

Asientos a largo plazo de una cimentación en losas de 195 x 147 m, sobre una capa de sedimentos fluviales

E. DAPENA (*); F. ROMÁN (**) y J. SAN SALVADOR (**)

RESUMEN En el Norte de España 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 altura en la zona donde se iba a ubicar ésta, lo cual provocó la consolidación de los depósitos aluviales situados bajo ella, permitiendo la construcción de parte de sus instalaciones con cimentación directa, con la precaución de no superar la carga de preconsolidación.

Los depósitos digestores biológicos ocupan dos rectángulos de 62x195 m en los que, cuando están llenos, el agua alcanza la altura de 8,8 m. Estos dos rectángulos están separados por un pasillo de 23 m de anchura, en el que se ha colocado un relleno que transmite una presión sobre el terreno similar a la que transmiten los depósitos cuando están funcionando, por lo que se puede considerar un área uniformemente cargada de 147x195 m. Estos depósitos son seis recintos iguales, tres en cada rectángulo, cimentados sobre 28 losas de hormigón, 14 en cada uno de los dos rectángulos. Previamente a su construcción, se retiró una altura de relleno en torno a 5 m que garantizara que las cargas de trabajo de los depósitos se mantendrían por debajo de la presión de preconsolidación. Se analiza en esta comunicación la evolución de los asientos registrados durante 2,5 años después de haber llenado los depósitos, así como el comportamiento de la estructura.

LONG TERM SETTLEMENT OF FOUNDATIONS MADE OF 195 X 147 M SLABS BUILT ON A LAYER OF FLUVIAL SEDIMENT

ABSTRACT A waste water treatment plant was built on an open space in the North of Spain located on top of recent alluvial deposits ranging in thickness from 10 to 20 m. For the past 40 years blast furnace slag has been depositing on this open space forming a layer which, prior to the start of construction of the treatment plant and precisely coinciding with its siting, was as high as 15 m and this caused consolidation of the alluvial deposits beneath, allowing part of the installations to be built using direct foundations, having taken the precaution of not exceeding the preconsolidation load.

The biodigester tanks occupy two 62 x 195 m rectangles which when filled can take a maximum depth of 8.8 m of water. These two rectangles are separated by a 23-m wide corridor containing a fill conveying a similar pressure on the ground to that of the tanks under operation, whereby the area of 147 x 195 m can be taken to be under a uniform load. The tanks each consist of three equal deposits on foundations of 28 concrete slabs, 14 for each of the two rectangles. Before they were built, some 5 m of fill were removed to guarantee that the working loads of the two tanks would remain below the ground's preconsolidation pressure. This article analyses the evolution of the settlement recorded over the 2.5-year period following the filling of the tanks and also reports on the way the structure has behaved.

Palabras clave: Asientos, Sedimentos fluviales, Estación depuradora de aguas residuales.

1. INTRODUCCIÓN

La Estación Depuradora de Aguas Residuales de Galindo está situada sobre unos depósitos coluviales de limos arcillosos, con un espesor entre 10 y 20 m, que han estado precargados durante, más de 20 años por una capa de escorias procedentes de alto horno, que llegaron a alcanzar una altura de 15 m.

Aprovechando la sobreconsolidación dada por estos rellenos, se construyó la depuradora, retirando las escorias en la altura necesaria para mantener la carga de trabajo de las cimentaciones por debajo de la presión de consolidación, a que había estado sometido el emplazamiento.

Dentro de esta depuradora, el conjunto de depósitos digestores biológicos de la fase 2, está formado por 6 depósitos que ocupan dos franjas rectangulares de 62x195 m, Figura 1, cada una de ellas con tres depósitos en serie, y separadas por una franja de relleno de 23 m de anchura.

La cimentación de cada una de estas dos franjas está formada por 14 losas de hormigón armado, numeradas de 1 a 14 en la Figura 1, sobre las que se colocaron los seis depósitos. En esta zona el espesor de los limos arcillosos es de 15 m.

(*) Laboratorio de Geotecnia, CEDEX. Universidad Politécnica de Madrid, Spain

(**) Confederación Hidrográfica del Norte. M^º de Medioambiente, Spain.

