

UTILIDAD DE LOS POZOS DE PRUEBA EN EL ESTUDIO DE MACIZOS DE ARENAS CEMENTADAS

Juan José Bosio Ciancio¹ & Cesar Manuel Lopez Bosio²

Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad Católica Ntra. Sra. de la Asunción

Palabras Claves: Pozos de prueba, Estructuras relicto, Fluidos magmáticos, Autofiltros

RESUMEN

El trabajo describe dos casos históricos de pozos de prueba ejecutados en Asunción. El primero, ubicado en un predio del Microcentro, en la calle Estrella entre Alberdi y Chile, fue ejecutado para fines de investigación y determinación de los parámetros geotécnicos para el diseño del sistema de protección de las paredes de una excavación muy profunda en un macizo de arenas cementadas por debajo del nivel freático. El segundo pozo, ubicado en la calle Venezuela entre Mcal. Lopez y España, se realizó en un sitio donde se detectara un acuífero de gran caudal relacionado con suelos de muy baja resistencia, proporcionados datos fundamentales para el estudio de las diferentes alternativas para la construcción de un túnel peatonal y de vehículos por debajo de la calle Venezuela. El trabajo se refiere a la utilidad de estos pozos para los fines para los cuales fueron destinados.

¹ Investigador. Prof. Titular del Área de Geotécnia. Facultad de Ciencias y Tecnología (UCA)

² Consultor. Prof. Asistente de Geotecnia III. Facultad de Ciencias y Tecnología (UCA)

1. CASO I. POZO DE PRUEBA EN EL PREDIO DEL BANCO ORIENTAL

1.1 INTRODUCCION

1. CASO I. POZO DE PRUEBA EN EL PREDIO DEL BANCO ORIENTAL

1.1 INTRODUCCION

El predio donde se construyera el Banco Paraguayo Oriental está ubicado en la vereda sudoeste de la calle Estrella entre Alberdi y Chile, entre el Restaurante Bolsi y el Edif. Del Citibank. Por exigencias municipales de estacionamiento, el edificio fue proyectado con tres (3) subsuelos. Posteriormente, se le agregó un subsuelo adicional para el desarrollo de la solución estructural elegida, alcanzándose la profundidad de 12,40 m por debajo del nivel de vereda.

En muchos sentidos, este edificio marcó hitos importantes en la historia de la ingeniería de la construcción en nuestro país. En primer lugar, sería una de las excavaciones más profundas que se realizarían en Asunción en arenas cementadas muy densas por debajo del nivel freático. Por otro lado, la situación precaria que se encontraban los muros linderos, con niveles de piso por encima del nivel de inicio de la excavación del recinto, generaba intranquilidad con respecto a la estabilidad de los muros perimetrales, que aún restaban luego de la demolición del Cine Splendid, y que en más de un caso servían de apoyo de las edificaciones linderas.

Tanto el propietario como la dirección de obra supieron ver la delicadeza de la intervención a ser realizada, solicitando la ejecución de un proyecto ejecutivo para la excavación de los subsuelos, que a más de las indicaciones técnicas, contemple fundamentalmente la seguridad de los predios vecinos y del personal afectado a la excavación siendo esta probablemente, la primera vez en Asunción que se realizaba tal solicitud.

1.2 Antecedentes

El macizo fue definido mediante dos campañas de sondeos geotécnicos realizados por las firmas Bellasai y Logos SRL, que evidenciaron la presencia de suelos areno limosos y arcillosos con resistencias a la penetrabilidad muy variable.

En la figura 1, se observa un perfil geotécnico definido por los Sondeos P1 a P4 ubicados en una línea paralela a un metro del lindero Oeste de la propiedad.

La distancia entre los sondeos extremos es de 40 m. Cuando se ejecutó la excavación del recinto, se observó que a pesar de las diferencias de resistencias, expresadas en valores de Índices de Penetración, (Bosio, J.J, 1997) el material presentaba gran similitud en su apariencia física.

