

# Comparación entre los valores teóricos y reales de los asentamientos de un terraplén en suelos arcillosos muy blandos, y observado a lo largo de tres años

Héctor Moreno y Aaron Sámano  
PEMEX, México; ICA Fluor, México



## RESUMEN

En el trabajo se presenta una comparación entre los resultados de los análisis de asentamientos por consolidación que se obtuvieron en la etapa de proyecto, con aquellos derivados de la retro-alimentación que se obtuvo en la etapa de construcción, gracias a la instrumentación geotécnica instalada. Se hacen consideraciones acerca de la dificultad que representa la determinación de los parámetros de compresibilidad en suelos orgánicos. La información obtenida de la instrumentación geotécnica fue invaluable para tomar las medidas correctivas pertinentes en el diseño de las instalaciones que se construyeron sobre el terraplén terminado, lo que justifica ampliamente la decisión de haberla instalado y auscultado, sin olvidar los beneficios aportados a la práctica geotécnica.

## ABSTRACT

The paper presents a comparison among the results of analysis for consolidation settlements performed in the project stage and those obtained from feedback of construction stage, thanks to the geotechnical instrumentation, and some considerations are exposed in relation to the difficulty to determine compressibility parameters of organic soils. The information obtained from geotechnical instrumentation was extremely valuable to make relevant corrective actions in the design of installations that were built over the finished embankment, which is a big reason for having decided to install and operate such instrumentation, besides the benefits to geotechnical practice.

## 1 INTRODUCCIÓN

No es fácil hacer la caracterización geotécnica de los suelos orgánicos, entre otras cosas por la dificultad que representa la obtención de muestras inalteradas y el labrado de los especímenes de prueba, por la alta susceptibilidad que tienen a sufrir cambios de humedad y por la anisotropía asociada a su textura fibrosa.

A partir de lo anterior es común obtener datos poco precisos en la determinación de las propiedades de resistencia o deformabilidad de este tipo de suelos.

En el presente trabajo se describe el comportamiento de un terraplén, bajo el cual se detectó un estrato de suelo orgánico con un espesor relativamente pequeño, que al no haberse podido caracterizar adecuadamente dio lugar a la ocurrencia de asentamientos considerablemente mayores a los teóricamente esperados en el proyecto.

La manera en que pudo subsanarse tal situación fue haciendo un retro-análisis de los asentamientos medidos durante la etapa de construcción, para recalcular la magnitud y evolución esperada a largo plazo, la cual se tuvo la oportunidad de verificar ampliamente al extender las mediciones por un período de poco más de 3 años.

## 2 PROYECTO

El sitio de la obra se ubica sobre la Carretera Federal Minatitlán-Coatzacoalcos, en una zona baja de lagunas y esteros, dentro de la llanura de inundación del Río Coatzacoalcos, en el Estado de Veracruz (Fig. 1).



Figura 1. Localización del sitio de la Obra

El terraplén en cuestión tiene dimensiones en planta de 80 x 115 m y constituye la plataforma de apoyo para las instalaciones de las denominadas trampas de diablos, para un gasoducto de 305mm (12") de diámetro y un oleoducto de 762 mm (30") de diámetro, que entre otras cosas incluyen: losas de cimentación de las trampas, soportes de las tuberías, registros o fosas y algunas estructuras de un nivel para la estación de medición, el cuarto de control y otras instalaciones (Fig. 2).

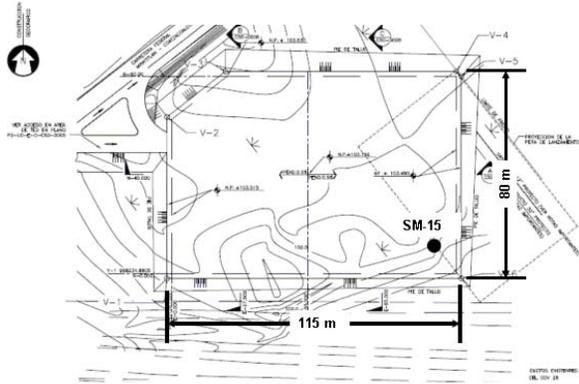


Figura 2. Terraplén para trampas de diablos

Para la construcción de este terraplén de 2.15 m de espesor en el suelo pantanoso del sitio se procedió como se resume a continuación:

Se vació arena a fondo perdido sobre el terreno natural inundado, avanzando en varios frentes de trabajo para que el área se cubriera de manera uniforme hasta llegar a un nivel de plataforma ubicado aproximadamente 30 cm arriba de la superficie del agua. Al alcanzar este nivel, se cubrió la arena con un Geotextil no-tejido y una Geored Biaxial.