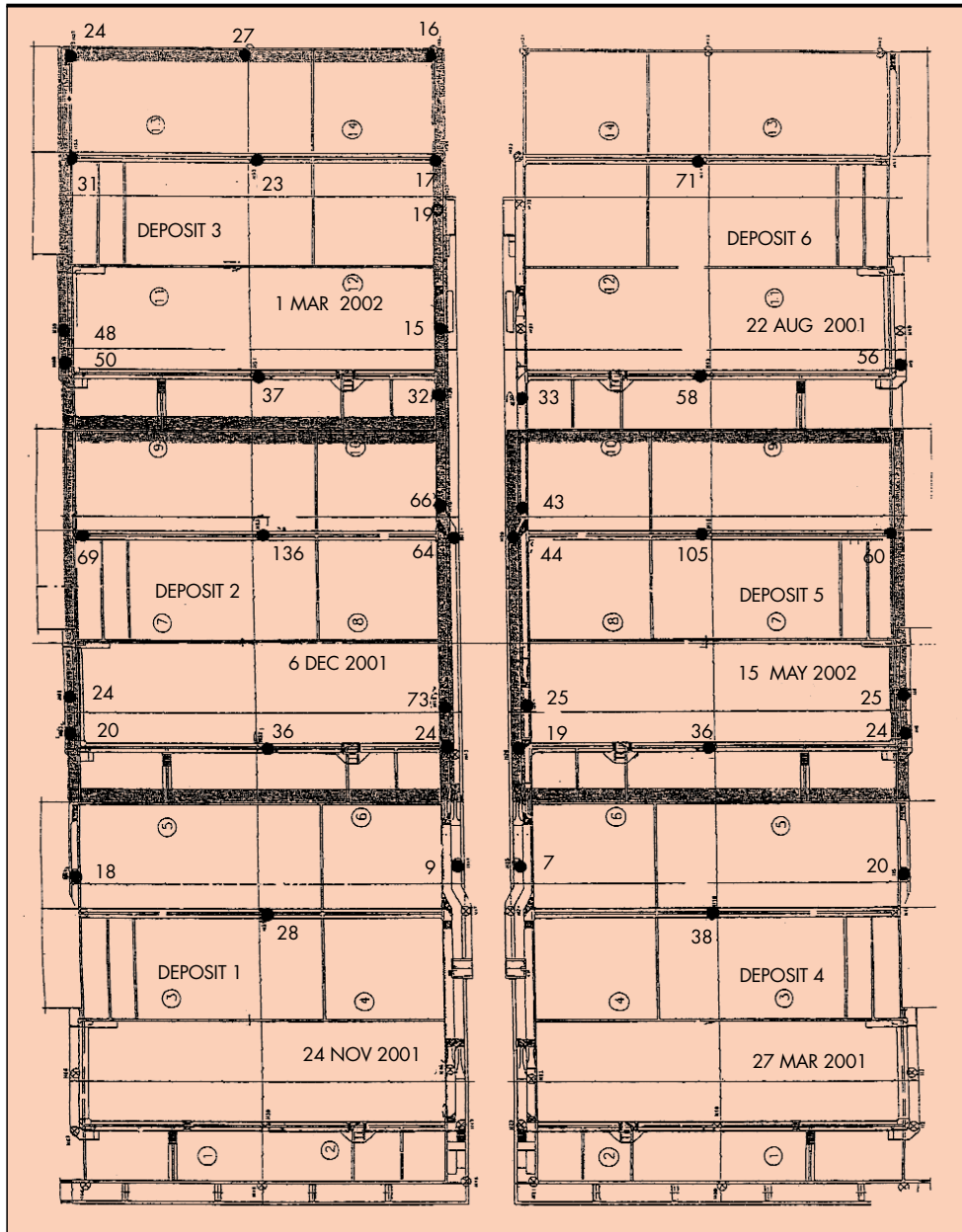


FIGURA 1. Distribución en planta de los depósitos digestores biológicos, fecha de llenado de cada uno de ellos, y magnitud de los asientos el día 9 Noviembre de 2004.

Los muros perimetrales de los depósitos son de hormigón armado, de 10 m de altura, y 50 cm de espesor, lo que confiere cierta rigidez a la estructura en sentido longitudinal.

Además, la separación entre depósitos tiene el mismo tipo de muros, pero perpendiculares a los muros perimetrales, e incluso existen otros muros separadores, también transversales, dentro de cada uno de los depósitos, según se recoge en la Figura 1.

