

Comportamiento de Plataforma de Trabajo Construida sobre Arcillas Normalmente Consolidadas

Marcelo E. ZEBALLOS^{a,1}, Pedro A. COVASSI^a, Matías GIACCHINO^b
y Joaquín RECHE^c

^a*Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.*

^b*Salini – Impregilo – Chediack, Argentina.*

^c*Zeballos Consultores de Ingeniería, Argentina.*

Resumen. Sobre la costa de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, se encuentra en desarrollo un importante proyecto de saneamiento. El mismo incluye la construcción de una plataforma de 5 metros de altura, en una superficie de 250 metros por 450 metros, sobre terreno ganados al Río de la Plata. La plataforma tiene la particularidad de encontrarse sobre un medio de deposición fluvial caracterizado por la presencia de arcillas blandas, normalmente consolidadas. Estos niveles de alta deformabilidad, y con suelos en estado de saturación, presentan espesores del orden de 10 a 15 metros. La plataforma de trabajo a conformar tiene como objetivo conformar un plano de apoyo para los componentes estructurales que sirven para la materialización de una cámara excavada para, posteriormente, permitir el desarrollo a partir de ella de un túnel emisario bajo el lecho del río de la Plata. Los aspectos de uso antes indicados han sido de especial incidencia en la definición de las características constructivas de la plataforma. La misma, diseñada para soportar los efectos climáticos propios de su ubicación costera, ha sido conformada para desarrollar asentamientos compatibles con el tipo de estructura a construir en el sector, así como con los propios tiempos de obra requeridos para el conjunto del proyecto. El presente artículo muestra los estudios tenso-deformacionales efectuados para el tratamiento del problema, las características de la solución implementada para el adecuado control de los procesos de consolidación, y los resultados efectivamente observados, los cuales incluyen asentamientos superiores a los 100 cm.

Palabras Clave. Consolidación, terraplén, suelos arcillosos blandos, alta deformabilidad, asentamientos.

1. Introducción

Las construcciones costeras sobre suelos de alta deformabilidad demandan la adecuada evaluación de la estabilidad. Las cargas de construcción, aplicadas en forma rápida, inducen presiones de poros en suelos blandos saturados de baja permeabilidad, cuya disipación deriva en asentamientos de consolidación que deben compatibilizarse con el

¹ Corresponding Author, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, 5016 Córdoba, Argentina; e-mail: marcelo.zeballos@unc.edu.ar.

uso de la estructura. La geometría de la estructura que se proponga construir, las condiciones de drenaje del suelo de fundación, y la secuencia de materialización de la obra, pueden ser determinantes en el éxito del proyecto.

En el marco de las obras correspondientes al Programa de Desarrollo Sustentable de la Cuenca Matanza – Riachuelo, se ha requerido la materialización de una plataforma de materiales sueltos, en la zona de Dock Sud, Provincia de Buenos Aires, Argentina. La plataforma de trabajo se conforma con una estructura perimetral de contención y un relleno interior. Ocupa una superficie rectangular de 250 metros de ancho y 450 metros de largo, con una altura media del orden de los 5,00 metros. La estructura se emplea como base para la ejecución de una planta de tratamiento y el inicio de un túnel emisario, con una longitud superior a los 10 km. La cimentación está formada por suelos de tipo arcillo – limosos, con una alta deformabilidad y saturados. La Figura 1 una vista general de la obra que se trata.



Figura 1. Vista general de la plataforma costera.

Los condicionantes de mayor significación en la generación de una solución se han vinculado con la necesidad de adaptar la secuencia de construcción a los tiempos disponibles para su realización. En particular se han analizado dos variables: a. las presiones de poros en el cimiento, que dependen de las cargas aplicadas por la construcción y de su velocidad de aplicación, y b. los asentamientos por consolidación, que deben ser adecuados para el uso previsto. Los análisis efectuados y los condicionantes impuestos por el diseño, han derivado en la secuencia de construcción por etapas, definidas para no generar condiciones de inestabilidad. El diseño se completa con la definición de un sistema de auscultación, que actúa como elemento de control y guiado en la evolución de la construcción. Se muestran resultados obtenidos durante el desarrollo de la construcción que han permitido la validación de las hipótesis de diseño.