A continuación se colocó un relleno de grava-arena compactado en capas de 20 cm de espesor y al 95% de su PVSM, hasta alcanzar el nivel superior de proyecto. En este caso se avanzó también de manera uniforme, evitando desniveles de más de 50 cm entre las áreas de trabajo y dejando taludes en el perímetro con relación 4:1 (H:V), para no provocar una falla por capacidad de carga del suelo arcilloso subyacente (Fig. 3).

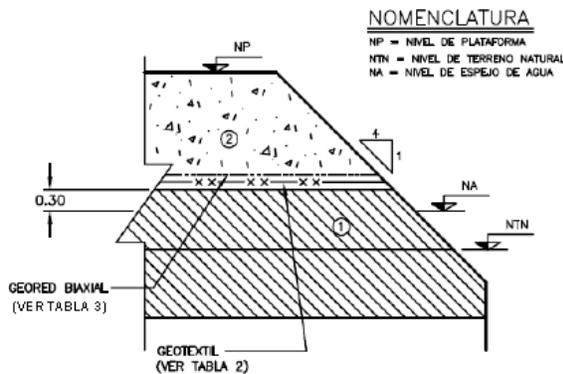


Figura 3. Estructura del terraplén

En la Tabla 1 se indican las características de calidad que fueron especificadas para los materiales de relleno.

En las Tablas 2 y 3 se señalan las propiedades físicas y mecánicas de los productos geosintéticos considerados.

Tabla 1. Calidad especificada para los materiales de relleno

Material	Finos %	Arena %	Grava %	LL %	IP %	VRS %
1	5 máx.	95-100	0	25 máx.	15 máx.	10 mín.
2*	10 máx.	50-80	20-50	30 máx.	15 máx.	10 mín.

\*Tamaño máximo de agregado de 76mm (3").

Tabla 2. Propiedades especificadas para geotextil

Tipo	Masa gr/m <sup>2</sup>	Espesor mm	Resistencia a Tensión kN/m
No-tejido	350	2.0	12.8

Tabla 3. Propiedades especificadas para la geored

Tipo	Abertura mm	Densidad nodos nodos/m <sup>2</sup>	Resistencia a Tensión* kN/m
Biaxial	350	176	4.1

\*Para una elongación de 2%.

### 3 ESTRATIGRAFÍA Y PROPIEDADES DEL SUBSUELO

El subsuelo está formado por depósitos arcillosos de origen fluvial y lacustre con algunas intercalaciones de suelos arenosos, sobre los cuales se han colocado recientemente rellenos artificiales para sobre-elevar la superficie del terreno natural. La zona se estudió mediante dos sondeos mixtos llevados a 20 m de profundidad, complementados con líneas de refracción sísmica con extensión de 60 m, a partir de lo cual se identificaron las siguientes unidades estratigráficas (Fig. 4).

**Unidad 1.** (0.0 a 1.5 m)

Compuesta por un relleno reciente de arena fina uniforme, color café y gris verdoso, poco arcillosa (SP-SC), de compacidad suelta a muy suelta (N = 2 a 6), con contenido de agua entre 12% y 26%.

**Unidad 2.** (1.5 a 4.8 m)

Consiste en arcilla orgánica de alta plasticidad (OH), color gris oscuro y gris verdoso oscuro, con pequeñas vetas de arena fina y materia orgánica poco fibrosa, de consistencia blanda a muy blanda (N = 1 a 2), con contenido de agua variable entre 301% y 426%, con límite líquido de 291 a 476%, límite plástico de 128 a 138% y resistencias no drenadas entre 15.7 y 18.6 kPa.

**Unidad 3.** (4.8 a 7.6 m)

Compuesta por arena fina uniforme arcillosa (SC), color gris verdoso, de compacidad muy suelta a suelta (N = 4 a 8), y con fragmentos aislados de conchas.

Unidad 4. (7.6 a 8.6 m)

Consiste en una delgada lente de arcilla de media a alta plasticidad (CH), con abundante arena fina, color gris verdoso oscuro, de consistencia media (N = 4) y con fragmentos de conchas.