En esta Figura 1 se sitúan, además, los puntos donde se está haciendo el control de asientos y las fechas de llenado de los depósitos, que se toman como fecha de inicio de los asientos, y que están comprendidas entre el 27 de Marzo de 2001, y el 15 de Mayo de 2002.

La excavación realizada para la construcción de los depósitos digestores biológicos fue desde la cota +6, hasta la cota +1,20 m, lo que supuso una descarga en estos recintos rec-

tangulares de 0,96 Kg/cm², que provocó el levantamiento del fondo, mayor en las zonas centrales del emplazamiento, frente a las zonas perimetrales.

Posteriormente, la construcción de las losas y muros de los depósitos, y la carga de agua durante el funcionamiento normal, supone un incremento de carga de 1,1 Kg/cm², que provoca un incremento neto de carga, respecto de la que tenía durante los últimos años, de 0,14 kg/cm², aunque manteniéndose por debajo de la presión de preconsolidación inicial del emplazamiento.

La influencia de la precarga sobre los asientos por consolidación primaria fue estudiada entre otros por Johnson, 1970, Mitchell, 1981, Statmatopoulos y Kotzias, 1983, y sobre la consolidación secundaria por Jamiolkowski et al 1983, Magnan, 1984, Kousotfas et al 1987, Yu y Frizzi, 1992 y más recientemente por Alonso, Gens y lloret, 2000 y 2001, y Alonso 2004.

En el emplazamiento que se está analizando, se produce un tipo particular de precarga ya que se mantienen 2 Kg/cm² durante más de 20 años, lo que influye en el proceso de consolidación primaria, pero también en los asientos debidos a la consolidación secundaria. Pero este comportamiento se ve modificado por la disminución de la precarga hasta 0,96 Kg/cm², durante los últimos cinco años.

2. MEDIDAS DE ASIENTOS

Aunque inicialmente se había previsto que el período de consolidación fuera corto, debido a la sobrecarga a que había estado sometido el terreno durante más de 10 años, y los ensayos de carga mediante ejecución de un relleno de 8 m de altura, se dieron por estabilizados al cabo de 1 año, la realidad es que más de 3,5 años después, todavía se sigue produciendo.

Otro aspecto a destacar es la importancia de la interacción terreno-estructura en la medida de asientos. Estas medidas se realizan en puntos situados en lo alto de los muros, y en ellos había que considerar la alta rigidez de los muros de hormigón que forman el perímetro de las balsas, lo que uniformiza asientos.

También influye en la medición de asientos la variación en el nivel freático, ya que la cota de cimentación de las balsas se encuentra a +1,20 m, y el nivel freático está por encima de la cota +2,50 m, teniendo fluctuaciones anuales en torno a 50 cm, provocando una ralentización de los movimientos en algunas fechas.

Los asientos medidos hasta el día 9 de Noviembre de 2004 se recogen en la Figura 1.

Con carácter general, y como corresponde a la distribución de la carga, los asientos de la zona central de cada uno de los depósitos son mayores que los registrados en el perímetro.

Los depósitos 1 y 4, situados al Sur del emplazamiento en la parte inferior de la Figura 1, fueron los primeros en llenarse, y en cambio son los que registran menores asientos. Están comprendidos entre 9 mm y 38 mm, indicando una baja compresibilidad de la capa de limos arcillosos, similar al comportamiento que ha tenido la Fase 1.

Estos menores asientos se registran también en la parte Sur de los depósitos 2 y 5, que están cimentados sobre losas que comparten con los depósitos 1 y 4. También en esta zona los asientos están comprendidos entre 19 y 36 mm.

En la parte central de los depósitos 2 y 5, se registran los mayores asientos, y se corresponden con las losas 7 y 8 del depósito 2 y las losas también numeradas 7 y 8 del depósito 5. En esta zona los asientos están comprendidos entre 24 y 136 mm.

El depósito 6, situado en la zona superior de la Figura 1, tiene unos asientos intermedios, inferiores a los registrados en los depósitos 2 y 5 en su zona central.

El depósito 3 ha permanecido vacío durante largos periodos de tiempo, en los que se han producido levantamientos, y permanece vacío desde el mes de Julio de 2004, por lo que, aunque son reales las medidas, no reflejan el comportamiento bajo carga que se está analizando.

