the slag layer and the composition of the waters that exist within it, as well as the influence that the weight of the slag layer had on the characteristics of the underlying fluvial deposits.

Palabras clave: Escorias; Sedimentos; Fluviales; Características geotécnicas.

1. INTRODUCCIÓN

En el Norte de España, en Bilbao, se ha construido una Estación Depuradora de Aguas Residuales en una explanada situada sobre depósitos aluviales recientes con una potencia que varía entre 10 y 20 m.

En esta explanada se fueron depositando, desde hace 40 años, escorias de alto horno, formando una capa que llegó a tener, antes del comienzo de la construcción de la depuradora, hasta 15 m de espesor en la zona donde se iba a ubicar ésta, lo cual provocó la consolidación de los depósitos aluviales situados bajo ella.

En esta comunicación se recogen las características de la capa de escorias, las de los depósitos aluviales situados bajo ésta, y la composición de las aguas existentes en la zona inferior de la capa de escorias.

2. CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA DE ESCORIAS

La capa de escorias procedía de la factoría que Altos Hornos de Vizcaya tiene en las proximidades de Galindo, pero además, estas zonas de vertidos a veces también se utilizan

como depósito de otros tipos de materiales, en particular de los procedentes de derribos de edificios.

Por ello, al determinar las características se van a distinguir los ensayos realizados sobre escorias y cenizas de alto horno de los realizados sobre un material que era una mezcla de escorias y materiales de derribo.

2.1. ENSAYOS REALIZADOS

Se determinaron las densidades y humedades del material, y el módulo de Young.

Para obtener la densidad, se midió el volumen del material excavado con el método de la arena.

Para determinar el módulo de Young, se realizaron ensayos de placa de carga, utilizando una placa circular de 60 cm de diámetro, y con la siguiente secuencia de cargas, repartidas en dos ciclos:

ciclo nº 1: 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 kg/cm²

ciclo nº 2: 0.2, 0.6, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 3, 2, 1, 0 kg/cm²

El paso de una carga a la carga siguiente, se realizaba cuando la variación de lecturas de asientos era inferior a 0.02 mm/min., manteniendo cada carga como mínimo 10 minutos.

2.2. MATERIAL ENSAYADO

Los ensayos se realizaron en siete emplazamientos. La descripción de los materiales existentes en cada uno de ellos se recoge en la Tabla 1.

(*) Laboratorio de Geotecnia del CEDEX (Ministerio de Fomento), Universidad Politécnica de Madrid.

(**) Confederación hidrográfica del Norte.

(***) Confederación hidrográfica del Norte.

EMPLAZAMIENTO	TIPO DE MATERIAL
PC-1	Cenizas y escorias. Gris oscuro
PC-2	Escorias, arenas y restos de materiales de construcción. Marrón grisáceo
PC-3	Cenizas y escorias. Gris oscuro
PC-4	Escorias. Gris claro
PC-5	Escoria con ladrillos, madera y papeles. Marrón grisáceo
PC-6	Escoria compactada mecánicamente. Gris
PC-7	Relleno heterogéneo: arcilla, escoria, materiales de construcción

TABLA 1. Descripción del material ensayado.

De estos siete emplazamientos, cuatro de ellos, los PC-1, PC-3, PC-4 y PC-6, se pueden considerar formados por escorias de alto horno, y en los tres restantes PC-2, PC-5 y PC-7, se encuentra un relleno heterogéneo, formado por una mezcla de escorias con materiales de construcción.

De los cuatro puntos de ensayo sobre escorias, uno de ellos, el PC-6, estaba situado sobre una capa de escorias recientemente compactada con rodillo vibrante.

2.3. DENSIDAD Y HUMEDAD

Los resultados obtenidos en los ensayos para determinar la densidad y humedad se recogen en la Tabla 2.