Unidad 5. (8.6 a >20 m)

Constituida por una secuencia de estratos de arcillas de media y alta plasticidad (CH), con muy poca arena pero con fragmentos aislados de conchas, color gris verdoso, y con una consistencia blanda a media (N = 2 a 4) la cual se extiende hasta la profundidad máxima alcanzada en los sondeos. El contenido de agua se encuentra en promedio entre 42% y 92%, el límite líquido entre 49 y 84%, el límite plástico entre 21 y 30% y la resistencia no drenada entre valores de 24.5 y 33.4 kPa.

El nivel freático se detectó coincidiendo con el nivel del terreno natural.

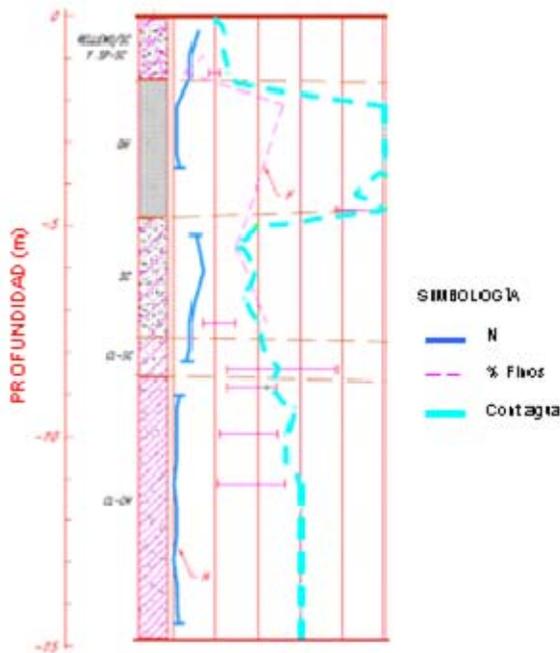


Figura 4. Perfil estratigráfico superficial

#### 4 PRONÓSTICO DE ASENTAMIENTOS

##### 4.1 Consideraciones de cálculo

La carga máxima considerada fue la correspondiente a la época de estiaje, es decir cuando el nivel freático se encontrara más abatido. En tales condiciones se sabía que el espejo de agua coincide aproximadamente con el nivel de terreno natural, cuya elevación promedio es +101.85 m.

En estas condiciones se consideró que el espesor del material colocado a fondo perdido (sin control de

compactación) sería mínimo, ya que una vez superado el nivel del agua, dicho material podría compactarse al menos por bandeado.

Considerando una incrustación de hasta 50 cm del material colocado a fondo perdido cuyo peso volumétrico sumergido es de 8 kN/m<sup>3</sup>, se estimó que su contribución a la carga del terraplén sería de 4 kPa.

En cuanto a la contribución del material granular que sería colocado y compactado por arriba del nivel freático hasta la elevación de proyecto de +104.00 m, considerando un espesor total de 2.15 m y un peso volumétrico de 20.8 kN/m<sup>3</sup>, resultó una carga estimada de 44.7 kPa.

De manera que en total se obtuvo una presión de contacto en la base del terraplén de 48.7 kPa.

Revisando la variación que presentaba la compresibilidad de los estratos arcillosos encontrados hasta 20 m de profundidad, se determinó que solamente era crítica en el estrato superior de arcilla orgánica, ya que en los subyacentes era sustancialmente menor y disminuía con la profundidad.

A partir de lo anterior y teniendo en cuenta la información de las líneas de refracción sísmica y otros sondeos directos cercanos en los que se detectó una capa dura poco después de los 20 m, para fines de cálculo se optó por considerar que los suelos compresibles podrían continuar hasta 40 m como máximo y se supuso que la compresibilidad no disminuía hasta dicha profundidad.

#### 4.2 Evolución de asentamientos

Para calcular la magnitud y evolución de los asentamientos totales esperados, tanto por consolidación primaria como por consolidación secundaria se acudió al criterio de Zeevaert (1973), aplicando la siguiente expresión general:

$$[\delta_c]_t = \sum_{i=1}^N d_i [M_{ep}^*]_t \Delta \sigma_i \quad (1)$$

donde:  $[\delta_c]_t$  = magnitud del hundimiento, en el tiempo  $t$ ;  $d_i$  = espesor del estrato considerado;  $[M_{ep}^*]_t$  = coeficiente de compresibilidad volumétrica equivalente en el tiempo  $t$ ; incremento del esfuerzo vertical debido a la compresión del cimiento dentro del área y a la profundidad media del estrato  $i$ .