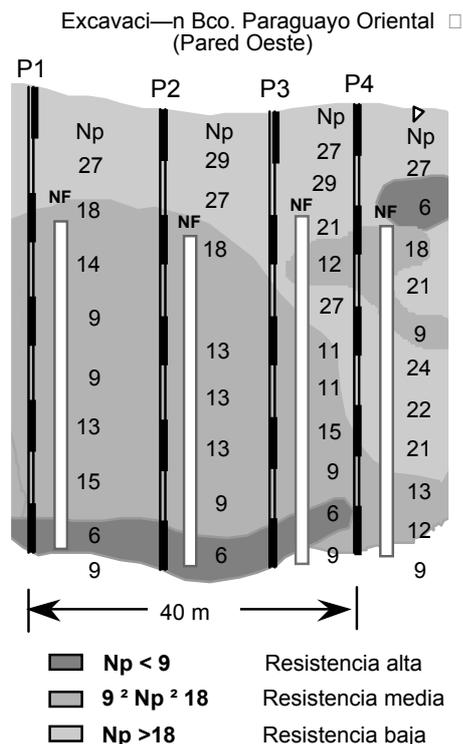


Figura 1. Resistencia del macizo

J.H.Palmieri refiriéndose a este particular y a la presencia de estructuras relicto en las paredes del pozo de prueba expresaba que eran del mismo origen que las observadas en depósitos de alta porosidad y permeabilidad en diferentes sitios del Microcentro de Asunción, que habían sido afectadas por fluidos magmáticos del Terciario (Palmieri J.H, 1997)

1.3 Descripción del Pozo de Prueba

El pozo de prueba, entibado en su totalidad, era de forma cuadrada de 1,20 m de lado y 9 m de profundidad para facilitar su excavación por medio de picos y palas de uso comercial. El sistema de entibamiento estaba formado por tabloncillos verticales y anillos de vigas horizontales que garantizaban la estabilidad de las paredes y permitían su fácil remoción.

En los ensayos de vaciado-recuperación se determinaron para diferentes separaciones entre tablones, la distancia máxima por debajo de la cual no se registraba pérdida importante del material debido al efecto de arco (Figura 2).

El pozo de prueba fue ubicado en el centro del predio donde se realizaría la excavación. Pevio a su ejecución, se ejecutaron dos sondeos a percusión (S1 y S2) ubicados en el punto medio de las paredes SO y NE del pozo (ver figura 2), donde se realizaron determinaciones continuas de Índices de Penetración.

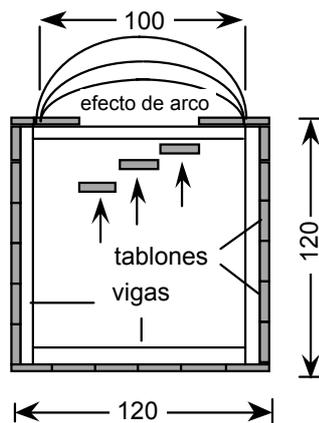


Figura 2. Pozo de prueba

Con la ayuda de un bastidor de simple de madera provisto de una red de alambres verticales y horizontales con una separación 10 cm, como marco de referencia, se realizó un minucioso replanteo de las paredes del pozo.

A medida que avanzaba la excavación, se extrajeron desde su interior, muestras indisturbadas de los 36 sitios donde se realizaron en determinaciones de Índices de Penetración, N_p en los sondeos S1 y S2.

Las muestras, debidamente acondicionadas fueron remitidas a la Universidad de Maryland at College Park, para su determinación química y mineralógica en el marco de un convenio entre la Facultad de Ciencias y Tecnología y la Universidad de Maryland para la elaboración de una Tesis de Maestría (Lugo L.1997).

En cada metro, se extrajeron bloques cúbicos de 40 cm de lado, debidamente acondicionados para la preservación de su humedad natural destinados para el tallado en laboratorio de probetas para ensayos de compresión simple, triaxiales y de consolidación.