2. Características del Proyecto

Se describe a continuación elementos característicos del proyecto.

2.1. Geometría

El proyecto se desarrolla en un terreno de 450 x 250 metros de relleno sobre la costra del río de La. En su borde externo se ha construido una protección exterior con revestimiento exterior e interiormente. La Figura 2 muestra un esquema de la planta de la plataforma.

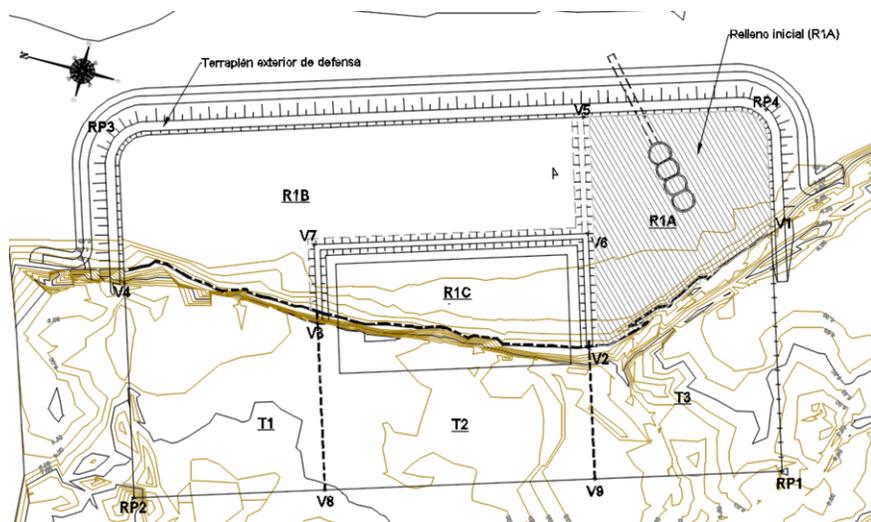


Figura 2. Planta de la plataforma.

2.2. Geología y Geotecnia

La caracterización de la estratigrafía del sector se muestra en varios antecedentes, tales como los contenidos en las Ref. [1, 2 y 3], específicamente efectuados para esta obra. El modelo geomecánico local presenta la siguiente estratigrafía:

- Formación Postpampeano, grupo Playa Honda. Con un espesor de 4 metros, son arenas limosas de baja compactad, del tipo SM en el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos.
- Formación Postpampeana, grupo Atalaya. Con un espesor de 17 a 25 metros. Son arcillas magras blandas, del tipo CH. El número de golpes del ensayo SPT es inferior a 10.
- Formación Pampeano. Son arcillas, limos y arenas de compactad media, con clasificaciones CL, CH y SM. Su número de golpes del ensayo SPT varía entre 6 y 30. Este estrato tiene un espesor promedio del orden de los 13 metros.
- Formación Arenas Puelches. Formado por arenas limpias del tipo SP. El número de golpes del ensayo SPT es superior a 30.

En la Figura 3 se muestra un esquema ilustrativo de este perfil en el lado sur de la plataforma.

Las variables geotécnicas definidas han sido complementadas con información derivada de referencias bibliográficas, Ref. [4, 5, 6 y 7]. Los parámetros básicos son los indicados en las Tablas 1 y 2. En vista de los resultados de los sondeos la Formación Atalaya ha sido subdividida en dos substratos.

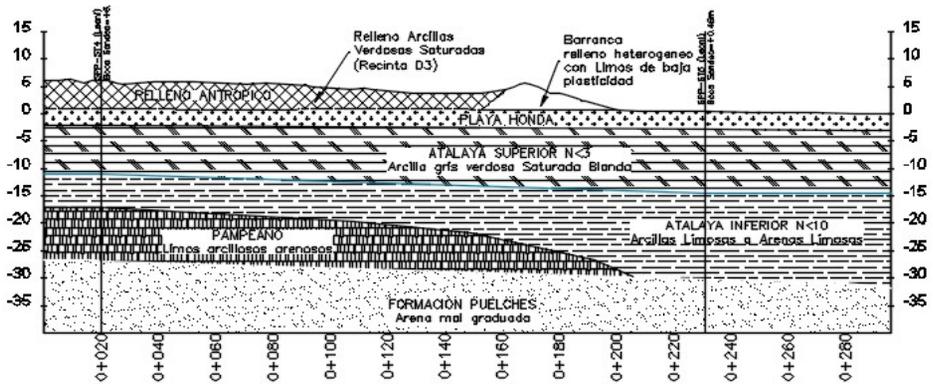


Figura 3. Perfil litológico en el borde sur de la plataforma.