En los suelos finos saturados el coeficiente de compresibilidad equivalente en el tiempo para la compresión primaria se obtiene como:

$$[M_v]_t = mv \left( \frac{T_v}{T_{vc}} \right) \left[ \phi(T_v) + (\beta/2.3) A_1 \right] \quad (2)$$

donde:  $t$  = tiempo para el cual se calcula el coeficiente de compresibilidad equivalente  $[M_v]$ ;  $T_v$  = factor tiempo =  $C_v t / H^2$ ;  $T_{vc}$  = factor tiempo para el tiempo de construcción  $t_c$ ;  $H$  = espesor efectivo del estrato, el cual depende de las condiciones de drenaje;  $C_v$  = coeficiente de consolidación;  $mv$  = coeficiente de

compresibilidad volumétrica unitaria para la compresión primaria.

$$\phi(T_v) = \left[ 1 - (1/T_v) \sum_{m=0}^{\infty} (2/M^2) (1 - e_N^{-MT_v}) \right] \quad (3)$$

donde:  $M = [(2m + 1)^2 \pi^2]/4$ ;  $\beta$  = factor adimensional que mide la magnitud del fenómeno viscoso intergranular (compresión secundaria), respecto a la compresión primaria.

$$A_1 = [1 - (1/\xi T_v) \ln(1 + \xi T_v)] \quad (4)$$

donde:  $\xi$  = factor adimensional que modifica el valor de  $T_v$  para tener en cuenta el fenómeno viscoso intergranular. Y para determinar el coeficiente de compresibilidad equivalente en el tiempo correspondiente a la compresión secundaria, se utilizó la siguiente expresión:

$$A_1 = [1 - (1/\xi T_v) \ln(1 + \xi T_v)] \quad (5)$$

donde:  $mv$  = coeficiente de compresibilidad volumétrica unitaria para la compresión primaria.

$$T_{01} = (1/2w) \ln \left[ (e_N^{wT_{vc}} - 1) / (wT_{vc}) \right] \quad (6)$$

donde:  $w = \pi^2 / 4$ ;  $e_N$  = base de los logaritmos naturales.

$$A_2 = 1 - [(2.72a_2 - 1) / \xi T_{vc}] \quad (7)$$

$$a_2 = (1 + \xi T_{vc})^{-\xi T_{vc}} \quad (8)$$

$$F(T_v^*) = \left\{ 1 - \sum_{m=0}^{\infty} (2/M^2) e_N^{-MT_v^*} \right\} \quad (9)$$

$$T_v^* = T_v - T_{01} \quad (10)$$

Tratándose de suelos finos parcialmente saturados o de suelos granulares, el módulo de compresibilidad equivalente se obtuvo como:

$$[mv]_p = mv(1 + \beta \log t / tc) \quad (11)$$

donde:  $mv$  = coeficiente de compresibilidad volumétrica unitaria para la compresión primaria, en este caso calculado como  $\mu c Mep$ ;  $\mu c = (1 + \mu)(1 - 2\mu)/(1 - \mu)$ ;  $\mu$  = relación de Poisson y  $Mep$  = módulo de deformación elasto-plástico para estratos granulares.

Con las expresiones anteriores se evaluó el asentamiento máximo esperado bajo el centro del terraplén (Fig. 5) y en los sitios donde se tienen estructuras principales, así como en distintos puntos sobre la trayectoria de las tuberías, dentro y fuera del terraplén.

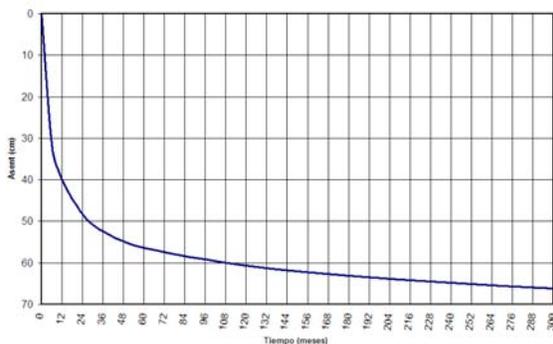


Figura 5. Curva de la evolución teórica de los asentamientos, al centro del terraplén.

## 5 INSTRUMENTACIÓN

### 5.1 Referencias de nivel provisionales

Consistieron en estacas de madera, con la distribución mostrada en la Figura 6, las cuales se instalaron tres semanas después de haber logrado la estabilización del relleno de arena colocada a fondo perdido, al completar un espesor de relleno de 70 cm y alcanzar la elevación +102.5 m.