EMPLAZ.	DESCRIPCIÓN	γ_d gr/cm ³	W %
PC-1	Cenizas y escorias	1,95	13,6
PC-1	Cenizas y escorias	2,0	11,2
PC-2	Rellenos heterogéneos	2,01	7,5
PC-2	Rellenos heterogéneos	1,62	11,2
PC-3	Cenizas y escorias	1,77	13,9
PC-3	Cenizas y escorias	2,30	4,3
PC-4	Escorias	1,40	22,6
PC-4	Escorias	1,50	21,3
PC-5	Relleno heterogéneo	1,12	20,3
PC-5	Relleno heterogéneo	1,36	30,8
PC-7	Relleno heterogéneo	1,75	16,4
PC-7	Relleno heterogéneo	1,70	17,5

TABLA 2. Densidad y humedad del material ensayado.

a/ Capa de escorias con cenizas

Los valores de la densidad oscilan entre $\gamma_d = 1.40$ gr/cm³ para la capa de escorias sin cenizas, hasta $\gamma_d = 2.30$ gr/cm³ correspondiente a una mezcla de escorias y cenizas, con un valor medio $\gamma_d = 1.82$ gr/cm³.

La humedad prácticamente oscila entre 11.2% y 22.6%, pudiéndose tomar como valor representativo $W = 13.9\%$.

b/ Capa de escorias y materiales de construcción

Los valores de la densidad seca oscilan entre $\gamma_d = 1.12$ y $\gamma_d = 2.01$ gr/cm³, con un valor medio de $\gamma_d = 1.60$ gr/cm³.

Los valores de la humedad oscilan entre $W_1 = 5.7$ y $W_1 = 30.8$, pudiéndose tomar como valor representativo el correspondiente a $\gamma_d = 1.62$ gr/cm³, $W = 11.2\%$.

2.4. MÓDULOS DE YOUNG

Los resultados obtenidos en los ensayos de placa de carga realizados sobre escorias y cenizas se recoge en las figs. 1 a 4.

Los módulos de Young secantes deducidos de los ensayos de placa de carga realizados en los siete emplazamientos, para cada intervalo de carga se recogen en la Tabla 3. También se ha calculado el módulo de Young de recarga E_{v2} , correspondiente al intervalo 0.2 - 1 kg/cm².

CARGA	E_v kg/cm ²				E_{v2} kg/cm ²
	0,1 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	0,2 - 1
PC-1	302	433	584	357	1.241
PC-2	92	226	336	338	782
PC-3	171	326	425	391	2.250
PC-4	372	750	1.097	1.184	1.286
PC-5	215	242	292	315	654
PC-6	128	194	271	357	766
PC-7	121	209	220	259	837

TABLA 3. Ensayo de placa de carga. Módulos de Young en capa de escorias de alto horno.

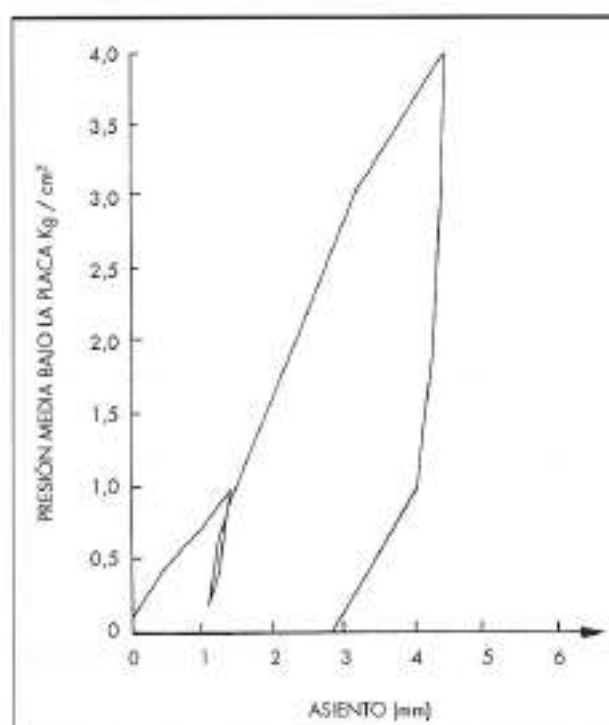


FIGURA 1. Resultado del ensayo de placa de carga en PC-1.

