

REPÚBLICA DE PANAMÁ
MINISTERIO DE SALUD

BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO

INFORME FINAL

Proyecto de Diseño del Sistema de Intercepción,
Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales
de la Ciudad de Panamá

Anexo J
Informe Geotécnico

MAYO 2006

 NIPPON KOEI CO.,LTD. |

CAPÍTULO 1

RECOMENDACIONES DE EXCAVACIÓN Y DE CIMENTACIÓN PARA LA INSTALACIÓN DE COLECTORES Y LÍNEAS DE IMPULSIÓN

1. Introducción

De acuerdo con los compromisos adquiridos por la compañía NIPPON KOEI CO.,LTD con la Unidad Coordinadora del Proyecto para el Saneamiento de la Ciudad y Bahía de Panamá, se realiza el diseño y las recomendaciones de excavación y cimentación para la instalación del colector Avenida Balboa y de las líneas de impulsión pertenecientes al proyecto “DISEÑO DEL SISTEMA DE INTERCEPCIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE PANAMÁ.

Este proyecto contiene aproximadamente 23 kms de conducción de aguas residuales, de los cuales cerca del 84% serán líneas de impulsión a presión, mientras que el 16% restante corresponde al Colector Avenida Balboa, que trabajará por gravedad. Las líneas de impulsión son las siguientes: Vía Israel, Cincuentenario, Parque Lefevre, Jardín Olímpico-Juan Díaz, Ciudad Radial y Don Bosco. Adicional a estas conducciones, el proyecto tiene siete estaciones de bombeo y una planta principal de tratamiento de aguas.

Este informe comprende el análisis y las recomendaciones pertinentes desde el punto de vista geotécnico, tanto para la realización de las excavaciones, como para la cimentación y el relleno requerido en la instalación de las tuberías. Estas recomendaciones están ajustadas a los requerimientos de una tubería de plástico reforzado con fibra de vidrio. Si el dueño del proyecto o los constructores deciden utilizar otro tipo de tubería, se debe hacer un rediseño para ajustarse a la nueva tubería.

1.2 Geología

Con la información obtenida de los sondeos realizados en este trabajo y después de revisar la información geológica disponible de esta parte de La República de Panamá, en forma resumida la geología puede describirse de la siguiente manera:

- Cuaternario Reciente

Esta formación se encontró prácticamente a todo lo largo del proyecto, a partir de la superficie. Los materiales componentes de esta formación son arcillas limo arenosas con humedades muy altas y consistencia blanda y arenas limo arcillosas de grano medio a fino de compactidad suelta. Su espesor predominante es de 4.0 m a 6.0 m.

- Formación La Boca

Subyace a los sedimentos cuaternarios, y debe encontrarse en los primeros 1600 m del colector Avenida Balboa aproximadamente. Es una formación sedimentaria de origen sedimentario, compuesta por areniscas, limolitas, calizas, lutitas carbonosas, aglomerados y tobas del Mioceno Inferior.

- **Formación Panamá**

Subyacente también a los sedimentos cuaternarios. Se la identificó en algunas perforaciones del colector Avenida Balboa, y debe prolongarse hasta el cruce del proyecto con el Río Abajo. Compuesta por rocas volcánicas de tipo andesítico y aglomerados andesíticos, del Oligoceno al Mioceno Inferior. Son rocas duras a muy duras. En el contacto de estas rocas con el cuaternario, se encuentran meteorizadas formando un saprolito.

- **Formación Panamá Facies Marino**

Se encuentra debajo de los sedimentos cuaternarios, desde Río Abajo hasta el final del proyecto en la estación Tocumen. También se identificó en algunos sondeos. Está compuesta por rocas sedimentarias de tipo areniscas tobáceas, lutitas tobáceas, calizas marinas, etc. Son rocas menos duras que las de la Formación Panamá.

1.3 Objetivos

Las finalidades de este estudio son:

- Mediante la realización de sondeos y pruebas de laboratorio, identificar los suelos, profundidades a lo largo de las líneas y propiedades físicas más relevantes para este proyecto.
- Determinar el ancho y la profundidad de las excavaciones necesarias para la instalación de las tuberías en el colector y las líneas de impulsión.
- Establecer los métodos más apropiados para realizar las excavaciones.
- Recomendar los suelos y sus espesores más apropiados desde los puntos de vista técnico y económico, para cimentar las tuberías.
- Proponer algunos otros detalles y procesos constructivos tanto en la realización de las excavaciones, como para la instalación de las tuberías.

1.4 Localización y Descripción del Proyecto

El Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales de La Ciudad de Panamá está encaminado a canalizar y tratar las aguas residuales de Ciudad de Panamá, con el fin de evitar o disminuir la contaminación en la bahía.

Las conducciones tendrán diámetros variables entre 1.200 mm y 2000 mm, y las profundidades de cimentación estarán comprendidas entre 3.0 m y 9.0 m aproximadamente. Durante el desarrollo de los diseños geotécnicos se describirán con más detalle las estructuras mencionadas, en cada uno de los informes parciales.

1.5 Colector Avenida Balboa

Este colector tendrá una longitud aproximada de 3.800 m y su funcionamiento hidráulico será por gravedad.

En esta conducción se utilizará tubería de diámetro 1400 mms en el tramo 3K+800 - 2K+755 para un caudal máximo de 860 LPS y tubería de 1600 mms en el tramo

2K+755-0K+000 para un caudal máximo de 1730 LPS. Las profundidades de cimentación estarán comprendidas entre 3.0 m y 9.0 m aproximadamente. Este colector conduce el agua hasta la estación de bombeo Paitilla, para posteriormente enviarla al sistema principal de líneas de impulsión que termina en La PTAR Juan Díaz.

1.5.1 Trabajos de Campo y de Laboratorio

Se ejecutaron 22 sondeos a lo largo de los 3.800 metros del colector Avenida Balboa, con una separación aproximada de 200 m entre uno y otro. Los sondeos fueron llevados hasta profundidades comprendidas entre 0.15 m y 10.0 m, y los métodos de perforación utilizados fueron percusión y rotación con tricono y corona de diamante. En la tabla 1.1 se indican los sondeos realizados y la profundidad de cada uno de ellos, y en la figura 1.1 se ilustra su localización.

Tabla 1.1 - Profundidad y Cantidad de Sondeos Realizados - Colector Avenida Balboa

Sondeo	Prof. - m -	Sondeo	Prof. - m -
SD11-01	5.50	SD11-12	7.10
SD11-02	6.50	SD11-13	5.50
SD11-03	5.50	SD11-13A	1.50
SD11-04	5.50	SD11-13B	5.00
SD11-05A	5.50	SD11-14	10.0
SD11-06	5.50	SD11-15	10.0
SD11-07	5.50	SD11-16	10.0
SD11-08	6.00	SD11-17	7.90
SD11-09	5.50	SD11-17A	5.50
SD11-10	2.15	SD11-18	0.95
SD11-11	6.10	SD11-19	0.15

Los sondeos que se suspendieron a menos de 5.0 m, fue porque a esas profundidades se encontró suelo residual duro, roca o trozos de metal. Los SD11-13A, SD11-13B y SD11-17A se programaron porque en los SD11-13 y SD11-17 iniciales, se encontraron láminas de metal en el fondo que impidieron su continuidad.

En cada sondeo se registró el perfil de suelos, se determinó la profundidad del nivel freático donde fue detectado, y se tomaron muestras alteradas para ensayos de clasificación e inalteradas para pruebas de resistencia. Con las muestras se llevaron a cabo ensayos de laboratorio para determinar su contenido de agua en estado natural, distribución granulométrica, límites de consistencia y resistencia al corte.

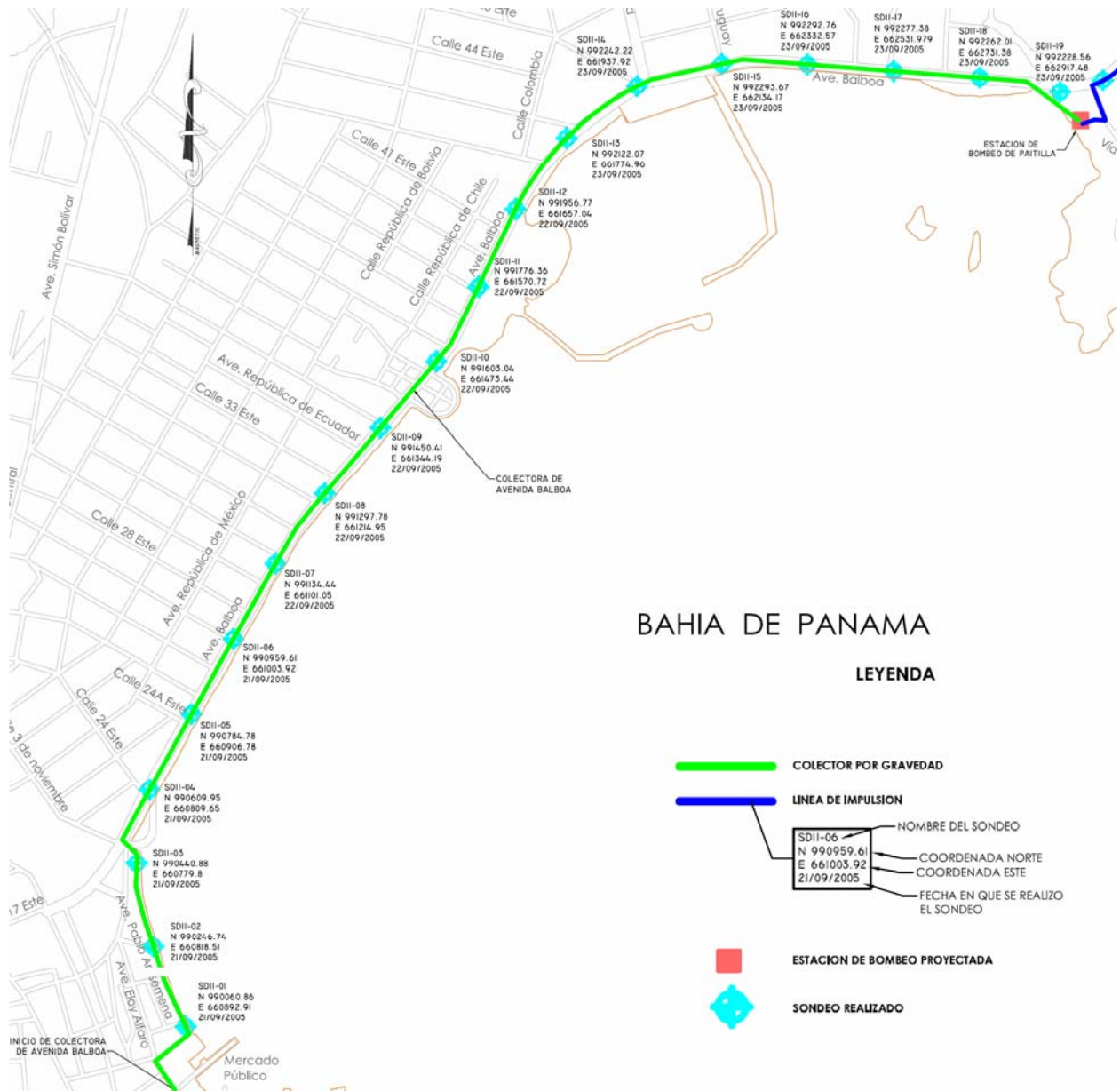


Figura 1.1 - Localización de Sondeos - Colectora Avenida Balboa

De igual manera, con base en las pruebas de campo y en el criterio y la experiencia del Ingeniero Supervisor de las perforaciones, se determinó el grado de compacidad y consistencia de los materiales. Las pruebas de campo realizadas para determinar la resistencia de los suelos fueron: Penetración Estándar (SPT) y resistencia a la penetración, mediante el penetrómetro de mano.

1.5.2 Estratigrafía

Los suelos encontrados a lo largo del Colector Avenida Balboa, son esencialmente rellenos antrópicos colocados encima de una delgada capa de suelo residual o de la roca.

La estratigrafía se ilustra en las figuras 1.2, 1.3 y 1.4; y se describe a partir de la superficie de la siguiente manera:

- Carpeta asfáltica y losa de concreto, encontrada en todos los sondeos, con espesor entre 0.12 m y 0.25 m.
- Relleno conformado por una mezcla heterogénea de arena limo arcillosa, arcilla arenosa, grava y fragmentos pequeños de roca, de colores ocre, gris, café rojizo y café grisáceo; con plasticidad y humedad variable y de compacidad suelta a media predominantemente; se encuentra en todos los sondeos excepto en los SD11-18 y SD11-19, debajo de la losa de concreto hasta profundidad entre 1.0 m y 2.15 m en los SD11-03, SD11-10, SD11-15, SD11-16 Y SD11-17 y hasta profundidades superiores a 4.15 m en los demás sondeos. Este estrato contiene finos entre 13% y 79%, L.L. variable desde 0% hasta 56%, I.P. desde 0% hasta 29 y Penetración Estándar muy variable entre 3 y 71, con promedio de 18. En el SD11-06 este relleno se encontró con material orgánico y pedazos de madera.
- Arcilla de color café grisáceo a gris, con humedad media, plasticidad alta y consistencia firme, que se encuentra a partir del relleno anterior hasta 4.45 metros en el sondeo SD11-03 únicamente. Este suelo contiene 75% de finos, L.L.= 64%, I.P.= 44% y Penetración Estándar de 10 y 16.
- Arena no plástica de color ocre a café grisáceo, con bajo contenido de humedad y compacidad media a densa. Este agregado tiene un 13% de finos y Penetración Estándar entre 12 y 90, con promedio de 33. Se detectó debajo del relleno heterogéneo hasta profundidades entre 7.50 m y 9.55 m del SD11-14 al SD11-17 y desde la superficie hasta 0.95 m y 0.15 m en los SD11-18 y SD11-19. En el SD11-14, se encontró con pedazos de concha.
- Arcilla arenosa residual (conocida localmente como tosca) proveniente de la descomposición de la roca que la subyace, de color ocre y café grisáceo, con humedad media a alta, plasticidad alta y consistencia muy firme a dura. Se halló debajo de los estratos anteriores del SD11-01 al SD11-04, en el SD11-08, SD11-09, SD11-11 y del SD11-14 al SD11-17. En los demás sondeos no se detectó su presencia. Este suelo presenta un contenido de finos entre 63% y 90%, L.L. entre 63% y 76%, I.P. de 39% a 58% y Penetración Estándar variable desde 12 a 92, con promedio de 47.
- Roca dura, sana pero fracturada, perteneciente a la Formación Panamá; se la perforó en los SD11-10, SD11-11 y SD11-12. Se obtuvieron valores de resistencia a la compresión de 309 Kg/cm²; 216 Kg/cm² y 137 Kg/cm² respectivamente en estos sondeos. También se detectó en los SD11-18 y SD11-19 casi desde la superficie aunque no se perforó en ella.
- El nivel de aguas freáticas en el momento de realizar las perforaciones, fue detectado en casi todos los sondeos entre 1.0 m y 3.0 m, con promedio de 1.90 m. En los SD11-04, SD11-09, SD11-13, SD11-15 y del SD11-17 al SD11-19, no se detectó su presencia.

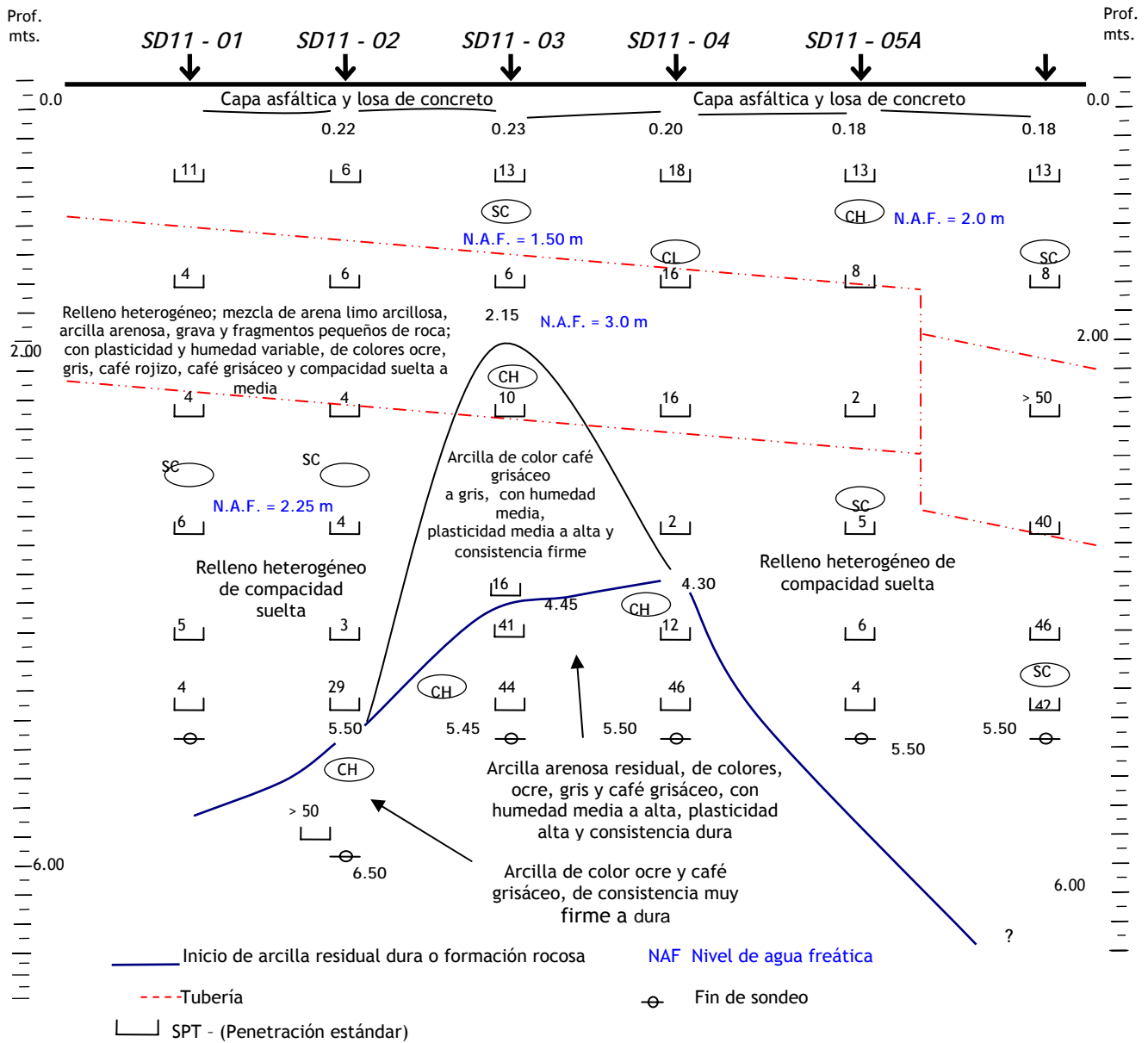


Figura 1.2- Perfil Estratigráfico - Colector Avenida Balboa - Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

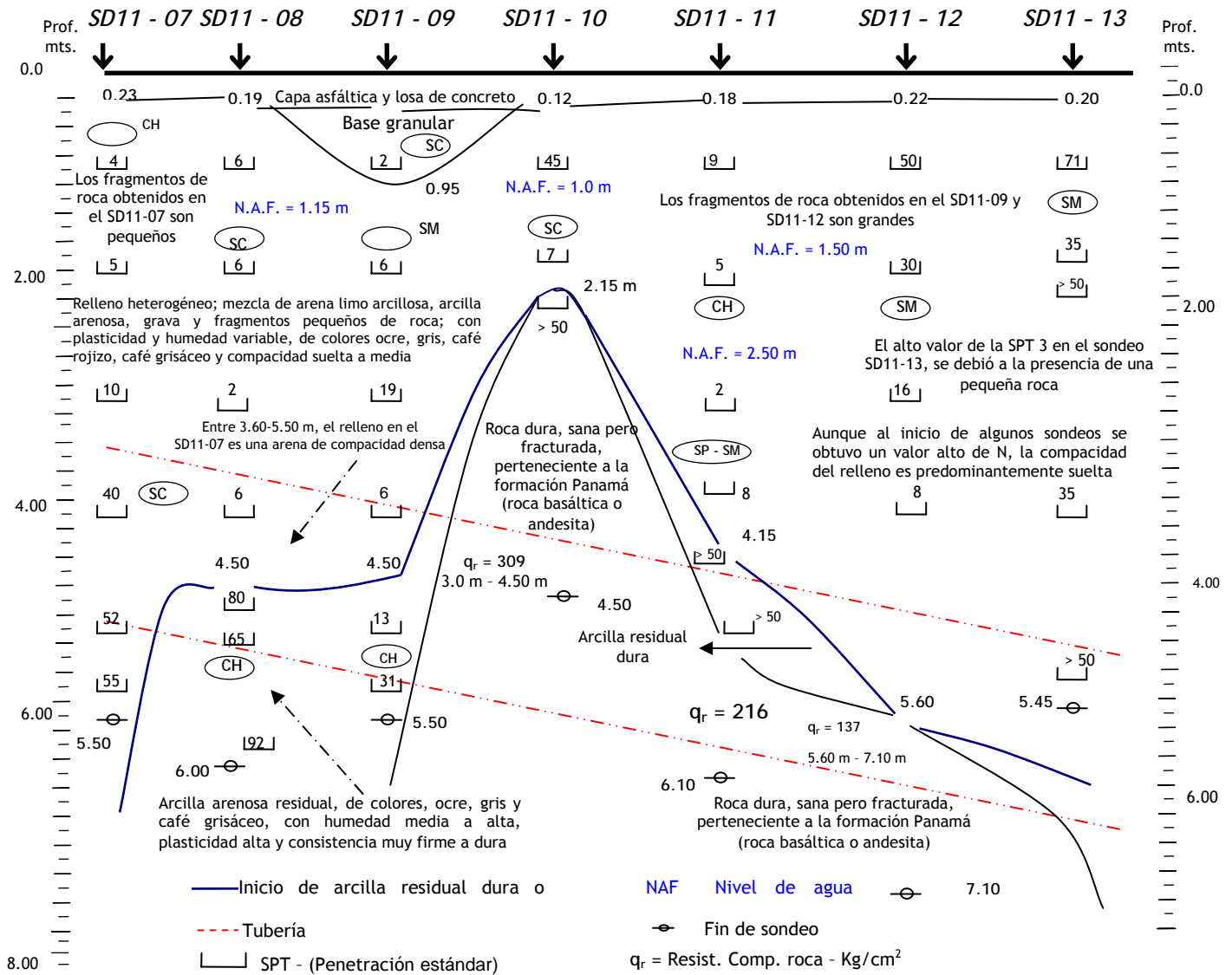


Figura 1.3 - Perfil Estratigráfico - Colector Avenida Balboa - Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

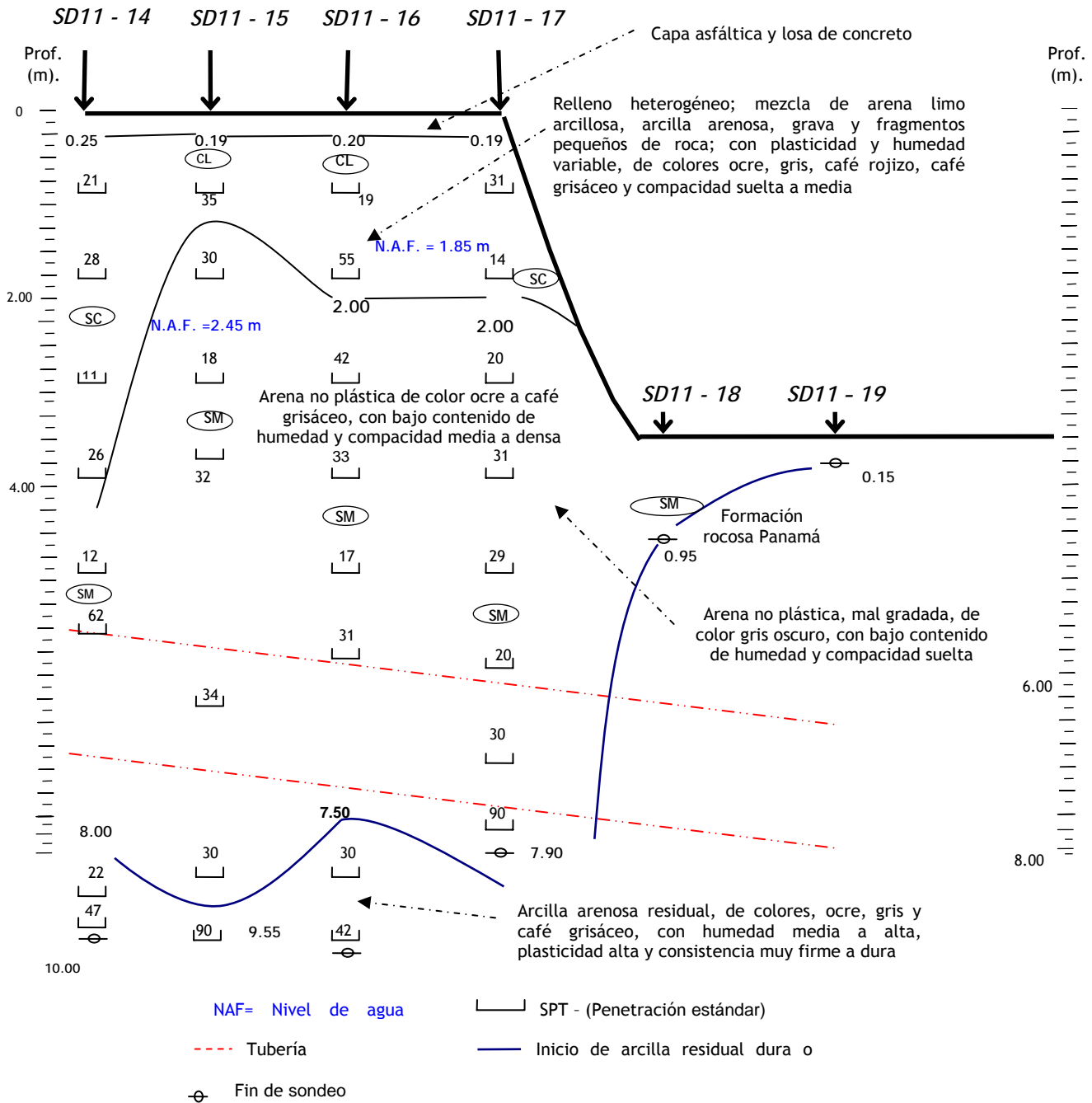


Figura 1.4 - Perfil Estratigráfico - Colector Avenida Balboa - Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición De Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

1.5.3 Análisis y Recomendaciones - Excavaciones

Para determinar el método de realización de las excavaciones, es necesario conocer el tipo de suelo y características como la consistencia y grado de compacidad, y posición del nivel freático, entre otras. Otros parámetros fundamentales que se derivan de los anteriores, son el empuje del suelo y el empuje hidrostático.

Según el diseño hidráulico del Colector Avenida Balboa, las profundidades de excavación variarán entre 3.0 m y 9.0 m aproximadamente. Teniendo en cuenta los sondeos realizados, se esperan volúmenes aproximados de excavación en suelo y en roca de 46096 m³ y 14301 m³ respectivamente.

Se considera que el sistema mas apropiado para realizar las excavaciones es utilizando tablestaca metálica hincada, con longitud que variará entre 4.50 m y 9.0 m, con apoyo en la parte superior y en el extremo inferior.

En la figura 1.5 se ilustra la forma del diagrama de presiones y la magnitud de ellas, y que actuarán sobre las tablestacas. El diagrama de presiones se consideró de acuerdo con el criterio de Peck para suelos arenosos. Los valores de los empujes, reacciones, momentos y otras magnitudes que se citarán en las páginas siguientes, tienen respaldo en la memoria de cálculos que se anexa al final de éste informe.

A continuación se dan las recomendaciones para realizar las excavaciones en los diferentes tramos del Colector Avenida Balboa.

➤ TRAMO DEL SD11-01 AL SD11-07

En este tramo, la profundidad de excavación estará comprendida entre 3.0 m y 5.50 m y debe realizarse todo el tiempo sobre terreno predominantemente suelto que está constituido básicamente por relleno de arena limo arcillosa, arcilla arenosa y gravas. Debido a la naturaleza granular de esos rellenos, debe considerarse la posibilidad de tubificación o sifonamiento del suelo, por el gradiente hidráulico que se presente cuando se extraiga el agua dentro de la excavación. Teniendo en cuenta que la longitud normal de los tubos que se usarán en este proyecto es de 6.20 m; es conveniente hacer recintos tablestacados del orden de 7.0 m de longitud como se indica en la figura 1.6, para poder colocar el tubo y disturbar al mínimo el tráfico en La Avenida Balboa. Para realizar las excavaciones en estos recintos, se hincan las tablestacas y se colocan los largueros y los apuntalamientos metálicos superiores. A medida que se profundice, deben colocarse puntales de madera provisionales para evitar deflexiones en la tablestaca. Terminada la excavación, se deben colocar puntales de madera definitivos en la parte inferior y retirar los intermedios (ver figura 1.7). Se dice que los puntales del fondo son definitivos porque quedarán permanentes dentro del lecho de la tubería.