Para la constitución de la plataforma, en función de las disponibilidades locales de materiales de canteras, se han considerado los siguientes componentes (ver Tabla 3):

- Arena: Estas provienen del dragado del río, son arenas finas a medias.
- Suelos seleccionados: Son suelos calcáreos de baja plasticidad (tipo ML), o mezclas de estos con contenidos de arenas finas a medias.
- Material granular de apoyo y enrocados: Estos materiales han sido valorados en su calidad a través de ensayos de desgaste.

Tabla 1. Parámetros de resistencia del cimientto.

| Estrato | Estado | Peso Unitario | | Resistencia | |
|------------------------------------|--------|------------------------------|-------------------------------|----------------|--------------|
| | | Natural [kN/m ³] | Saturado [kN/m ³] | Cohesión [kPa] | Fricción [°] |
| Playa Honda (Postpampeano) | UU | 14,5 | 17,5 | 45 | 5 |
| | CU | 16,0 | 19,0 | 5 | 25 |
| | CD | 14,5 | 17,5 | 0 | 35 |
| Atalaya Superior (Postpampeano) | UU | 14,5 | 17,5 | 15 | 0 |
| | CU | 16,0 | 19,0 | 5 | 18 |
| | CD | 16,0 | 19,0 | 0 | 20 |
| Atalaya Inferior (Postpampeano) | UU | 14,5 | 17,5 | 35 | 0 |
| | CU | 16,0 | 19,0 | 5 | 20 |
| | CD | 16,0 | 19,0 | 0 | 22 |

Tabla 2. Modelos de comportamiento y parámetros deformacionales para el cimientto.

| Estrato | Modelo | k [m/día] | e ₀ | E [kPa] | Cc/Cs | v |
|------------------|--------|-----------------------|----------------|---------|-------------|------|
| Playa Honda | M-C | 1,30 | 0,91 | 10300 | - | 0,30 |
| Atalaya Superior | S-S | 2,67x10 ⁻⁴ | 1,51 | - | 0,53 / 0,05 | 0,34 |
| Atalaya Inferior | S-S | 6,31x10 ⁻⁴ | 0,70 | - | 0,23 / 0,07 | 0,34 |
| Puelche | M-C | 0,13 | 0,42 | 35200 | - | 0,25 |

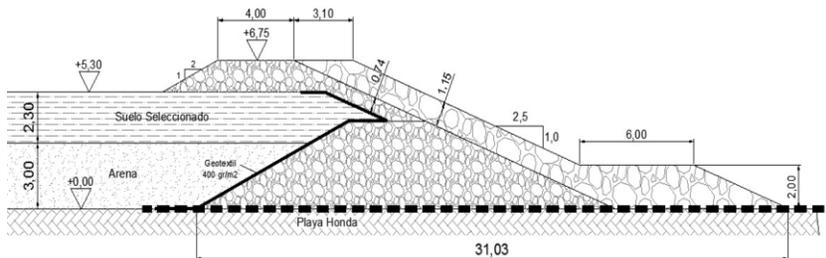
Nota: M-C: modelo de Mohr-Coulomb; S-S: modelo *soft soil*; k: coeficiente de permeabilidad; e₀: relación de vacíos inicial; E: módulo de elasticidad (drenado); Cc: coeficiente de compresibilidad; Cs: coeficiente de descarga; v: coeficiente de Poisson.