3. ANÁLISIS DE ASIENTOS

Teniendo en cuenta las circunstancias particulares del depósito 3, que pueden influir en el comportamiento del depósito 2, el análisis de la evolución de asientos máximos se ha centrado en el depósito 5.

En las figuras 2 a 9 se han recogido los asientos registrados, S en mm, en función de la \sqrt{t} , siendo t el tiempo en minutos. La evolución de los asientos durante estos 2,5 años, se apro-

xima a una relación lineal, que para los puntos de este depósito 5 son los siguientes:

$$Y_{26} = \frac{13}{1000} \sqrt{t} + 6 = 9,4 \sqrt{t_a} + 6$$

$$Y_{17} = \frac{14}{1000} \sqrt{t} + 20 = 10,1 \sqrt{t_a} + 20$$

$$Y_6 = \frac{14}{1000} \sqrt{t} + 10 = 10,1 \sqrt{t_a} + 10$$

$$Y_{27} = \frac{24}{1000} \sqrt{t} + 10 = 17,4 \sqrt{t_a} + 10$$

$$Y_{28} = \frac{30}{1000} \sqrt{t} + 10 = 21,7 \sqrt{t_a} + 10$$

$$Y_{16} = \frac{55}{1000} \sqrt{t} + 45 = 40 \sqrt{t_a} + 45$$

$$Y_8 = \frac{38}{1000} \sqrt{t} + 18 = 27,5 \sqrt{t_a} + 18$$

$$Y_{29} = \frac{39}{1000} \sqrt{t} + 15 = 28,3 \sqrt{t_a} + 15$$

t_a = Tiempo en años; t = tiempo en minutos

De estas relaciones lineales se deduce que los asientos iniciales en la zona perimetral son bajos, y están comprendidos entre 6 y 18 mm, mientras que en la zona central son mas altos, estando comprendidos entre 20 y 45 mm.

La velocidad de asiento está relacionada con el coeficiente \sqrt{t} correspondiendo los valores más altos, entre 17,4

y 40 a los puntos de medida situados en las losas 7-5 y 8-5, que son la cimentación de la zona central de este depósito. Mientras que las velocidades de asientos menores aparecen en la zona Sur, junto al depósito 4, sobre las losas 6-5 y 5-5, y no sobrepasan el valor de 10, a pesar de que están parte en el depósito 5 (fecha de llenado 15 Mayo 2002) y parte en el depósito 4 (fecha de llenado 27 Marzo 2001).

El mayor asiento diferencial dentro de una losa de cimentación, Figura 1, se detecta en la losa 8-5 y es de 80 mm, no detectándose ninguna irregularidad en el funcionamiento del depósito.

Se han calculado los asientos en el depósito 5 a los 5 años y a los 10 años, con las relaciones lineales anteriores, recogiendo los resultados en la Tabla 1.

El incremento de asientos máximo esperable, en el período de tiempo comprendido entre los 2,5 años y los 5 años en la hipótesis de que no se mitiguen los asientos hasta entonces, se dará en la zona central del depósito 5 y será de 29 mm.

En la zona Sur, junto al depósito 4, el incremento de asientos máximo esperable será de 8 mm, a los 5 años, y los asientos totales serán inferiores a los calculados según los resultados de la prueba de carga 53 mm.