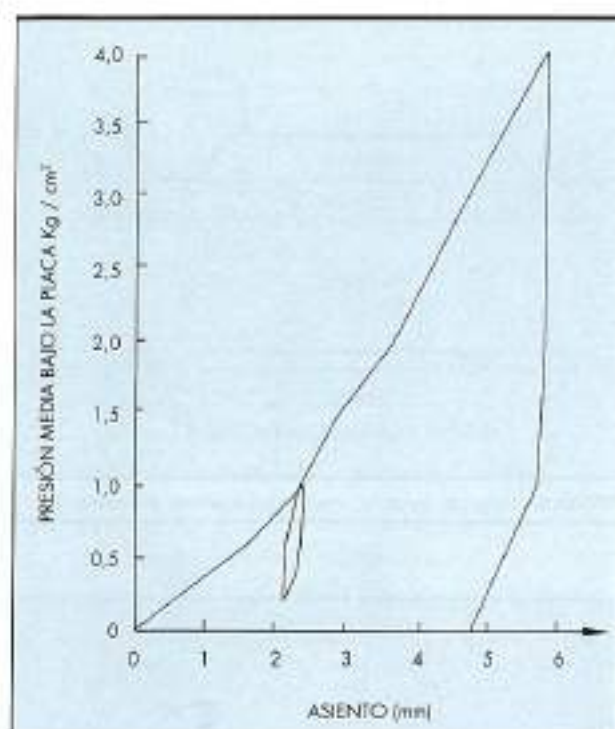


FIGURA 2. Resultado del ensayo de placa de carga en PC-3.

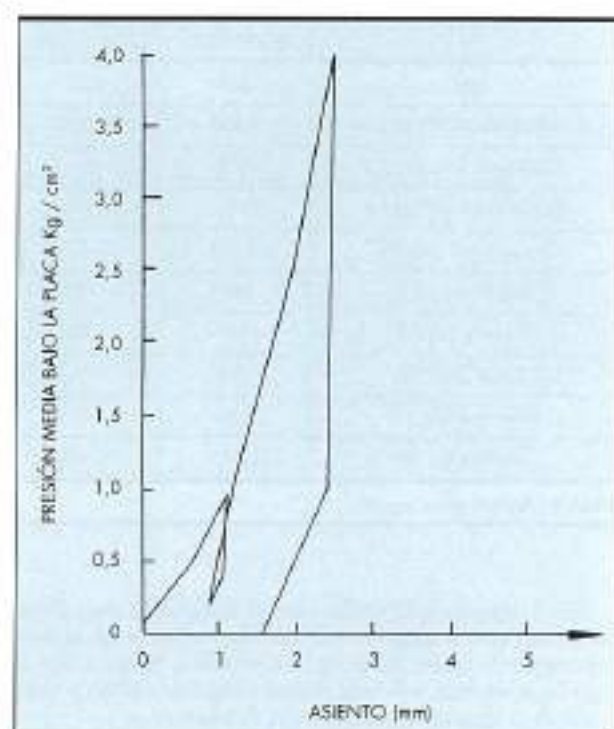


FIGURA 3. Resultado del ensayo de placa de carga en PC-4.

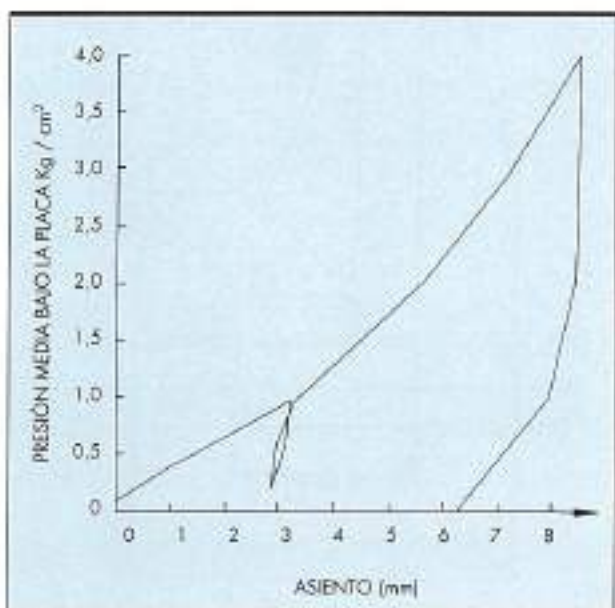


FIGURA 4. Resultado del ensayo de placa de carga en PC-6.