1.4 Actividad del acuífero

Una de las razones principales para la ejecución del pozo de prueba, fue el investigar la forma que se manifestaba el acuífero.

1

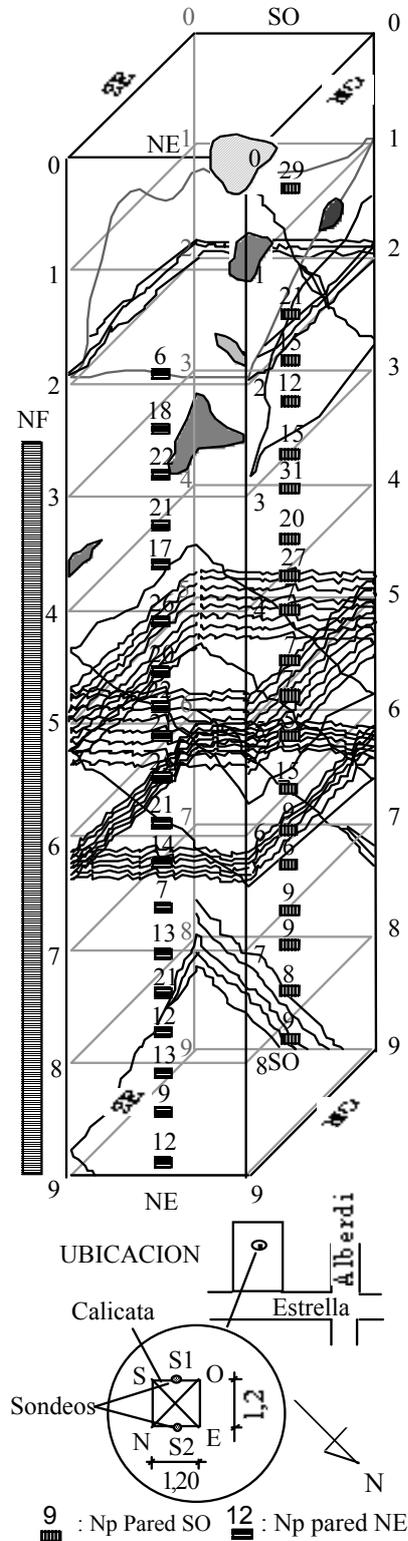


Figura 3. Pozo de observación

1.5 Perfil estratigráfico

Entre 4 y 6 m, se registran estratificaciones bien marcadas de arena finas, con separación entre estratos de 3 a 5 cm y ligero buzamiento en dirección SO-NE.

El pozo, puso en evidencia la presencia de estructuras relicto imposible de detectar por medio la presencia de dos diaclasas entre 3,5 m y 6,5 m de profundidad, rellenas con arenas arcillosas (SC), con buzamiento de 45° en dirección SE-NO.

La evidencia de estructuras relicto en el pozo de prueba y en las paredes del recinto, indica que los sedimentos arenosos del lugar alguna vez llegaron al estado de areniscas. Estas estructuras crean caminos preferenciales para el paso del agua que facilitan el proceso de erosión interna de la matriz. Cuando la inclinación de las diaclasas se da en dirección al recinto de la excavación, aumenta el riesgo de deslizamiento por efecto de la gravedad y de la acción del agua sobre la arcilla que rellena las diaclasas.

1.6 Manifestación del acuífero

Mediante la observación de las paredes del pozo de prueba por debajo del nivel freático, con la ayuda de una lupa, se pudo observar que gran parte del agua que ingresaba al interior del pozo, manaba de los poros de material y solo una pequeña proporción lo hacía a través de tubificaciones y canalículos. Se apreció además que luego de algunos días, el agua inicialmente de aspecto lechoso por el arrastre de finos de la matriz, se tornaba transparente, lo que hacía suponer a formación de autofiltros a cierta distancia de las paredes del pozo.