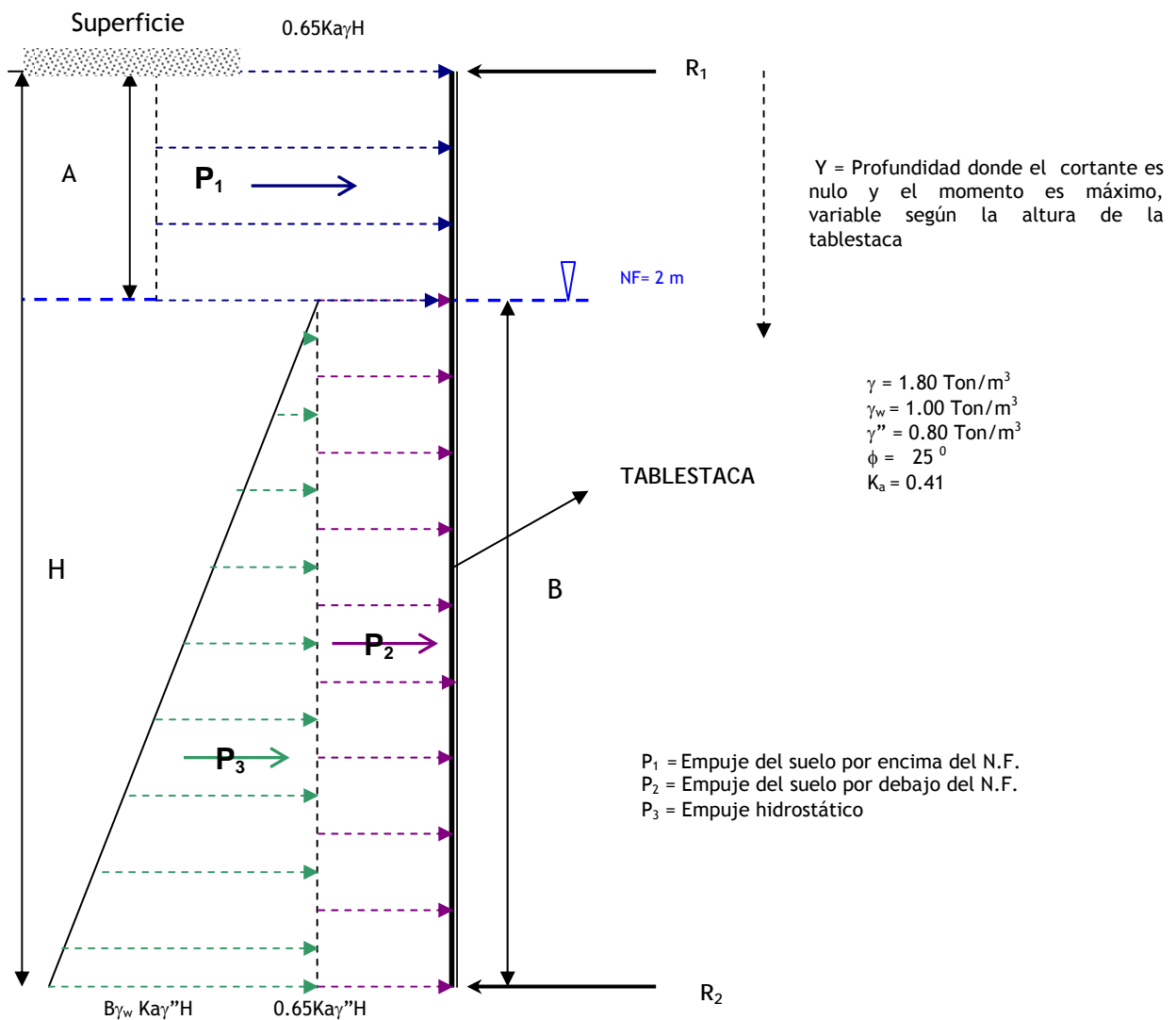


Figura 1.5 - Diagramas de Presiones y Empujes - Colector Avenida Balboa

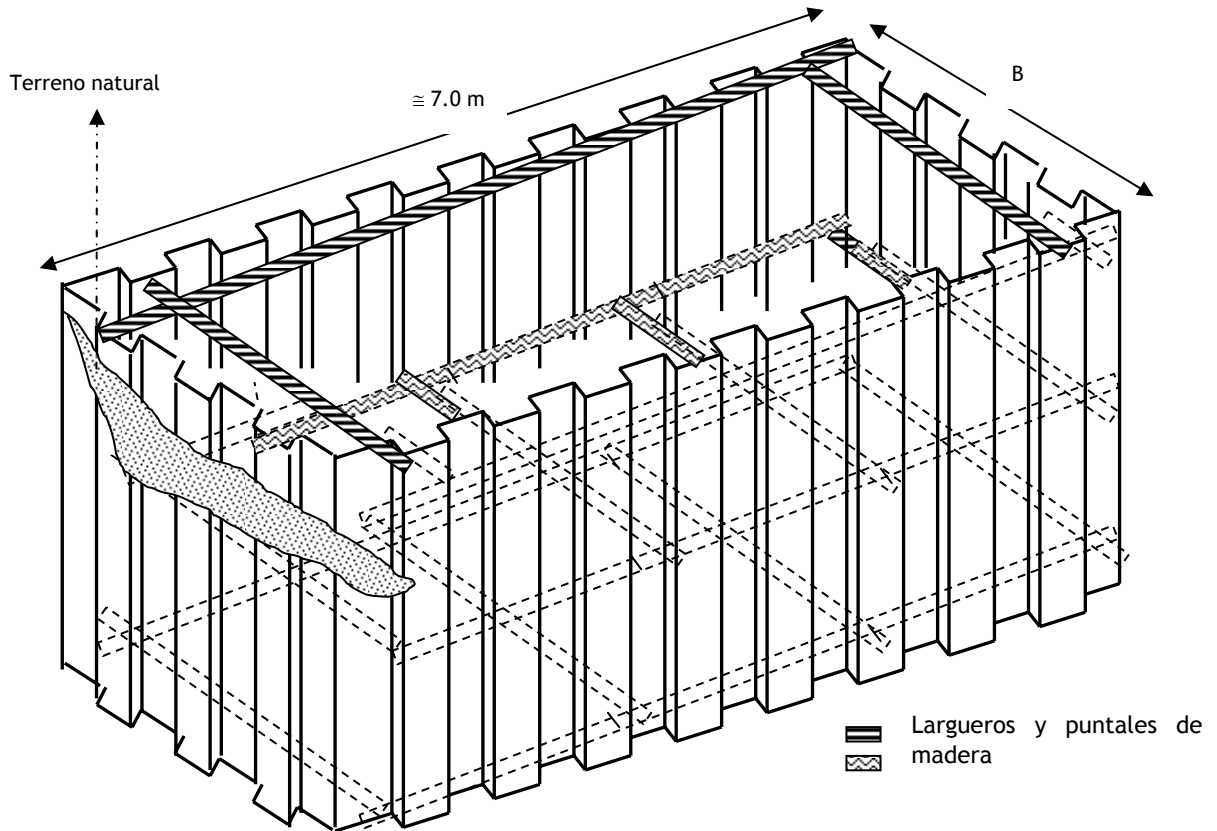


Figura 1.6 - Detalle de los >Recintos Tablestacados y sus Apuntalamientos

Colector Avenida Balboa

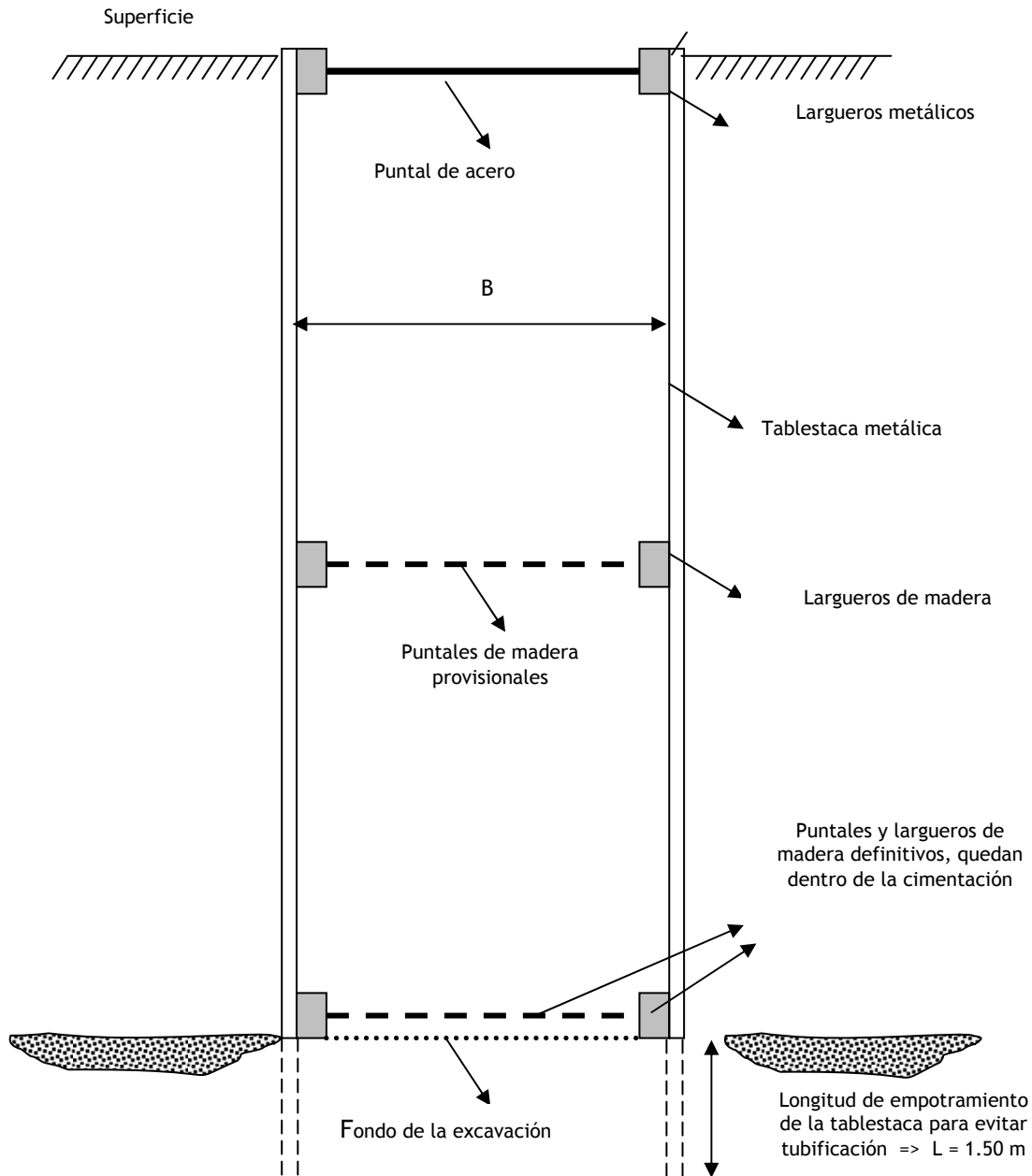


Figura 1.7 - Apuntalamiento de Tablestacas del SD11-01 al SD11-07
Colector Avenida Balboa

Recomendaciones Adicionales.

1. De acuerdo con un fabricante de tubería flexible de plástico reforzado con fibra de vidrio, entre el SD11-01 y SD11-05A donde la tubería tiene un diámetro de 1400 mm, el ancho mínimo (B) de la excavación debe ser 1.75 veces el diámetro del tubo, es decir 2.45 m en este caso. Entre el SD11-05A y el SD11-07 donde la tubería es de 1600 mm de diámetro, la excavación debe tener un ancho de 2.80 m.

2. Para evitar tubificación del suelo, las tablestacas deben penetrar al menos 1.50 m por debajo del fondo de la excavación; por lo tanto, tendrán longitudes entre 4.50 m y 7.0 m. Cumpliendo con esta recomendación, se puede bombear directamente dentro de la excavación. No se considera conveniente profundizarlas más, debido a que al retirarlas una vez colocada la tubería, aflojan el material de cimentación.
3. El apuntalamiento de las tablestacas debe hacerse como se ilustra en la figura 1.7.
4. Los momentos máximos, sin factor de seguridad, para escoger la sección y módulo de la tablestaca, de acuerdo con la profundidad de excavación, se indican en el tabla 1.2. Estos valores están dados por metro de longitud de zanja.

Tabla 1.2 - Momentos Máximos para Tablestacas Colector Avenida Balboa

Profundidad de excavación - m	MOMENTO MÁXIMO (Ton-m/m)
3.0	1.5
4.0	3.3
5.0	6.7
6.0	12.4
7.0	20.8
8.0	32.5

5. En la parte superior de la tablestaca deben utilizarse puntales y largueros de acero. Los puntales deben tener una separación mínima de 6.50 m para poder introducir el tubo. La resistencia de esos puntales debe calcularse teniendo en cuenta el valor de la reacción R_1 , la cual varía según la longitud de la tablestaca como se indica en el tabla 1.3. De igual manera, debe calcularse el momento máximo que se genera en los largueros para escoger su sección transversal.
6. Los largueros y puntales de madera de la parte intermedia e inferior deberán calcularse considerando el valor de R_2 que se indica en el tabla 1.3. La separación entre estos puntales puede ser del orden de 1.50 m a 2.0 m. Nótese que los valores de las reacciones R_1 y R_2 están expresados en toneladas por metro de longitud de excavación.

Tabla 1.3 - Reacciones en la Tablestaca para Determinar los Largueros y Puntales - Colector Avenida Balboa

Profundidad de excavación - m	R ₁ Ton/m	R ₂ Ton/m
3.0	2.1	1.9
4.0	3.4	3.8
5.0	5.4	6.7
6.0	7.9	10.5
7.0	10.9	15.2
8.0	14.5	20.7

7. Para planificar el sistema de bombeo para la evacuación de aguas, se espera un caudal máximo de filtración de 5.8 lts/min por cada metro de longitud de zanja.
8. Si durante el hincado de la tablestaca a través del relleno, esta se atranca con algún fragmento de roca, puede retirarse y tratar de romper la partícula desde la superficie o dejar la tablestaca en ese sitio, y cuando se excave retirar el fragmento y continuar el hincado.

➤ TRAMO DEL SD11-07 AL SD11-13

En este tramo, la profundidad de excavación estará comprendida entre 5.50 m y 7.50 m aproximadamente. La arcilla dura (tosca) o la roca se encuentran por encima del fondo de las excavaciones y aunque también deben utilizarse tablestacas con el fin de evitar que se derrumben los suelos blandos, penetrarán solo hasta que encuentren rechazo en la arcilla o la roca madre, tal como puede verse en la figura 1.3. Por lo tanto, se debe excavar en estos materiales duros. Debido a las características del suelo de fundación en ésta zona, no se espera que ocurran fenómenos de tubificación del suelo o flujo considerable de agua.

Recomendaciones Adicionales

1. Las tablestacas deben apuntalarse como se ilustra en la figura 1.8. Para facilitar la excavación en la roca y la entrada del tubo hasta el fondo, la tablestaca en la parte inferior debe apuntalarse por medio de unos espigos de acero que se empotren en la roca, como puede verse en la misma figura 1.8. Si se desea evitar los espigos, deben colocarse puntales metálicos solo en los extremos, calculando su sección según la reacción (R₂) generada.

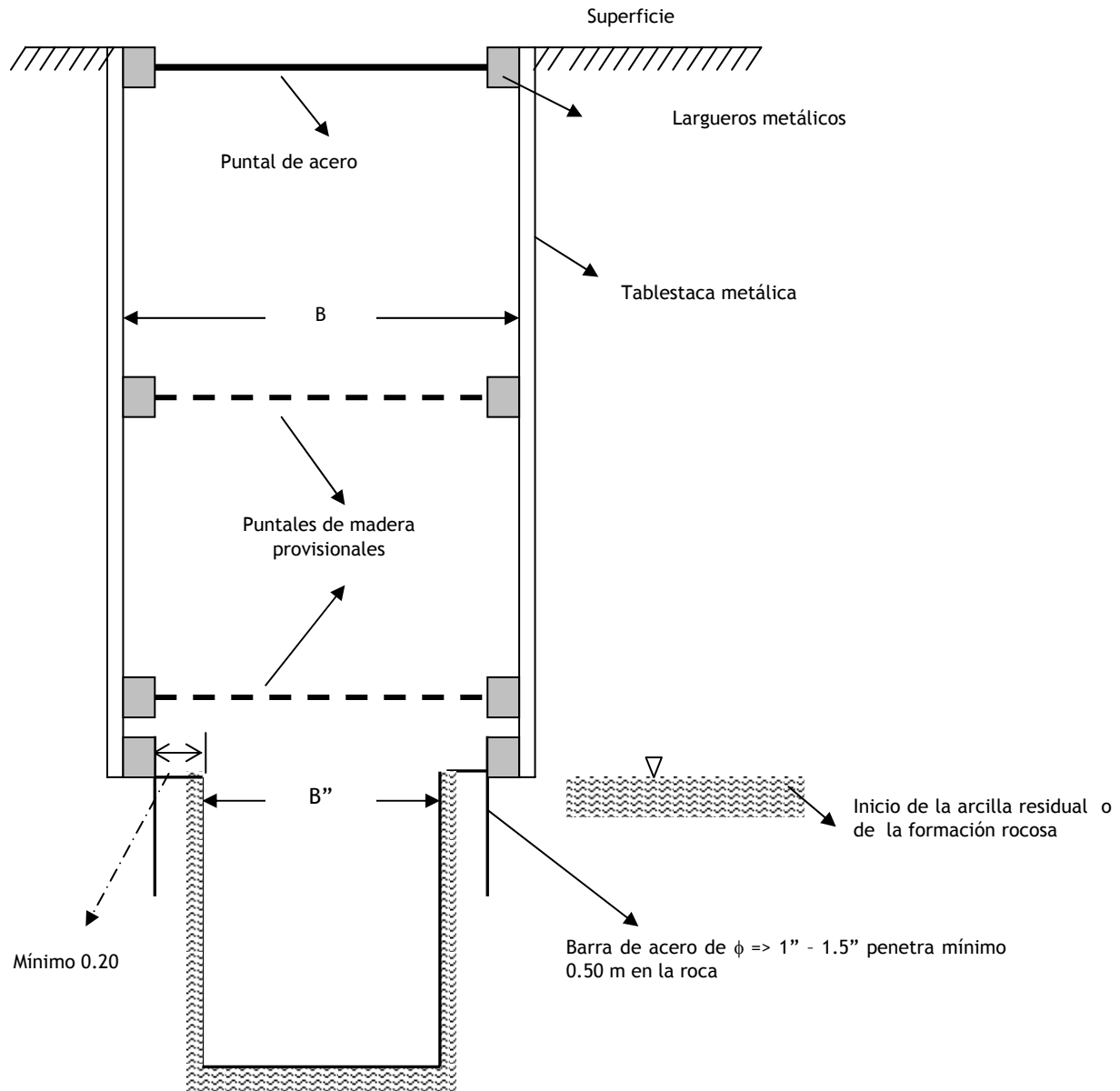


Figura 1.8 - Esquemas de Tablestacas y Apuntalamientos - del SD11-07 al SD11-13 - Colector Avenida Balboa

2. Para colocar los espigos metálicos, se hace una perforación de un diámetro ligeramente mayor que el de la barra de acero, con una longitud tal que penetre al menos 50 cm en la roca, posteriormente se llena con una lechada de cemento o una epóxica de fraguado rápido, y se introduce el espigo. El diámetro y las separaciones de los espigos se dan a continuación el tabla 1.4 y se calcularon con base en una resistencia permisible al cortante del acero de $0.40f_y$ ($f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$).

Tabla 1.4 - Separación y Diámetro de Barras de Acero. Tramo del SD11-07 al SD11-13 - Colector Avenida Balboa

Profundidad de excavación - m	R ₂ Ton/m	Diámetro Pulgad.	Separación m	Diámetro Pulgad.	Separación m
< = 4.0	3.5	1.5	5.40	1.0	2.40
4.5	4.7	1.5	4.00	1.0	1.80
5.0	6.2	1.5	3.00	1.0	1.35
6.0	9.7	1.5	2.00	1.0	0.85
7.0	14.2	1.5	1.30	2.0	0.60

3. Los anchos B'' y B deben ser respectivamente de 2.60 m y 3.20 m para este tramo.
4. La longitud de las tablestacas en este tramo estará comprendida entre 3.0 m y 7.0 m aproximadamente. Los momentos máximos, sin factor de seguridad, que éstas experimentarían se encuentran en el tabla 1.2.
5. Los valores de las reacciones R₁ y R₂ para escoger los puntales y largueros metálicos y de madera, deben ser los que se describen en el tabla 1.3.
6. En los alrededores del SD11-13, al realizar las excavaciones, se deben encontrar restos metálicos del casco de un buque que quedó sepultado por los rellenos; por lo tanto, el constructor debe prever la utilización de equipo especial para su corte y remoción.

➤ TRAMO DEL SD11-13 AL SD11-17

En este tramo, la profundidad de excavación estará comprendida entre 7.0 m y 8.0 m aproximadamente. Aunque el suelo presenta una compacidad medianamente densa, se debe también utilizar tablestacas con el fin de evitar que los suelos de baja resistencia se derrumben. Como el suelo de fundación está constituido básicamente por arena limosa no plástica; debe entonces considerarse la posibilidad de tubificación debido al gradiente hidráulico que se genera cuando se extraiga el agua de la excavación. De igual manera, hay que tener en cuenta la cantidad de agua que fluye en la excavación por la presencia del nivel freático y las características permeables del suelo.

Recomendaciones Adicionales.

Este tramo tiene características similares a las del tramo del SD11-01 al SD11-07; por lo tanto, todas las recomendaciones de este tramo son válidas con las siguientes diferencias:

1. Debido a que el diámetro nominal de la tubería es de 1600 mm, el ancho de la excavación debe ser de 2.80 m.

2. Las profundidades de excavación en este tramo estarán comprendidas entre 7.0 m y 8.0 m aproximadamente. Los momentos máximos sin factor de seguridad que experimentarán las tablestacas se indican en el tabla 1.2, nótese que deben penetrar 1.50 m por debajo del fondo de la excavación para evitar tubificación.
3. Los valores de las reacciones R_1 y R_2 para escoger los puntales y largueros metálicos y de madera, deben ser los que se describen en el tabla 1.3.
4. Con el fin de planificar el sistema de bombeo para la evacuación de aguas, debe considerarse un caudal máximo de filtración de 15.4 lts/min por cada metro de longitud de zanja.
5. En los alrededores del SD11-17, al realizar las excavaciones, se deben encontrar restos metálicos del casco de un buque que quedó sepultado por los rellenos; por lo tanto, el constructor debe prever la utilización de equipo especial para su corte y remoción.

➤ TRAMO DEL SD11-18 AL SD11-19

En este tramo, la profundidad de excavación estará comprendida entre 8.0 m y 9.0 m aproximadamente. Teniendo en cuenta que la roca en este tramo se encuentra prácticamente desde la superficie, las excavaciones podrán realizarse a cielo abierto, con un ancho de zanja de 2.60 m.

La excavación de la roca, donde se encuentre, puede hacerse con martillos percutores, con el método de Pre-Splitting para fracturar la roca con esfuerzos de tensión o con productos químicos expansivos que se consiguen en el mercado.

1.5.4 Análisis y Recomendaciones de Cimentación de la Tubería

Por cimentación de la tubería se entiende el lecho de material sobre el cual ésta se va a instalar, que puede ser concreto o suelo compactado, mas el relleno que la rodea hasta 0.30 m por encima de su cota clave. El tipo de cimentación que debe utilizarse está determinado por el diámetro y rigidez del tubo, las presiones a las que será sometido, tipo de suelo natural, tráfico y forma de la excavación, entre otras. En el diseño de la cimentación de la tubería se busca definir el material mas económico que logre dar una adecuada estabilidad al conjunto tubería - relleno.

Las recomendaciones de cimentación que se darán en este informe, están basadas en la utilización de tuberías flexibles de plástico reforzado con fibra de vidrio. Sin embargo, también se dará información necesaria para diseñar la cimentación, si se utilizan tuberías rígidas.

En el colector Avenida Balboa, de acuerdo con la profundidad de cimentación y las presiones del fluido, puede utilizarse un tubo de plástico reforzado con fibra de vidrio de rigidez SN 2500. A continuación se indican las características generales del lecho y material de relleno y se dan algunos detalles y recomendaciones adicionales para la instalación de las tuberías. Los espesores y tipo de materiales recomendados

fueron obtenidos teniendo en cuenta las sugerencias de un fabricante de este tipo de tubería.

➤ TRAMO DEL SD11-01 AL SD11-05A

En este tramo la tubería tendrá un diámetro nominal de 1400 mm, se esperan profundidades de cimentación entre 2.50 m y 4.0 m y el suelo que servirá de apoyo al lecho de la tubería a lo largo de esta zona, corresponde a un relleno heterogéneo de compactación suelta a media.

1. Previo a la colocación de la tubería, si el suelo lo permite, debe compactarse el fondo de la excavación mediante un saltarín u otro equipo liviano, con el fin de evitar posibles asentamientos del sistema.
2. Sobre el fondo compactado debe colocarse un geotextil permeable de alta resistencia, encima del cual se colocará un lecho de material compactado de 25 cm de espesor, con una energía mayor o igual al 95% del Próctor Normal. El geotextil mencionado, debe ser permeable, y tener una resistencia a la tensión por el método Grab, de mínimo 2300 N. El material del lecho, según el fabricante de la tubería, debe ser una grava o una arena bien gradada con tamaño máximo 1.5" y contenido de finos menor o igual al 12%. (Ver figura 1.9).
3. Terminada la compactación y nivelación del lecho, es recomendable soltar sobre la parte central de éste una franja de suelo de 15 cm de ancho y hasta 5 cm de espesor, con un rastrillo por ejemplo, para que la parte inferior de la tubería entre en contacto con un área suave y bien definida. (Ver figura 1.11).
4. En las zonas de uniones entre tubos, el lecho debe tener un espesor menor como se indica en la figura 1.10, con el fin de que la tubería tenga un soporte continuo y no descansa solo sobre los acoplamientos.
5. En la compactación de la primera capa de relleno después de colocar el tubo, debe garantizarse que el material fluya y quede compactado simultáneamente a ambos lados por debajo de éste (en el área conocida como riñón), como se indica en la figura 1.11.
6. El espacio comprendido entre las paredes de la excavación y la tubería, debe rellenarse y compactarse con una energía mayor o igual al 95% del Próctor Normal, hasta una altura mínima de 30 cm por encima de la cota clave de la tubería. El relleno, de acuerdo con el fabricante, debe cumplir con las mismas características del material del lecho especificado en el numeral 2. Pero si se está compactando por encima del nivel freático, puede usarse un suelo de menor calidad, tal como una grava o una arena con tamaño máximo de 1.5" y hasta un 35% de finos, siempre y cuando se pueda compactar en las condiciones de humedad de la zanja. (Ver figura 1.9).
7. Cuando el relleno llegue a la media altura del tubo, se recomienda compactar desde las paredes de la excavación hacia el tubo.

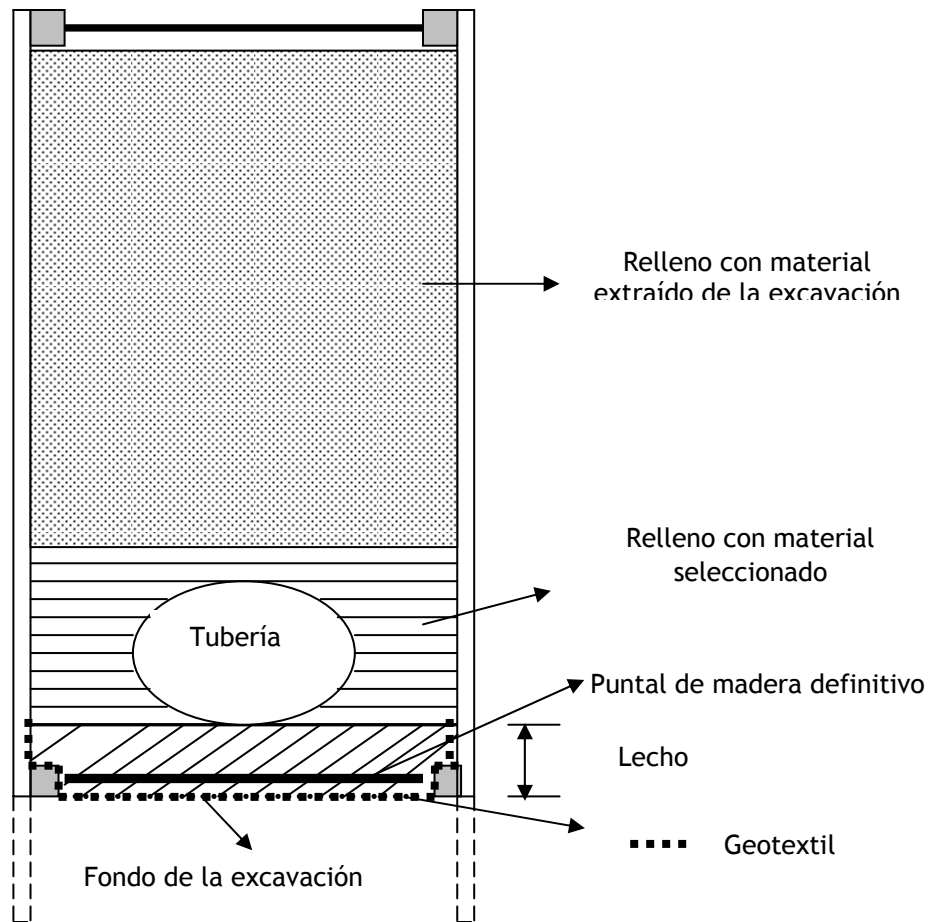
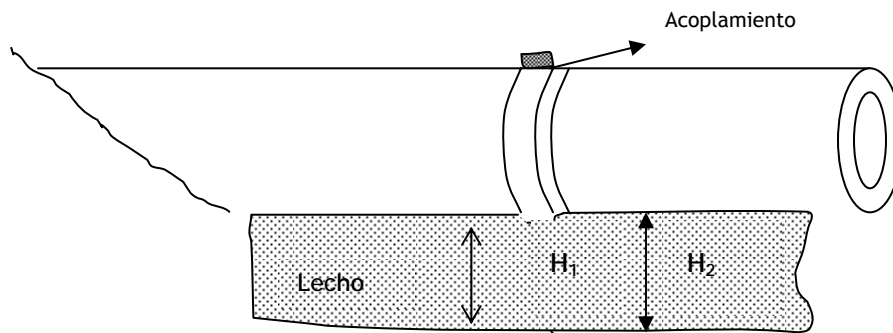


Figura 1.9 - Detalle del Lecho, Relleno Seleccionado y Relleno Adicional - Tramo del SD11-01 al SD11-5A - Colector A. Balboa



H_1 = Espesor del lecho en la zona de acoplamientos

H_2 = Espesor del lecho en el resto de la tubería

Figura 1.10 - Espesor del Lecho en Zona de Acoplamientos

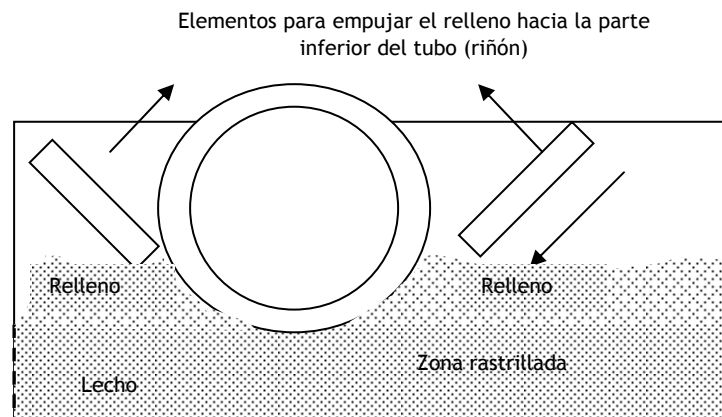


Figura 1.11 - Colocación del Relleno en la Parte Inferior del Tubo

La compactación del lecho de soporte y del relleno anteriormente mencionado, debe realizarse en capas con un espesor compacto máximo de 15 cm, y con equipo liviano de compactación

9. Con el fin de garantizar el funcionamiento adecuado del conjunto tubo - relleno y la adecuada compactación de éste último, se recomienda colocarlo y compactarlo de forma que provoque una ligera ovalación vertical del tubo, dicha ovalación, medida después de que el relleno ha alcanzado la parte superior del tubo, no debe ser superior al 1.5% del diámetro del tubo.
10. Después de la colocación de este material, puede rellenarse el resto de la zanja con el mismo suelo que se extrajo durante la excavación. Debe compactarse con una energía mínima del 90% del Próctor Normal, o según las especificaciones de La ciudad de Panamá. (Ver figura 1.9). Si para rellenar el espesor restante de la excavación hasta la superficie, se desea utilizar equipo mas pesado, hay que tener en cuenta las siguientes recomendaciones de espesores de suelo compactado por encima de la clave del tubo, en función del peso del equipo, para no dañar la tubería. (Ver tabla 1.5).
11. Es necesario realizar la compactación del lecho y los materiales de relleno siempre en seco; por lo cual, debe disponerse de un sistema de bombeo que permita evacuar el caudal de infiltración que fluye desde el fondo de la excavación.
12. A continuación en la figura 1.12 se ilustra el tipo de cimentación recomendado para este tramo.

Tabla 1.5 - Cobertura Mínima de Relleno para Compactación sobre la Tubería

Peso del equipo kg	Cobertura mínima - cms -	
	Apisonado	Vibrado
Menos de 100	25	15
100 a 200	35	20
200 a 500	45	30
500 a 1000	70	45
1000 a 2000	90	60
2000 a 4000	120	80
Peso del equipo kg	Cobertura mínima - cms -	
	Apisonado	Vibrado
4000 a 8000	150	100
8000 a 12000	180	120
12000 a 18000	220	150

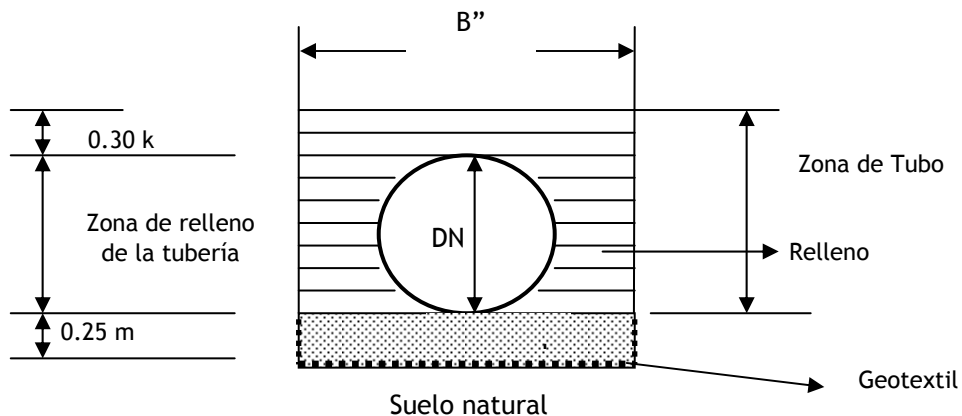


Figura 1.12 - Cimentación Recomendada - Tramo del SD11-01 al SD11-5^a Colector Avenida Balboa

13. La extracción de la tablestaca debe hacerse por partes mientras se colocan y compactan el lecho y el relleno, para evitar que se aflojen. En caso de notar que esto suceda, es conveniente repasar la compactación. Al comenzar el relleno adicional, después de terminado el de la cimentación del tubo, la tablestaca puede sacarse como mas convenga, para evitar dañar el pavimento de La Avenida Balboa.

14. Los fabricantes de la tubería tienen otras recomendaciones adicionales que el constructor deberá obtener antes de proceder a la instalación de los tubos.
15. Para tubería rígida, de acuerdo con la teoría conocida de Spangler (Soil Engineering, Internacional Textbook-1951), la carga total por unidad de longitud de tubería enterrada viene dada por la expresión:

$$W = C_w \cdot \gamma \cdot B^2 \quad (\text{ton/m}) \text{ donde}$$

$$C_w = f(B, H, \phi)$$

γ = Peso unitario del suelo por encima de la clave del tubo

B = Ancho de la excavación

H = Profundidad de la excavación hasta la clave del tubo

ϕ = Ángulo de fricción del suelo natural

Para este tramo,

$$\gamma = 1.80 \text{ Ton/m}^3$$

$\phi = 17^\circ$; (Este es el valor del ángulo ϕ que Spangler le asigna a suelos arenosos de baja compacidad)

Para el diseño de la cimentación, en el fondo se encontrará este mismo tipo de suelo suelto y compresible.

16. Para el diseño de los anclajes de la tubería en este tramo, y específicamente para cuantificar las fuerzas de fricción entre el suelo y el anclaje, y la resistencia pasiva del suelo, pueden usarse los siguientes valores:

ρ = Coeficiente de fricción suelo - concreto

$$\rho = 0.4$$

K_p = Coeficiente de resistencia pasiva del suelo = 2.46

γ'' = Peso unitario sumergido del suelo = 0.80 Ton/m^3 ; porque en máxima marea, el nivel freático puede llegar hasta la superficie

➤ TRAMO DEL SD11-05A AL SD11-19

En este tramo la tubería tendrá un diámetro nominal de 1600 mm, se esperan profundidades de cimentación entre 4.0 m y 8.50 m y el suelo que servirá de apoyo al lecho de la tubería a lo largo de esta zona, será la arcilla residual dura (tosca), la roca, o un relleno heterogéneo de compacidad densa. Teniendo en cuenta lo anterior se dan las siguientes recomendaciones de cimentación para la tubería en este tramo.

1. En aquellos sitios donde no se encuentre arcilla residual dura o roca, debe compactarse el fondo de la excavación con equipo liviano.

2. Sobre el fondo de la excavación, se compactará un lecho de 20 cm de espesor, con una energía mayor o igual al 95% del Próctor Normal. El material de lecho debe ser una grava o una arena con tamaño máximo de 1.5" y podrá tener hasta un 35% de finos, siempre y cuando se pueda compactar en las condiciones de humedad de la zanja. Si hay mucha humedad, debe limitarse el contenido de finos a 12%, para poderlo compactar.
3. Las recomendaciones 3 a 11 dadas en el tramo anterior, también son aplicables para esta zona.
4. En este tramo, parte del suelo que se extraiga de la excavación, puede servir como material de lecho y de relleno, siempre y cuando cumpla con las características mencionadas en el numeral 2 de éstas recomendaciones, o puede mezclarse con arena gruesa para cumplir con éstas.
5. A continuación en la figura 1.13 se ilustra el tipo de instalación recomendado para este tramo.