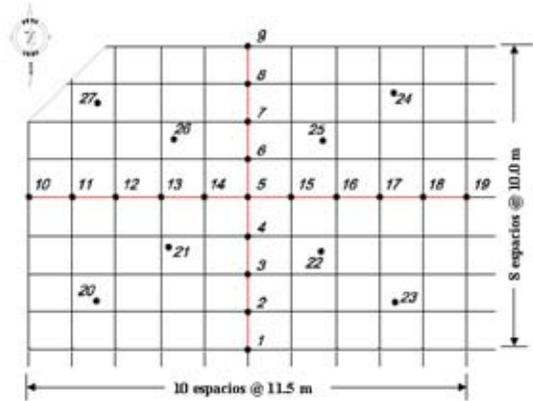


Figura 6. Localización de las referencias de nivel provisionales

Con estas referencias provisionales se estuvo observando la evolución de los asentamientos de manera muy gruesa, por un período aproximado de un mes, hasta que se colocaron, el geotextil y la geored, y poco después, las referencias de nivel permanentes.

### 5.2 Referencias de nivel de proyecto

Consistieron en bancos de nivel flotante, que constan de una placa base con dimensiones de 30x30 cm y 6.4 mm (1/4") de espesor, ubicada al nivel que fueron instalados el geotextil y la geored, a la cual se suelda un tubo de acero de 76 mm (3/4") de diámetro que se extiende conforme va aumentando el espesor del relleno en tramos de 1 m de longitud, estando protegido por un tubo exterior de polietileno corrugado de 15 cm (6") de diámetro, que no está en contacto con la placa base del banco de nivel (Fig.7).

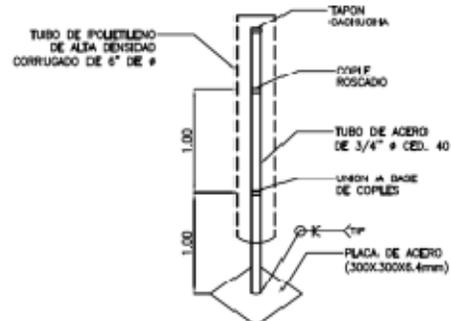


Figura 7. Banco de nivel flotante

Con estas referencias se estuvo observando la evolución de los asentamientos con más precisión, por un período aproximado de cinco meses, hasta que terminó la construcción del terraplén e inició la construcción de las estructuras e instalaciones del proyecto. La distribución de estos testigos es la que se muestra en la Figura 8.

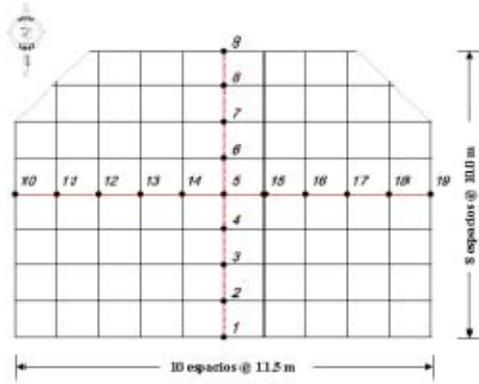


Figura 8. Localización de las referencias de nivel de proyecto

Dada la gran cantidad de actividades de construcción que se presentaron a continuación, se dejaron de tomar mediciones, por un lapso aproximado de siete meses, pero éstas se retomaron una vez que se terminaron las estructuras y equipos principales.

### 5.3 Referencias de nivel en pisos y estructuras

Consistieron en marcas de pintura sobre losas de piso, losas de cimentación de las trampas de diablos o de soportes de tuberías, y sobre columnas de estructuras. La ubicación de las referencias principales se muestra en la Figura 9.

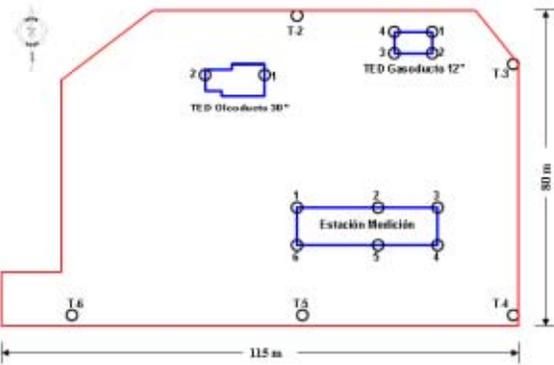


Figura 9. Localización de referencias de nivel en pisos y estructuras.