Estos módulos de Young se han calculado considerando que los asientos obtenidos se han producido bajo una placa circular rígida, de 60 cm de diámetro, y con un coeficiente de Poisson $\nu = 0.22$.

a/ Módulos de Young en la capa de escorias y cenizas

Los módulos de Young en la capa de escorias y cenizas para el intervalo de carga $0.1 - 1 \text{ kg/cm}^2$, oscilan entre $E = 171$

kg/cm^2 y $E = 372 \text{ kg/cm}^2$, pudiéndose tomar como valor medio $E = 281 \text{ kg/cm}^2$. Para el intervalo $3 - 4 \text{ kg/cm}^2$, oscilan entre $E = 357 \text{ kg/cm}^2$ y $E = 1184 \text{ kg/cm}^2$, pudiéndose tomar como valor medio $E = 644 \text{ kg/cm}^2$. El módulo de recarga en el intervalo $0.2 - 1 \text{ kg/cm}^2$, oscila entre $E = 1241 \text{ kg/cm}^2$ y $E = 2250 \text{ kg/cm}^2$ pudiéndose tomar como valor medio $E = 1592 \text{ kg/cm}^2$.

b/ Módulos de Young en la capa de rellenos heterogéneos

Los módulos de Young en la capa de rellenos heterogéneos para el intervalo de carga $0.1 - 1 \text{ kg/cm}^2$, oscilan entre $E = 92 \text{ kg/cm}^2$ y $E = 215 \text{ kg/cm}^2$, pudiéndose tomar como valor medio $E = 143 \text{ kg/cm}^2$.

En el intervalo de carga $3 - 4 \text{ kg/cm}^2$, estos valores oscilan entre $E = 259$ y $E = 338 \text{ kg/cm}^2$, obteniéndose como valor medio $E = 304 \text{ kg/cm}^2$.

El módulo de recarga en el intervalo $0.2 - 1 \text{ kg/cm}^2$, oscila entre $E = 654 \text{ kg/cm}^2$ y $E = 857 \text{ kg/cm}^2$, obteniéndose como valor medio $E = 756 \text{ kg/cm}^2$.

3. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA EN LA CAPA DE ESCORIAS

La capa de escorias puede alcanzar hasta 2 m por debajo del nivel medio del mar en esa zona. El nivel freático en la zona se mantiene en torno a la cota +2 m, en las partes más alejadas del río que circunda la parcela. Es decir, en torno al nivel más alto que alcanza el mar en esa zona.

Se analizó el agua en la zona más alejada del río y el agua de mar que llega al río que circunda la zona. Los resultados de estos dos análisis se recogen en la Tabla 4.

Del análisis realizado en las aguas de la capa de escorias se destaca el elevado valor de $\text{pH} = 12.06$, de carácter muy básico, relacionado con la alta alcalinidad libre 677 mg/l .

	EN ESCORIAS	EN RÍO - MAR
pH	12.06	6.3
Conductividad (20°) $\mu\text{S}/\text{cm}$	5.400	29.500
Alcalinidad libre (mg/l)	677	—
Alcalinidad total (mg/l)	973	115
Residuo seco (mg/l)	3.490	30.134
Sulfatos (mg/l)	667	1.985
Cloruros (mg/l)	760	14.207
Calcio (mg/l)	16,5	471
Magnesio (mg/l)	0,63	940
Sodio (mg/l)	1.140	11.600

TABLA 4. Análisis de las aguas.

Otros aspectos interesantes en las aguas de la capa de escorias respecto al agua exterior del río-mar, es la menor concentración de sales, 3.490 mg/l en escorias, frente a 30.134 mg/l en el río-mar, y la baja presencia de iones calcio y magnesio en el agua de la zona interior de escorias.

4. CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA DE SEDIMENTOS ALUVIALES

La capa de sedimentos aluviales en la zona en que se iba a construir la 2ª fase, está formada por limos con intercalaciones de arenas.

Esta capa de limos se puede considerar que tiene un espesor medio en torno a los 15 m. Debajo de ella existe una capa de arcillas duras de 2 m de potencia, situadas sobre un macizo rocoso de marga calcárea.