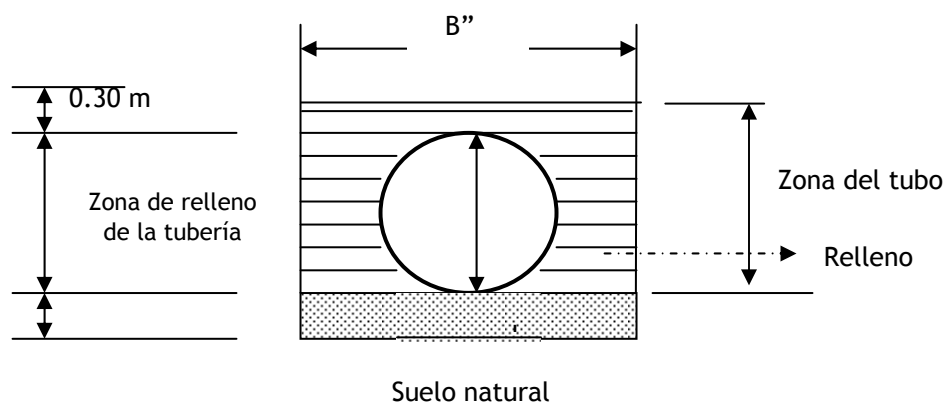


Figura 1.13 - Instalación recomendada - tramo del SD11-05A al
SD11-19 - Colector Avenida Balboa

6. Para este tramo, si decide usarse tubería rígida, de acuerdo con la teoría de Spangler:

$$\gamma = 1.85 \text{ Ton/m}^3$$

$\phi = 30^\circ$; (Este es el valor del ángulo ϕ que Spangler le asigna a suelos arenosos compactos)

Para el diseño de la cimentación, en algunas partes del fondo de las excavaciones se encontrará suelo residual duro o roca, materiales que son muy rígidos. En otros sitios habrá arenas de compactación media a alta.

7. Para el diseño de los anclajes de la tubería en este tramo, y específicamente para cuantificar las fuerzas de fricción entre el suelo y el

anclaje, y la resistencia pasiva del suelo, pueden usarse los siguientes valores:

ρ = Coeficiente de fricción suelo - concreto

$\rho = 0.58$

K_p = Coeficiente de resistencia pasiva del suelo = 3.20

γ'' = Peso unitario sumergido del suelo = 0.85 Ton/m³; porque en máxima marea, el nivel freático puede llegar hasta la superficie

1.6. Línea de Impulsión Vía Israel

Esta línea de impulsión tiene su origen en la estación de bombeo Paitilla, cerca de la Calle Juan Pablo XXIII, y termina después de 2.600 m aproximadamente, en la estación de bombeo Boca La Caja, por La Avenida B. Sur. Trabaja a una presión del orden de 51 Ton/m² (5.1 Bares) y podrá experimentar, debido al Golpe de Ariete, presiones negativas hasta de 5 Ton/m² (0.5 Bares). En esta conducción se utilizará tubería de diámetro 1200 mms y la profundidad de cimentación será de 2.55 m.

1.6.1 Trabajos de Campo y de Laboratorio

Se realizaron 13 sondeos a lo largo de los 2.600 metros de la línea de impulsión Vía Israel, con una separación aproximada de 200 m entre uno y otro. Los sondeos fueron llevados hasta profundidades comprendidas entre 3.0 m y 5.0 m, y los métodos de perforación utilizados fueron percusión y rotación con tricono.

En la tabla 1.6 se indican los sondeos realizados y la profundidad de cada uno de ellos, y en la figura 1.14 se ilustra su localización.

Tabla 1.6 - Profundidad y Cantidad de Sondeos Realizados Línea de Impulsión Vía Israel

Sondeo	Prof. - m -	Sondeo	Prof. - m -
SD12-01	3.00	SD12-08	5.00
SD12-02	3.00	SD12-09	5.00
SD12-03	4.50	SD12-10	5.00
SD12-04	4.00	SD12-11	3.00
SD12-05	3.00	SD12-12	5.00
SD12-06	3.00	SD12-13	5.00
SD12-07	5.00		

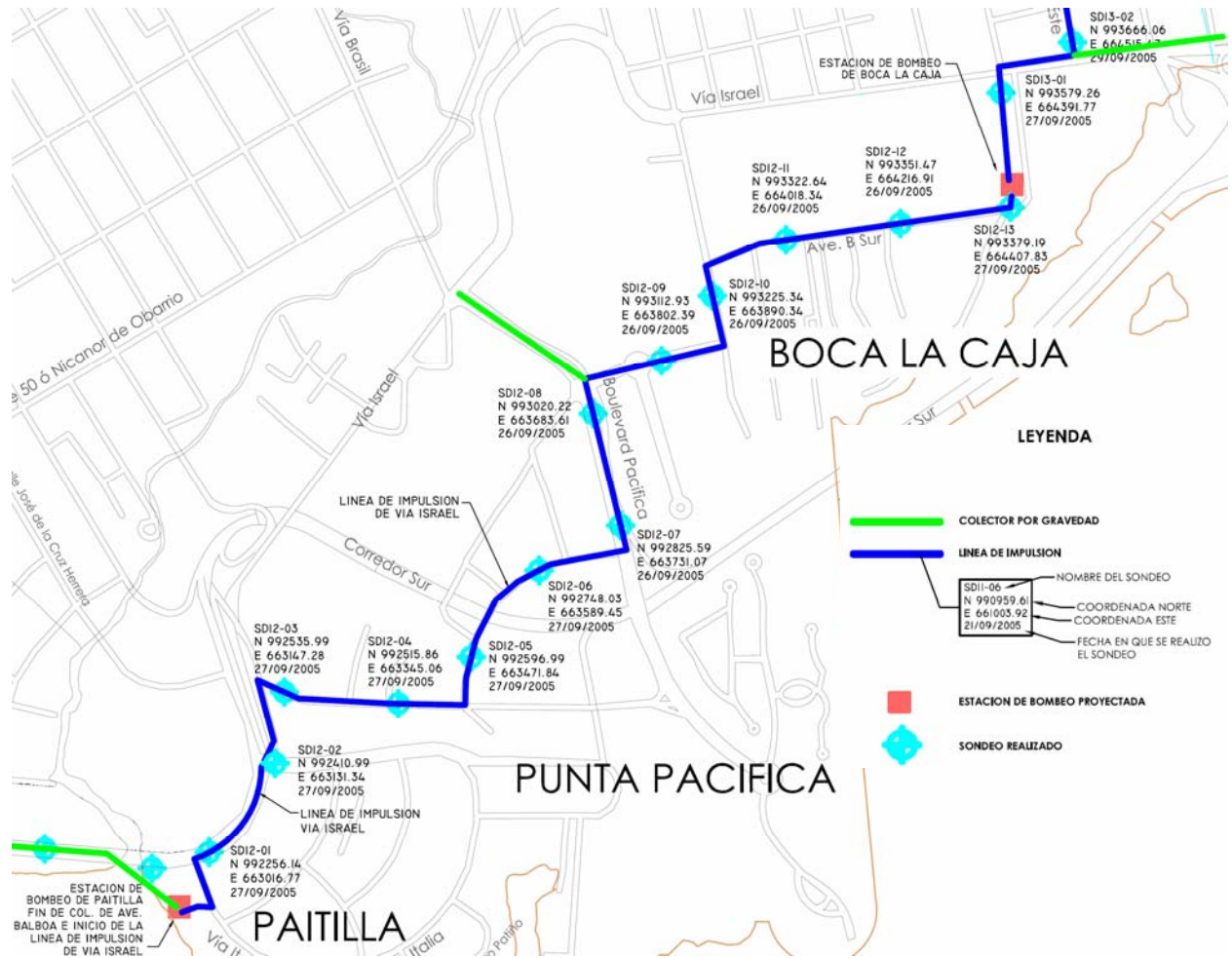


Figura 1.14 - Localización de Sondeos - Línea de Impulsión Vía Israel

Los sondeos fueron suspendidos a la profundidad de 5.0 m, o hasta encontrar rechazo (mas que 50 golpes en 15 cms de SPT).

1.6.2 Estratigrafía

A lo largo de la línea de impulsión vía Israel se encontraron rellenos antrópicos arcillosos y areno arcillosos y arcillas, que sobreyacen arenas arcillosas residuales de compacidad alta y limos arenosos residuales de consistencia dura.

La estratigrafía se ilustra en las figuras 1.15 y 1.16; y se describe a partir de la superficie de la siguiente manera:

- Losa de concreto que se encontró en la superficie del SD12-01 al SD12-05, en el SD12-08 y en el SD12-09, con un espesor promedio de 0.15 m.
- Carpeta asfáltica de 0.05 m de espesor, encontrada en el SD12-13 únicamente.
- Capa de base granular, encontrada en los SD12-02, SD12-05, SD12-06 y SD12-09, con un espesor promedio de 0.60 m.

- Relleno de arcilla arenosa y arena arcillosa de colores café claro y café rojizo, con humedad media, plasticidad media a alta y consistencia media a muy firme. Estos rellenos en los SD12-10 y SD12-13 tienen grava. Se encuentra hasta 1.0 m en los SD12-03 y SD12-13; hasta 1.50 m en el SD12-02; hasta 2.0 m en el SD12-01, SD12-09 y SD12-10; en el SD12-04 y SD12-12 llega hasta 3.0 m. Este material tiene un contenido de finos entre el 42% y el 88%, L.L. e I.P. promedio de 55% y 30% respectivamente y Penetración Estándar entre 4 y 19.
- Arcilla de colores café claro, café rojizo, ocre y gris, de plasticidad y humedad media a alta y consistencia media a firme. Se detectó en los SD12-03, SD12-05, y del SD12-07 al SD12-11. Subyace a los estratos anteriores, excepto en el SD12-11, donde se la encontró desde la superficie. Este estrato descansa sobre el suelo residual. Presenta un contenido de finos entre el 66% y el 88%, L.L. entre el 42% y el 60%, I.P. promedio de 31% y Penetración Estándar entre 3 y 16, con promedio de 8.
- Limos arenosos y arenas arcillosas residuales de consistencia dura y compacidad muy alta (conocidos localmente como tosca), provenientes de la descomposición de la roca de La Formación Panamá. En las figuras 1.15 y 1.16 se indica con más claridad la profundidad a la cual se registró este suelo. Tiene contenido de finos entre el 37% y el 78%, L.L. de 41% a 52%, I.P. desde 14% hasta 28% y Penetración Estándar entre 13 y > 50, con predominio de N>50.
- El nivel de aguas freáticas, en el momento de las perforaciones se registró a 1.60 m y 2.0 m en los SD12-02, SD12-08 y SD12-10 únicamente.

1.6.3 Análisis y Recomendaciones - Excavaciones

Según el diseño hidráulico de la línea de impulsión Vía Israel, la profundidad de excavación será de aproximadamente 2.55 m y deberá realizarse básicamente a lo largo de los rellenos arcillosos y de la arcilla natural; excepto en el SD12-02 y SD12-06, donde se encontrará también el residual duro. Debido a la consistencia media a muy firme y a la alta compacidad de los suelos, se considera que las excavaciones pueden realizarse a cielo abierto, sin ningún tipo de estructura de contención, con una inclinación de los taludes de 4 vertical y 1 horizontal (ver figura 1.17), excepto en los sitios que se encuentre suelo muy duro, donde pueden hacerse verticales. En el paso de esta línea de impulsión por el corredor sur, debe utilizarse algún método de construcción de túneles; parte de la excavación será en arcilla y otra parte puede quedar en suelo residual duro. El volumen aproximado de excavación en suelo y roca en toda la línea es de 14559 m³ y 1618 m³ respectivamente. No se espera que se presenten fenómenos de tubificación del suelo o flujo considerable de agua.

Con el fin de facilitar los trabajos, se recomienda hacer excavaciones de 6.50 m de longitud, colocar un tubo, rellenar y continuar con otro tramo de 6.50 m.

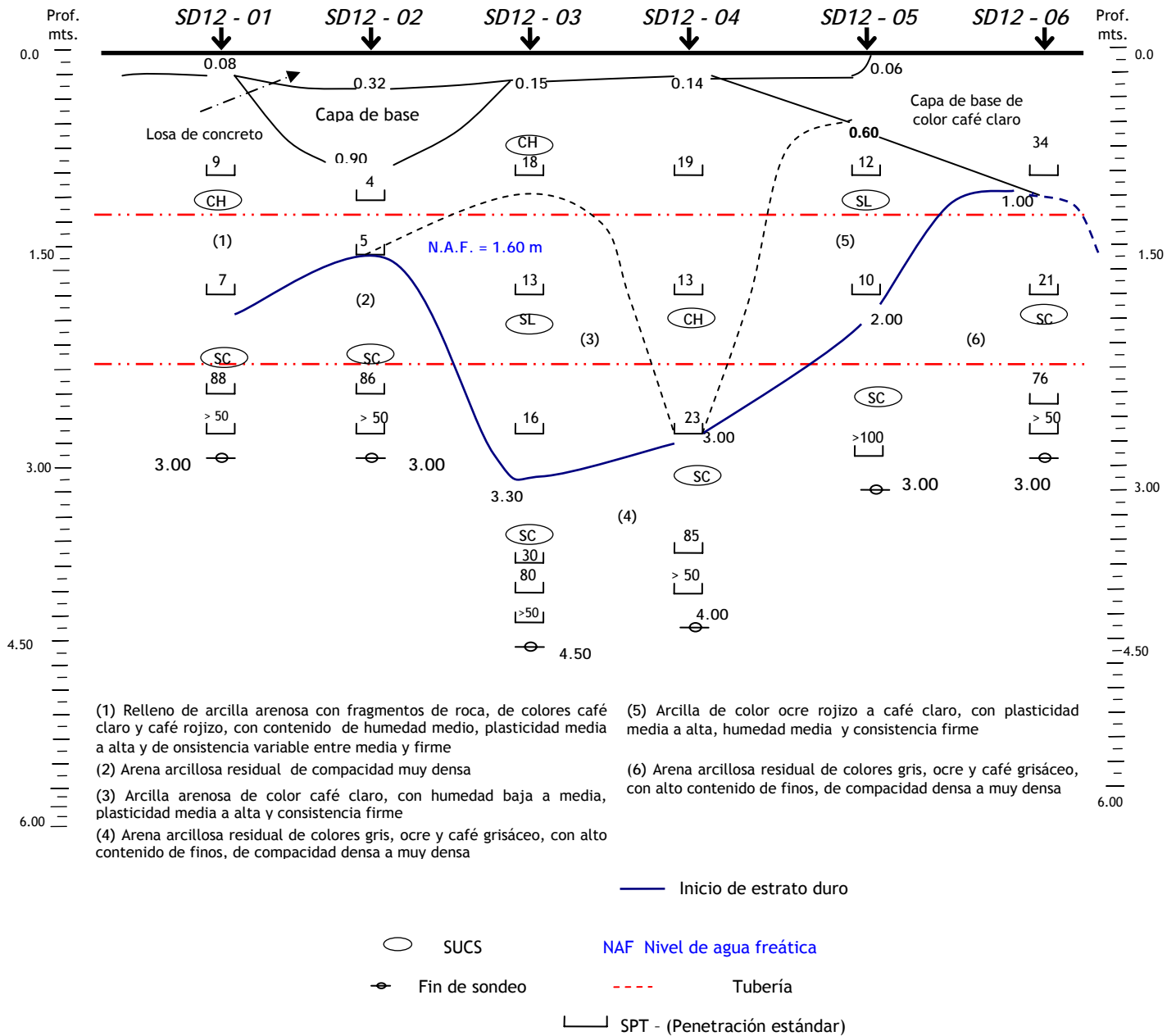
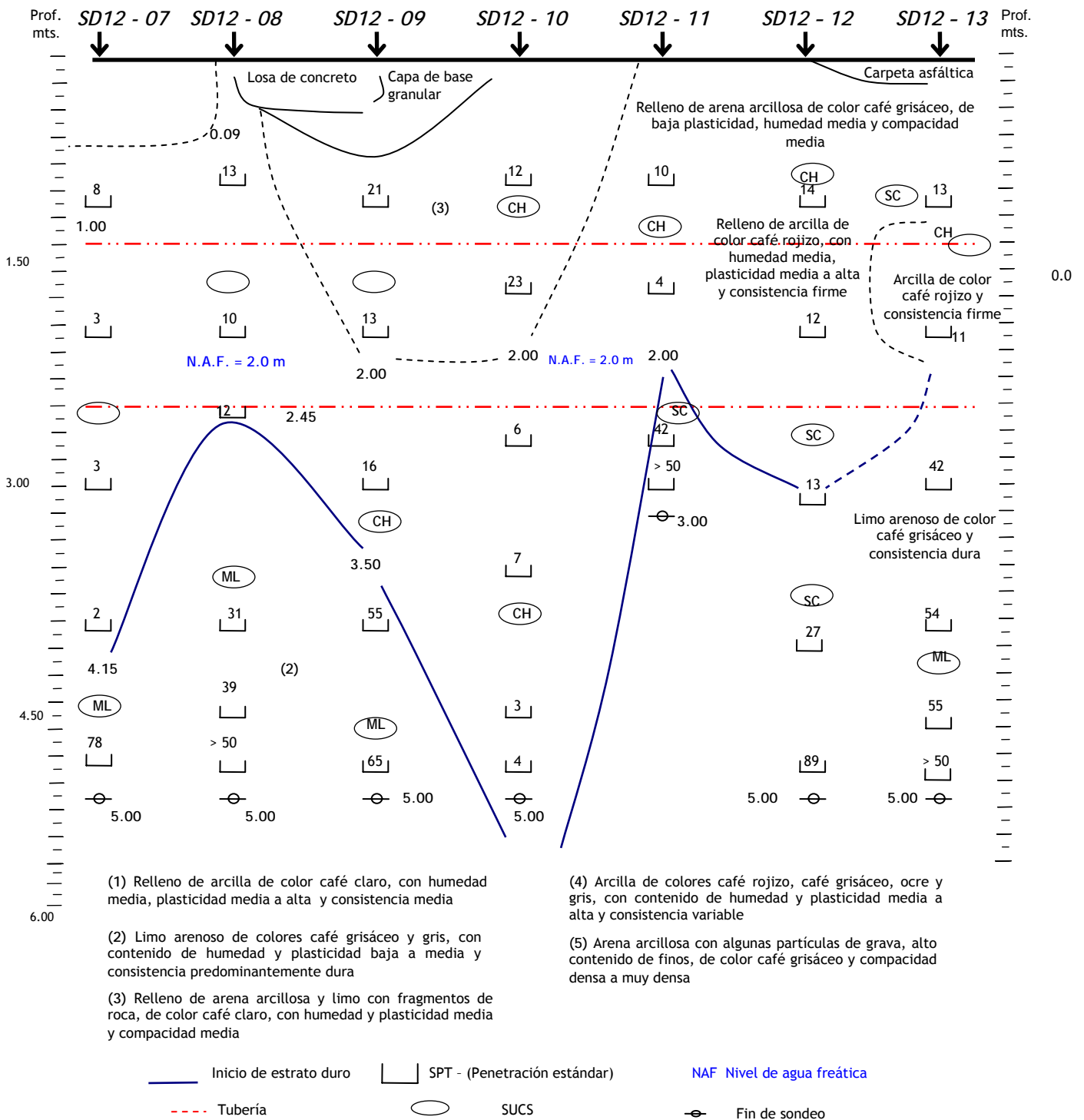


Figura 1.15 - Perfil Estratigráfico - Línea de Impulsión Vía Israel -
Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de
Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá



- (1) Relleno de arcilla de color café claro, con humedad media, plasticidad media a alta y consistencia media
- (2) Limo arenoso de colores café grisáceo y gris, con contenido de humedad y plasticidad baja a media y consistencia predominantemente dura
- (3) Relleno de arena arcillosa y limo con fragmentos de roca, de color café claro, con humedad y plasticidad media y compacidad media

- (4) Arcilla de colores café rojizo, café grisáceo, ocre y gris, con contenido de humedad y plasticidad media a alta y consistencia variable
- (5) Arena arcillosa con algunas partículas de grava, alto contenido de finos, de color café grisáceo y compacidad densa a muy densa

Figura 1.16 - Perfil Estratigráfico - Línea de Impulsión Vía Israel -
Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de
Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

1.6.4 Análisis y Recomendaciones - Cimentación De La Tubería

La tubería tendrá un diámetro nominal de 1200 mm, las profundidades de cimentación, como ya se mencionó, son del orden de 2.55 m aproximadamente y el suelo que servirá de apoyo en gran parte de la longitud, será el relleno arcilloso o arcilla de consistencia media a firme. El tramo restante será soportado por el suelo residual duro.

De acuerdo con las recomendaciones del fabricante de la tubería de plástico reforzado con fibra de vidrio, puede usarse una de rigidez SN 2500 y clase de presión PN-6 (diseñada para una presión de trabajo de 6 bares). A continuación se indican las características generales del lecho y material de relleno y se dan algunos detalles y recomendaciones adicionales para la instalación:

1. La clave de la tubería debe quedar enterrada mínimo 1.20 m.
2. Previo a la colocación de la tubería, debe compactarse el fondo de la excavación mediante un saltarín u otro equipo liviano, con el fin de evitar posibles asentamientos del sistema.
3. Sobre el fondo de la excavación, se compactará un lecho de 15 cm de espesor, con una energía mayor o igual al 95% del Próctor Estándar. El material del lecho puede ser una arena o una grava limosa o arcillosa con tamaño máximo de 1 ¼", podrá tener hasta un 50% de finos y límite líquido de la fracción pasa tamiz 40 hasta de 40%; excepto en una longitud de 100 m antes y después del SD12-07, donde el suelo de cimentación es mas blando y por lo tanto la fracción de finos del material no debe ser superior al 35%.
4. Debe rellenarse hasta 0.30 m por encima de la clave de la tubería, con un material de iguales características al del lecho mencionado anteriormente. El grado de compactación debe ser también mínimo del 95% del Próctor Estándar.
5. Gran parte del suelo que se extraiga de la excavación, puede servir como material de lecho y de relleno, siempre y cuando cumpla con las características mencionadas en el numeral 3 de éstas recomendaciones, o puede mezclarse con arena media a gruesa para cumplir con éstas.
6. Las recomendaciones 3 a 5 y 7 a 11 dadas en el numeral 4.4 del Informe del Colector Avenida Balboa, también son aplicables para esta línea.
7. A continuación en la figura 1.17 se ilustra el tipo de instalación recomendado para este tramo.

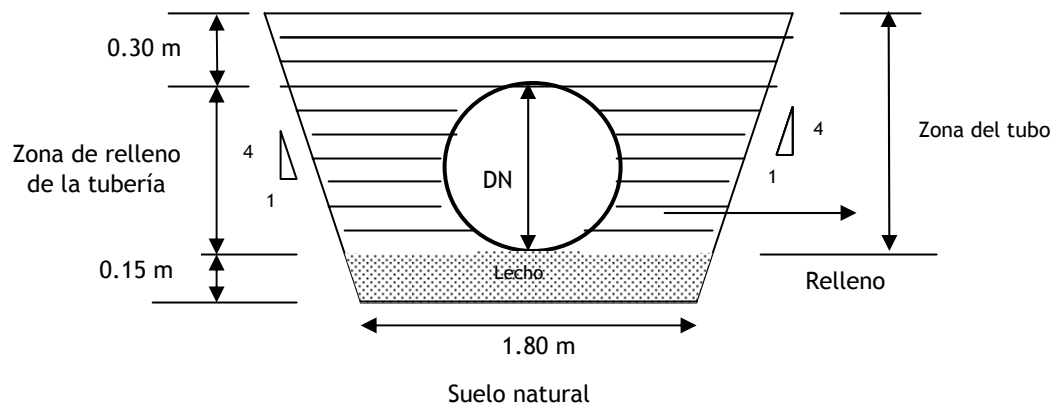


Figura 1.17 - Instalación Recomendada- Línea de Impulsión Vía Israel

8. Para este tramo, si decide usarse tubería rígida, de acuerdo con la teoría de Spangler:

$$\gamma = 1.85 \text{ Ton/m}^3$$

$$\phi = 17^\circ$$

9. Para el diseño de los anclajes de la tubería en este tramo, y específicamente para cuantificar las fuerzas de fricción entre el suelo y el anclaje, y la resistencia pasiva del suelo, pueden usarse los siguientes valores:

ρ = Coeficiente de fricción suelo - concreto

$$\rho = 0.36$$

K_p = Coeficiente de resistencia pasiva del suelo = 2.28

γ = Peso unitario del suelo = 1.85 Ton/m³; porque en esta línea, las mareas no influyen en los niveles freáticos

1.7. Línea de Impulsión Cincuentenario

Esta línea de impulsión tiene su origen en la estación Boca La Caja y termina después de 2.700 m aproximadamente, en la estación de bombeo Río Abajo. Trabaja a una presión del orden de 45 Ton/m² (4.5 Bares) y podrá experimentar, debido al Golpe de Ariete, presiones negativas hasta de 5 Ton/m² (0.5 Bares). En esta conducción se utilizará tubería de diámetro 1600 mms y la profundidad de cimentación será del orden de 3.0 m.

1.7.1 Trabajos de Campo y de Laboratorio

Se realizaron 13 sondeos a lo largo de los 2.700 metros de la Línea de Impulsión Cincuentenario, con una separación aproximada de 200 m entre uno y otro. Los sondeos fueron llevados hasta profundidades comprendidas entre 0.95 m y 5.50 m, y los métodos de perforación utilizados fueron percusión y rotación con tricono.

En el tabla 1.7 se indican los sondeos realizados y la profundidad de cada uno de ellos y en la figura 1.18 se ilustra su localización.

Tabla 1.7 - Profundidad y Cantidad de Sondeos Realizados Línea de Impulsión Cincuentenario

Sondeo	Prof. - m -	Sondeo	Prof. - m -
SD13-01	3.00	SD13-08A	05.00
SD13-02	5.50	SD13-09	4.00
SD13-03	3.00	SD13-10	2.00
SD13-04	5.00	SD13-11	5.50
SD13-05	5.50	SD13-12	5.50
SD13-06B	5.50	SD13-13	0.95
SD13-07	5.50		

Los sondeos fueron suspendidos a la profundidad de 5.50 m, o hasta encontrar rechazo (mas que 50 golpes en 15 cms de SPT).

1.7.2 Estratigrafía

A lo largo de La Línea de Impulsión Cincuentenario se encontraron arcillas y algunos rellenos arcillosos, que sobreyacen arenas y limos arcillosos residuales de compacidad densa a muy densa o consistencia muy firme a dura; provenientes en parte de la descomposición de rocas volcánicas de La Formación Panamá, o de rocas sedimentarias de La Formación Panamá, facies Marino.

La estratigrafía se ilustra en las figuras 1.19 y 1.20; y se describe a partir de la superficie de la siguiente manera:

- Pavimento de concreto que se encontró con un espesor promedio de 0.20 m en todos los sondeos, con excepción del SD13-01 y SD13-03.
- Relleno de arena arcillosa de color café grisáceo, con humedad y plasticidad baja a media y compacidad muy suelta, que se encuentra debajo del pavimento hasta 2.0 m en el SD13-06B únicamente. Este suelo tiene 24% de finos, L.L.= 43%, I.P.= 22 y Penetración Estándar de 6.

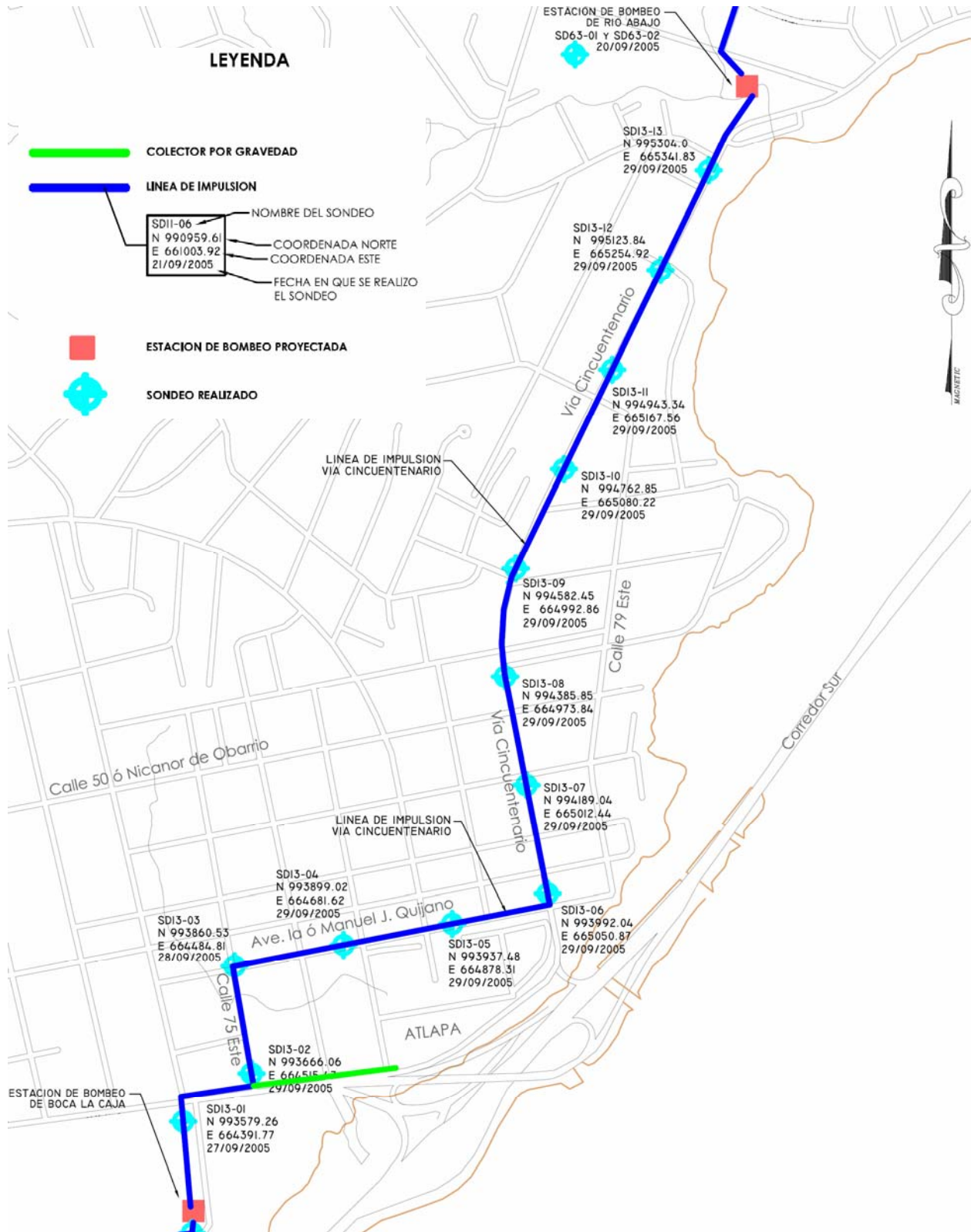


Figura 1.18 - Localización de Sondeos - Línea de Impulsión Vía Cincuentenario

- Arcilla arenosa de colores café claro, café rojizo, café grisáceo, ocre y gris, de plasticidad media a alta, humedad variable y consistencia firme a muy firme. Se encuentra debajo de la losa en los SD13-01 al SD13-05, en el SD13-09, SD13-11 y SD13-12, con un espesor promedio de 3.0 m. En los SD13-07 y SD13-08A se detectó hasta la profundidad explorada. En el SD13-04 este suelo contiene materia orgánica y es de consistencia muy blanda a blanda. En los SD13-06B, SD13-10 y SD13-13, no se registró su presencia. Tiene un contenido de finos entre el 60% y el 88%, L.L. entre 42% y 70%, I.P. entre 26% y 48% y Penetración Estándar entre 2 y 23, con promedio de 11.
- Arena arcillosa y limo arcillo arenoso residual (tosca) con fragmentos de roca, de colores gris, café claro, café grisáceo, morado y ocre, con plasticidad y humedad baja a media, compacidad densa a muy densa y consistencia firme a muy firme. Se encuentra debajo de la arcilla arenosa o de la losa de concreto hasta la profundidad explorada. Contiene finos entre 38% y 87%, L.L. entre 38% y 51%, I.P. entre 13% y 27% y Penetración Estándar entre 6 y > 50, con predominio de N>50.
- El nivel de aguas freáticas se registró a profundidades entre 0.40 m y 5.0 m. Del SD13-01 al SD13-08A, se encontró entre 2.0 m y 5.0 m, con profundidad promedio de 3.0 m; del SD13-09 al SD13-11, se detectó mas superficial, con una profundidad promedio de 0.50 m, tal como puede verse en las figuras 1.19 y 20.

1.7.3 Análisis y Recomendaciones - Excavaciones

Según el diseño hidráulico de esta línea, la profundidad de excavación será de aproximadamente 3.0 m y deberá realizarse básicamente a lo largo de las arcillas arenosas de consistencia firme a muy firme; excepto en el SD13-04, donde se tiene arcilla con materia orgánica de consistencia muy blanda a blanda; y en los SD13-01, SD13-02, SD13-03, SD13-06B, SD13-10 y SD13-13, donde además de la arcilla arenosa, se encontrará el residual duro.

Se considera que gran parte de las excavaciones puede realizarse a cielo abierto sin ningún tipo de estructura de contención, con una inclinación de los taludes de 4 vertical y 1 horizontal (ver figura 1.25); donde se encuentre suelo muy duro, pueden hacerse verticales. Con el fin de facilitar los trabajos, se recomienda hacer estas excavaciones de 6.50 m de longitud, colocar un tubo, rellenar y continuar con otro tramo de 6.50 m.

En el cruce de la línea con la cañada de la Calle 75 Este, la tubería debe enterrarse mínimo 5.0 m (medidos en la batea o parte inferior de la tubería), para que no quede expuesta. La excavación adicional se hará en suelo residual duro.