1.7 Ensayo de Bombeo - Recuperación

El caudal de agua que ingresaba al recinto del pozo de prueba fue medido mediante ensayos de bombeo-recuperación (Figura 4).

1.8 Espaciamiento entre pilotes

Una vez finalizado el pozo de prueba, se ejecutaron varios ciclos de vaciado y recuperación del agua infiltrada en el pozo para diferentes distancias entre tablonés, mediante el retiro sucesivo de los mismos de una de las paredes del pozo. Se observó, que en separaciones de hasta un metro, no se producían desmoronamientos debido al efecto de arco originado por la buena trabazón entre las partículas del material, a pesar de la pérdida de su resistencia por el lavado del cementante.

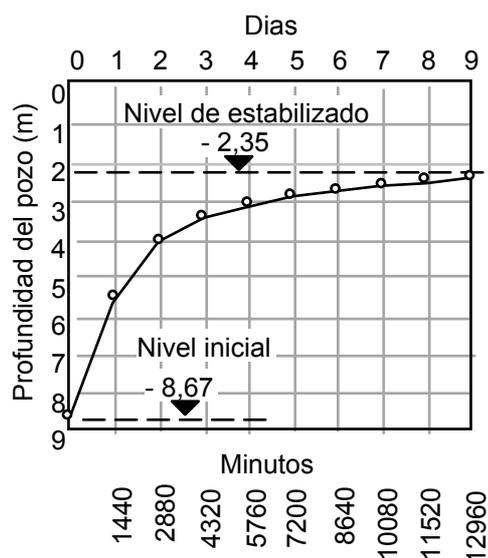


Figura 4. Ensayo de recuperación

Basado en estas determinaciones, se adoptó una separación entre lados de pilote de un (1) metro, que para el caso de pilotes de 0,50 m de diámetro, correspondía a una distancia de tres (3) diámetros entre ejes de pilote.

1.9 Conclusiones

La ejecución del pozo de prueba en un macizo representativo de las arenas cementadas de Asunción, quedó ampliamente justificado por la gran riqueza de la información obtenida:

Sus principales logros fueron:

- Se evidenció la presencia de las singularidades propias del macizo, permitiendo su mapeamiento.
- Se comprobó la forma de manifestación del acuífero.
- Permitted la toma de muestras indisturbadas para determinaciones en laboratorio.
- Calibró la eficacia de las herramientas de excavación
- Se determinó el grado de madurez del material, mediante la observación de las estructuras relicto.
- Se estudió la orientación de las diaclasas y líneas de estratificación.
- Se midió el caudal del acuífero mediante ensayos de vaciado y recuperación.
- Se tomaron muestras no contaminadas por la operación del sondeo, de la matriz en suspensión directamente desde el interior del pozo, para determinaciones finas en laboratorio.
- Se ensayó en escala reducida la estabilidad de las paredes de la excavación.

- Permitió mediante la toma de muestras indisturbadas, el establecimiento de correlaciones importantes entre el Índice de Penetración y las propiedades físicas y mecánicas del material.
- Fue fuente importante para posteriores trabajos de tesis y estudios especiales petrográficos, de difracción por Rayos X y análisis químicos ejecutados en los laboratorios de la Plata, (RA), Maryland USA) y Joseph Stefan Institute (Slovenia).

2. CASO II. POZO DE PRUEBA PARA UN TÚNEL BAJO LA CALLE VENEZUELA

2.1 Introducción

El proyecto para la Ampliación y Mejoras de la Sede Central del Club Centenario, contempla la realización de un túnel, para la unión del club y del estacionamiento, por debajo de la Avenida Venezuela (Figura 5).