Las características de la capa de limos son las siguientes: límites de Atterberg: LL = 30 - 65; LP = 30 - 38; IP = 8 - 34. El contenido en finos, que pasan por el tamiz ASTM 200, es en general superior al 80%. El porcentaje medio de materia orgánica es del orden del 3%.

La consistencia, según los resultados del ensayo SPT, podría definirse con una $N_{60} = 4 - 8$ golpes en las capas de limo no consolidados y $N_{60} = 12 - 18$ golpes para el nivel de limos consolidados.

Otras características de estos limos se recogen en Dapena et al. (1991).

4.1. DEFORMABILIDAD DE LA CAPA DE LIMOS CONSOLIDADOS

Se hizo una prueba de carga a escala real en una zona en la que las escorias alcanzaban inicialmente por encima de la cota +10. Para ello se excavó hasta la cota +2, y se construyó un relleno encima de 6 m de altura, cuyo perfil se recoge en la fig. 5, y la planta en la fig. 6.

El control de asentamientos se realizó mediante tres líneas de asentamientos, situadas bajo la zona central del relleno, fig. 6, alcanzando en la línea central unos valores de hasta 4 cm a los 4 meses de colocada la carga, fig. 7.

Este asiento se puede considerar que corresponde a una capa compresible de 19 m de espesor, colocada sobre una capa rígida de roca y arcilla dura. La capa compresible está formada por 4 m superiores de escoria y 15 m de limos consolidados. Tomando como coeficiente de Poisson $\nu = 0,22$, el

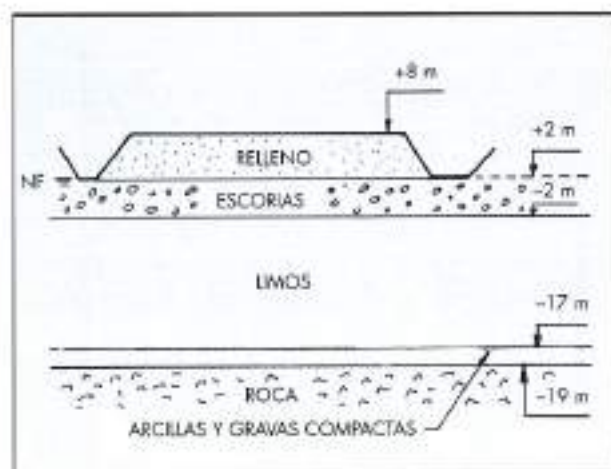


FIGURA 5. Ensayo de carga realizado sobre el terreno de cimentación.

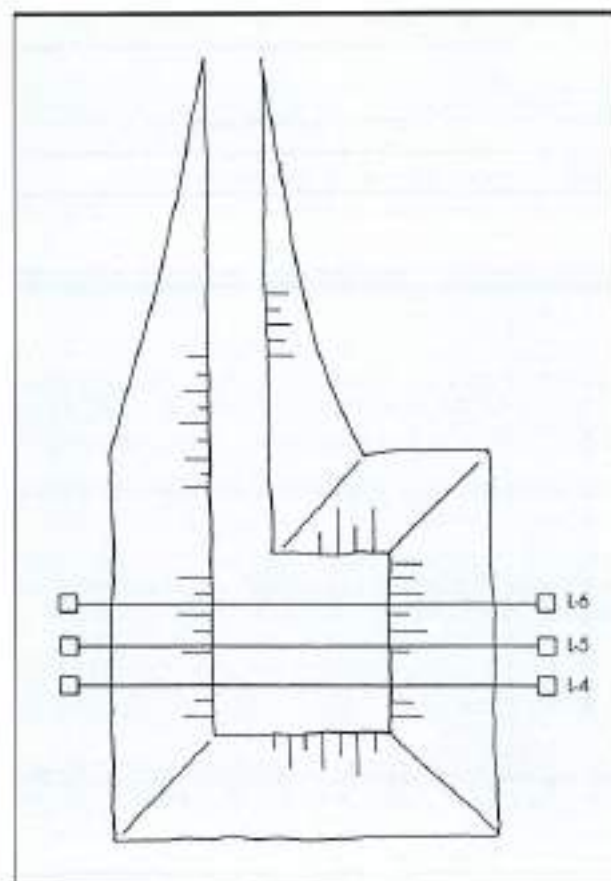


FIGURA 6. Planta de la prueba de carga y situación de las líneas de control de asentamientos.

módulo de Young del conjunto, deducido teniendo en cuenta que en la zona central se ha producido un asiento de 4 cm, es de $E = 315 \text{ kg/cm}^2$.