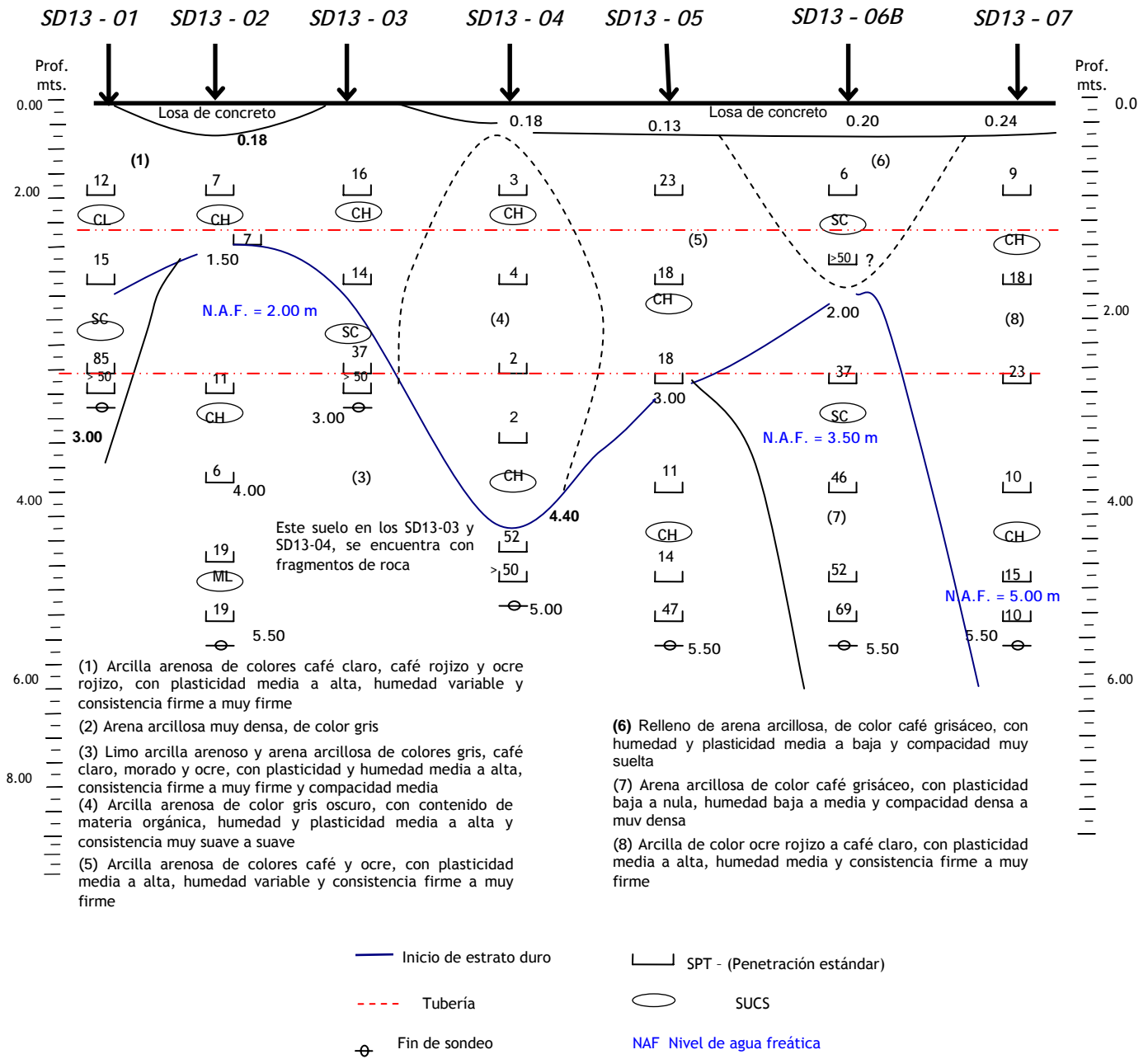


Figura 1.19 - Perfil Estratigráfico - Línea de Impulsión Cincuentenario - Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales de la Ciudad De Panamá

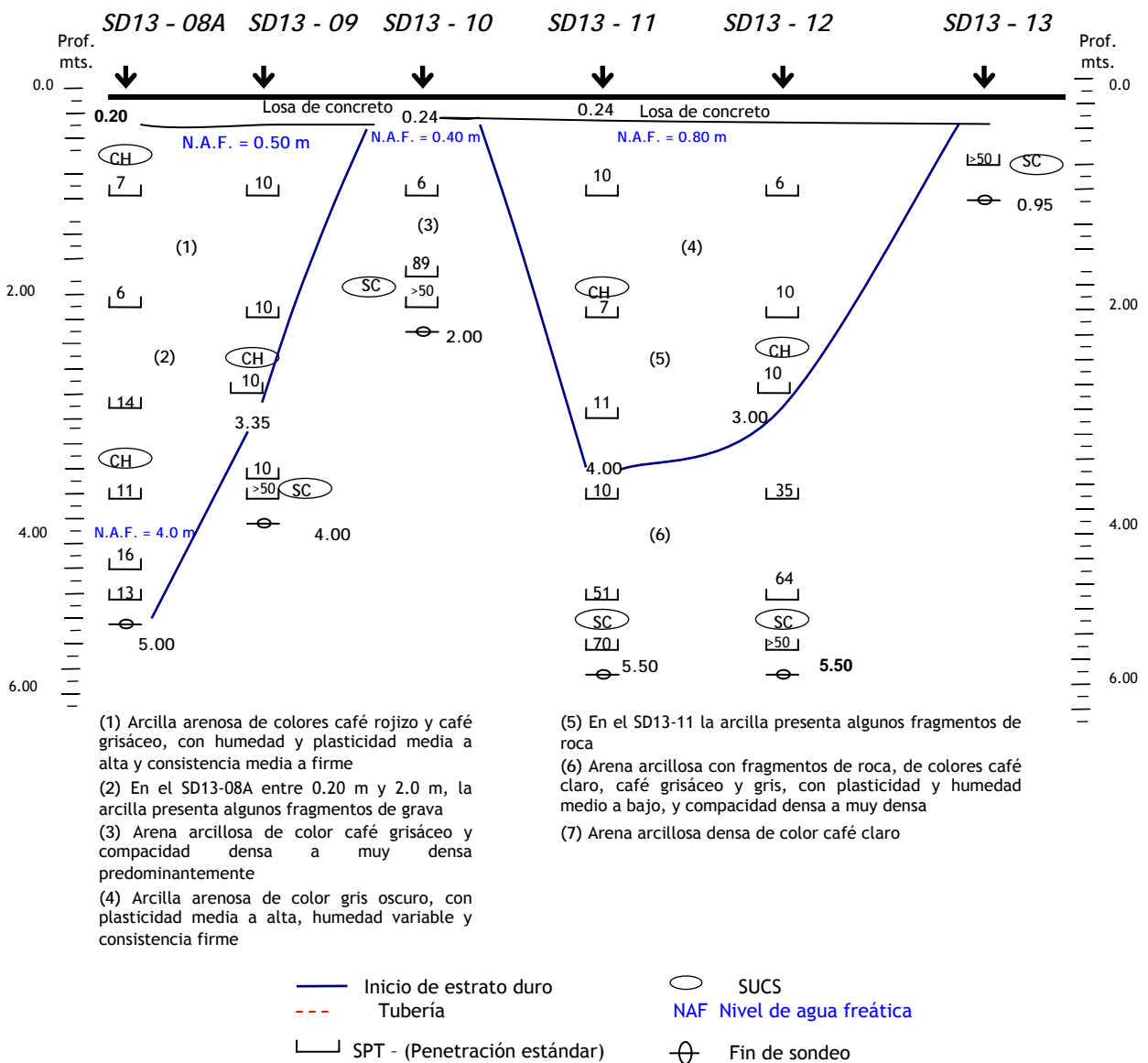


Figura 1.20 - Perfil Estratigráfico - Línea de Impulsión Cincuentenario
- Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de
Aguas Residuales de la Ciudad De Panamá

En una longitud correspondiente a 100 m antes y después del SD13-04, donde se tienen arcillas blandas orgánicas, debe utilizarse tablestaca metálica hincada con una longitud de 3.50 m, y apoyos como se indica en la figura 1.21. El ancho de la excavación en esta zona tablestacada, debe ser de 2.80 m.

El volumen aproximado de excavación en suelo y roca en toda la línea es de 20265 m³ y 4646 m³ respectivamente.

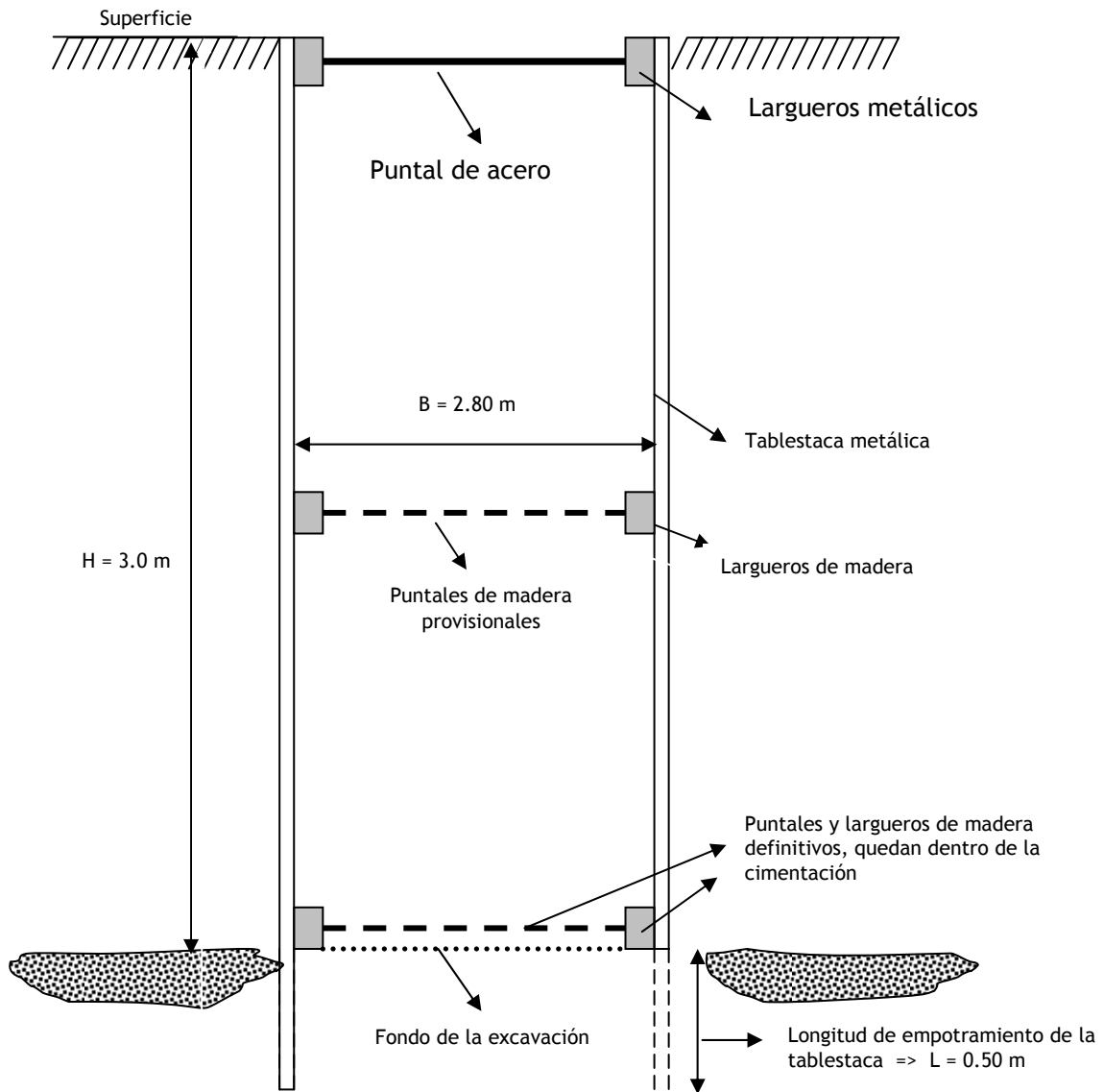


Figura 1.21 - Apuntalamiento de Tablestacas Línea de Impulsión
Cincuentenario - Alrededores del SD13-04

En la figura 1.22 se ilustra la forma del diagrama de presiones y los empujes que fueron considerados en los cálculos, que actúan sobre la tablestaca. El diagrama de presiones se consideró de acuerdo con el criterio de Terzaghi y Peck para suelos arcillosos. Los valores de los empujes, reacciones, momentos y otras magnitudes que se citarán en las páginas siguientes, tienen respaldo en la memoria de cálculos que se anexa al final de éste informe. No se espera que se presenten fenómenos de tubificación del suelo o flujo considerable de agua.

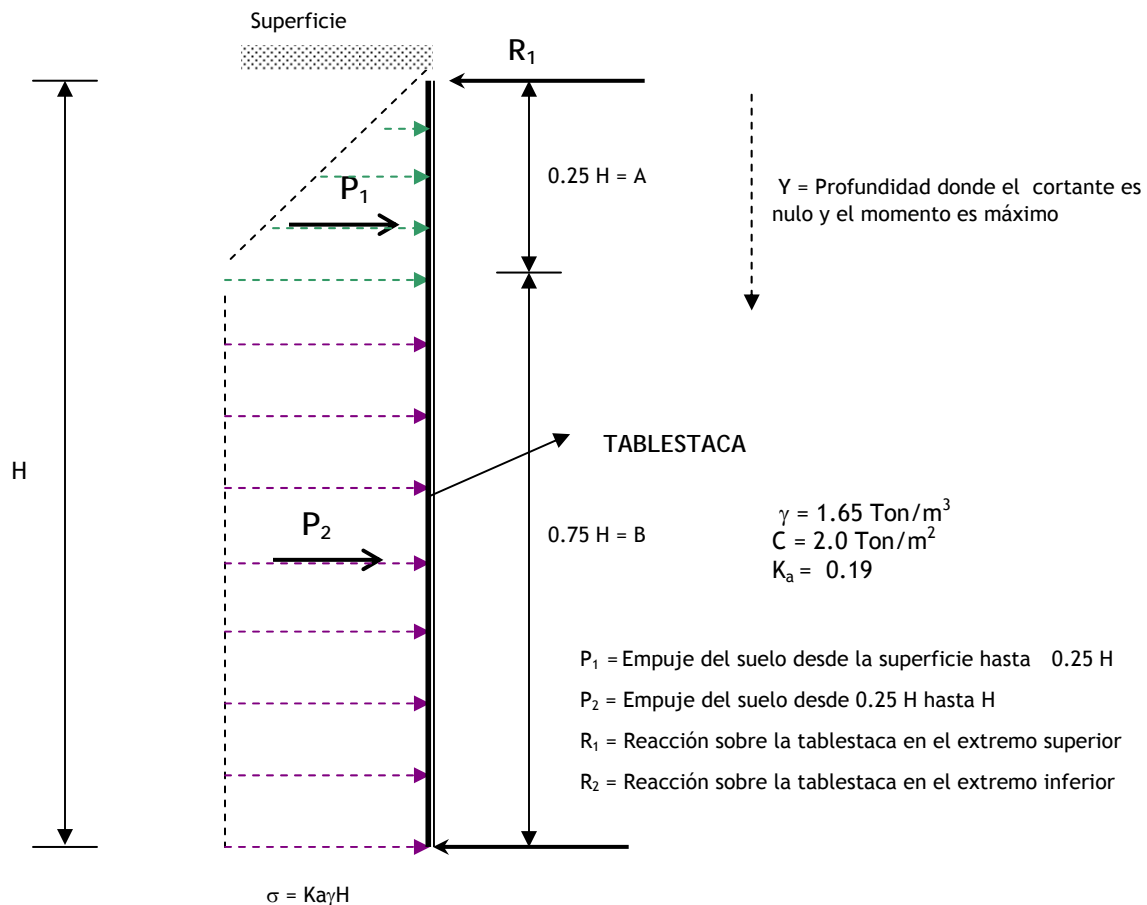


Figura 1.22 - Diagramas de Presiones, Empujes y Reacciones - Línea de Impulsión Cincuentenario - Alrededores del SD13-04

Donde se usará la tablestaca, deben hacerse recintos del orden de 7.0 m, como se indica en la figura 1.23. Para realizar las excavaciones en estos recintos, se hincan las tablestacas y se colocan los largueros y los apuntalamientos metálicos superiores. A medida que se profundice, deben colocarse puntales de madera provisionales para evitar deflexiones en la tablestaca. Terminada la excavación, hay necesidad de colocar puntales de madera definitivos en la parte inferior y retirar los intermedios (ver figura 1.21). Se dice que los puntales del fondo son definitivos porque quedarán permanentes dentro del lecho de la tubería.

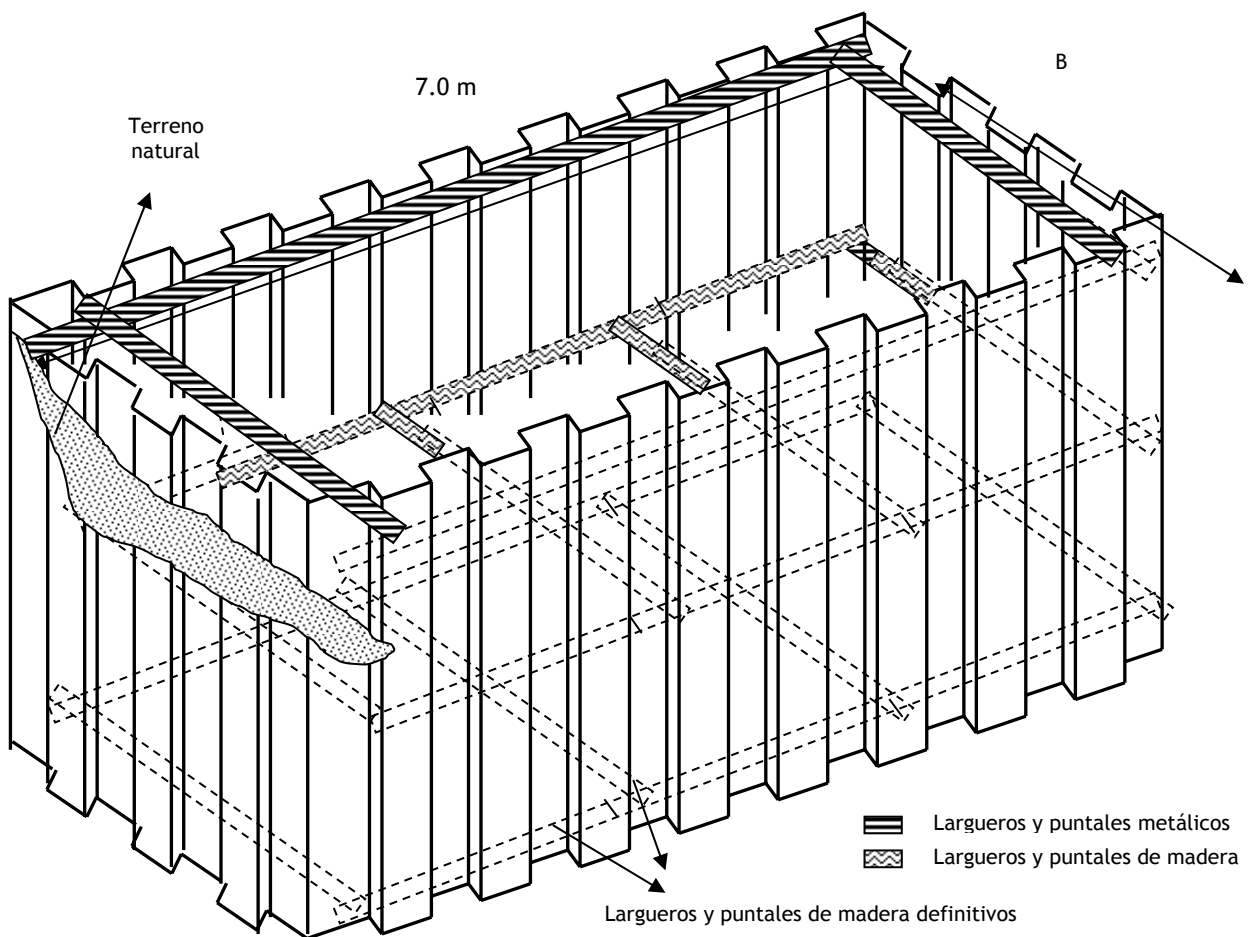


Figura 1.23 - Detalle de los Recintos Tablestacados y sus Apuntalamientos Línea de Impulsión Cincuentenario - Alrededores del SD13-04

Los momentos máximos, sin factor de seguridad, para escoger la sección de la tablestaca, de acuerdo con la profundidad de excavación, se indican en el tabla 1.8. De igual manera, se dan los valores de las reacciones R_1 y R_2 para escoger los puntales y largueros metálicos y de madera respectivamente. Nótese que tanto los valores de los momentos, como los de las reacciones, están expresados en toneladas por metro de longitud de excavación. (Ver también memoria de cálculos en apéndice).

Tabla 1.8 - Momentos Máximos y Reacciones para Tablestacas -
Profundidad de Excavación = 3.0 m

MOMENTO MÁXIMO (Ton-m/m)	R ₁ (Ton/m)	R ₂ (Ton/m)
1.02	1.10	1.40

1.7.4 Análisis y Recomendaciones - Cimentación de la Tubería

La tubería tendrá un diámetro nominal de 1600 mm, las profundidades de cimentación, como ya se mencionó, son del orden de 3.0 m y el suelo que servirá de apoyo será la arcilla arenosa de consistencia media a firme o el residual duro, excepto en los alrededores del SD13-04, donde se tiene la arcilla orgánica blanda.

De acuerdo con las recomendaciones del fabricante de la tubería de plástico reforzado con fibra de vidrio, puede usarse una de rigidez SN 2500 y clase PN-6 (diseñada para una presión de trabajo de 6 Bares).

A continuación se indican las características generales del lecho y material de relleno y se dan algunos detalles y recomendaciones adicionales para la instalación:

1. La clave de la tubería debe quedar enterrada mínimo 1.20 m, excepto en el cruce de la línea con la cañada de la Calle 75 Este, donde debe profundizarse hasta 3.0 m.
2. Previo a la colocación de la tubería, debe compactarse el fondo de la excavación mediante un saltarín u otro equipo liviano, con el fin de evitar posibles asentamientos del sistema.
3. Sobre el fondo de la excavación, se compactará un lecho de 15 cm de espesor, con una energía mayor o igual al 95% del Próctor Estándar. El material de lecho puede ser una arena o una grava limosa o arcillosa con tamaño máximo de 1 ½", podrá tener hasta un 35% de finos y límite líquido de la fracción pasa 40 hasta de 40%, siempre y cuando se pueda compactar en las condiciones de humedad de las excavaciones; en caso contrario, se requiere utilizar un suelo con menor contenido de finos. En el tramo 100 m antes y después del SD13-04, el material del lecho debe tener las mismas características pero con espesor mínimo de 25 cm. Además en esta zona, hay necesidad de utilizar un geotextil permeable, el cual deberá tener una resistencia a la tensión por el método Grab, de mínimo 2300 N (Ver figura 1.24).

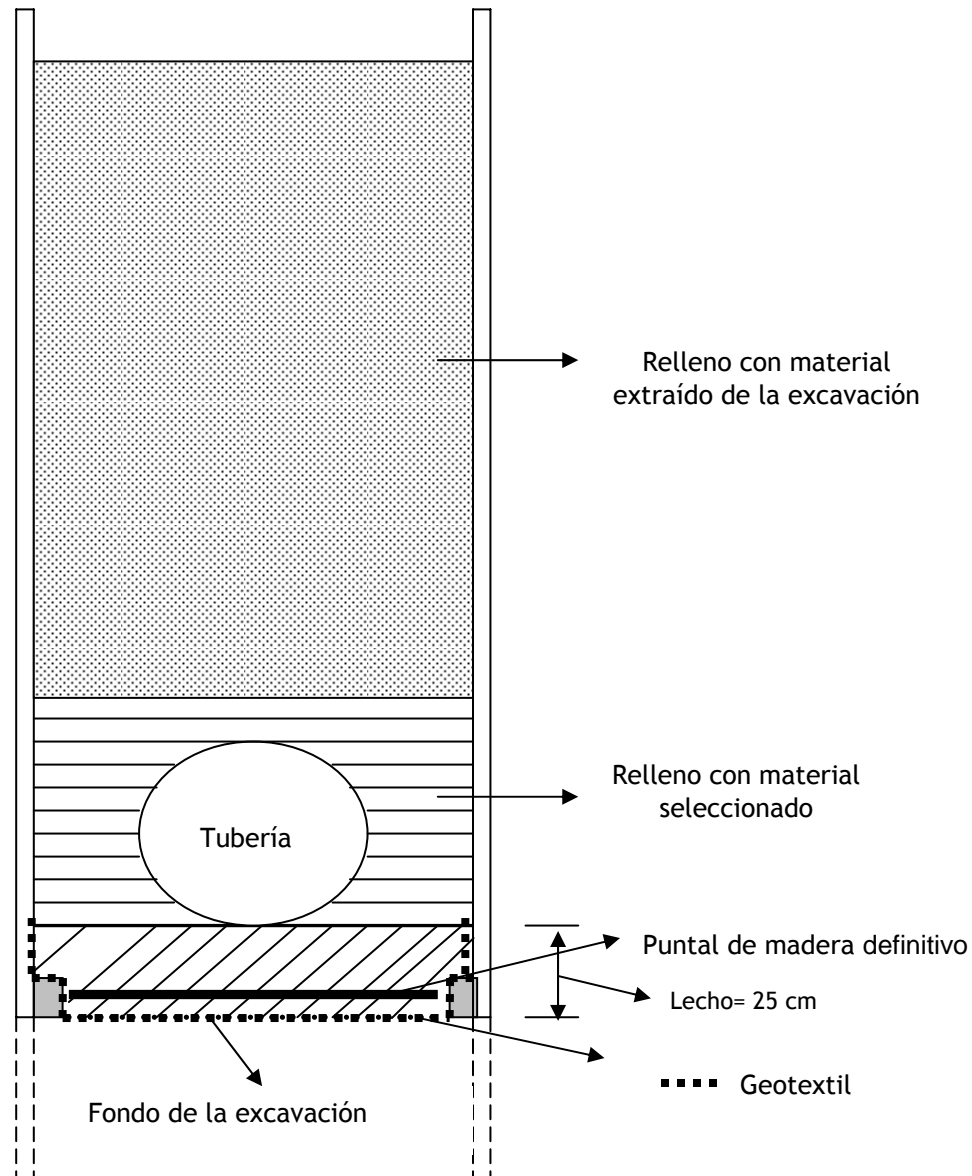


Figura 1.24 - Detalle del Lecho, Relleno Seleccionado y Relleno Adicional - L.I. Cincuentenario - Alrededores del SD13-04

4. El espacio comprendido entre las paredes de la excavación y la tubería, debe rellenarse y compactarse con una energía mayor o igual al 95% del Próctor Estándar, hasta una altura mínima de 30 cm por encima de la cota clave de la tubería. El relleno, de acuerdo con el fabricante, debe cumplir con las mismas características del material del lecho especificado en el numeral anterior (Ver figura 1.24).

5. Parte del suelo que se extraiga de la excavación, puede servir como material de lecho y de relleno, siempre y cuando cumpla con las características mencionadas en el numeral 3 de éstas recomendaciones, o puede mezclarse con arena media a gruesa para cumplir con éstas.
6. Las recomendaciones 3 a 5 y 7 a 11 dadas en el numeral 4.4 del Informe del Colector Avenida Balboa, también son aplicables para esta línea.
7. A continuación en la figura 1.25 se ilustra el tipo de instalación recomendado para las excavaciones a cielo abierto con profundidad de cimentación de 2.95 m.

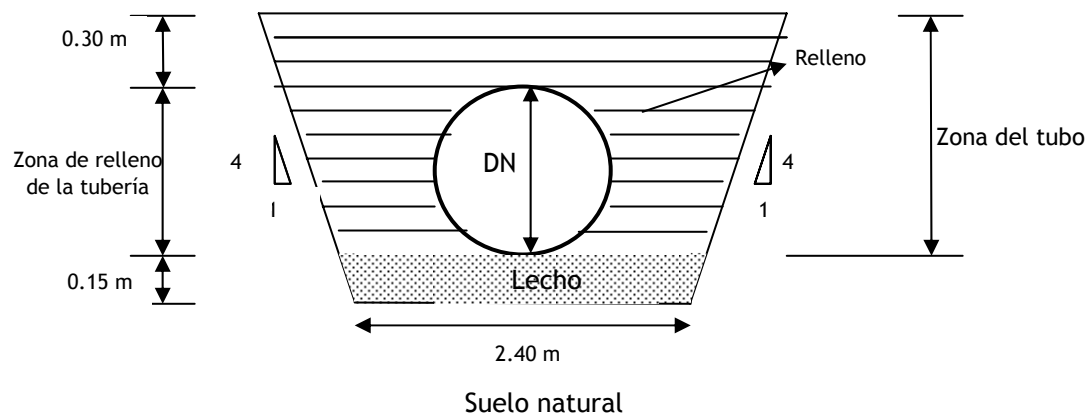


Figura 1.25 - Instalación Recomendada - Excavaciones a Cielo Abierto
Línea de Impulsión Cincuentenario. Cimentación alrededores del
SD11-04 - donde se use tablestaca

8. Para este tramo, si decide usarse tubería rígida, de acuerdo con la teoría de Spangler:

$$\gamma = 1.65 \text{ Ton/m}^3$$

$$\phi = 14^\circ \text{ (Según Spangler)}$$

9. Para el diseño de los anclajes de la tubería en este tramo, y específicamente para cuantificar las fuerzas de fricción entre el suelo y el anclaje, y la resistencia pasiva del suelo, pueden usarse los siguientes valores:

ρ = Coeficiente de fricción suelo - concreto

$$\rho = 0.34$$

K_p = Coeficiente de resistencia pasiva del suelo = 2.20

γ = Peso unitario del suelo = 1.65 Ton/m³; donde no hay N.F.

γ'' = Peso unitario sumergido = 0.65 Ton/m³; en zonas donde el

N.F. está cerca a la superficie

1.8. Línea de Impulsión Parque Lefevre

Esta línea de impulsión tiene su origen en la estación de bombeo Río Abajo y termina después de 4.700 m aproximadamente, en la estación Matías Hernández. Trabaja a una presión del orden de 38 Ton/m² (3.8 Bares) y podrá experimentar, debido al Golpe de Ariete, presiones negativas hasta de 5 Ton/m² (0.5 Bares). En esta conducción se utilizará tubería de diámetro 1700 mms y la profundidad de cimentación será del orden de 3.15 m.

1.8.1 Trabajos de Campo y de Laboratorio

Se realizaron 21 sondeos a lo largo de los 4.700 metros de la línea, con una separación aproximada de 200 m entre uno y otro. Los sondeos fueron llevados hasta profundidades comprendidas entre 2.45 m y 5.50 m, y se realizaron por el método de percusión.

En el tabla 1.9 se indican los sondeos realizados y la profundidad de cada uno de ellos, y en la figura 1.26 se ilustra su localización.

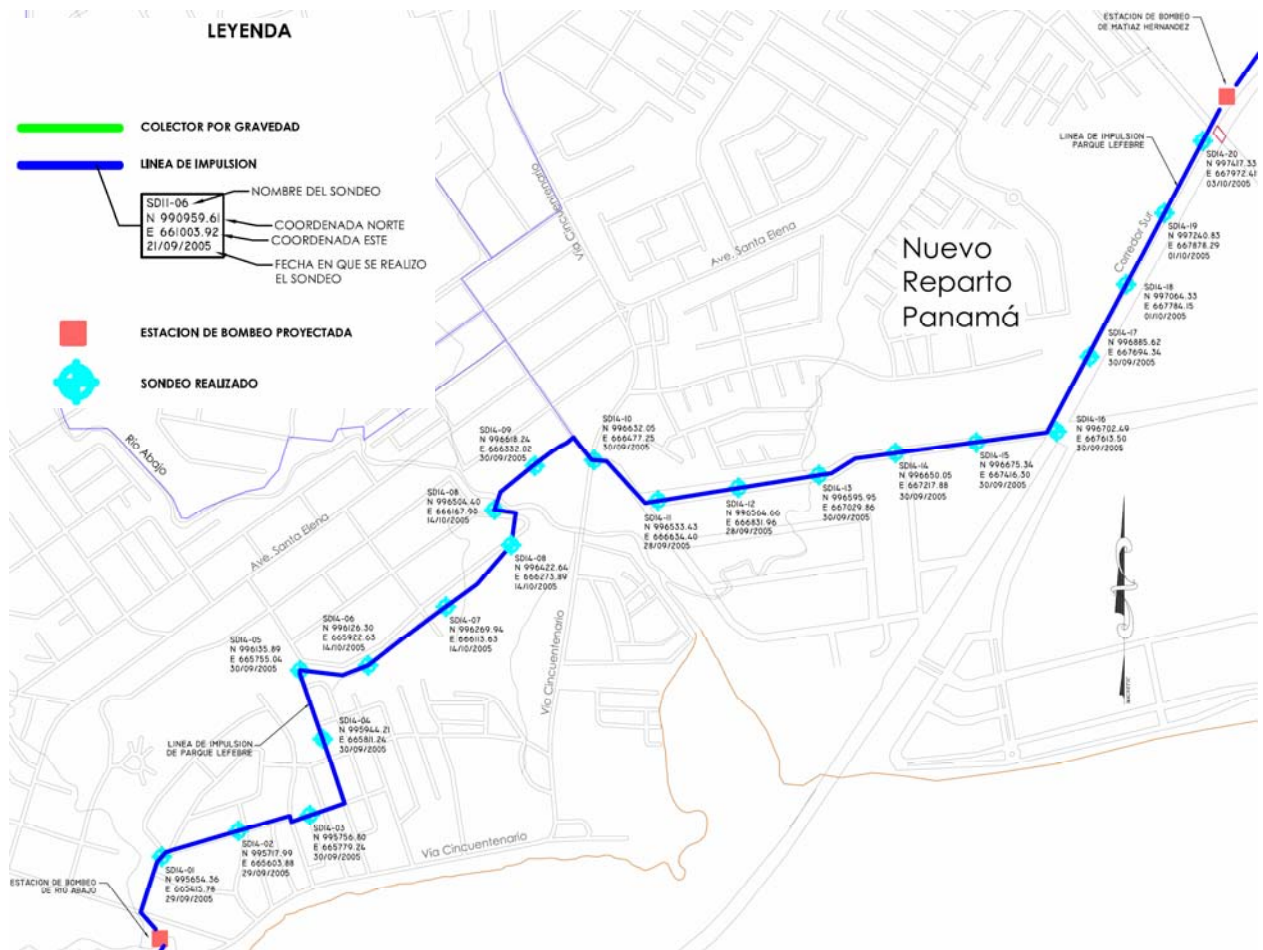


Figura 1.26 - Localización de Sondeos - Línea de Impulsión Parque Lefevre

Tabla 1.9 - Profundidad y Cantidad de Sondeos Realizados Línea de Impulsión Parque Lefevre

Sondeo	Prof. - m -	Sondeo	Prof. - m -
SD14-01	2.45	SD14-11	5.50
SD14-02	4.50	SD14-12	5.50
SD14-03	5.50	SD14-13	5.50
SD14-04	3.00	SD14-14	4.60
SD14-05	4.00	SD14-15	5.50
SD14-06	5.50	SD14-16	5.50
SD14-07	5.50	SD14-17	5.60
SD14-08	5.00	SD14-18	5.50
SD14-08A	5.00	SD14-19	5.50
SD14-09	5.50	SD14-20	5.50
SD14-10A	5.50		

Los sondeos fueron suspendidos a la profundidad de 5.50 m, o hasta encontrar rechazo (mas que 50 golpes en 15 cms de SPT).