## 6 MONITOREO

En la etapa más temprana de la construcción del terraplén se emplearon las referencias de nivel provisionales, que se colocaron directamente sobre el

terreno natural cuando la terracería tenía un espesor aproximado de 70 cm, incluyendo la parte de material incrustado. Dichas referencias solamente sirvieron durante un mes y se retiraron al momento de colocar la geored y el geotextil que marcó el proyecto. Descartando los puntos que pudieron verse afectados por el tránsito de equipos de construcción, el asentamiento promedio registrado al centro del terraplén durante el período indicado fue de 15 cm (Fig. 10).

Una vez instalada la geored y el geotextil, se colocaron los testigos que marcó también el proyecto, consistentes en bancos de nivel flotante. Estos testigos se estuvieron nivelando durante un período de cinco meses, que fue lo que duró la construcción del terraplén, pero después de ese tiempo tuvieron que retirarse para dar paso a las obras civiles.

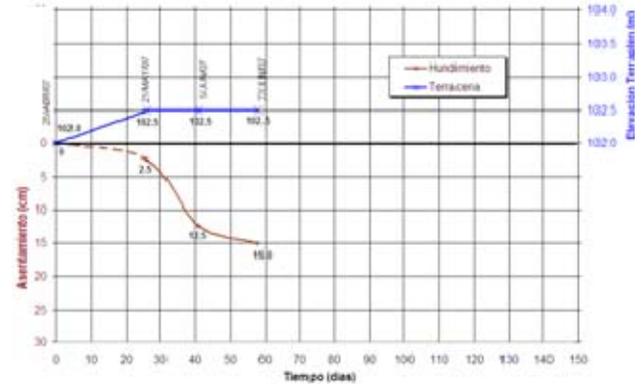


Figura 10. Medición de los asentamientos con las referencias provisionales

El asentamiento total acumulado registrado al final del período indicado fue de 76.5 cm, aunque por la presencia de otra terracería anterior que se traslapa con el terraplén en su parte sureste, el hundimiento no fue totalmente uniforme, sino que fue menor en dicha zona por haber sido precargada (Fig. 11).

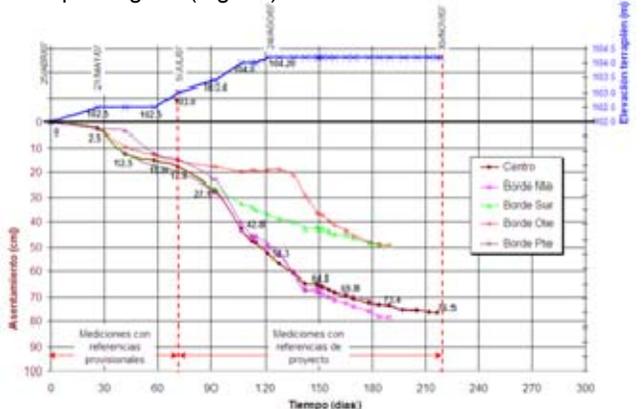


Figura 11. Medición de los asentamientos con las referencias de proyecto

No obstante, al término de dicho período, en toda el área comenzó a observarse una disminución de la velocidad

de deformación, lo cual dio la pauta para seguir adelante con la conexión de ductos importantes.

Mientras se trabajó en las obras civiles dejaron de monitorearse los asentamientos hasta que después de otros siete meses en que aquéllas terminaron se marcaron nuevos testigos directamente sobre los pisos de concreto, los soportes de tuberías y las columnas del edificio de la estación de medición.

Para ligar las lecturas de los testigos anteriores con las de los nuevos, se extrapoló en forma lineal la tendencia final de la curva del asentamiento registrado en el centro del terraplén, de tal forma que al iniciar la nueva etapa de mediciones se partió de un valor estimado acumulado de 85 cm. Las nivelaciones de los nuevos testigos han cubierto un período de poco más de 10 meses, durante el cual se ha registrado un asentamiento adicional de 5 a 10 cm, en los testigos marcados sobre el piso, de manera que el asentamiento promedio total acumulado al presente resulta de 96 cm (Fig. 12).