Como el terreno ha estado cargado previamente, este módulo corresponde a un módulo de recarga del conjunto escoria-limo consolidado.

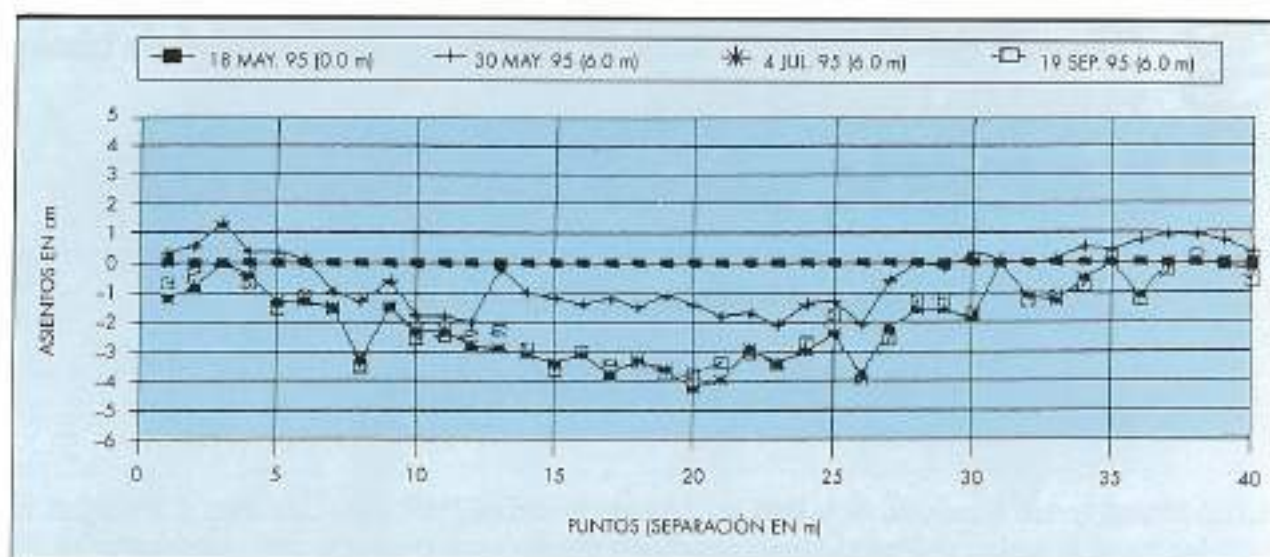


FIGURA 7. Asientos registrados en la línea central, L5, del terraplén de ensayo.

5. CONCLUSIONES

En la zona de sedimentos fluviales donde se depositaron escorias de alto horno durante 40 años, de hasta 15 m de altura, se ha producido una consolidación de los sedimentos que ha permitido la construcción de una depuradora de aguas residuales, rebajando el nivel de la capa de escorias, con unas condiciones de deformabilidad aceptables para el tipo de construcción.

Esta capa de escorias en algunas zonas aparece mezclada con otros materiales pudiéndose distinguir al menos dos tipos: rellenos formados por escorias y cenizas, y rellenos heterogéneos en los que además aparecían materiales de construcción.

Las características medias de estos dos tipos de rellenos son las siguientes:

	ESCORIAS Y CENIZAS	RELLENOS HETERÓGENEOS
Densidad seca γ_d gr/cm ³	1.82	1.60
Humedad W %	13.9	11.2
Módulos de Young		
E (carga 0.1 - 1 kg/cm ²) kg/cm ²	281	143
E (carga 3 - 4 kg/cm ²) kg/cm ²	644	304
E (carga 0.2 - 1 kg/cm ²) kg/cm ²	1.592	758

El agua que se mantiene en la zona inferior de la capa de escorias, tiene un pH básico alto: pH = 12.06, relacionado con una alcalinidad libre alta: 677 mg/l. El contenido total de sales es de 3.490 mg/l, inferior a las que contiene el agua del mar, y también tiene un bajo contenido en magnesio y sodio.