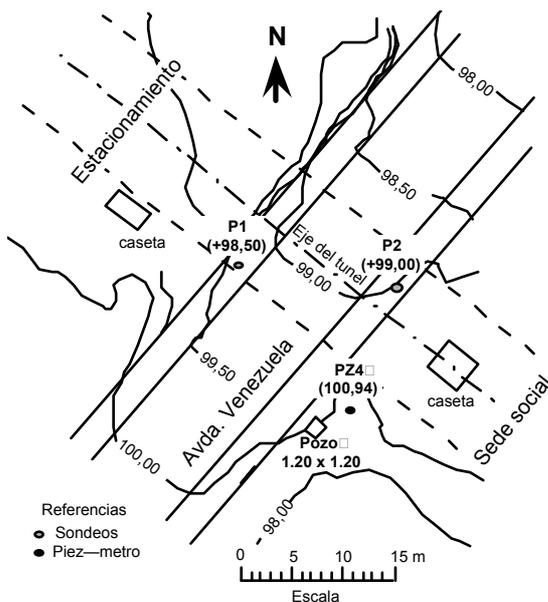


Figura 5. Ubicación del pozo de estudio

Las características del subsuelo en la zona del túnel, definido por suelos sueltos, desmoronables, ligados a acuíferos potentes superficiales en toda la profundidad del mismo, hicieron que los estudios convencionales con sondeos a percusión no fuesen suficientes para la definición de las características y singularidades del macizo y demandasen la realización de un pozo de prueba, hasta alcanzar el nivel de las arenas cementadas muy densas.

El objetivo fue estudiar a una escala más representativa, la problemática de la estabilidad de la futura excavación del túnel y el diseño del drenaje provisional y permanente de la obra.

Uno de los logros del pozo de prueba fue el permitir observar, in situ, las dificultades que se encontrarían durante la excavación del túnel.

2.2 Antecedentes

El estudio de la zona fue realizado, a través de sondeos a percusión, con realización de ensayos de penetración SPT en os suelos que sobreyacen a las arenas cementadas muy densas e Índices de penetración (N_p), en las mismas, que permitieron definir la estratigrafía del terreno (Logos SRL. Ingeniería y Consultoría, 2.007).

2.3 Descripción del Pozo de prueba

El pozo de estudio, fue entibado hasta los tres metros de profundidad, mediante una caja cuadrada de 1.20 m de lado, dejando en una de las paredes un espaciamento entre tablas de 10 cm. y en la opuesta de 30 cm. con el objetivo de estudiar la estabilidad de estos espacios sin entibamiento, que servirían para el proyecto de las estructuras de contención del túnel. A partir de los tres metros, ante la presencia de suelos más densos, se decidió disminuir la sección de la caja, a un metro de lado, sin dejar ningún espacio abierto entre tablones. La fuga de material, a través de las zonas dejadas ex profeso sin tablones, la masiva entrada de agua en el recinto del pozo y el hundimiento generalizado del terreno que circundante al pozo, que ponían en riesgo la integridad de los operarios, hizo que se decidiese confeccionar una camisa metálica de chapa N° 14 de un metro de diámetro, con refuerzos de varillas de 16 mm en su interior cada un metro, para alcanzar el nivel del techo de las arenas cementadas muy densas (Figura 6).

A los 4.5 m, se alcanzó dicho techo, utilizándose a partir de este nivel, picos y para el avance. La extremada dureza del material, por la presencia de concreciones, tornó prácticamente imposible la prosecución del pozo de observación, que fue suspendido a los 4.7 m de profundidad (+95.88).

El pozo de prueba se realizó en un cantero ubicado al lado de la caseta de acceso del club. Dicho cantero se encuentra elevado con relación al nivel del terreno en dicha zona.

Hasta los 0.80 m fueron registrados rellenos de arena arcillosa (SC) con escombros, sin presencia de agua. Entre los 0.80 m y 1.60 m se registró material areno arcilloso (SC), sin presencia de agua y no se registraron desmoronamiento.