Tabla 3. Parámetros de resistencia de los materiales del terraplén.

| Suelo | Peso Unitario | | Resistencia | | | |
|--------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|------------|
| | Natural [kN/m ³] | Saturado [kN/m ³] | Cohesión [kPa] | Fricción [°] | K (m/día) | E [kPa] |
| Arena | 17,0 | 19,0 | 0 | 35 | 1,00 | 8.000 |
| Suelo Seleccionado | 16,0 | 19,0 | 20 | 20 | 1,00x10 ⁻³ | 5.000 |
| Granular y Rip-Rap | 16,0 | 20,0 | 0 | 45 | | |

3. Proceso de Diseño

Durante el diseño se han definido combinaciones de escenarios asociados con los requerimientos de los tiempos de ejecución de la obra. Como resultado, se obtiene una geometría para la obra de protección de borde, la cual está asociada a una secuencia de ejecución por etapas, a fin de permitir la disipación de presiones de poros en el cimient. A partir del análisis de estabilidad global (Ref. [7]), se concluye que el perfil transversal de la Figura 4.

**Figura 4.** Perfil Transversal 3- Ht=6,75m – Talud 2,5h:1v.

La secuencia de construcción se define de forma tal de no generar, por exceso de presión de poros en el cimient, una situación obligue a la detención en la colocación de los materiales. La Tabla 5 muestra los tiempos de construcción estimados para cada fase del proyecto.

Tabla 5. Duración mínima de las Fases constructivas modeladas.

| Fase | Actividad | Duración Parcial [días] | Tiempo transcurrido desde el inicio de obra [días] |
|--------|---------------------------------|-------------------------|--|
| Inicio | | 0 | 0 |
| 1 | Terraplén inicial de protección | 30 | 30 |
| 2 | Relleno parcial del recinto | 100 | 130 |
| 3 | Relleno final del recinto | 9 | 139 |
| 4 | Coronamiento de la defensa | 76 | 215 |

Se destaca la importancia de la auscultación durante la ejecución de obra, a fin de validar las hipótesis aquí formuladas, verificar el cumplimiento de los plazos, o permitir la reformulación de componentes de la solución si se aprecia un desvío sensible respecto de la previsión de proyecto. Para incrementar la eficiencia del sistema se incluyen en el perfil: a. geodrenes verticales, que facilitan la reducción del exceso de presiones de poros en el cimient, y b. geogrilla inferior para contribuir a la estabilidad global y al comportamiento monolítico de la obra de defensa costera.

3.1. Modelación Tenso-Deformacional de la Plataforma

Se ha evaluado el comportamiento tenso deformacional del sistema. El modelo se ha conformado para la evaluación de asentamientos y presiones en el tiempo. Para esto el suelo del cimiento ha sido considerado, inicialmente, en condiciones no drenadas. El modelo conformado es un perfil en el cual se incluye la protección de borde, el relleno de la plataforma y los sistemas de drenaje de cimiento, formados por una grilla de geodrenes tipo cinta. En la Figura 5 se presenta un esquema ilustrativo.

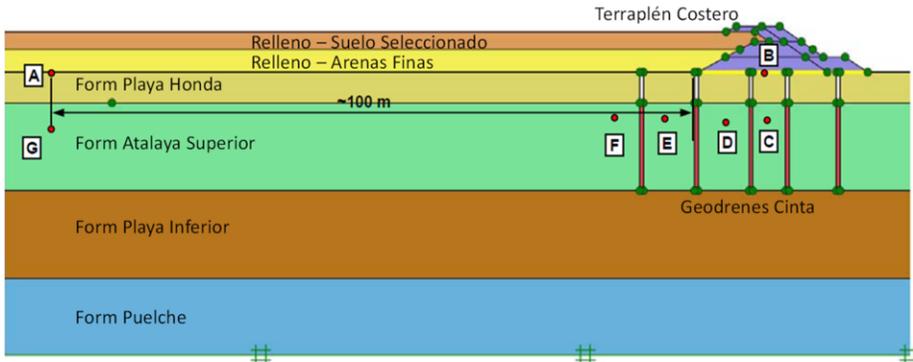


Figura 5. Esquema ilustrativo del modelo simulado.