1.8.2 Estratigrafía

A lo largo de esta línea de impulsión se encontraron limos y arcillas de alta plasticidad, de colores café grisáceo a gris y consistencia blanda a media, y arena arcillosa residual conocida localmente como tosca. Estos suelos subyacen rellenos antrópicos heterogéneos de arena arcillosa y arcilla arenosa de color café, con algunas partículas granulares, y de compacidad suelta.

La estratigrafía se ilustra en las figuras 1.27, 1.28 y 1.29; y se describe a partir de la superficie de la siguiente manera:

- Losa de pavimento de concreto de 0.21 m de espesor, encontrada únicamente en el SD14-01.
- Rellenos heterogéneos conformados por arenas arcillosas y arcillas arenosas con algunas partículas de grava y fragmentos de roca, de colores café claro, café grisáceo y gris, con humedad variable, plasticidad media a alta, compacidad suelta a media y consistencia media. Se registraron en toda la línea, excepto en los SD14-07 y SD14-18. El espesor predominante fue entre 1.0 m y 2.0 m, sin embargo en algunos sondeos se los encontró hasta la profundidad explorada, como puede verse en las figuras 1.27, 1.28 y 1.29.

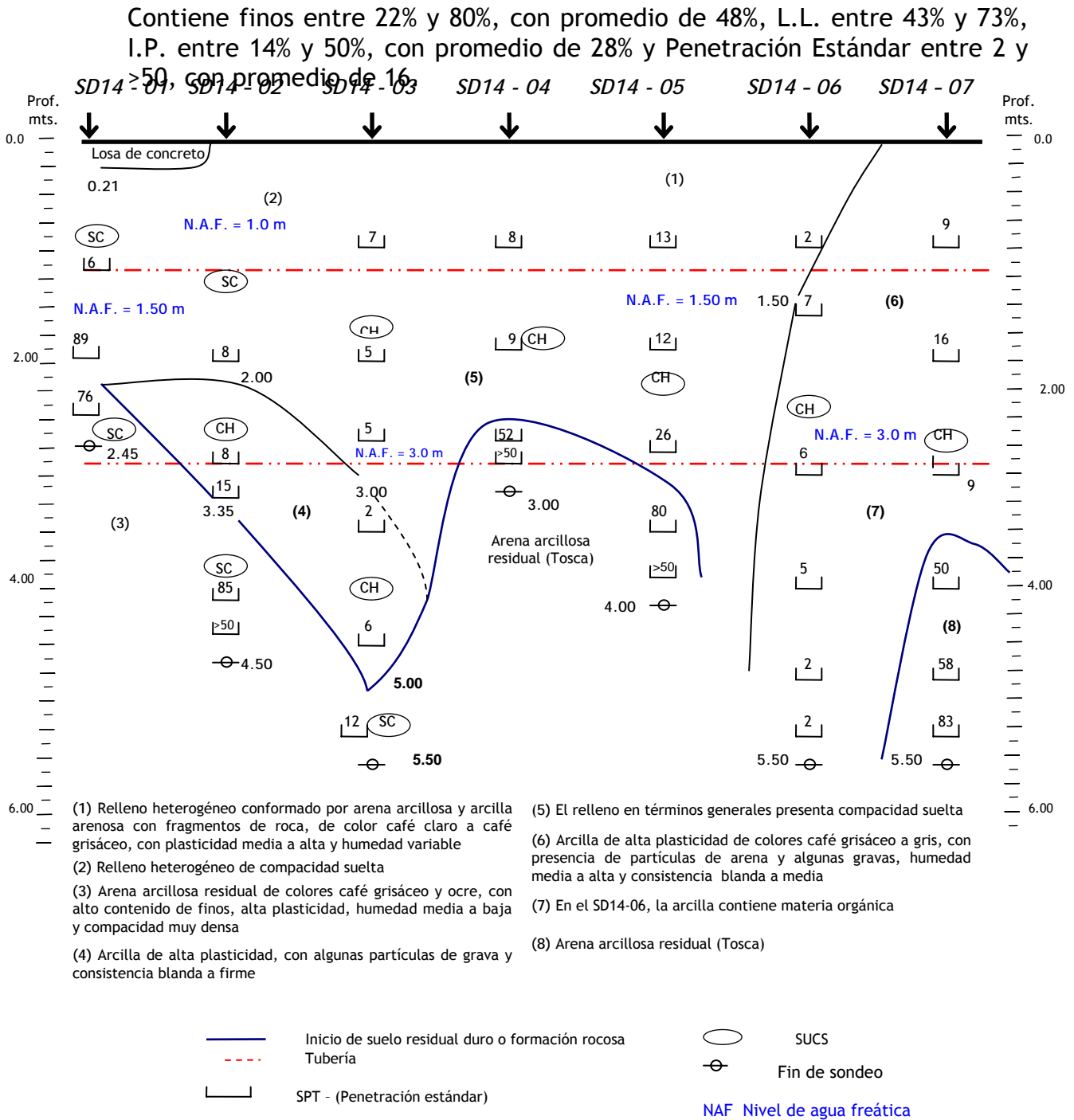
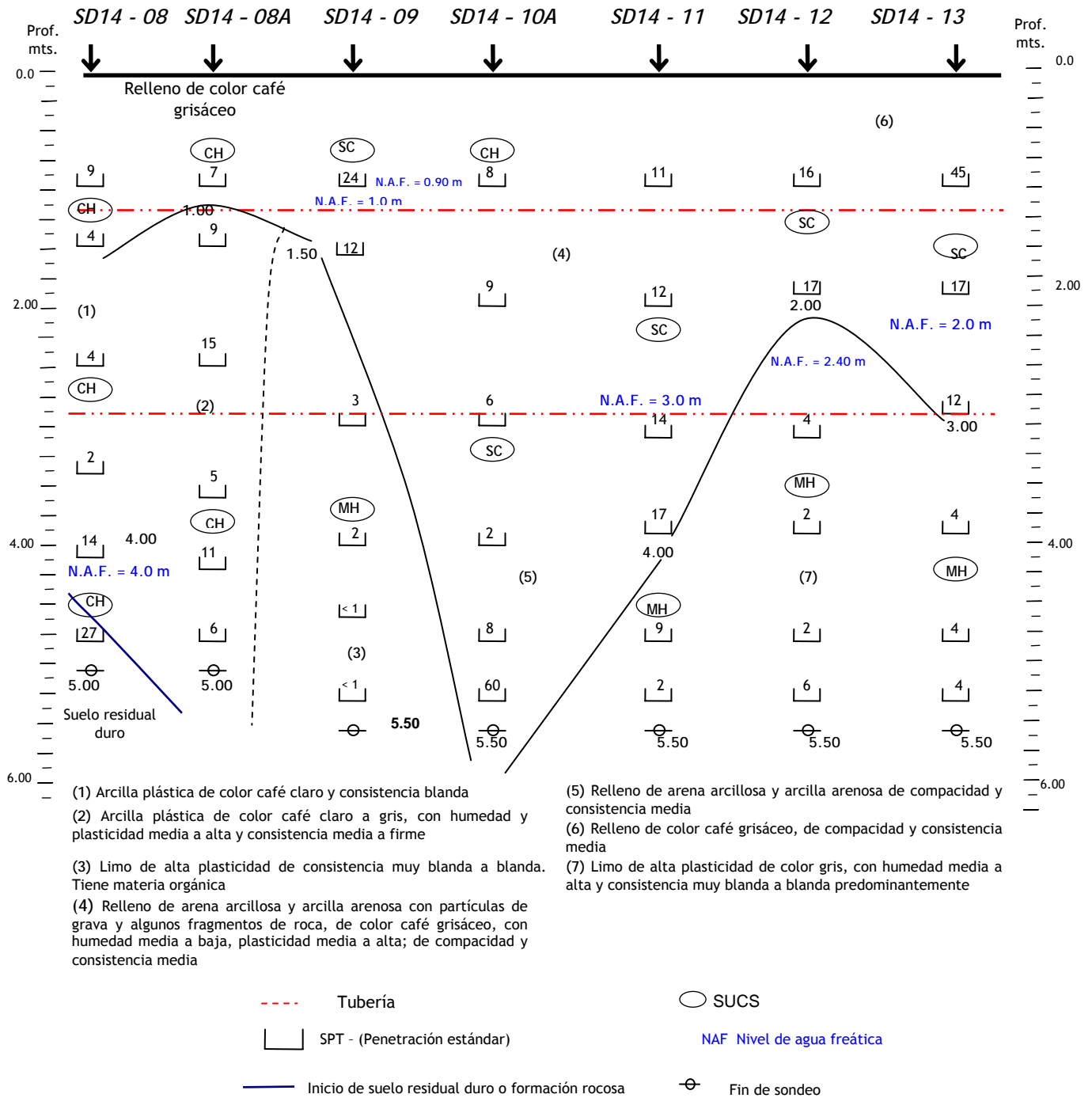
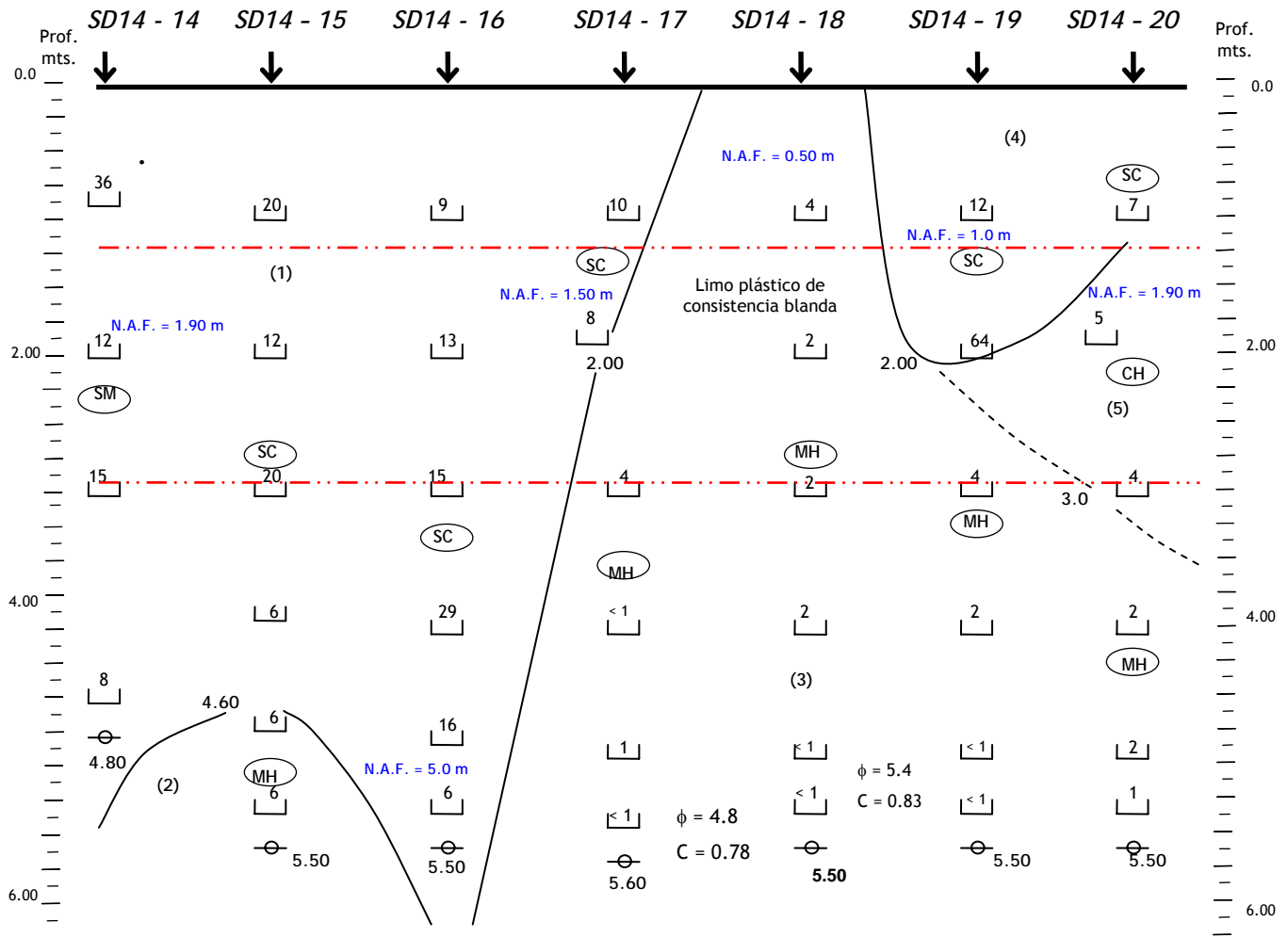


Figura 1.27 - Perfil Estratigráfico - Línea de Impulsión Parque Lefevre
- Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de
Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá



**Figura 1.28 - Perfil Estratigráfico - Línea de Impulsión Parque Lefevre
- Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de
Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá**



(1) Relleno heterogéneo, conformado por arena limosa, arena arcillosa, grava y fragmentos de roca; de colores café claro, café grisáceo y gris, con alto contenido de finos, plasticidad media a alta, humedad media a baja y compactación suelta a media

(2) Limo plástico de consistencia media

(3) Limo de alta plasticidad de color café grisáceo a gris oscuro, con humedad media a alta, un bajo contenido de arenas y gravas y consistencia muy blanda a blanda

(4) Relleno conformado por arena arcillosa, grava y fragmentos de roca; de colores café claro a café grisáceo, con alto contenido de finos, plasticidad media a alta, humedad media y compactación suelta

(5) Arcilla plástica de color café grisáceo, con alta humedad y consistencia blanda a media

- ⊕ Fin de sondeo
- Tubería
- ┌ SPT - (Penetración estándar)

NAF Nivel de agua freática

○ SUCS

ϕ = Angulo de fricción interna - Grados

C = Cohesión - Ton/m²

Figura 1.29 - Perfil Estratigráfico - Línea de Impulsión Parque Lefevre - Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

Limo de alta plasticidad de color café grisáceo a gris, con algunas partículas de arena y gravas, humedad media a alta y consistencia muy blanda a blanda. Se encuentra debajo de los rellenos y hasta el fondo de las excavaciones en los SD14-09, SD14-11, SD14-12, SD14-13, SD14-15, SD14-17, SD14-19 y SD14-20. En el SD14-18 se lo registró en toda la profundidad. Contiene finos del 87%, L.L. =67%, I.P.= 31% y Penetración Estándar entre <1 y 9.

- Arcilla de alta plasticidad de colores café grisáceo a gris, con presencia de partículas de arena y algunas gravas, humedad media a alta y consistencia predominantemente blanda a media. Se encuentra debajo de los rellenos hasta 3.35 m, 5.0 m, 4.50 m y 3.0 m, respectivamente en los SD14-02, SD14-03, SD14-08 y SD14-20, y hasta la profundidad explorada en los SD14-06 y SD14-08A. En el SD14-07 se la detectó a partir de la superficie hasta 4.0 m. Contiene finos entre 64% y 80%, L.L. desde 50% a 70%, I.P. de 27% a 48% y Penetración Estándar entre 2 y 16, con promedio de 7.
- Arena arcillosa residual (tosca), de color café grisáceo y ocre, con alto contenido de finos, humedad media a baja y compacidad muy densa. Subyace los estratos anteriores y se encontró en los SD14-01, SD14-02, SD14-03, SD14-04, SD14-05, SD14-07 y SD14-08. Contiene 46% de finos, L.L.= 59%, I.P.=38 y Penetración Estándar mayor a 50.
- El nivel de aguas freáticas, durante la realización de los sondeos, se registró en la mayoría de ellos, a profundidades entre 0.90 m y 5.0 m, con promedio de 2.0 m. En los SD14-07, SD14-08A, SD14-14 y SD14-15 no fue detectado.

1.8.3 Análisis y Recomendaciones - Excavaciones

Según el diseño hidráulico de esta línea, la profundidad de excavación será de aproximadamente 3.15 m y deberá realizarse básicamente a lo largo de los rellenos heterogéneos de compacidad suelta a media. En una menor longitud, deberá también excavar en la arcilla plástica de consistencia blanda a media, en el limo de alta plasticidad de consistencia muy blanda a blanda y en la tosca.

De acuerdo con las características geotécnicas de los suelos y la profundidad mencionada anteriormente, parte de las excavaciones puede realizarse a cielo abierto sin ningún tipo de estructura de contención, con una inclinación de los taludes de 3 vertical y 1 horizontal. En la figura 1.34, se indican las dimensiones de estas excavaciones. Con el fin de facilitar los trabajos, se recomienda hacer estas excavaciones de 6.5 m de longitud, colocar un tubo, rellenar lo mas rápido posible y continuar con otro tramo de 6.5 m.

En los tramos desde el SD14-01 hasta 100 m después del SD14-03; 100 m después del SD14-07 hasta 100 m después del SD14-10A y desde 100 m después del SD14-16 hasta el SD14-20; donde se tiene relleno heterogéneo de compacidad suelta y limos y

arcillas plásticas de consistencia muy blanda a media, hay necesidad de utilizar tablestaca metálica hincada con una longitud de 4.60 m, con apoyos como se indica en la figura 1.30. El ancho de la excavación requerido es de 2.90 m y la tablestaca debe penetrar al menos 1.45 m por debajo del fondo de la excavación, con el fin de evitar falla de base y tubificación del suelo.

El volumen aproximado de excavación en suelo y roca en toda la línea es de 42913 m³ y 2259 m³ respectivamente.

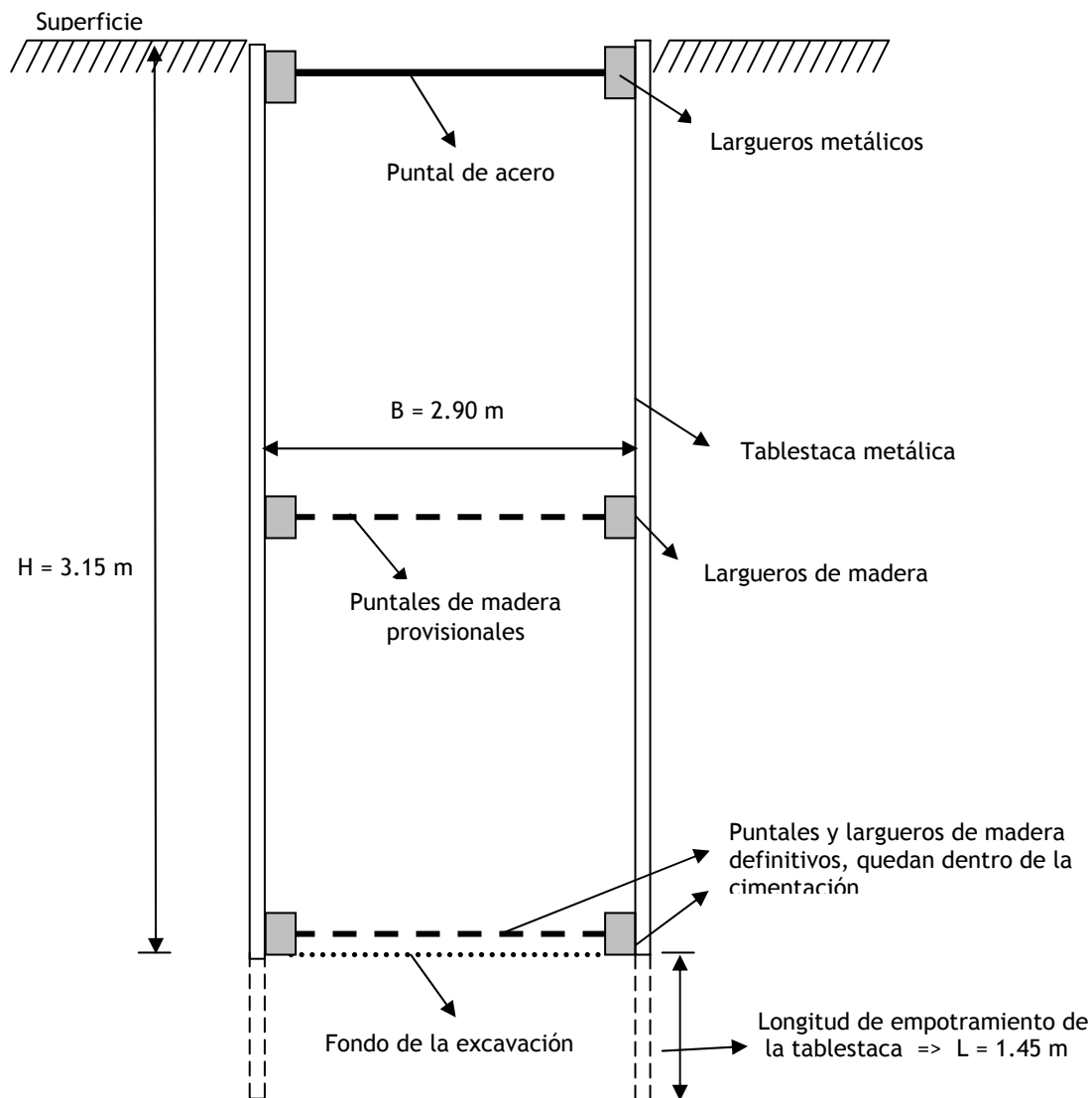


Figura 1.30 - Apuntalamiento de Tablestacas - Línea de Impulsión
Parque Lefevre

En la figura 1.31 se ilustra la forma del diagrama de presiones y los empujes que fueron considerados en los cálculos, y que actúan sobre la tablestaca. El diagrama de presiones se consideró de acuerdo con el criterio de Terzaghi y Peck para suelos arcillosos. Los valores de los empujes, reacciones, momentos y otras magnitudes que se citarán en las páginas siguientes, tienen respaldo en la memoria de cálculos que se anexa al final de éste informe.

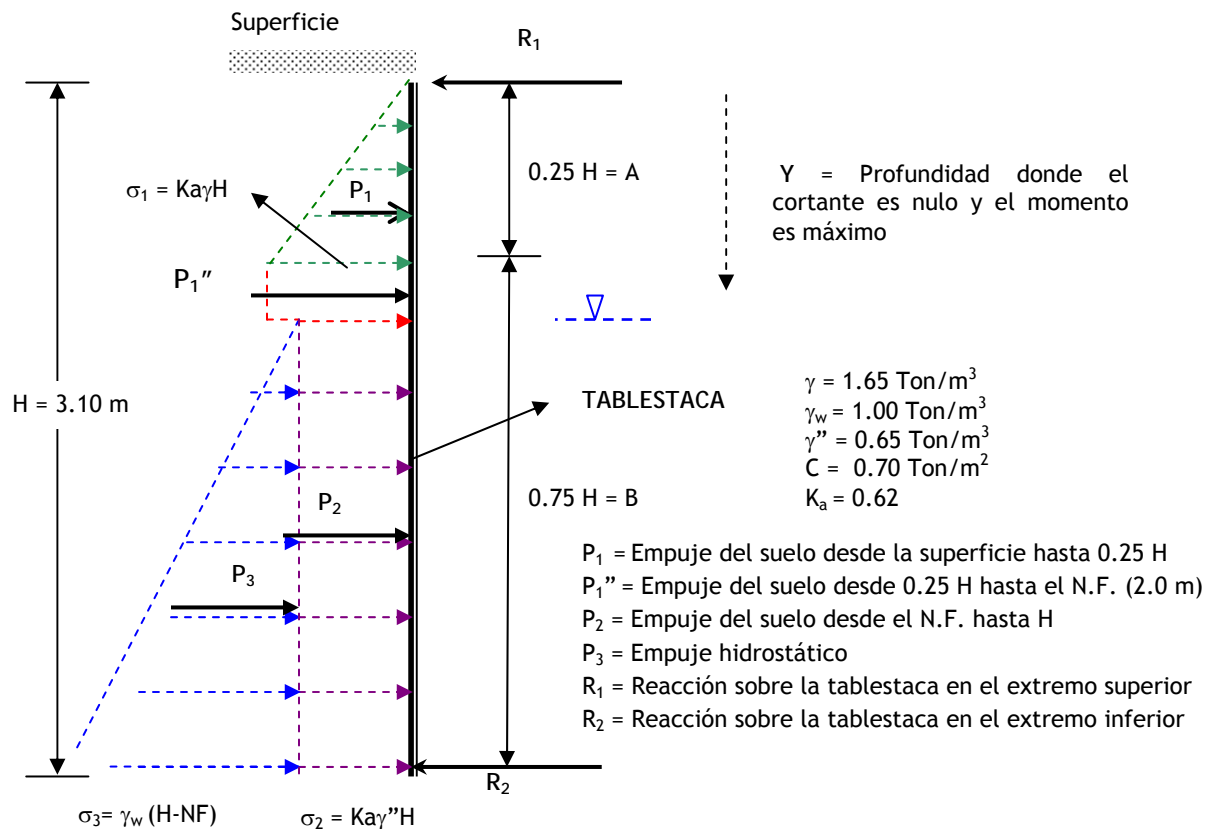


Figura 1.31 - Diagramas de Presiones, Empujes y Reacciones Línea de Impulsión Parque Lefevre

Donde se usará la tablestaca, deben hacerse recintos del orden de 7.0 m, como se indica en la figura 1.32. Para realizar las excavaciones en estos recintos, se hincan las tablestacas y se colocan los largueros y los apuntalamientos metálicos superiores. A medida que se profundice, deben colocarse puntales de madera provisionales para evitar deflexiones en la tablestaca. Terminada la excavación, hay necesidad de colocar puntales de madera definitivos en la parte inferior y retirar los intermedios

(ver figura 1.30). Se dice que los puntales del fondo son definitivos porque quedarán permanentes dentro del lecho de la tubería.

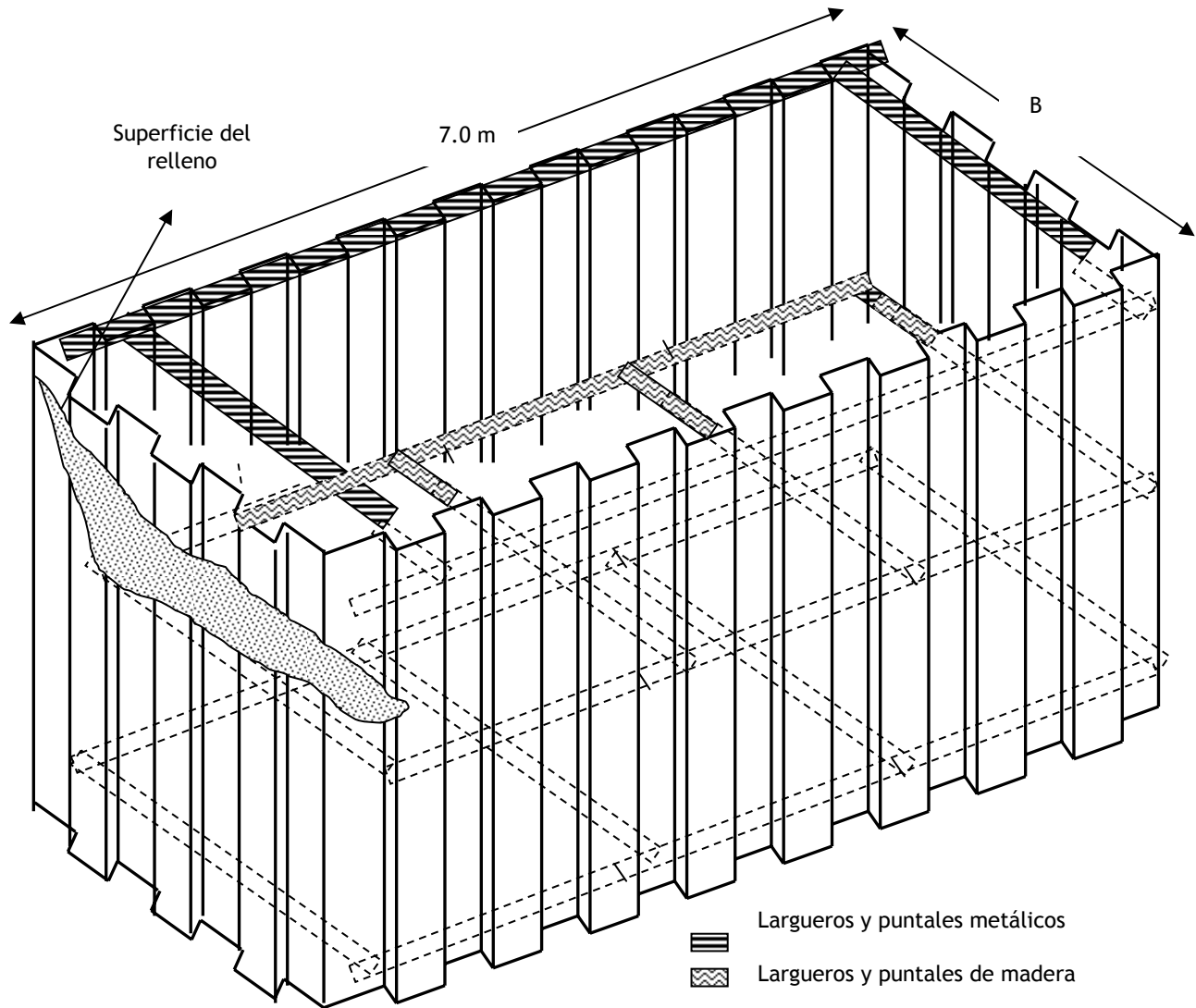


Figura 1.32 - Detalle de los Recintos Tablestacados y sus Apuntalamientos Línea de Impulsión Parque Lefevre

Los momentos máximos, sin factor de seguridad, para escoger la sección de la tablestaca, de acuerdo con la longitud, se indican en el tabla 1.10. De igual manera, se dan los valores de las reacciones R_1 y R_2 para escoger los puntales y largueros metálicos y de madera respectivamente. Nótese que tanto los valores de los

momentos, como los de las reacciones, están expresados en toneladas por metro de longitud de excavación. (Ver también memoria de cálculos en apéndices).

Tabla 1.10 - Momentos Máximos y Reacciones para Tablestacas -
Profundidad de Excavación = 3.15 m

MOMENTO MÁXIMO (Ton-m/m)	R ₁ (Ton/m)	R ₂ (Ton/m)
3.3	3.6	3.7

Los máximos caudales de infiltración que se esperan en estas excavaciones, serán del orden de 0.94 y 1.78 L/min por cada metro de longitud de excavación, para zanjas con tablestaca y a cielo abierto respectivamente.

Consideraciones Adicionales

Para la realización de las excavaciones, además de las recomendaciones dadas en los tramos anteriores, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- En el inicio de esta línea de impulsión, hay que pasar por debajo de la quebrada Santa Librada. En ese sitio, aunque la excavación será también de 3.15 m, la diferencia de cotas entre el fondo de la zanja y la calle es de aproximadamente 4.0 m. Se espera encontrar suelos blandos.
- Cuando la línea atraviesa el cementerio Jardín de Paz, debe pasar por debajo de una cañada. Análogamente, al salir de este cementerio, debe cruzar bajo el río La boca. En estos sitios la excavación será de aproximadamente 2.0 m por debajo del fondo de sus cauces, y deberá realizarse en roca, de acuerdo con los afloramiento observados.
- Al final de la conducción, ésta debe cruzar por debajo del Río Matías Hernández. Se debe excavar 2.0 m por debajo de este río y se encontrará suelo blando.

1.8.4 Análisis y Recomendaciones - Cimentación de la Tubería

La tubería tendrá un diámetro nominal de 1700 mm, las profundidades de cimentación, como ya se mencionó, son del orden de 3.15 m y los suelos que servirán de apoyo serán la arcilla y limo de consistencia muy blanda a media y los rellenos heterogéneos. En una menor proporción, también se encontrará la tosca. De acuerdo con las recomendaciones del fabricante de la tubería de plástico reforzado con fibra de vidrio, puede usarse una de rigidez SN 2500 y clase PN-6 (diseñada para una presión de trabajo de 6 Bares).

A continuación se indican las características generales del lecho y material de relleno y se dan algunos detalles y recomendaciones adicionales para la instalación:

1. La clave de la tubería debe quedar enterrada mínimo 1.20 m.

2. Previo a la colocación de la tubería, donde el suelo lo permita, debe compactarse el fondo de la excavación mediante un saltarín u otro equipo liviano, con el fin de minimizar asentamientos del sistema.
3. Sobre el fondo de la excavación, se compactará un lecho de 15 cm de espesor mínimo, con una energía mayor o igual al 95% del Próctor Estándar. El material de lecho debe ser una arena o una grava limosa o arcillosa con tamaño máximo de 1 ½”, podrá tener hasta 35% de finos y límite líquido de la fracción pasa 40 hasta de 40%, siempre y cuando se puedan compactar adecuadamente bajo las condiciones de humedad de las excavaciones, en caso contrario, debe utilizarse un suelo con menos finos y menor plasticidad. En los tramos 100 m después del SD14-07 hasta 100 m después del SD14-10A y desde 100 m después del SD14-16 hasta el final de la línea, se requiere un material de mejor calidad, debe ser una arena o una grava con contenido de finos máximo del 12% y 25 cm de espesor mínimo. En estos dos últimos tramos, hay necesidad también de utilizar un geotextil permeable, el cual deberá tener una resistencia a la tensión por el método Grab, de mínimo 2300 N (Ver figura 1.33).
4. El espacio comprendido entre las paredes de la excavación y la tubería, debe rellenarse y compactarse con una energía mayor o igual al 95% del Próctor Estándar, hasta una altura mínima de 30 cm por encima de la cota clave de la tubería. El relleno, de acuerdo con el fabricante, debe cumplir con las mismas características del material del lecho especificado en el numeral anterior (Ver figura 1.33).
5. Donde los suelos extraídos son los rellenos mas arenosos, es probable que sirvan como material de lecho y de relleno, siempre y cuando cumplan con las características mencionadas en el numeral 3 de éstas recomendaciones, o pueden mezclarse con arena media a gruesa para cumplirlas.
6. Las recomendaciones 3 a 5 y 7 a 11 dadas en el numeral 4.4 del Informe del Colector Avenida Balboa, también son aplicables para esta línea.