Figura 6. Interior del pozo

2.4 Perfil estratigráfico del pozo de prueba

A los 1.60 m se comenzó a observar un material arenoso húmedo, humedecimiento que se hacía mayor a medida que se avanzaba en profundidad. Esta situación se mantuvo hasta los 2.00 m.

Entre los 2.00 m y los 2.20 m se registró una arena arcillosa (SC) con filtraciones. Esta filtración comenzó desde el fondo de la excavación, convirtiendo rápidamente el material en barro.

Entre los 2.20 m y 3.00 m, la arena arcillosa (SC) registrada, era muy desmoronable, por efecto de la cantidad de agua que ingresaba al pozo por el fondo del mismo. Ya en esta fase de la excavación se tuvo que utilizar entibamientos y bombas para desagote.

Entre los 3.00 m y 3.50 m, los suelos areno arcillosos (SC) se volvían más desmoronables, presentando gran dificultad para el descenso del entibamiento. Por motivos de seguridad, se paró la excavación y se confeccionó una camisa metálica para continuar el avance. Se observó en este trecho un gran desmoronamiento de las paredes del pozo por detrás del entibamiento. Dicho suelo es arrastrado por el agua que se introduce al pozo por el fondo del mismo.

De 3.50 a 4.70 se registró el mismo tipo de suelo areno arcilloso. A los 4.50 m dicho suelo se torna muy denso y se hizo preciso la utilización de barretas para el avance de la camisa, (figura 6).

El material de fondo de la excavación, que fue extraído con barreta, se presentaba como

muy denso, con concreciones de color negro, presuntamente debidas a la presencia de hierro o materia orgánica, que imposibilitaba la prosecución del pozo (Figura 7).

2.5 Actividad del acuífero

Con el objeto de estudiar el comportamiento y las oscilaciones del acuífero en tiempos de lluvia, se instaló una red de piezómetros, uno de ellos ubicado a 1.5 m del pozo de prueba.

El acuífero corresponde a la subcuenca Venezuela del Arroyo Mburicaó, caracterizado por su gran extensión. El nivel de estabilización del mismo, luego de una larga temporada de ausencia de lluvias, corresponde aproximadamente a la cota +98.44.