En la misma Figura se indican los puntos de evaluación asentamientos (puntos A y B) y de presiones de poros (puntos C, D, E, F y G). Los primeros se ubican en la superficie del estrato Playa Honda y los segundos se ubican aproximadamente en el tercio superior del estrato Atalaya Superior, donde se producen los mayores excesos de presiones de poros durante la construcción de la plataforma. Las Figuras 6 y 7 muestran los asentamientos calculados, así como las previsiones de variación de la presión de poros durante la construcción del terraplén. Los valores obtenidos para ambas variables mostraban compatibilidad con los tiempos de construcción y el uso de la estructura.

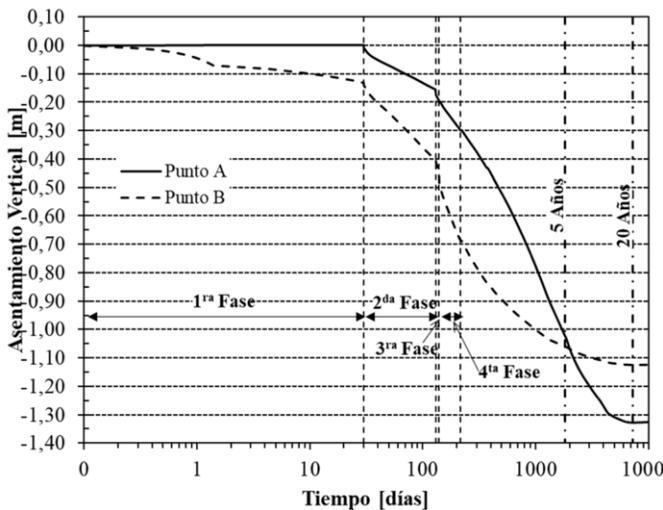


Figura 6. Asentamientos verticales respecto del tiempo.

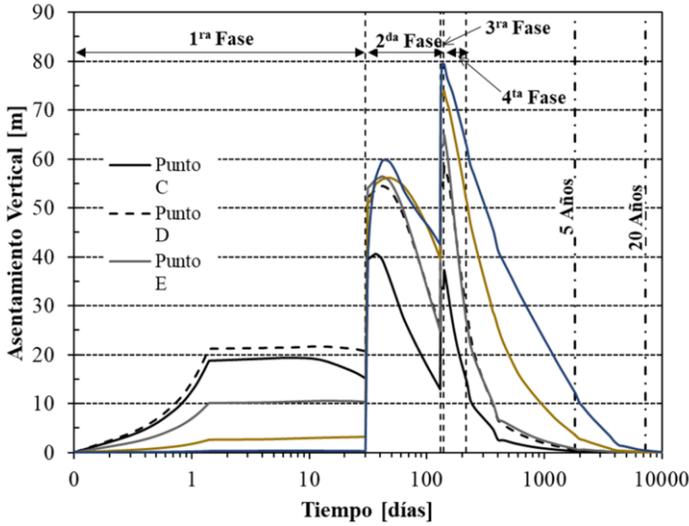


Figura 7. Exceso de Presiones de poros máximos respecto del tiempo.

4. Mediciones Durante la Construcción

El sistema de instrumentación se compone de asentímetros de placa (25), puntos de control topográficos (18), piezómetros de cuerda vibrante (24) y piezómetros tipo Casagrande (6). En la Figura 8 se presenta un esquema en corte de la distribución del instrumental en una sección característica.

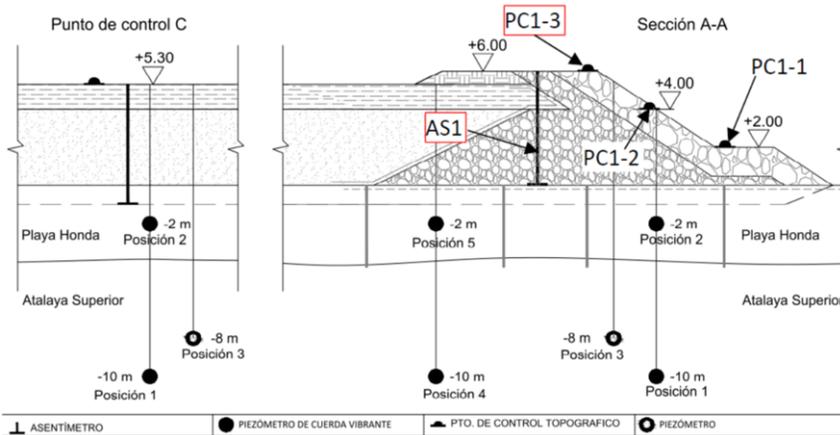


Figura 8. Esquema en corte de la distribución del instrumental de monitoreo instalado en una sección (Sección A1-A1).