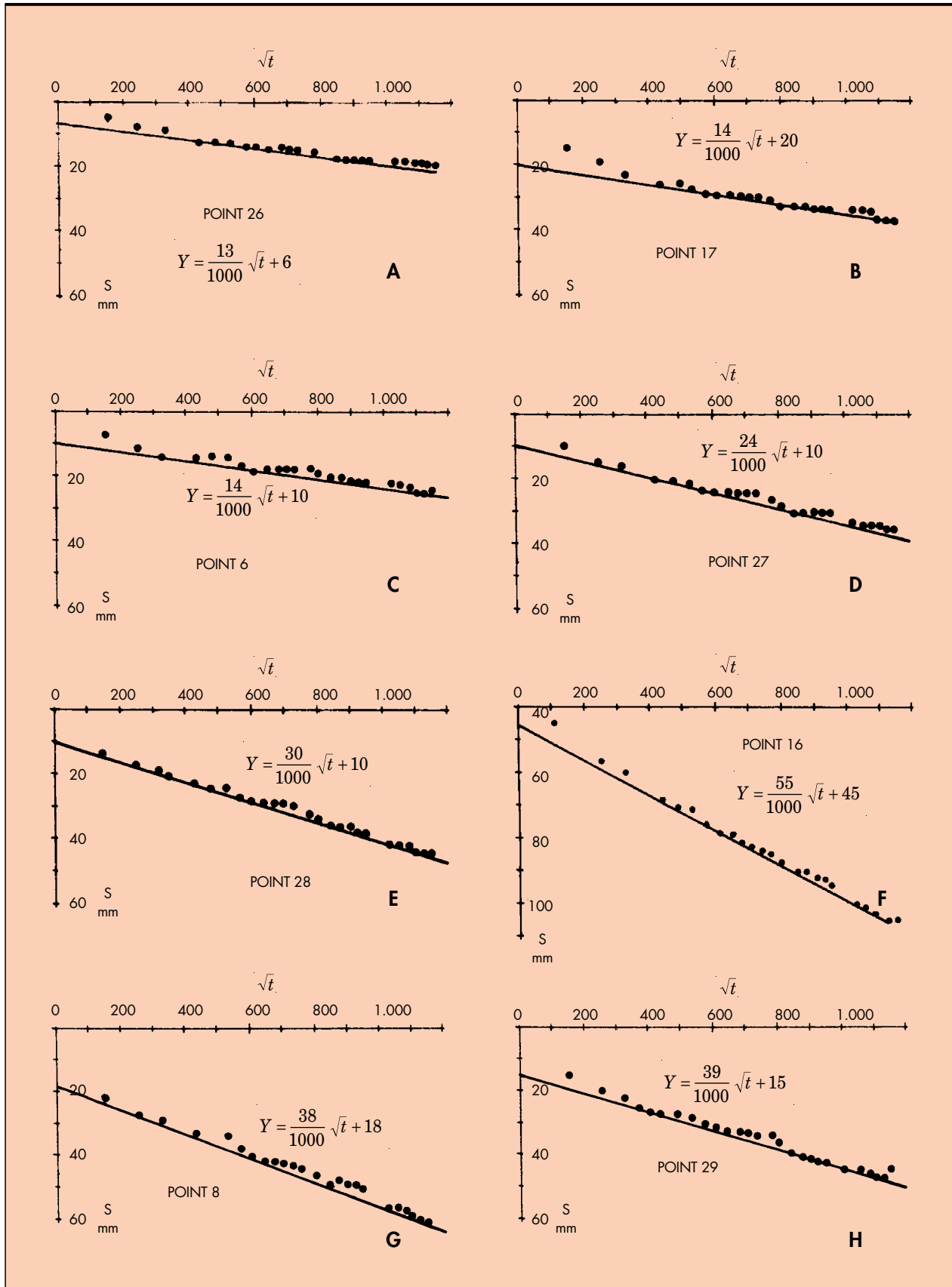


FIGURA 2. Asientos S (mm) en función de \sqrt{t} . (t tiempo en minutos), en distintos puntos del depósito 5.

Punto	2,5 años mm	5 años mm	10 años mm
26	19	27	36
17	36	42	52
6	25	32	42
27	36	49	65
28	44	59	79
16	105	134	171
8	60	80	105
29	47	78	104

TABLA 1. Depósito 5. Asientos medidos a los 2,5 años y calculados a 5 y 10 años.

4. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El emplazamiento de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Galindo, está sobre unos depósitos aluviales de espesor entre 15 y 20 m, que han sido sometidos a una precarga media de 2 Kg/cm², durante mas de 20 años.

Los depósitos digestores biológicos de la 2ª fase, ocupan dos rectángulos de 62x195 m, separados por un pasillo central de 23 m de anchura, en los que la capa de sedimentos aluviales tiene un espesor de 15 m.

En esta zona, durante los 5 años anteriores a la construcción de los depósitos, se rebajó la altura del relleno a la cota +6, lo que supone una precarga de 4,80 m de altura de relleno de escorias. Sin tener en cuenta el nivel freático, esta altura de relleno supone el mantenimiento de una precarga de 0,96 Kg/cm², respecto del plano de cimentación de los depósitos.