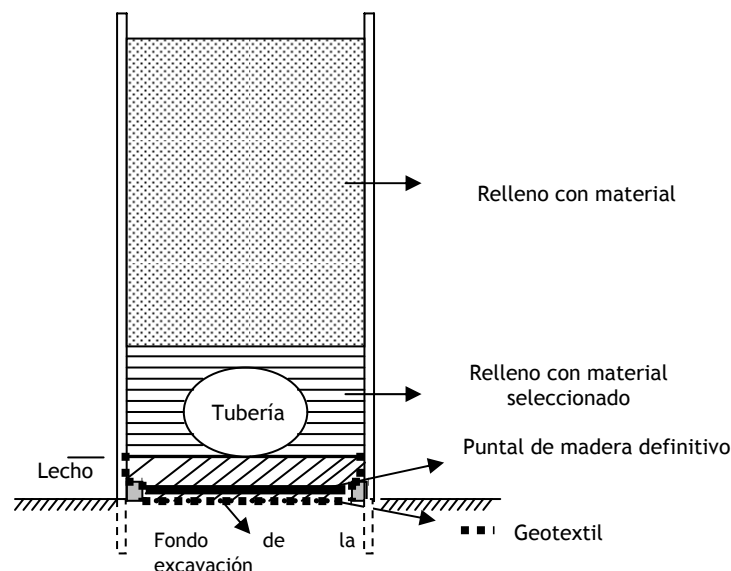


Figura 1.33 - Detalle del Lecho, Relleno Seleccionado, Relleno Adicional y Geotextil - Línea de Impulsión Parque Lefevre

7. A continuación en la figura 1.34 se ilustra el tipo de instalación recomendado para las excavaciones a cielo abierto.

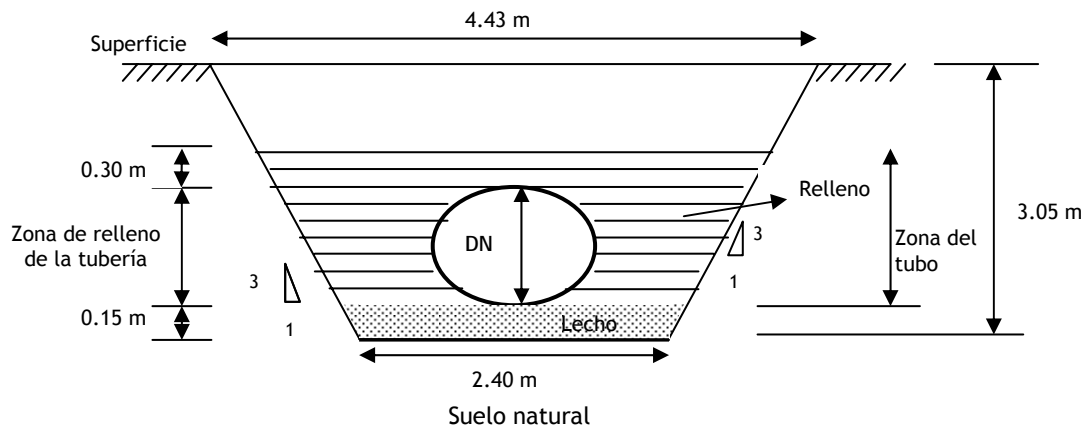


Figura 1.34 - Instalación Recomendada - Excavaciones a Cielo Abierto
Línea de Impulsión Parque Lefevre

8. Para este tramo, si decide usarse tubería rígida, de acuerdo con la teoría de Spangler:

$$\gamma = 1.65 \text{ Ton/m}^3$$

$$\phi = 11^\circ \text{ (Según Spangler)}$$

9. Debido a que la presión del fluido es de 38 Ton/m^2 y el diámetro de la tubería es 1700 mm, las fuerzas que se generarán en los cambios de dirección serán muy grandes. Adicional a lo anterior, los suelos son deformables y de muy baja resistencia; por tanto, el diseño de los anclajes de la tubería en esta línea es complejo y debe estudiarse con cuidado. Se considera que uno de los tipos de anclaje mas apropiado, es por medio de pilares de cimentación o pilotes de diámetro grande (del orden de 0.80 m - 1.0 m de diámetro), empotrados en la roca y diseñados de tal manera que suministren la resistencia lateral necesaria.

1.9 Línea de Impulsión Jardín Olímpico

Esta línea de impulsión tiene su origen en la estación de bombeo Matías Hernández y termina después de 3.100 m aproximadamente, en La Planta de Tratamiento Juan Díaz. Trabaja a una presión del orden de 26 Ton/m^2 (2.6 Bares) y podrá experimentar, debido al Golpe de Ariete, presiones negativas hasta de 5 Ton/m^2 (0.5 Bares). En esta conducción se utilizará tubería de diámetro 2000 mm y la profundidad de cimentación será de 3.45 m aproximadamente.

1.9.1 Trabajos de Campo y de Laboratorio

Se realizaron 15 sondeos a lo largo de esta línea de impulsión, con una separación aproximada de 200 m entre uno y otro. Los sondeos fueron llevados hasta profundidades comprendidas entre 2.50 m y 5.60 m, y se realizaron por el método de percusión.

En el tabla 1.11 se indican los sondeos realizados y la profundidad de cada uno de ellos, y en la figura 1.35 se ilustra su localización.

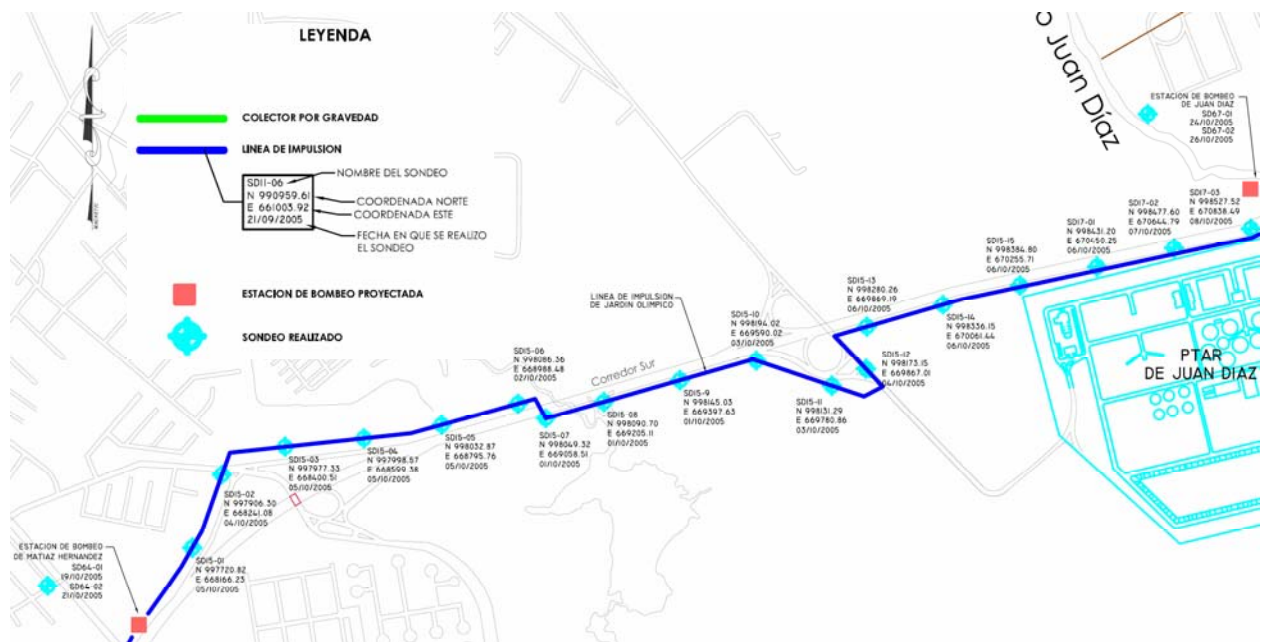


Figura 1.35 - Localización de Sondeos - Línea de Impulsión Jardín Olímpico

Los sondeos fueron suspendidos a la profundidad de 5.50 m, o hasta encontrar rechazo (mas que 50 golpes en 15 cms de SPT).

**Tabla 1.11 - Profundidad y Cantidad de Sondeos Realizados Línea de
Impulsión Jardín Olímpico**

Sondeo	Prof. - m -	Sondeo	Prof. - m -
SD15-01	5.60	SD15-09	5.50
SD15-02	5.50	SD15-10	2.50
SD15-03	5.60	SD15-11	3.50
SD15-04	5.60	SD15-12	5.50
SD15-05	5.60	SD15-13	3.50
SD15-06	5.50	SD15-14	3.50
SD15-07	5.50	SD15-15	5.50
SD15-08	5.00		

1.9.2 Estratigrafía

A lo largo de esta línea se encontró una arcilla sedimentaria (lama) de alta plasticidad, con alto contenido de humedad y consistencia muy blanda a blanda; en menor proporción, se encontraron rellenos heterogéneos antrópicos de compacidad suelta, conformados por grava arcillosa, arcilla, arena y fragmentos de roca. Subyacente a estos suelos, se tiene arena arcillosa residual densa, conocida localmente como tosca.

La estratigrafía se ilustra en las figuras 1.36 y 1.37; y se describe a partir de la superficie de la siguiente manera:

- Relleno heterogéneo conformado por grava arcillosa, arena y fragmentos de roca, de color café grisáceo y compacidad suelta. Se registró hasta profundidades entre 1.0 m y 2.30 m en los SD15-01, SD15-05 y SD15-09. Tiene 18% de finos, L.L.= 48%, I.P.= 25% y Penetración Estándar entre 8 y 11.
- Relleno de arcilla de alta plasticidad de colores café grisáceo, gris y café oscuro, con alto contenido de humedad y consistencia blanda a media, que se encontró hasta 1.0 m, 1.45 m y 4.40 m, respectivamente en los SD15-06, SD15-08 y SD15-15. Este material tiene 75% de finos, L.L.=53%, I.P.= 35% y Penetración Estándar entre 3 y 9, con promedio de 4.
- Arcilla sedimentaria (lama), de alta plasticidad, de color café grisáceo a gris oscuro, con humedad alta y consistencia muy blanda a blanda, registrada en todos los sondeos, excepto en el SD15-15. Se encontró hasta el fondo de la perforación desde el SD15-01 hasta el SD15-06 y en el SD15-08. En los demás sondeos, sobreyace a la tosca. Contiene 94% de finos, L.L.= 78%, I.P.= 52% y Penetración Estándar entre <1 y 9, con promedio de 4. Además, este material presenta en promedio un ángulo de fricción interna de 3.6° y Cohesión= 0.55 Ton/m², en ensayos de corte directo sin drenar.
- Arena arcillosa residual de color gris, conocida localmente como tosca, con partículas de grava, fragmentos de roca y compacidad densa a muy densa. Subyace el estrato anterior y se detectó en el SD15-07; y del SD15-09 al SD15-14. Tiene un contenido de finos promedio de 33%, L.L.=44%, I.P.=28% y Penetración Estándar entre 15 y >50, con predominio de N>50.
- El nivel de aguas freáticas se registró en la mayoría de los sondeos a profundidades entre 0.20 m y 2.50 m, con promedio de 1.25 m. En el SD15-07 no se detectó su presencia.

1.9.3 Análisis y Recomendaciones - Excavaciones

Según el diseño hidráulico de esta línea, la profundidad de excavación será del orden de 3.45 m y deberá realizarse básicamente a lo largo de la arcilla de consistencia muy blanda a blanda. En una menor longitud, se excavará también en los rellenos antrópicos de compacidad suelta y consistencia blanda a media, y en la tosca.

Por lo anterior, se considera que el sistema mas apropiado para realizar las excavaciones es utilizando tablestaca metálica hincada, a todo lo largo de la línea, con apoyo en la parte superior y en el extremo inferior. El volumen aproximado de excavación en suelo y roca en toda la línea es de 32512 m³ y 1711 m³ respectivamente.

En la figura 1.38 se ilustra la forma del diagrama de presiones y los empujes que actúan sobre la tablestaca. El diagrama de presiones se consideró de acuerdo con el criterio de Terzagui y Peck para suelos arcillosos. Los valores de los empujes, reacciones, momentos y otras magnitudes que se citarán en las páginas siguientes, tienen respaldo en la memoria de cálculos, ubicada en los apéndices de este anexo.

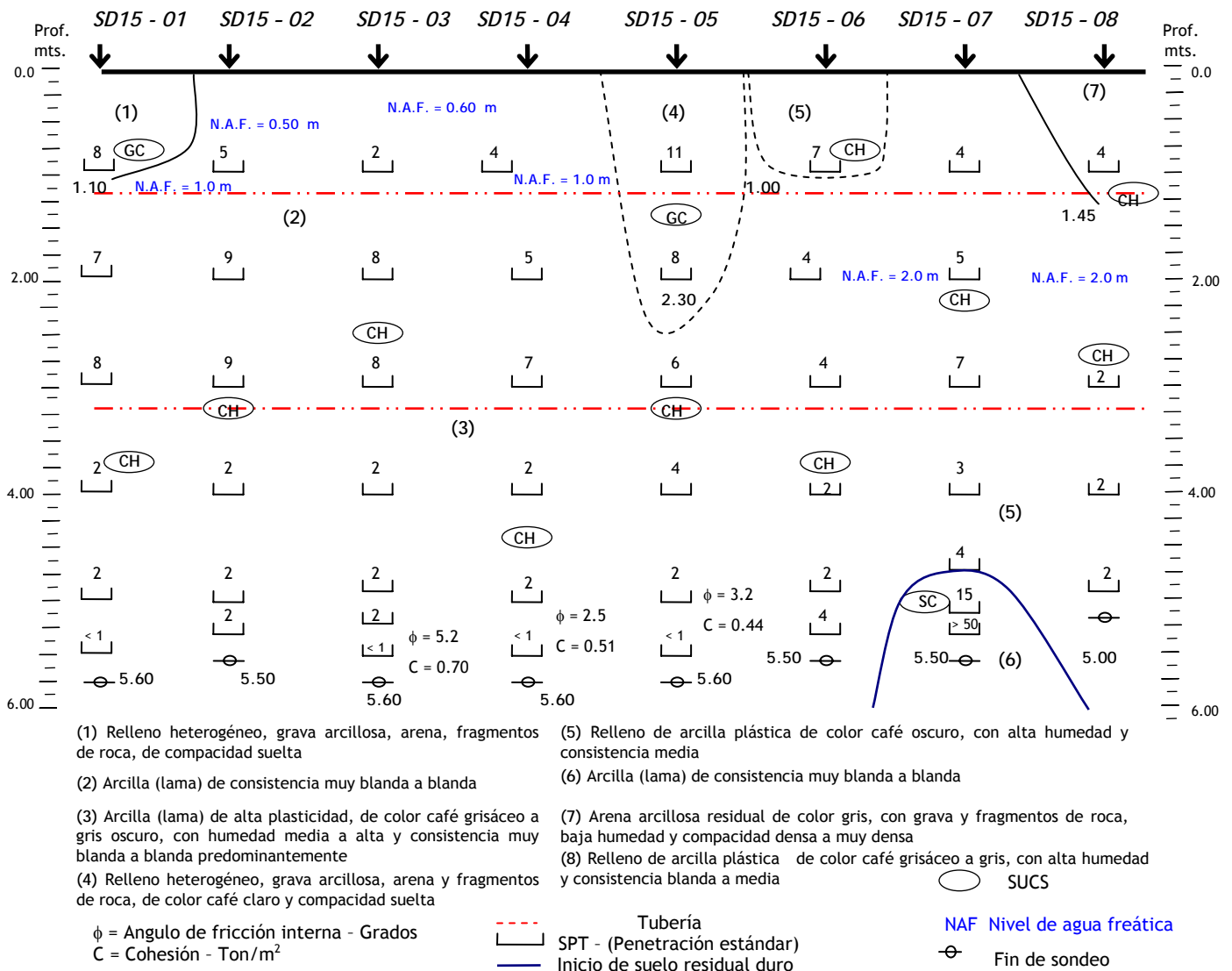


Figura 1.36 - Perfil Estratigráfico - Línea de Impulsión Jardín Olímpico
- Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de
Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

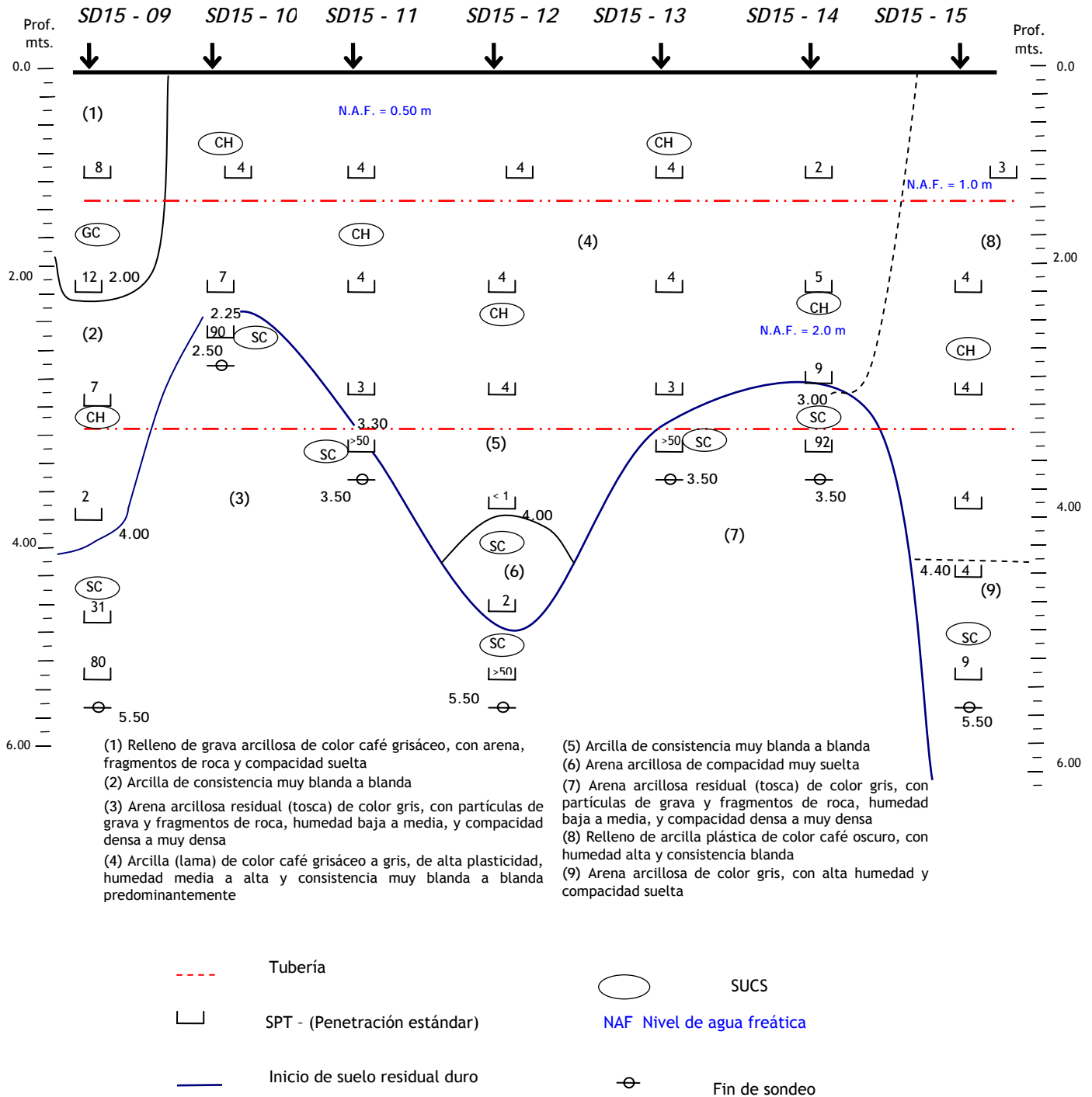


Figura 1.37 - Perfil Estratigráfico - Línea de Impulsión Jardín Olímpico
- Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de
Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

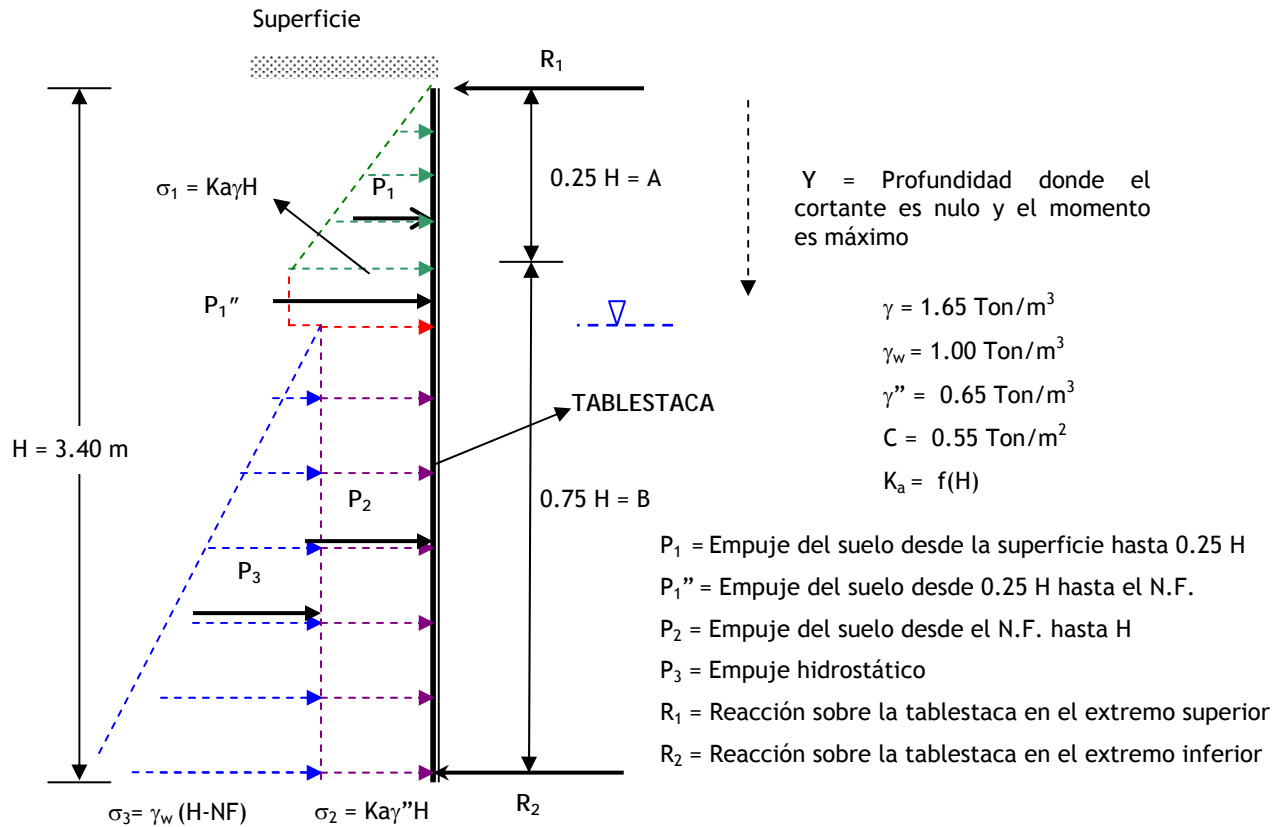


Figura 1.38 - Diagramas de Presiones, Empujes y Reacciones - L.I.
Jardín Olímpico

Los momentos máximos, sin factor de seguridad, para escoger la sección de la tablestaca, de acuerdo con la longitud, se indican en el tabla 1.12. De igual manera, se dan los valores de las reacciones R_1 y R_2 para escoger los puntales y largueros. Nótese que tanto los valores de los momentos, como los de las reacciones, están expresados en toneladas por metro de longitud de excavación. (Ver también memoria de cálculos).

Tabla 1.12 - Momentos Máximos y Reacciones para Tablestacas -
Profundidad de Excavación = 3.45 m

MOMENTO MÁXIMO (Ton-m/m)	R_1 (Ton/m)	R_2 (Ton/m)
4.4	4.7	5.5

A continuación se dan las recomendaciones para realizar las excavaciones en esta línea de impulsión:

- MÉTODO 1: Tramos del SD15-01 hasta 100 m después del SD15-09; 100 m después del SD15-11 hasta 100 m después del SD15-12 y 100 m después del SD15-14 hasta terminar la línea

En estos tramos se encontrará hasta el fondo de la excavación, la arcilla plástica de consistencia muy blanda a blanda; para evitar falla de fondo, las tablestacas deben penetrar al menos 1.60 m por debajo de la base de la zanja. No se considera conveniente profundizarlas más, debido a que al retirarlas una vez colocada la tubería, aflojan el material de cimentación. El apuntalamiento de la tablestaca debe realizarse como se indica a continuación en la figura 1.39.

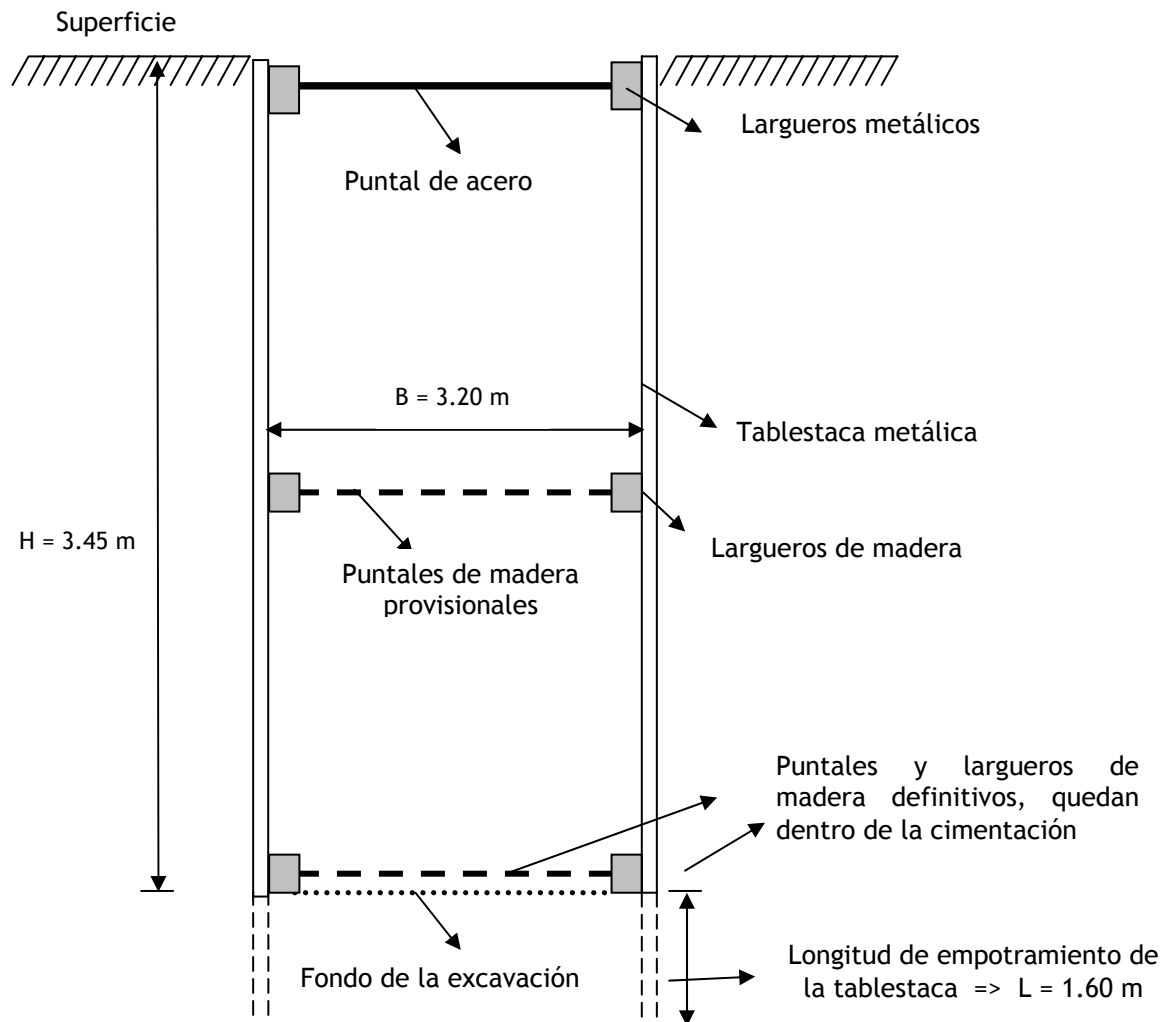


Figura 1.39 - Esquema de Tablestacas y Apuntalamientos - L.I. Jardín Olímpico Tramos del Método 1

Deben hacerse recintos del orden de 7.0 m, como se indica en la figura 1.40. Se hincan inicialmente las tablestacas y se colocan los largueros y los apuntalamientos metálicos superiores. A medida que se profundice la excavación, se colocan puntales de madera intermedios provisionales para evitar deflexiones en la tablestaca. Terminada la excavación, hay necesidad de colocar puntales de madera definitivos en la parte inferior y retirar los intermedios (ver figura 1.39). Se dice que los puntales del fondo son definitivos porque quedarán permanentes dentro del lecho de la tubería.

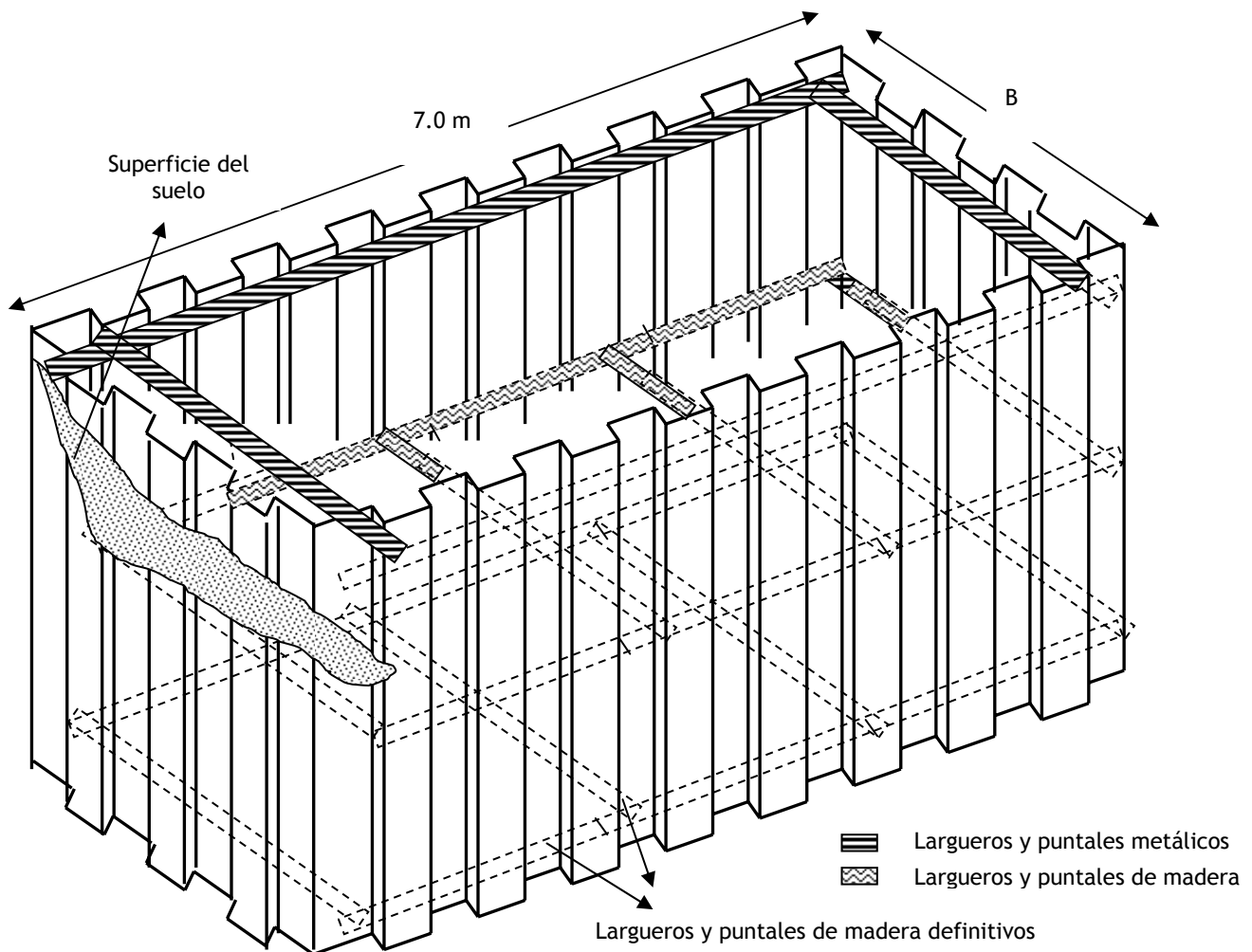


Figura 1.40 - Detalle de los Recintos Tablestacados y sus Apuntalamientos Línea de Impulsión Jardín Olímpico - Tramos del Método 1

Los máximos caudales de infiltración que se esperan en estos tramos, serán de aproximadamente 0.97 L/min por cada metro de longitud de excavación.

- MÉTODO 2: Tramos 100 m después del SD15-09 hasta 100 m después del SD15-11 y 100 m después del SD15-12 hasta 100 m después del SD15-14

En estos tramos, la tosca se encontrará antes del fondo de las excavaciones, por lo tanto las tablestacas penetrarán solo hasta la profundidad donde encuentren rechazo en este suelo, tal como puede verse en las figuras 1.36 y 1.37. En consecuencia, parte de la excavación será en este material duro.

Debido a las características del suelo de fundación en ésta zona, no se espera que se presenten fenómenos de tubificación del suelo o flujo considerable de agua. Las tablestacas deben apuntalarse como se ilustra en la figura 1.41.