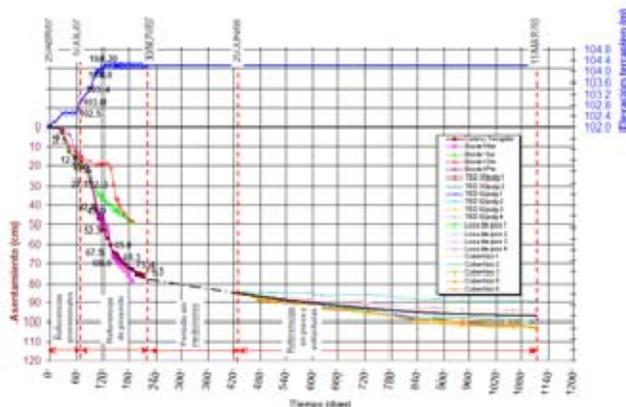


Figura 12. Medición de los asentamientos con las referencias en pisos y estructuras

## 7 RETRO-ANÁLISIS

### 7.1 Teoría de Cálculo

Puesto que los asentamientos medidos desde los primeros seis meses superaron la magnitud esperada, se hizo un nuevo cálculo de asentamientos, empleando nuevamente la Teoría de Zeevaert (1973), que permite determinar los hundimientos totales esperados, tanto por consolidación primaria como por consolidación secundaria, pero esta vez teniendo en cuenta los resultados de las mediciones a la fecha, es decir que se llevó a cabo un retro-análisis.

### 7.2 Ajuste de parámetros de compresibilidad

Los parámetros que principalmente se hicieron variar fueron: el coeficiente de compresibilidad volumétrica unitaria para la compresión primaria ( $m_v$ ) y el factor adimensional que mide la compresión secundaria ( $\beta$ ). Al hacerlo se tuvo cuidado de incrementar ambos parámetros en una misma proporción, a fin de no afectar el valor de  $mt$ , ya que están relacionados entre sí como se indica a continuación:

$$mt = m_v / \beta \quad (12)$$

El cálculo consistió en llevar a cabo varias iteraciones empleando valores cada vez mayores de los parámetros antes mencionados, obteniendo en cada caso una curva teórica de evolución de los asentamientos, hasta reproducir aquella que se asemejara lo más posible a la magnitud de las mediciones reales obtenidas del monitoreo de asentamientos.

En las tablas 4 y 5 pueden verse los parámetros de compresibilidad de la Teoría de Zeevaert, originales y ajustados, respectivamente

Tabla 4. Parámetros de compresibilidad de Zeevaert originales

Unidad	Clasif.	Espesor	Mep	$\beta$	$\beta$	$C_v$
	SUCS	m	cm <sup>2</sup> /N	adim	adim.	cm <sup>2</sup> /seg
1	SP-SC	1.5	-	-	-	-
2	OH	3.3	0.0112	0.5	0.75	0.0017
3	SC	2.8	-	-	-	-
4	CH	1.0	0.0030	0.27	1.15	0.0045
5-1	CH	6.2	0.0027	0.44	0.50	0.0040
5.2	CH	25.2	0.0016	0.26	1.10	0.0030

Tabla 5. Parámetros de compresibilidad de Zeevaert ajustados

Unidad	Clasif.	Espesor	Mep	$\beta$	$\beta$	$C_v$
	SUCS	m	cm <sup>2</sup> /N	adim.	Adim.	cm <sup>2</sup> /seg
1	SP-SC	1.5	-	-	-	-
2	OH	3.8	0.0144	0.70	0.75	0.0092
3	SC	2.8	-	-	-	-
4	CH	1.0	0.0034	0.26	1.15	0.0045
5-1	CH	6.2	0.0035	0.44	0.50	0.0057
5.2	CH	25.2	0.0010	0.89	1.16	0.0065

Otro parámetro que también fue ajustado en el cálculo fue el espesor del estrato de arcilloso superior, ya que éste aumentaba ligeramente en dirección noroeste, según se deduce de la correlación estratigráfica entre los sondeos considerados.

Dado que la carga del terraplén fue colocada de manera gradual, se simuló este efecto considerando que ella creció linealmente en el tiempo.

### 7.3 Ajuste de la evolución del asentamiento con el tiempo

A partir del retro-análisis realizado, se obtuvieron nuevas curvas de evolución de asentamientos, calculadas por métodos diferentes, las cuales concordaban aproximadamente con la magnitud medida a corto plazo (Fig.13), aunque a largo plazo pudiera haber una variación de varios centímetros. Para fines de análisis se recomendó considerar un valor máximo de 127 cm (Fig.14).

Teniendo en cuenta que a la fecha de realización del retro-análisis el asentamiento máximo medido al centro del terraplén fue de 96 cm, se concluyó que el remanente esperado a largo plazo sería de 30 cm.

También se determinó que en los demás puntos de cálculo cabía esperar la misma evolución con el tiempo, de manera que para obtener el asentamiento remanente se aplicó un factor de proporcionalidad.