La construcción de las losas y muros de los depósitos, y la carga de agua durante el funcionamiento normal, supone un incremento de carga de 1,1 Kg/cm², que provoca un incremento neto de carga, respecto de la que tenía en los últimos 5 años, de 0,14 Kg/cm², aunque manteniéndose por debajo de la presión de preconsolidación que había tenido desde su inicio.

En este emplazamiento de los digestores biológicos, de acuerdo con los asientos registrados, se pueden diferenciar tres zonas. La de los depósitos 1 y 4, de compresibilidad baja, con asientos máximos registrados de 28 y 39 mm. La de los depósitos 3 y 6, de compresibilidad media, con asientos máximos registrados de 71 y 58 mm, y la de los depósitos 2 y 5, situados en la zona intermedia, de compresibilidad alta, con asientos máximos registrados de 136 y 105 mm.

Todos los asientos máximos están situados en la zona central de cada uno de los tres depósitos en serie, como corresponde al proceso constructivo seguido: Retirada del relleno, construcción del depósito, y restitución de la carga con el llenado de los depósitos al ponerse en funcionamiento.

Teniendo en cuenta que la balsa 3, por motivos de funcionamiento, se mantiene vacía durante largos periodos de tiempo, el análisis de detalle de los asientos máximos se centró en la balsa 5.

En esta balsa 5, dos años y medio después del llenado los asientos siguen una relación lineal con $\sqrt{t_a}$ (t_a = tiempo en años). De esta relación lineal se deduce que los asientos iniciales en la zona perimetral están comprendidos entre 6 y 18 mm, mientras que en la zona central están entre 20 y 45 mm.

Los coeficientes de $\sqrt{t_a}$, más altos, con valores comprendidos entre 17,4 y 40, aparecen en los puntos de medida en las losas 7-5 y 8-5, que son la cimentación de la zona central

de este depósito mientras que los valores más pequeños, en torno a 10, aparecen en la zona Sur, junto al depósito 4, sobre las losas 6-5 y 5-5, que están parte en el depósito 5 y parte en el depósito 4.

El mayor asiento diferencial dentro de una losa de cimentación se detecta en la losa 8-5 y es de 80 mm, no detectándose ninguna irregularidad en el funcionamiento del depósito.

El incremento de asientos máximo esperable, en el periodo de tiempo comprendido entre los 2,5 años y los 5 años, en la hipótesis de que no se mitiguen los asientos hasta entonces, se dará en la zona central, y será de 29 mm.

5. REFERENCIAS

- Alonso E.E., (2004). Deformabilidad a largo plazo de suelos precargados. 8º Simposio Nacional de la S.E.M.S.I.G., Valencia, págs. 245 a 250.
- Alonso, E.E., Gens, A. Y Lloret, A. (2000) Precompresión design for secondary settlement reduction. *Geotechnique* 50(6), 645-654.
- Alonso, E.E., Llorent, A., Gens, A y M. Salvadó (2001) Overconsolidation effects on secondary compresión rates. *Proc. 15th International Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering*. Istanbul, 1:5-8.
- Jamiolkowski, M., Lancellota, R. y Wolski, W. (1983) Precompression and speeding up consolidation. *General Report. Proc. Europ. Conf. Soil Mech. Found. Engng. Helsinki*, 3:1201-1226.
- Johnson, S.J., (1970) Precompression for improving foundations soils. *J. Soil Mech. Found. Div. ASCE*, 96(1): 111-114.
- Koutsoflas, DC, Foott, R. y Hadfelt, L.D. (1987) Geotechnical investigations offshore Hong Kong, *J. Geotech. Engng. Div. ASCE*, 113(2):87-105.
- Magnan, J.P. (1994) Methods to reduce the settlement of embankments on soft clay, a review, In: *Vertical and horizontal displacements. ASCE. Geotech. Special Pub. 40(1): 77-91.*
- Mitchell J.M. (1981) Soil improvement. State of the art report. *Proc. 10th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Engng. Stockholm*. 4:509-565.
- Stamatopoulos, A.C. y Kotzias, P.C. (1983) Settlement-time predictions in preloading. *J. Geotech. Engng. Div. ASCE*, 109(6): 802-820.
- Yu, K.P. y Frizzi, R.P. (1994) Preloading organic soils to limit future settlements. *Vertical and horizontal displacements of foundations and embankments, ASCE. Geotech. Special Pub. 40(1): 476-490.*