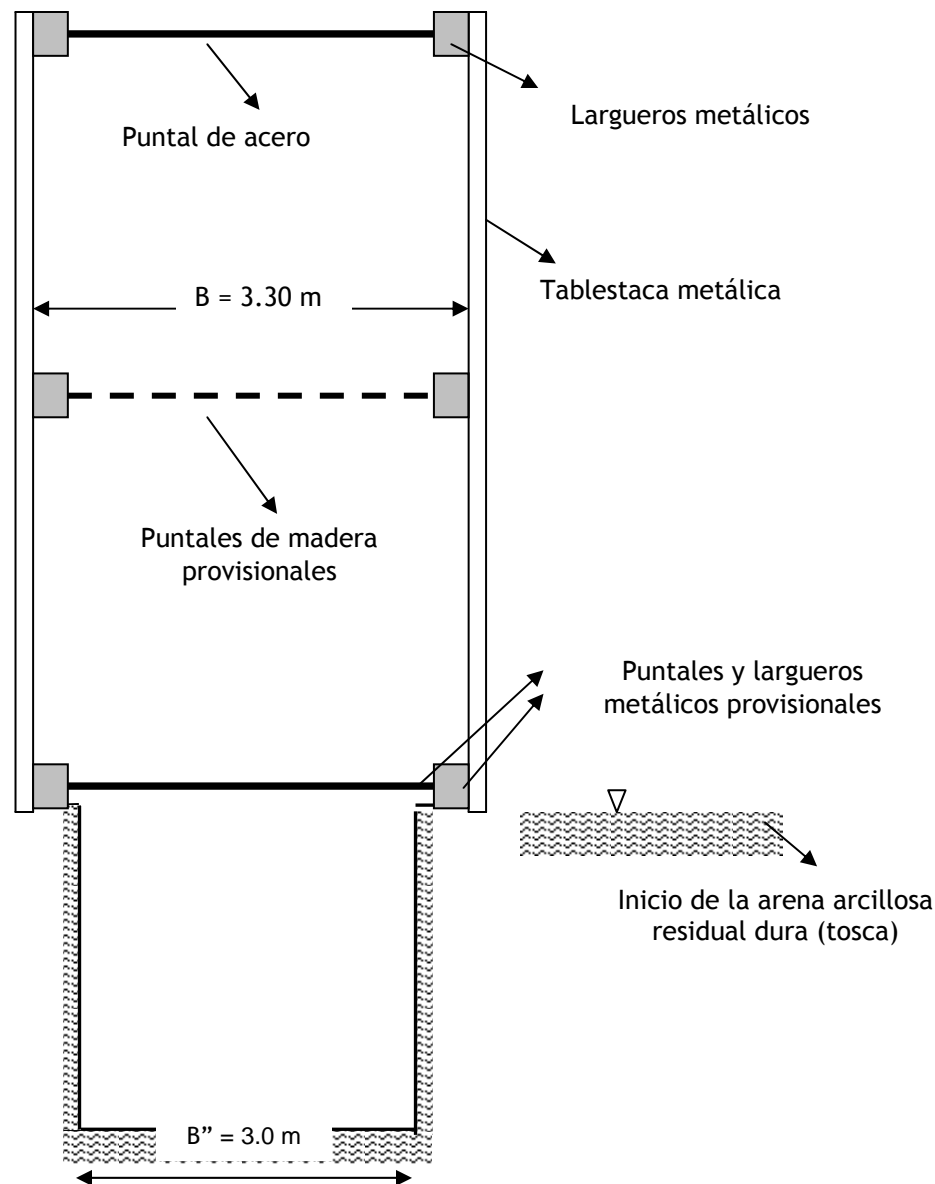


Figura 1.41 - Esquema de Tablestacas y Apuntalamientos - L.I. Jardín Olímpico - Tramos del Método 2

Para facilitar la excavación en la Tosca y especialmente para permitir la entrada del tubo, el recinto tablestacado en la parte superior e inferior debe apuntalarse solo en los extremos. Tanto los largueros como los puntales superiores e inferiores deben ser metálicos y hay que retirarlos a medida que se va llenando la excavación. (Ver figura 1.42).

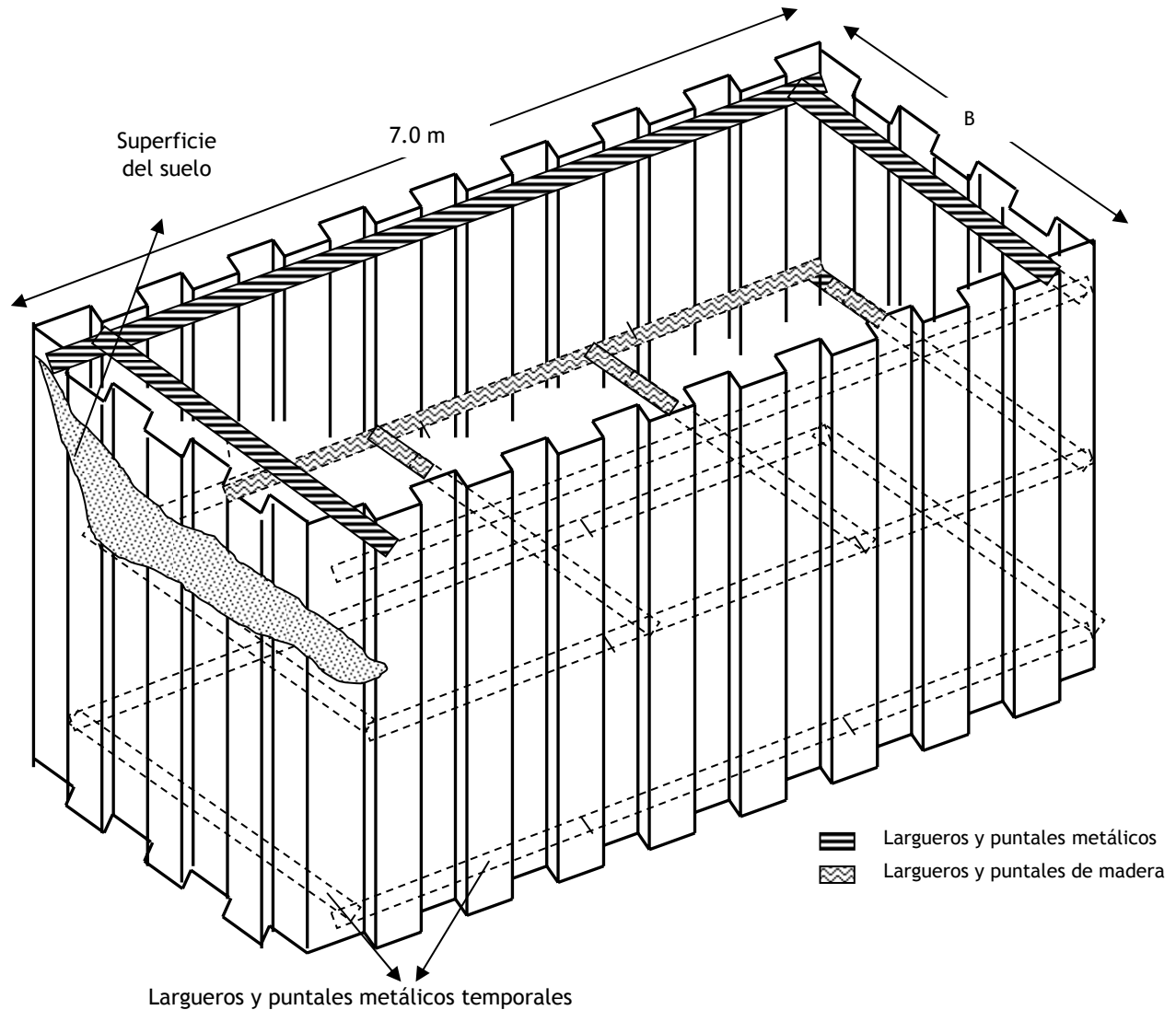


Figura 1.42 - Detalle de los Recintos Tablestacados y sus Apuntalamientos Línea de Impulsión Jardín Olímpico - Tramos del Método 2

1.9.4 Análisis y Recomendaciones - Cimentación de la Tubería

La tubería tendrá un diámetro nominal de 2000 mm, y como la clave debe estar enterrada 1.20 mínimo, las profundidades de cimentación, como ya se mencionó, serán del orden de 3.45 m. El suelo que servirá de apoyo será la lama sedimentaria de consistencia muy blanda a blanda, y en una menor longitud la tosca. De acuerdo con las recomendaciones del fabricante de la tubería de plástico reforzado con fibra de vidrio, puede usarse una de rigidez SN 2500 y clase PN-6 (diseñada para una presión de trabajo de 6 Bares).

A continuación se indican las características generales del lecho y material de relleno y se dan algunos detalles y recomendaciones adicionales para la instalación:

1. La clave de la tubería debe quedar enterrada mínimo 1.20 m.
2. Previo a la colocación de la tubería, donde el suelo lo permita, debe compactarse el fondo de la excavación mediante un saltarín u otro equipo liviano, con el fin de minimizar asentamientos del sistema.
3. En los tramos donde en el fondo se encuentre la lama, se procede enseguida a colocar un geotextil, para después compactar sobre éste, con una energía mayor o igual al 95% del Próctor Estándar, un lecho de 30 cm de espesor. El geotextil será permeable, con una resistencia a la tensión por el método Grab, de mínimo 2300 N. El material del lecho debe ser una grava con arena o una arena con un contenido de finos inferior al 12% y tamaño máximo 1 ½". (Ver figura 1.43).
4. En los tramos donde en el fondo se encuentre la tosca o un suelo duro, no hay necesidad de colocar geotextil, el lecho debe tener un espesor de solo 15 cm y podrá ser una grava o una arena limosa o arcillosa con tamaño máximo de 1 ½", con finos hasta del 50% y límite líquido de la fracción pasa 40 hasta de 40%, siempre y cuando se deje compactar en las condiciones de humedad existentes en la zanja; de lo contrario, debe utilizarse un suelo con menos finos y menor plasticidad.
5. El espacio comprendido entre las paredes de la excavación y la tubería, debe rellenarse y compactarse también con una energía mayor o igual al 95% del Próctor Estándar, hasta una altura mínima de 30 cm por encima de la cota clave de la tubería. El relleno, de acuerdo con el fabricante, debe cumplir con las mismas características del material del lecho especificado en el numeral anterior (Ver figura 1.43).
6. Las recomendaciones 3 a 5 y 7 a 11 dadas en el numeral 4.4 del Informe del Colector Avenida Balboa, también son aplicables para esta línea.
7. A continuación en las figuras 1.44 y 1.45 se ilustran los tipos de instalaciones recomendados en esta línea de impulsión.

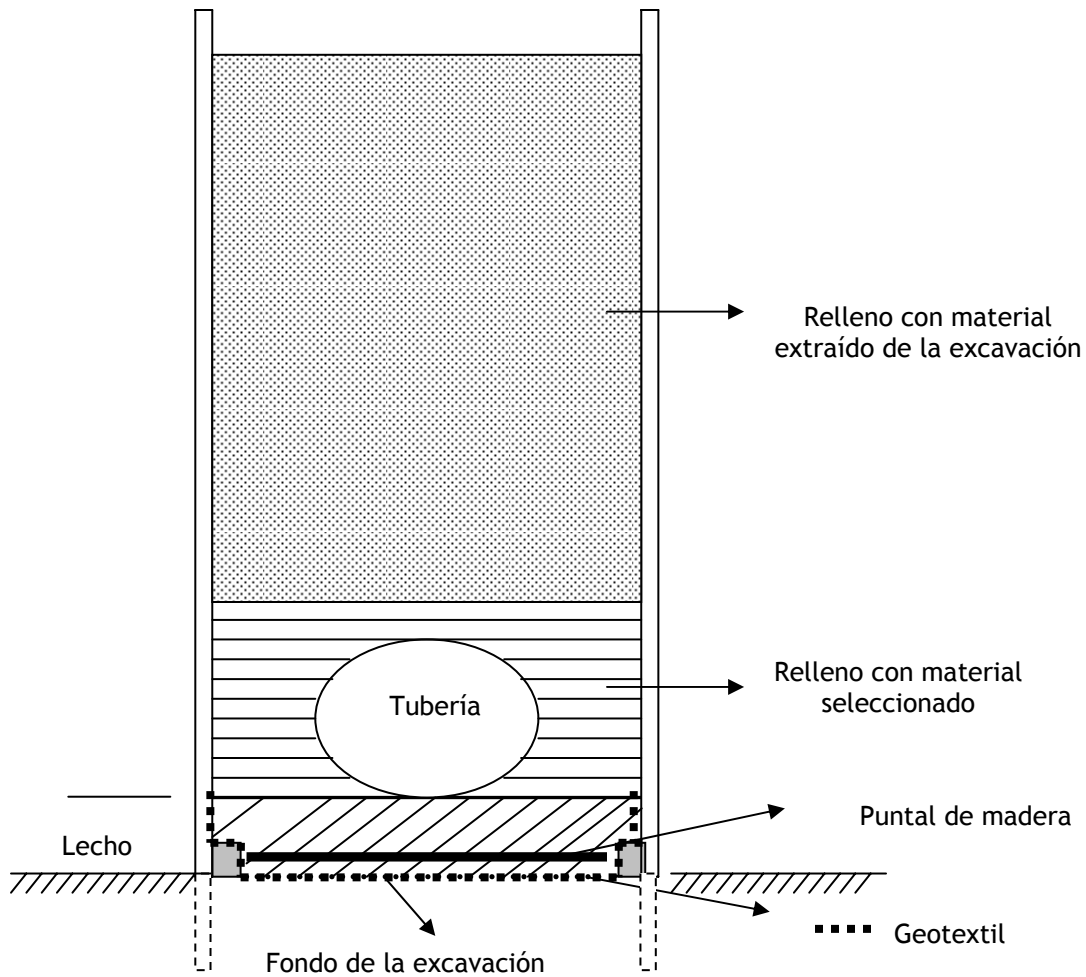


Figura 1.43 - Detalle del Lecho, Relleno Seleccionado, Relleno Adicional y Geotextil - L.I. Jardín Olímpico - Tramos del Método 1

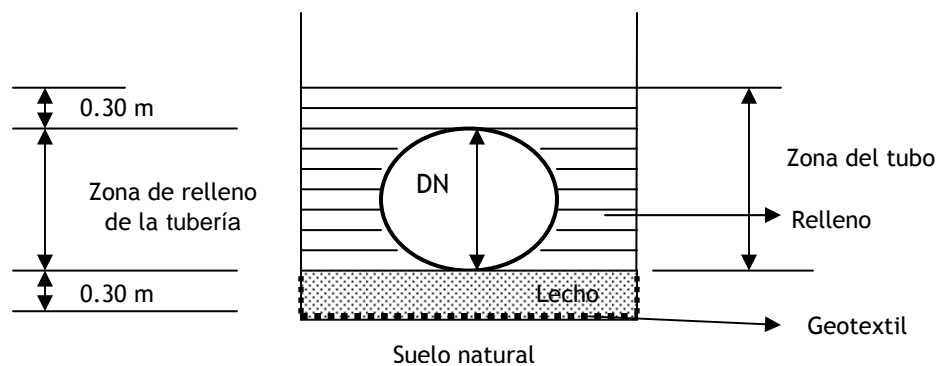


Figura 1.44 - Instalación Recomendada - L.I. Jardín Olímpico Tramos del Método 1

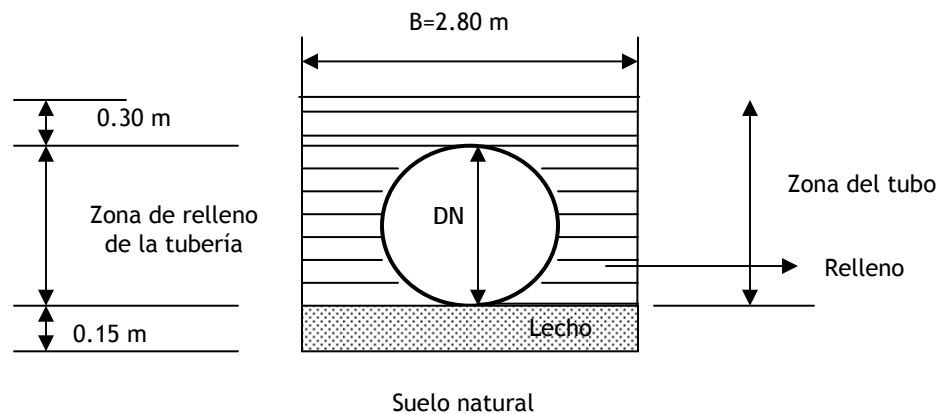


Figura 145 - Instalación Recomendada - L.I. Jardín Olímpico Tramos del Método 2

8. La extracción de la tablestaca debe hacerse por partes mientras se colocan y compactan el lecho y el relleno, para evitar que se aflojen. En caso de notar que esto suceda, es conveniente repasar la compactación. Al comenzar el relleno adicional, después de terminado el de la zona del tubo, la tablestaca puede sacarse como mas convenga.
9. Teniendo en cuenta las características de los materiales extraídos a lo largo de esta línea de impulsión, se considera que no pueden utilizarse como relleno de material seleccionado. Estos suelos solo podrán colocarse a partir de 30 cm por encima de la cota clave de la tubería.
10. Si decide usarse tubería rígida, de acuerdo con la teoría de Spangler, como ya se ha mencionado, la carga total por unidad de longitud de tubería enterrada viene dada por la expresión:

$$W = C_w \cdot \gamma \cdot B^2 \quad (\text{ton/m}) \text{ donde}$$

$$C_w = f(B, H, \phi)$$

γ = Peso unitario del suelo por encima de la clave del tubo

B = Ancho de la excavación

H = Profundidad de la excavación hasta la clave del tubo

ϕ = Ángulo de fricción del suelo natural

Para esta línea, al calcular C_w deben utilizarse los siguientes parámetros:

$$\gamma = 1.65 \text{ Ton/m}^3$$

$$\phi = 9^\circ \text{ (Según Spangler)}$$

Sin embargo, para el diseño de la cimentación, debe tenerse en cuenta que en el fondo de las excavaciones se pueden encontrar dos tipos de materiales diferentes, las arcillas muy blandas y compresibles o suelo muy duro y rígido.

11. Al igual que en la línea Parque Lefevre, en esta línea, las fuerzas que se esperan en los anclajes son muy grandes y los suelos de resistencia muy baja y compresibles. Por lo tanto, el diseño de los anclajes es también complejo y debe estudiarse con cuidado.

Se considera que uno de los tipos de anclaje más apropiado, es por medio de pilares de cimentación o pilotes de diámetro grande (del orden de 0.80 m - 1.0 m de diámetro), llevados y empotrados en la roca, diseñados de tal manera que suministren la resistencia lateral necesaria.

1.10 Línea de Impulsión Don Bosco

Esta línea de impulsión tiene su origen en la estación de bombeo Tocumen y termina después de 3.370 m aproximadamente, a 500 m de la estación de bombeo Ciudad Radial. Trabaja a una presión del orden de 32 Ton/m² (3.2 Bares) y podrá experimentar, debido al Golpe de Ariete, presiones negativas hasta de 5 Ton/m² (0.5 Bares). En esta conducción se utilizará tubería de diámetro 1200 mm y la profundidad de cimentación será de 2.65 m aproximadamente.

1.10.1 Trabajos de Campo y de Laboratorio

Se realizaron 17 sondeos a lo largo de esta línea de impulsión, con una separación aproximada de 200 m entre uno y otro. Los sondeos fueron llevados hasta profundidades comprendidas entre 2.0 m y 5.0 m, y se realizaron por el método de percusión.

En la tabla 1.13 se indican los sondeos realizados y la profundidad de cada uno de ellos, y en la figura 1.46 se ilustra su localización.

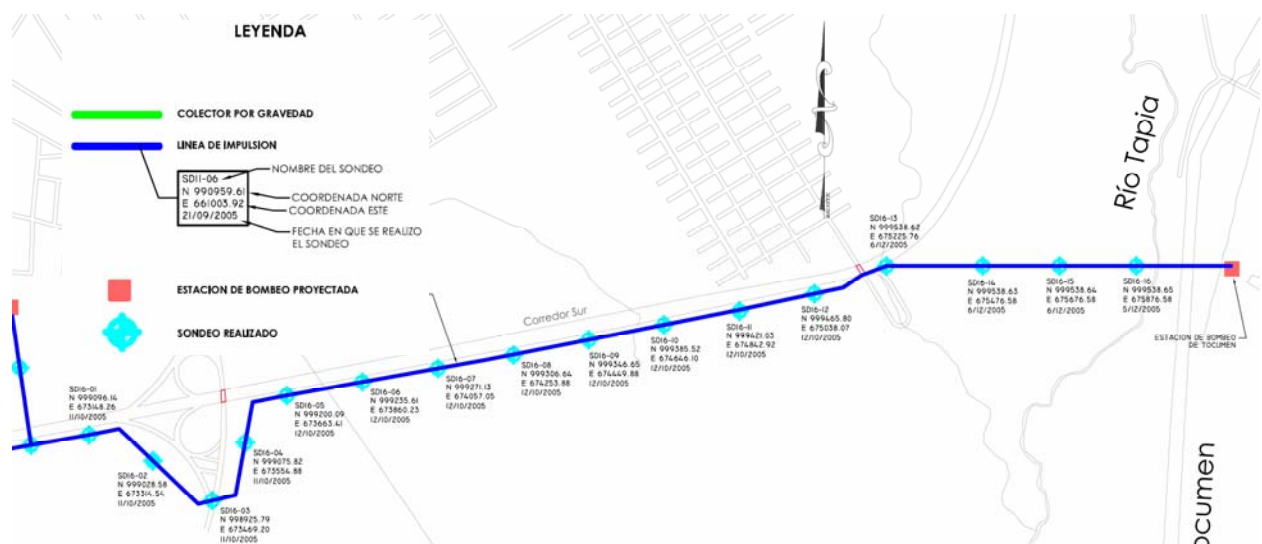


Figura 1.46 - Localización de Sondeos - Línea de Impulsión Don Bosco

Tabla 1.13 - Profundidad y Cantidad de Sondeos Realizados Línea de Impulsión Don Bosco

Sondeo	Prof. - m -	Sondeo	Prof. - m -
SD16-01	5.00	SD16-09	5.00
SD16-02	5.00	SD16-10	5.00
SD16-03	5.00	SD16-11	5.00
SD16-04	5.00	SD16-12	5.00
SD16-05	5.00	SD16-13	5.00
SD16-06	5.00	SD16-14	5.00
SD16-07	5.00	SD16-15	5.00
SD16-08	4.50	SD16-16	5.00
SD16-01A	7.00		

Los sondeos fueron suspendidos a la profundidad de 5.0 m, o hasta encontrar rechazo (mas que 50 golpes en 15 cms de SPT).

1.10.2 Estratigrafía

A lo largo de esta línea se encontró principalmente arcilla sedimentaria (lama) de alta plasticidad, con alto contenido de arenas y de consistencia muy blanda a blanda; en algunos sondeos, debajo de esta arcilla, se encontró arena limosa también sedimentaria, de compacidad muy suelta. Se detectaron también algunos rellenos antrópicos de limo y arena limosa de baja compacidad y tosca resistente debajo de estos estratos.

La estratigrafía se ilustra en las figuras 1.47, y 1.48; y se describe a partir de la superficie de la siguiente manera:

- Relleno de limo y arena limosa no plástica, de color café grisáceo a gris, con fragmentos de roca y bolos, humedad variable y compacidad muy suelta a media. Se registró hasta 4.0 m en el SD16-01 y hasta profundidades entre 2.0 m y 2.50 m del SD16-04 al SD16-07. Tiene en promedio 18% de finos y Penetración Estándar entre 4 y 26, con promedio de 12.
- Arcilla plástica de color café grisáceo a gris (lama), con alto contenido de arenas, humedad media a alta y consistencia muy blanda a blanda predominantemente. Se encontró en todos los sondeos, excepto en el SD16-01. Del SD16-03 al SD16-07, debajo del relleno hasta la profundidad explorada; del SD16-08 al SD16-16, desde la superficie hasta profundidades entre 2.0 m y 4.55 m y en toda la perforación en el SD16-02. Tiene 70% de finos, L.L.=58%, I.P.= 40% y Penetración Estándar variable entre < 1 y 18, con promedio de 4.
- Arena arcillosa y arena limosa sedimentaria de color café grisáceo, con humedad y plasticidad media y compacidad muy suelta, detectado a partir de

4.0 m hasta el fin de la perforación en el SD16-01 y debajo de la lama del SD16- 11 al SD16-16. Tiene 37% de finos, L.L.= 38% e I.P.=23%.

- Arcilla arenosa y arena arcillosa residual de color gris, con bajo contenido de humedad, consistencia dura o compacidad media a muy alta. Se detectó debajo de los estratos anteriores hasta la profundidad explorada, del SD16-08 al SD16-10 y en el SD16-15. En el SD16-01A se encontró entre 4.80 m y 6.0 m. Tiene 30% de finos, L.L.= 45% e I.P.= 27%.
- En el SD16-01A se detectó lutita, roca sana de dureza media y color gris oscuro. Tiene una resistencia a la compresión confinada de 189 Kg/cm².
- El nivel de aguas freáticas se registró entre 1.0 m y 2.0 m solo en los SD16-02, SD16-03, SD16-05 y SD16-12.

1.10.3 Análisis y Recomendaciones - Excavaciones

Según el diseño hidráulico de esta línea, la profundidad de excavación será del orden de 2.65 m y deberá realizarse básicamente a lo largo de la arcilla de consistencia muy blanda a blanda. En una menor longitud, se excavará también en los rellenos antrópicos de compacidad suelta a media.

- Se considera que el sistema mas apropiado para realizar las excavaciones es utilizando tablestaca metálica hincada, a todo lo largo de la línea, con apoyo en la parte superior y en el extremo inferior como se indica en la figura 1.49. El ancho de la excavación requerido es de 2.10 m y se espera un volumen aproximado de excavación en suelo de 18754 m³. Las tablestacas deben penetrar al menos 0.50 m por debajo del fondo de ésta, con el fin de mejorar el factor de seguridad contra falla de fondo. No se considera conveniente profundizarlas más, debido a que al retirarlas una vez colocada la tubería, aflojan el material de cimentación.

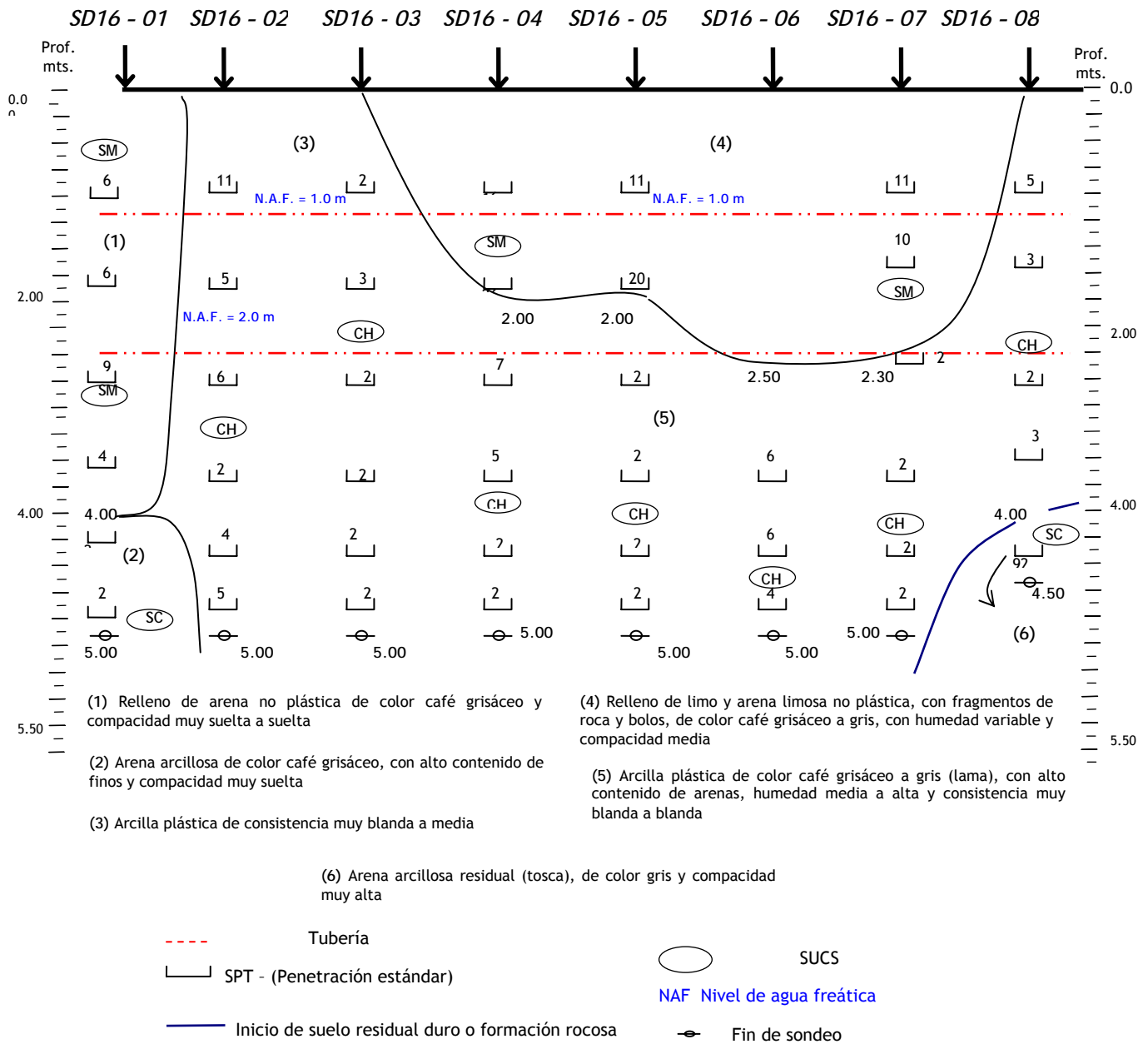


Figura 1.47 - Perfil Estratigráfico - Línea de Impulsión Don Bosco -
Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de
Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

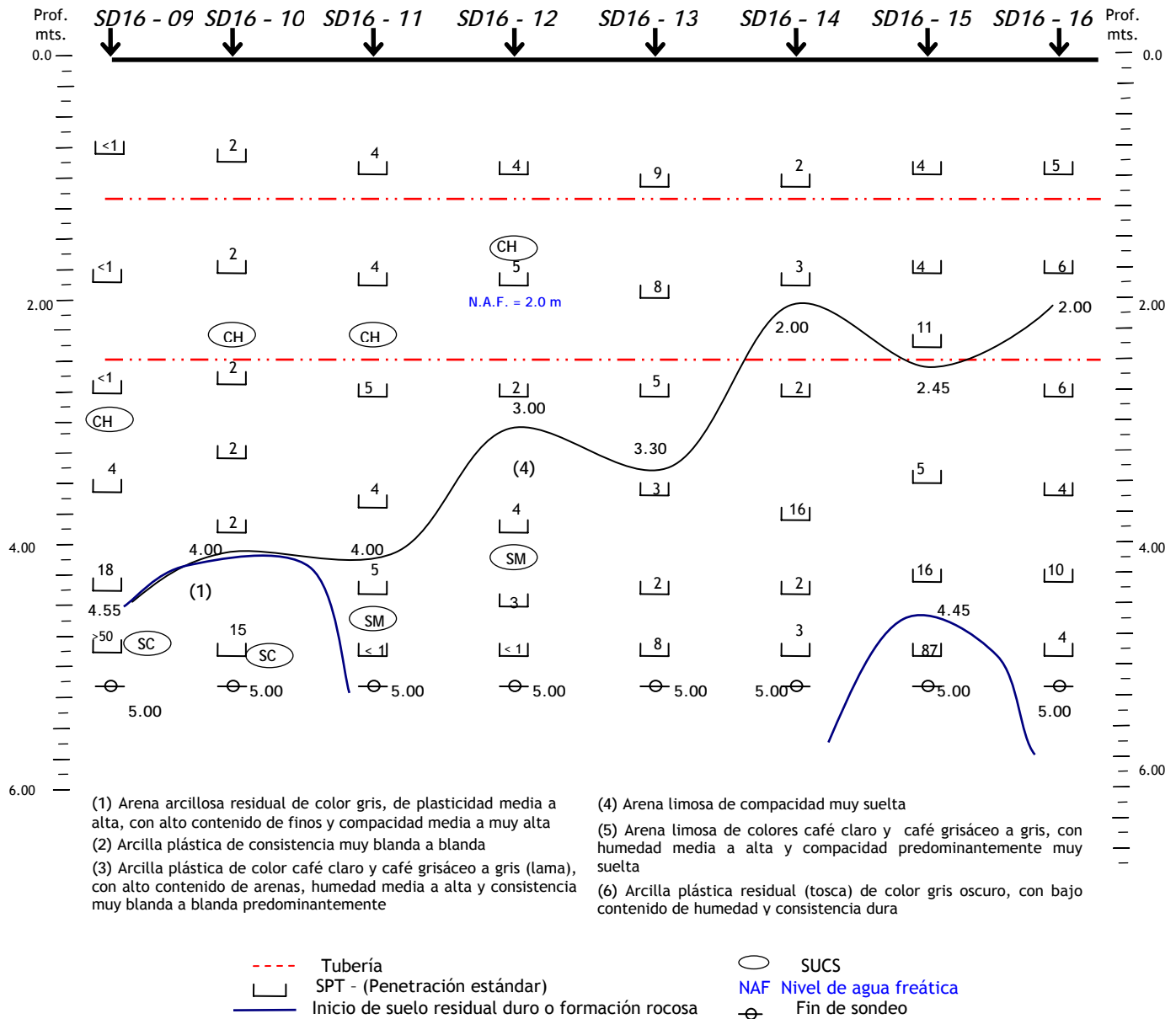


Figura 1.48 - Perfil estratigráfico - Línea de Impulsión Don Bosco -
Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de
Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

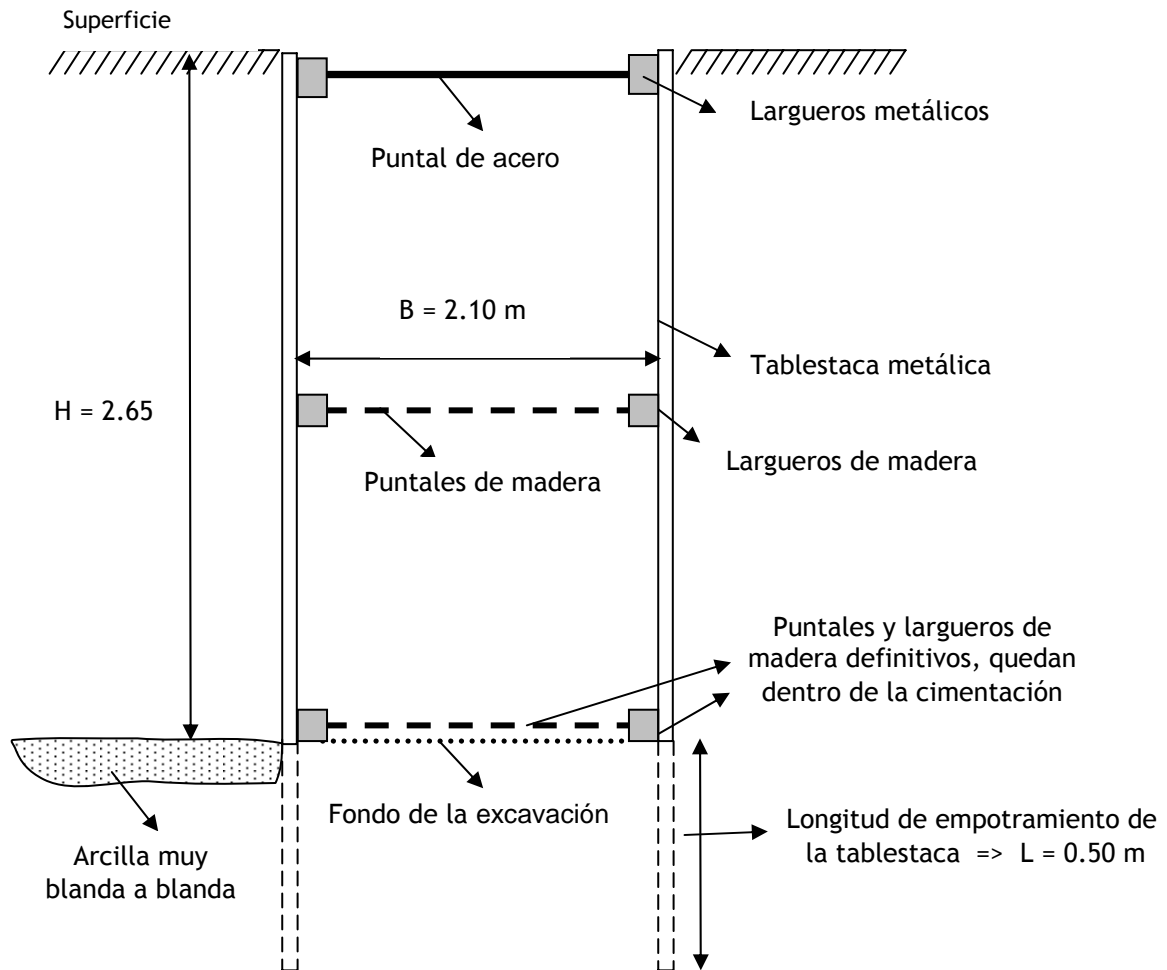


Figura 1.49 - Apuntalamiento de Tablestacas - Línea de Impulsión Don Bosco

Deben hacerse recintos del orden de 7.0 m, como se indica en la figura 1.50. Para realizar las excavaciones en estos recintos, se hincan las tablestacas y se colocan los largueros y los apuntalamientos metálicos superiores. A medida que se profundice, deben colocarse puntales de madera provisionales para evitar deflexiones en la tablestaca. Terminada la excavación, hay necesidad de colocar puntales de madera definitivos en la parte inferior y retirar los intermedios (ver figura 1.49). Se dice que los puntales del fondo son definitivos porque quedarán permanentes dentro del lecho de la tubería.