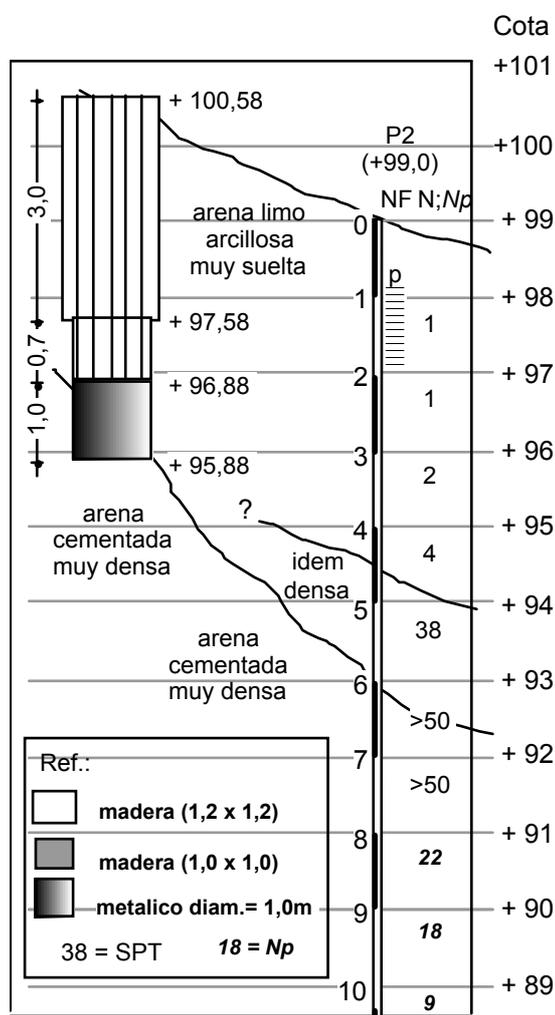


Figura 7. Pozo de prueba y estratigrafía

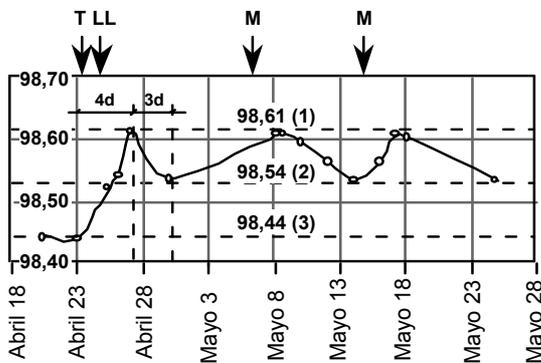
Afortunadamente, para el propósito de las observaciones, en la noche del 23 de abril, se produjo una lluvia extraordinaria, registrándose una precipitación de 97 mm durante 4 horas. Esta lluvia, causó innumerables daños y fue registrada como

una precipitación extraordinaria por la prensa local.

El piezómetro PZ4, cuyo registro se aprecia en la figura 3, muestra la evolución, día a día del ascenso del acuífero, hasta llegar a un nivel pico de +98.61, con un desfase de cuatro días después de dicha precipitación.

El efecto de la citada precipitación, se hizo sentir durante todo el mes de mayo, ya que con una sucesión de dos lluvias mansas, el nivel de estabilización final definido por tres puntos (30 de abril, 14 y 25 de mayo) coincidió en +98.54.

La unión de estos puntos configuraría una línea que en contraposición al nivel de estabilización en tiempo seco, se la denominó nivel de estabilización en temporada lluviosa.



98,61 (1) Nivel pico en temporada de lluvias □
 98,54 (2) Nivel de estabilización en temporada de lluvias □
 98,44 (3) Nivel de estabilización en temporada sin lluvias □
 Intensidad lluvia: □
 T: Torrencial y prolongada ; LL: Normal ; M: Mansa

Figura 8. Comportamiento del acuífero

Para el dimensionamiento de los drenes, se deberán tener en cuenta los siguientes valores característicos: nivel de pico +98.61, nivel de estabilización en tiempo de lluvia +98.54, nivel de estabilización en tiempo seco +98.44 y desfase, tiempo transcurrido entre la ocurrencia de la lluvia máxima y nivel máximo (pico) en el piezómetro, 4 días.

La diferencia entre los niveles pico y el nivel de estabilización en tiempo de lluvia, que correspondería a dos veces la amplitud de la onda, se mantuvo constante durante todo el mes de mayo en 7 cm (Figura 8).

2.6 Ensayo de Bombeo - Recuperación

El caudal de agua que ingresaba al recinto del pozo fue medido mediante ensayos de bombeo-recuperación.

En la Figura 9, se representan caudales permanentes de bombeo, medidos a las

profundidades de 3.80 m y 4.70 m., expresados en litros por hora.

Luego del vaciado total del pozo hasta la profundidad de 3.8 m. para permitir la operación de la bomba, se desligó la misma, y se permitió la entrada libre del agua al recinto hasta alcanzar su nivel de estabilización, que fue de 1.80 m en un tiempo de 5 horas.