Los sedimentos aluviales están formados por limos (LL = 30 - 65; IP = 8 - 34) que tienen una deformabilidad muy alta cuando están simplemente consolidados. Pero que, debido a la precarga a que han estado sometidos por la capa de escorias, para valores bajos de carga el conjunto de escorias y limos se comporta como una capa con un módulo de deformación relativamente alto.

De forma aproximada, se puede considerar un valor del módulo de Young $E = 315$ kg/cm², para el conjunto escoria-limo consolidado.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas y al Consorcio de Aguas de Bilbao por la colaboración prestada para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

DAPENA, E.; DÍAZ-ORTIZ, J. M.; SORIANO, A.; GONZÁLEZ, C., 1991. Settlements in a building with micro-pile foundations. Tenth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Florence, May 1991.



LAMINAS Y ESTRUCTURAS ESPACIALES: DEL PASADO RECIENTE AL PROXIMO MILENIO

Congreso del 40 Aniversario de la Asociación Internacional de Láminas
y Estructuras Espaciales (IASS)

CEDEX

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

Madrid, 20-24 de septiembre de 1999

PRIMER ANUNCIO

Tradicionalmente, desde la creación de la IASS por Eduardo Torroja en 1959, cada diez años, el Simposium anual de la Asociación se celebra en Madrid, siendo organizado en estas ocasiones por el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX, la Institución que alberga desde su origen la Secretaría de la IASS.

El Congreso será un foro para ingenieros, arquitectos, constructores, científicos e investigadores de todo el mundo donde poder presentar a la colectividad técnica los recientes logros y debatir los caminos a seguir en el futuro en relación con:

- **Concepción y forma:** diseño conceptual, evaluación, estática, morfología.
- **Análisis y diseño:** teoría y experimentación, fiabilidad, comportamiento estático y dinámico.
- **Materiales:** tradicionales y avanzados, durabilidad.
- **Construcción:** proyectos y realizaciones.
- **Gestión:** comportamiento a largo plazo, monitorizado, análisis experimental, evaluación, reparación y rehabilitación.

Todo ello referido a tipologías como, entre otras: láminas, entramados, estructuras tensionales, membranas, celosías, emparrillados y que pueden materializarse como cúpulas, cubiertas fijas, móviles o plegables; tanques, silos y torres de refrigeración; puentes suspendidos o atirantados; torres y mástiles; estructuras espaciales; estructuras históricas de gran luz y, finalmente, las diversas categorías de estructuras ligeras.

SOLICITUD DE PONENCIAS

Para presentar una ponencia en el Congreso es preciso enviar a la Secretaría de la IASS un resumen de una página, incluyendo la dirección, fax y e_mail del autor.

Recepción resúmenes:	31 Octubre 1998
Aceptación de resúmenes:	30 Noviembre 1998
Recepción de ponencias:	31 Marzo 1999
Aceptación final de ponencias:	31 Mayo 1999

IDIOMAS

Como es tradicional en la IASS, el idioma oficial es el inglés, aunque está previsto incluir traducción simultánea al español en las sesiones plenarias del Congreso.

CONFERENCIAS INVITADAS

Conocidos especialistas en los diversos temas de la actividad a que se refiere el Congreso han anunciado ya su

participación como conferenciantes invitados: O. C. Zienkiewicz, M. Kawaguchi, J. Monterola, J. Schlaich, J. A. Torroja, entre otros.

LUGAR

Tanto las sesiones técnicas como las ceremonias de apertura y clausura del Congreso tendrán lugar en las instalaciones del CEDEX en la calle Alfonso XII, 3, de Madrid.

INFORMACION

P. Alaejos

Secretaría de la IASS

CEDEX (Laboratorio Central de Estructuras y Materiales)

Alfonso XII, 3

28014 Madrid, España

Teléfono: 34 1 335 74 09

Fax: 34 1 335 74 22

e_mail: iass@cedex.es