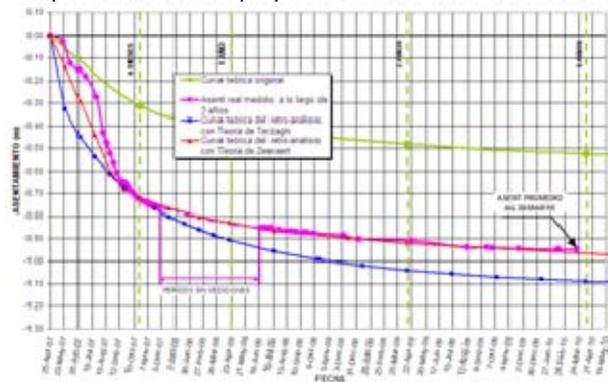


Figura 13. Evolución de los asentamientos a corto plazo según el retro-análisis.

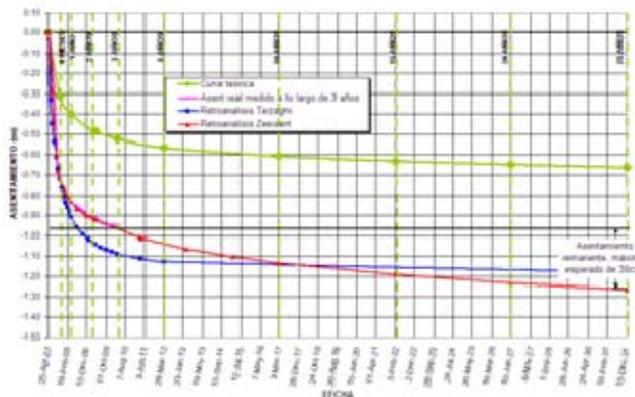


Figura 14. Evolución de los asentamientos a largo plazo según el retro-análisis.

## 8 CONCLUSIONES

Resulta muy notoria la diferencia de casi el doble, entre el valor máximo del asentamiento teórico y el obtenido en la práctica. Evidentemente los datos de entrada fueron subestimados, lo cual puede atribuirse en parte a la dificultad que representa obtener muestras inalteradas de los suelos orgánicos arcillosos.

Sin embargo, en la práctica también se han detectado factores inherentes a la naturaleza de este tipo de suelos tales como: su marcada heterogeneidad, la variación de la permeabilidad, vertical y horizontal, por su textura fibrosa y la influencia de los estratos adyacentes, las deformaciones por flujo plástico o baja resistencia al corte, la compresibilidad de las partículas sólidas, e incluso el contenido de gas en las muestras (Calderón et. al 2003).

Teniendo en cuenta los resultados del retro-análisis realizado, y la similitud de las curvas teóricas de evolución de asentamientos, calculadas con diferentes teorías, se infiere que la permeabilidad no tuvo que ver tanto en la diferencia de resultados, toda vez que el coeficiente de consolidación casi no tuvo cambio.

Dado que los principales ajustes se hicieron en los coeficientes de variación volumétrica, se concluye que la parte que principalmente fue subestimada fue la deformación debida a consolidación secundaria, que depende más de la compresibilidad de la parte sólida del suelo. Por la misma razón, la teoría con la que se logró el mejor ajuste fue con la de Zeevaert, que permite modelar de manera más precisa la componente de consolidación secundaria.

Es conveniente considerar métodos diferentes o complementarios para evaluar mejor la deformabilidad de este tipo de suelos, los cuales podrían incluir pruebas de campo tales como el cono eléctrico o el presiómetro, ya que parece haber una componente muy importante de deformación inicial por desplazamiento o flujo plástico del suelo, según puede verse en la gráfica de la Figura 11 en la que se puede apreciar que aproximadamente el 75% del asentamiento se desarrolló en un lapso no mayor de 3 años.

Los asentamientos calculados bajo las instalaciones del proyecto no difieren mucho del máximo esperado al centro del terraplén, ya que en este caso se trataba de estructuras relativamente ligeras y la carga principal era debida al propio terraplén.

Para estar al tanto de la evolución futura de los asentamientos se recomendó continuar con el monitoreo de las referencias topográficas.

## REFERENCIAS

Zeevaert, L. (1973). "Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions", Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA.  
 Calderón, D.L., Livia C.M. y Aguilar Z. (2003). "Consideraciones sobre la compresibilidad de suelos orgánicos y turbas", XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil – Iquitos, Perú.