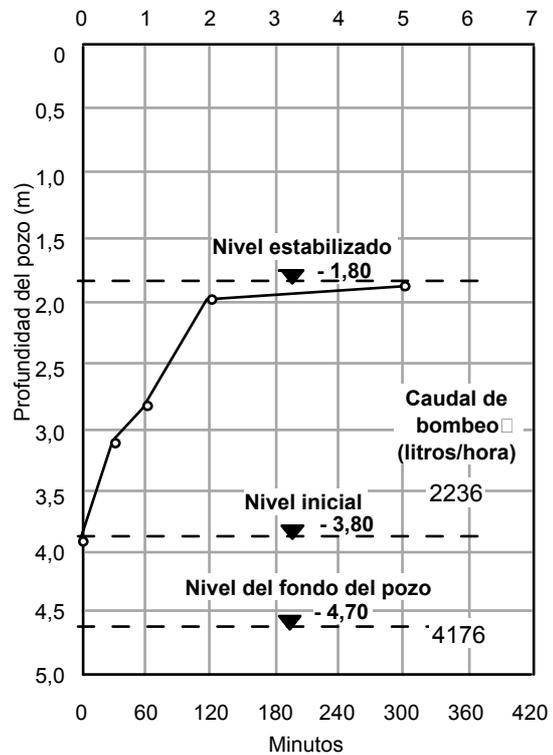


Figura 9. Ensayo de recuperación y caudal de bombeo

2.7 Conclusiones

El pozo de prueba fue de mucha utilidad para:

- Sirvió para evaluar en una escala menor, aunque mucho mayor que la de los sondeos, las dificultades para la excavación y el gran caudal del nivel freático.
- Permitió, a través de las mediciones de bombeo-recuperación, observar que la consistencia barrosa del terreno no permitía la formación de efectos de arco en el espaciamiento entre tablonces, como reflejo de lo que ocurriría en obra espaciando los pilotes.
- Permitió un minucioso estudio de las oscilaciones del nivel freático, coincidentes con un período excepcional de sequías y lluvias prolongadas.
- Puso en evidencia, el material del techo de las arenas cementadas con concreciones y heterogeneidades que

impedían la posibilidad de cualquier alternativa basada en el hincado de pilotes y tablestacas.

- Permitió proporcionar la información necesaria sobre los niveles del acuífero, para el cálculo de la subpresión en la etapa del diseño del túnel.
- Finalmente, permitió que no sólo los proyectistas, sino todo el equipo involucrado, tomara conciencia de la dificultad de la alternativa elegida, desde el punto de vista geotécnico, en cuanto a la construcción de la misma.

3. CONCLUSIÓN FINAL

Como conclusión final de ambos casos presentados, el primero, dentro de un macizo de arena cementada, dedicado a la investigación de las propiedades físicas y mecánicas de un material del que se poseía muy poca información y el segundo, en suelos sobreyacentes a las arenas cementadas, en contacto con el agua, de fundamental importancia de una obra de gran porte para la definición de las alternativas de construcción de la misma.

Los resultados y las conclusiones, son más que suficiente, para recomendar la utilización de esta práctica en obras que así lo requieran, como complemento de los estudios geotécnicos, cuando las características y condiciones geotécnicas de las obras así lo requieran.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bosio, J.J. 1991. *Caracterización de las Areniscas Friables de Asunción Mediante Mediciones de Penetración*. XI Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol I. pp 253 - 266. Viña del Mar. Chile
- Bosio, J.J., 1997. *Identificación de las arenas cementadas y areniscas muy blandas de Asunción y alrededores*. 1er. Congreso Paraguayo de Ingeniería Geotécnica COPAINGE. Tomo 1. pag 239-255. Asunción. Paraguay.
- LOGOS SRL. Ingeniería y Consultoría, 2.007. Estudio geotécnico para factibilidad de un túnel bajo la Avenida Venezuela. Inf. Técnico 05/07. Febrero 2.007.
- LOGOS SRL. Ingeniería y Consultoría, 2.007. Informe final pozo de prueba Club Centenario. Julio 2.007.
- Lugo L.1997. *Determinación Química y Mineralógica de las Arenas Cementadas de Asunción*. Proyecto de colaboración. Convenio FCYT- Universidad de Maryland at College Park.

Palmieri J.H, 1997. "*Origen del Basamento Rocoso del Gran Asunción*" Memorias del Primer Congreso Paraguayo de Ingeniería Geotécnica. Tomo I. pp 257-263. Ed. Prensa Económica S.A. Asunción.