La Figura 9 muestra, a modo de ejemplo, asentamientos medidos (AS1 y PC3) vs el tiempo obtenidos. En la misma Figura se indica la previsión de modelación para el sector. Se puede visualizar la sensible coincidencia entre los valores de predicción y los registros de obra.

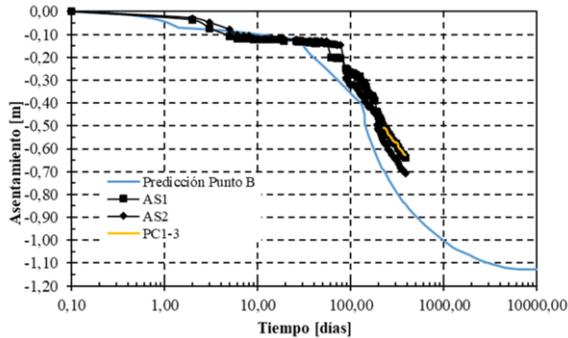


Figura 9. Asentamientos vs tiempo obtenidos para el punto B del Modelo 2 y medidos en la posición de los asentímetros AS1 y AS2, y el punto de relevamiento topográfico PC1-3.

5. Conclusiones

- Se ha presentado una experiencia de ejecución de terraplenes sobre suelos blandos y saturados.
- En estos casos, la conformación de la sección transversal de la estructura y su forma de materialización en el tiempo tiene una gran importancia en el éxito del proyecto.
- Método Observacional: El mismo permite el empleo de la instrumentación como elemento de validación de las hipótesis de trabajo o como información de uso en tiempo adecuado para el reajuste de las medidas de construcción a adoptar.

Agradecimientos

Se agradece al personal técnico de Salini-Impregilo S.P.A. – Healy Company – J. J. Chediack S.A. – UTE, AYSA y Supervisión de Obra por la colaboración técnica prestada en la realización del presente estudio.

Referencias

- [1] AySA, Impregilo, Cuadro Geológico Geotécnico, Programa de Desarrollo Sustentable de la Cuenca Matanza Riachuelo. Lote 3, Emisario Río de la Plata. 2012.
- [2] Vardé, O., Informe 3002-002-B Estudio de Suelos, Proy de Desarrollo Sustentable de la Cuenca Matanza Riachuelo, Lote 3, E. P. Riachuelo. IMPREGILO S.p.A. – S.A. HEALY Company – U.T.E., 2015.
- [3] Leoni, A., Proyecto de Desarrollo Sustentable de la Cuenca Matanza Riachuelo, Lote 3, E. P. Riachuelo. Inf N° 3002-002-A, Estudio de Suelos, IMPREGILO S.p.A. – S.A. HEALY Company – U.T.E., 2015.
- [4] Núñez, E., Geotechnical conditions in Buenos Aires City. V Intern. Congress IAEG, IV, 1986, 2623-2630.
- [5] Sfriso, A., Formación Postpampeano: Predicción de su comportamiento mecánico, III Conferencia Latinoamericana de Ingenieros geotécnicos jóvenes, Caracas, 1997, A1-A10.
- [6] Del Santo, M.; Leoni, A. J.; Martini, M. y Alvarado, F., Parámetros intrínsecos de las arcillas superiores de la Formación Paraná. Resultados de ensayos de campo y de laboratorio, Memorias del XXIII CAMSIG, Santa Fe, Argentina, Noviembre, 2016.
- [7] Zeballos, M. E.; Covassi, P. A.; Adami, A.; Reche, J. y Giacchino M., Construcción de terraplén sobre suelos de alta deformabilidad, Memorias del XXIV CAMSIG, Salta, Argentina, Octubre, 2018.