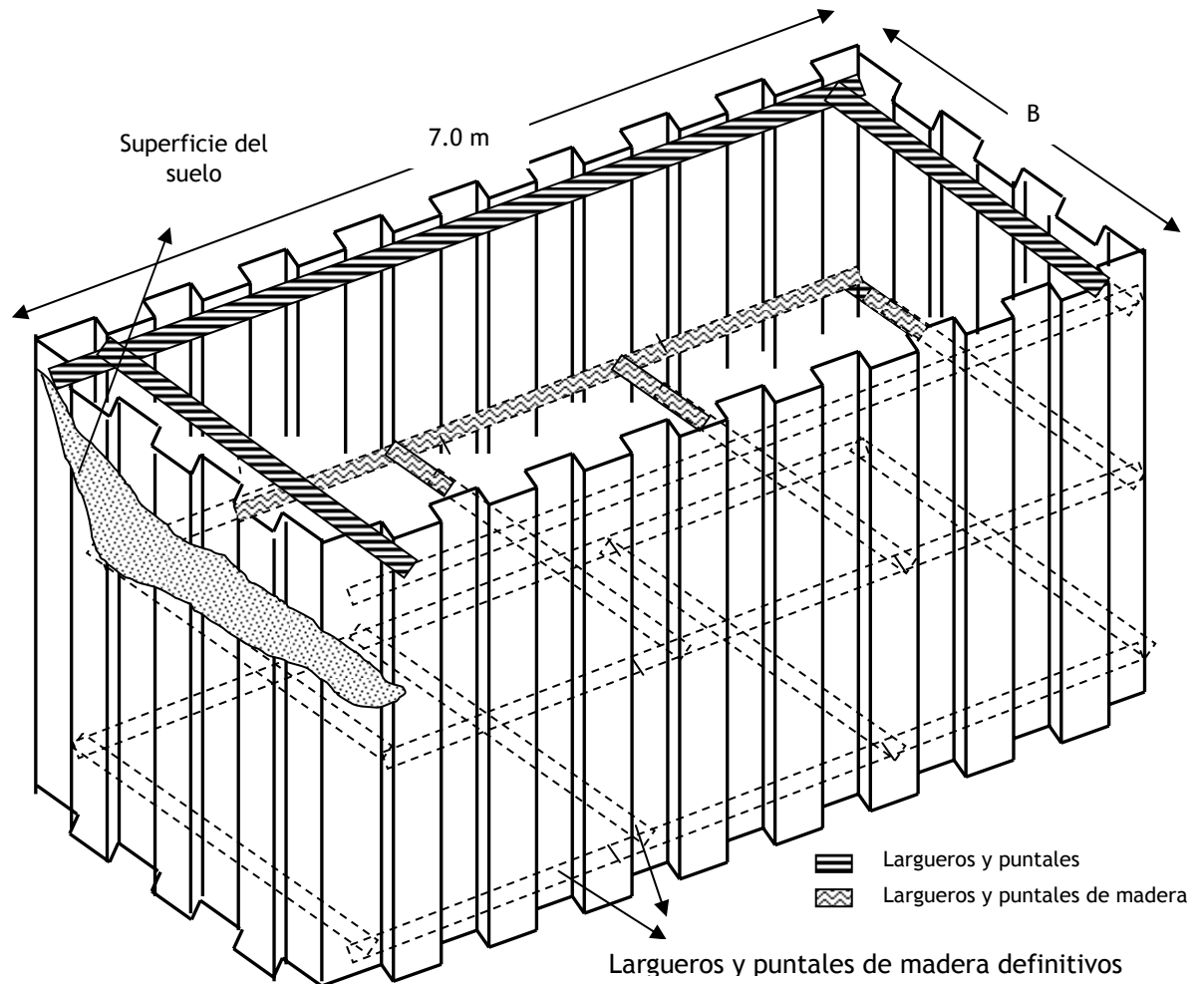


Figura 1.50 - Detalle de los Recintos Tablestacados y Apuntalamientos
Línea de Impulsión Don Bosco

En la figura 1.51 se ilustra la forma del diagrama de presiones y los empujes que actúan sobre la tablestaca. El diagrama de presiones se consideró de acuerdo con el criterio de Terzagui y Peck para suelos arcillosos. Los valores de los empujes, reacciones, momentos y otras magnitudes que se citarán en las páginas siguientes, tienen respaldo en la memoria de cálculos que se anexa al final de éste informe.

Los momentos máximos, sin factor de seguridad, para escoger la sección de la tablestaca, de acuerdo con la longitud, se indican en el 1.14. De igual manera, se dan los valores de las reacciones R_1 y R_2 para escoger los puntales y langueros. Nótese que tanto los valores de los momentos, como los de las reacciones, están expresados en toneladas por metro de longitud de excavación. (Ver también memoria de cálculos).

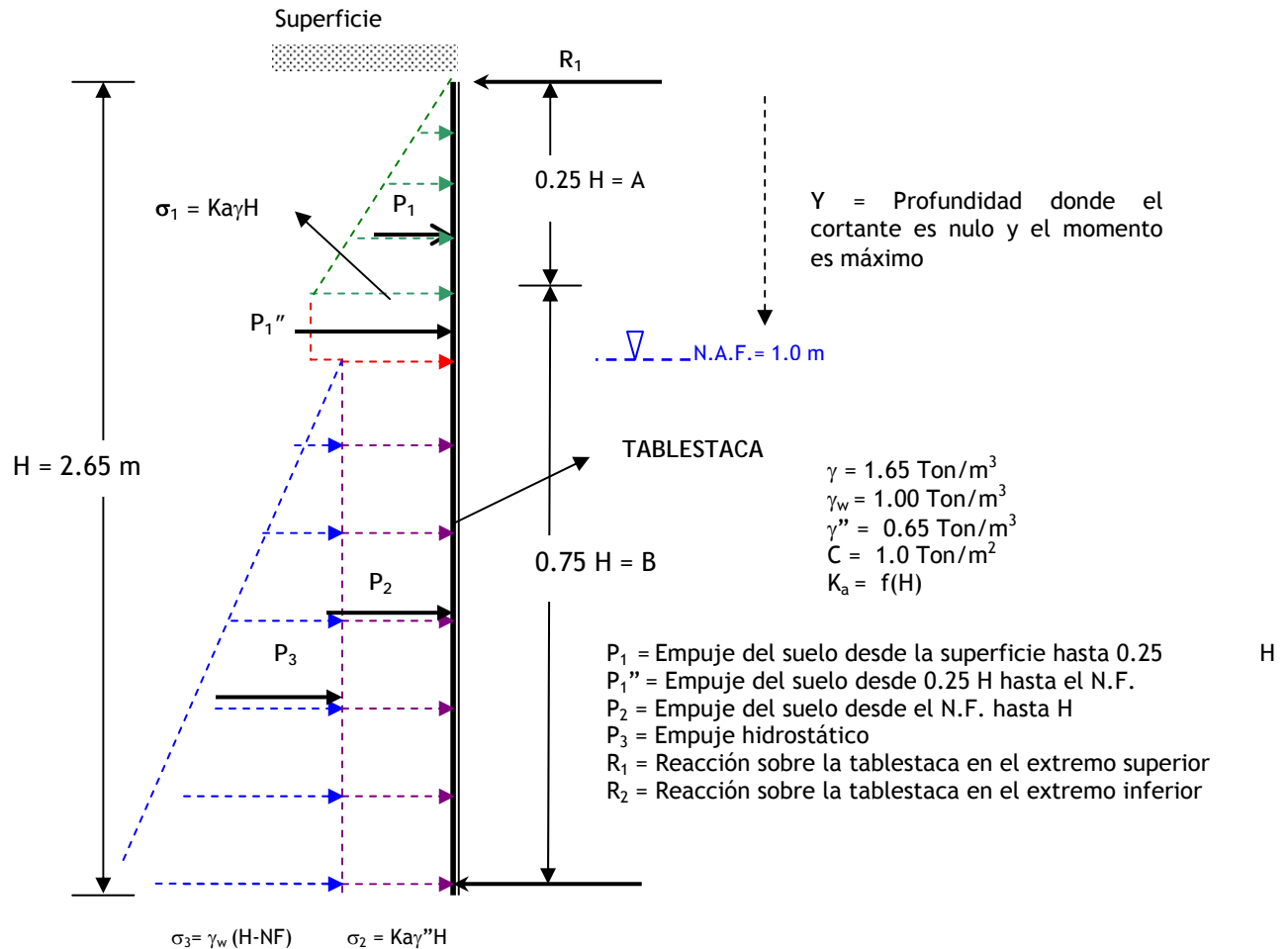


Figura 1.51 - Diagramas de Presiones, Empujes y Reacciones - L.I. Don Bosco

Tabla 1.14 - Momentos Máximos y Reacciones para Tablestacas - Profundidad de Excavación = 2.65 m

MOMENTO MÁXIMO (Ton-m/m)	R1 (Ton/m)	R2 (Ton/m)
1.50	2.00	2.50

Los máximos caudales de infiltración que se esperan en estas excavaciones, son del orden de 0.76 L/min por cada metro de longitud de excavación.

1.10.4 Análisis y Recomendaciones - Cimentación de la Tubería

La tubería tendrá un diámetro nominal de 1200 mm, y como la clave debe estar enterrada 1.20 mínimo, las profundidades de cimentación, como ya se mencionó, serán del orden de 2.65 m. El suelo que servirá de apoyo será la lama sedimentaria de consistencia muy blanda a blanda, y en una menor longitud, los rellenos de compacidad muy suelta. De acuerdo con las recomendaciones del fabricante de la tubería de plástico reforzado con fibra de vidrio, puede usarse una de rigidez SN 2500 y clase PN-6 (diseñada para una presión de trabajo de 6 Bares).

A continuación se indican las características generales del lecho y material de relleno y se dan algunos detalles y recomendaciones adicionales para la instalación:

1. La clave de la tubería debe quedar enterrada mínimo 1.20 m.
2. Previo a la colocación de la tubería, donde el suelo lo permita, debe compactarse el fondo de la excavación mediante un saltarín u otro equipo liviano, con el fin de minimizar asentamientos del sistema.
3. En el fondo de la excavación, se procede luego a colocar un geotextil, para después compactar sobre éste, con una energía mayor o igual al 95% del Próctor Estándar, un lecho de 30 cm de espesor. El geotextil será permeable, con una resistencia a la tensión por el método Grab, de mínimo 2300 N. El material del lecho debe ser una grava con arena o una arena gruesa con un contenido de finos inferior al 12% y tamaño máximo 1 ¼". (Ver figura 1.52).
4. El espacio comprendido entre las paredes de la excavación y la tubería, debe rellenarse y compactarse con una energía mayor o igual al 95% del Próctor Estándar, hasta una altura mínima de 30 cm por encima de la cota clave de la tubería. El relleno, de acuerdo con el fabricante, debe cumplir con las mismas características del material del lecho especificado en el numeral anterior (Ver figura 1.52).
5. Las recomendaciones 3 a 5 y 7 a 11 dadas en el numeral 4.4 del Informe del Colector Avenida Balboa, también son aplicables para esta línea.
6. A continuación en la figura 1.53 se ilustra el tipo de instalación recomendado en esta línea de impulsión.
7. La extracción de la tablestaca debe hacerse por partes mientras se colocan y compactan el lecho y el relleno, para evitar que se aflojen. En caso de notar que esto suceda, es conveniente repasar la compactación. Al comenzar el relleno adicional, después de terminado el de la zona del tubo, la tablestaca puede sacarse como mas convenga.
8. Los rellenos de arena limosa no plástica encontrados en el SD16-01 y del SD16-04 al SD16-07, pueden ser utilizados como lecho y relleno de material seleccionado, mezclándolos con arena gruesa o grava.

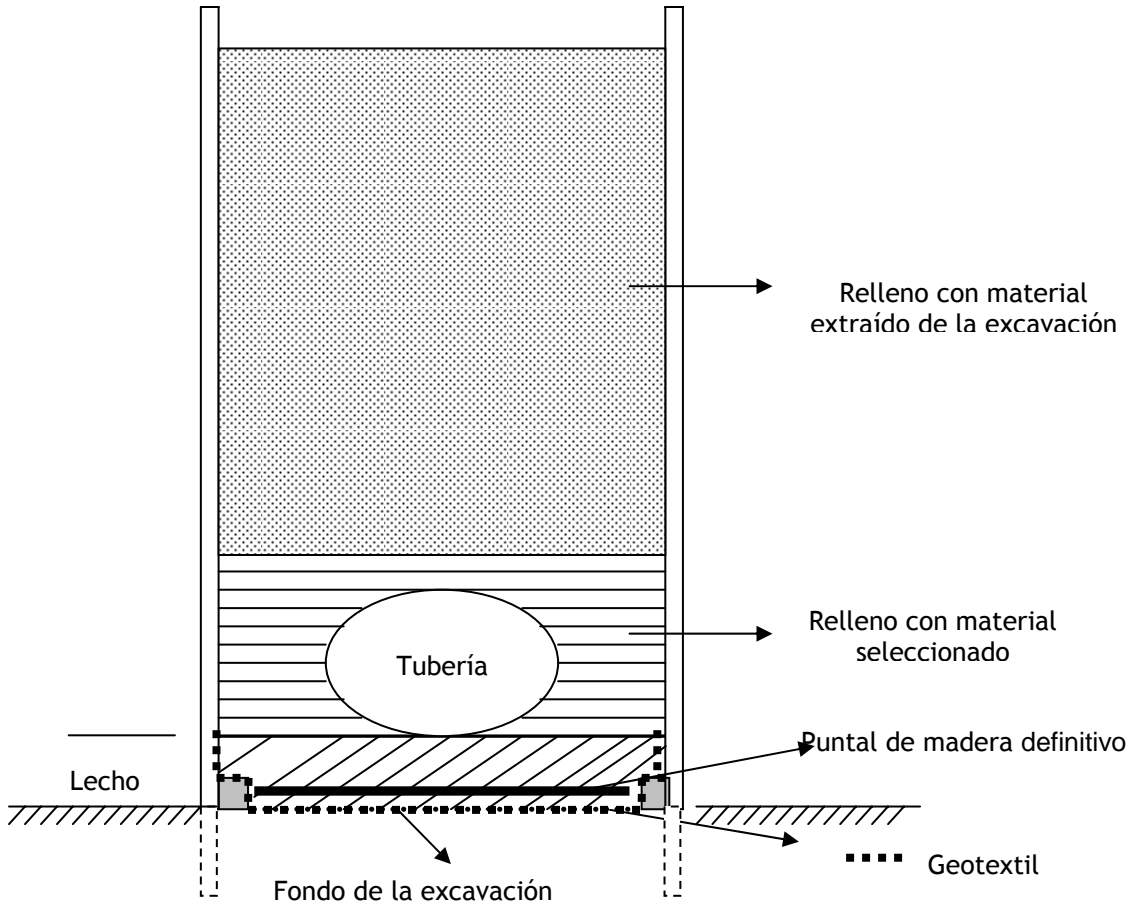


Figura 1.52 - Detalle del Lecho, Relleno Seleccionado, Relleno Adicional y Geotextil - Línea de Impulsión Don Bosco

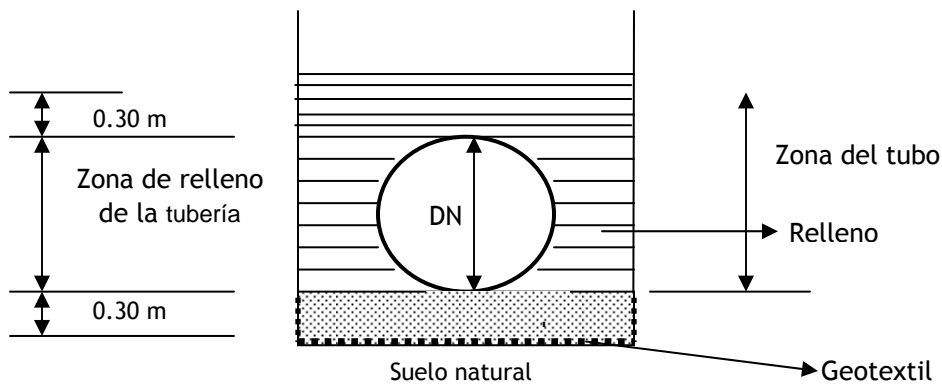


Figura 1.52 - Instalación recomendada - L-i- Don Bosco

9. Para este tramo, si decide usarse tubería rígida, de acuerdo con la teoría de Spangler, para calcular C_w , usar los siguientes parámetros:

$$\gamma = 1.65 \text{ Ton/m}^3$$

$$\phi = 9^\circ \text{ (Según Spangler)}$$

Para el diseño de la cimentación, debe tenerse en cuenta que en el fondo de las excavaciones se encontrará suelo muy blando.

10. Al igual que en las dos líneas anteriores, en esta línea, las fuerzas que se esperan en los anclajes son muy grandes y los suelos de resistencia muy baja y compresibles. Por lo tanto, el diseño de los anclajes es también complejo y debe estudiarse con cuidado.

Se considera que uno de los tipos de anclaje más apropiado, es por medio de pilares de cimentación o pilotes de diámetro grande (del orden de 0.80 m - 1.0 m de diámetro), llevados y empotrados en la roca, diseñados de tal manera que suministren la resistencia lateral necesaria.

1.11. Línea de Impulsión Ciudad Radial

Esta línea de impulsión tiene su origen a unos 500 m de la estación de bombeo Ciudad Radial y termina después de 2.410 m aproximadamente, en la PTAR Juan Díaz. Trabaja a una presión del orden de 28 Ton/m² (2.8 Bares) y podrá experimentar, debido al Golpe de Ariete, presiones negativas hasta de 5 Ton/m² (0.5 Bares). En esta conducción se utilizará tubería de diámetro 1200 mm y la profundidad de cimentación será de 2.65 m aproximadamente.

1.11.1 Trabajos de Campo y de Laboratorio

Se realizaron 15 sondeos a lo largo de esta línea de impulsión, con una separación aproximada de 200 m entre uno y otro. Los sondeos fueron llevados hasta profundidades comprendidas entre 3.50 m y 5.50 m, y se realizaron por el método de percusión.

En la tabla 1.15 se indican los sondeos realizados y la profundidad de cada uno de ellos, y en la figura 54 se ilustra su localización.

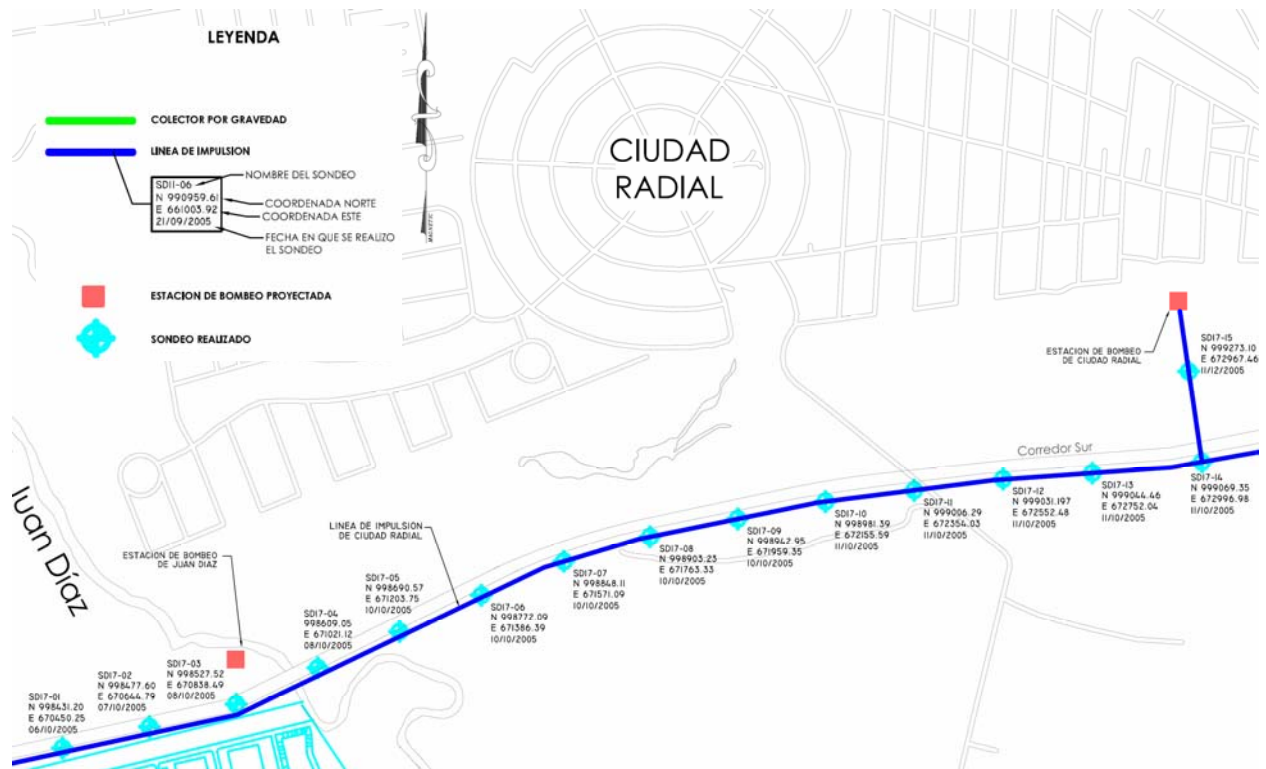


Figura 1.54 - Localización de Sondeos - Línea de Impulsión Ciudad Radial

Tabla 1.15 - Profundidad y Cantidad de Sondeos Realizados Línea de Impulsión Ciudad Radial

Sondeo	Prof. - m -	Sondeo	Prof. - m -
SD17-01	3.50	SD17-09	4.50
SD17-02	5.50	SD17-10	5.00
SD17-03	5.00	SD17-11	5.00
SD17-04	5.00	SD17-12	5.00
SD17-05A	5.00	SD17-13	5.00
SD17-06	4.50	SD17-14	5.00
SD17-07	5.00	SD17-15	5.00
SD17-08	5.00		

Los sondeos fueron suspendidos a la profundidad de 5.0 m, o hasta encontrar rechazo (mas que 50 golpes en 15 cms de SPT).

1.11.2 Estratigrafía

A lo largo de esta línea se encontró arcilla sedimentaria (lama) de plasticidad media a alta y consistencia blanda a media y también una arena limo arcilloso sedimentario de plasticidad variable y compacidad muy suelta a suelta. En menor proporción, se registraron rellenos antrópicos de arcilla o arena y fragmentos de roca, de consistencia blanda o compacidad suelta. Debajo de estos estratos, en la mayoría de los sondeos, existe la arena limo arcillosa residual, conocida localmente como tosca, de plasticidad variable y muy alta compacidad.

La estratigrafía se ilustra en las figuras 1.55 y 1.56; y se describe a partir de la superficie de la siguiente manera:

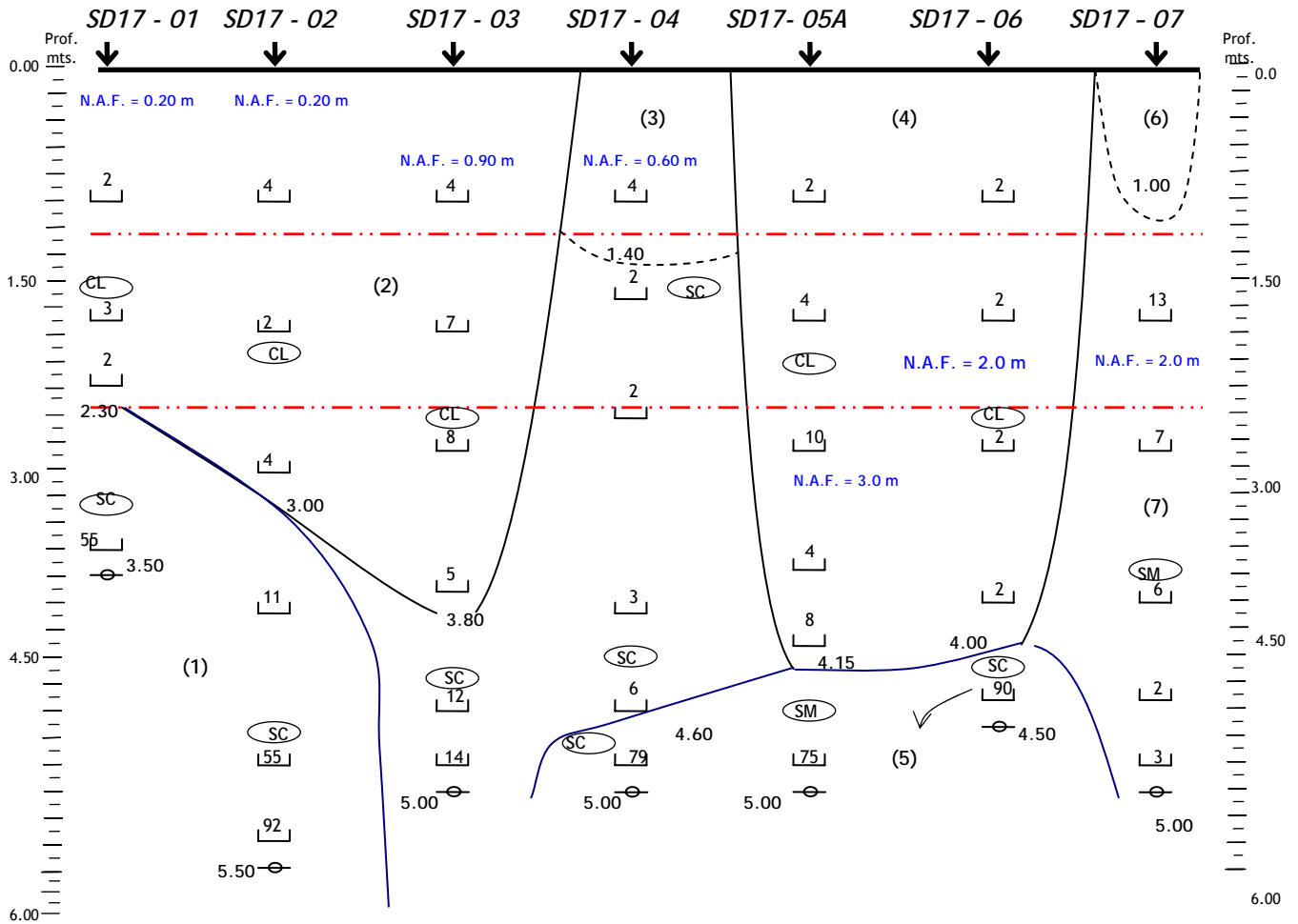
- Relleno de arcilla y arena no plástica con fragmentos de roca, de consistencia blanda o compacidad suelta. Se detectó hasta profundidades entre 1.0 m y 2.0 m en los SD17-04, SD17-07 y SD17-10. En el SD17-10, este material tiene 18% de finos y Penetración Estándar de 4.
- Arcilla arenosa sedimentaria (lama), de color café claro y café grisáceo, con humedad y plasticidad media a alta y consistencia blanda a media; registrado desde la superficie hasta profundidades entre 2.30 m y 4.15 m del SD17-01 al SD17-03 y del SD17-05A al SD17-06. Tiene 85% de finos, L.L.=46%, I.P.= 26% y Penetración Estándar variable entre 2 y 10, con promedio de 4.
- Arena limo arcilloso sedimentario de color café claro, con alto contenido de finos, humedad media a alta y compacidad muy suelta a suelta. Se encontró hasta profundidades superiores a 4.0 m, debajo de los estratos anteriores en los SD17-03, SD17-04, SD17-07 y SD17-10; y a partir de la superficie del SD17-08 al SD17-09 y del SD17-11 hasta el final de la línea. Tiene un contenido de finos entre 15% y 48%, L.L. variable entre 0% y 54% e I.P. desde 0% hasta 33%. Se obtuvieron Penetraciones Estándar entre 2 y 14, con promedio de 6.
- Entre el SD17-10 y el SD17-13 se detectó un lente de limo de color café claro a gris, con alto contenido de arenas, plasticidad y humedad media a alta y consistencia variable entre muy blanda y firme. Se encontró en promedio desde 2.45 m hasta 4.50 m. Tiene 55% de finos, L.L.= 54% e I.P.= 20%. La Penetración fue igual a 2 del SD17-10 al SD17-12 y en promedio de 12 en el SD17-13.
- En el SD17-15 de 2.0 m a 4.45 m, se encontró arcilla plástica de color café claro, humedad media a alta y consistencia blanda. Tiene 88% de finos, L.L.= 74% e I.P.= 50%.
- Arena limo arcillosa residual (tosca), de color café grisáceo a gris oscuro, con alto contenido de finos, humedad media y de muy alta compacidad. Se registró debajo de la lama y de la arena sedimentaria en los SD17-01, SD17-02, del SD17-04 al SD17-06, en los SD17-09, SD17-10, SD17-12 y SD17-13. En el SD17-05A, es no plástica y presenta un 19% de finos. En los demás sondeos, tiene en promedio 34% de finos, L.L.=45% e I.P.= 27%. La Penetración Estándar predominante es superior a 50.

- El nivel de aguas freáticas se registró entre 0.20 m y 3.0 m, con promedio de 1.50 m; en todos los sondeos excepto en los SD17-13 y SD17-14, donde no fue hallado.

1.11.3 Análisis y Recomendaciones - Excavaciones

Según el diseño hidráulico de esta línea, la profundidad de excavación será del orden de 2.65 m y deberá realizarse básicamente a lo largo de la arcilla arenosa de consistencia blanda a media y de la arena limo arcillosa sedimentaria de compacidad muy suelta a suelta. En una menor longitud, se excavará también en los rellenos antrópicos de consistencia blanda o compacidad suelta.

Se considera que el sistema mas apropiado para realizar las excavaciones es utilizando tablestaca metálica hincada, a todo lo largo de la línea, con apoyo en la parte superior y en el extremo inferior como se indica en la figura 1.57. El ancho de la excavación requerido es de 2.10 m y se espera un volumen aproximado de excavación en suelo de 13412 m³. La tablestaca debe penetrar al menos 0.50 m por debajo del fondo de la excavación, con el fin de mejorar el factor de seguridad contra falla de fondo. No se considera conveniente profundizarlas más, debido a que al retirarlas una vez colocada la tubería, aflojan el material de cimentación.



- (1) Arena arcillosa residual (tosca) de color café oscuro a gris, con fragmentos de roca y alto contenido de finos, humedad media a baja, plasticidad media a alta y de muy alta compacidad
 - (2) Arcilla arenosa sedimentaria (lama) de color café grisáceo a gris oscuro, con humedad y plasticidad media a alta y consistencia blanda a media
 - (3) Relleno de arcilla con fragmentos de roca y consistencia blanda
- Arena arcillosa sedimentaria de color café claro, con alto contenido de finos, humedad y plasticidad media a alta y de compacidad muy suelta a suelta

- (4) Arcilla sedimentaria (lama) de color café claro y café grisáceo, con contenido de humedad y plasticidad media a alta y consistencia blanda a media
- (5) Arena limo arcillosa residual (tosca), de color café grisáceo a gris oscuro, con humedad media, plasticidad variable y de muy alta compacidad
- (6) Relleno de fragmentos de roca

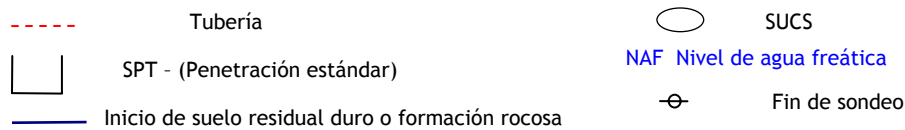
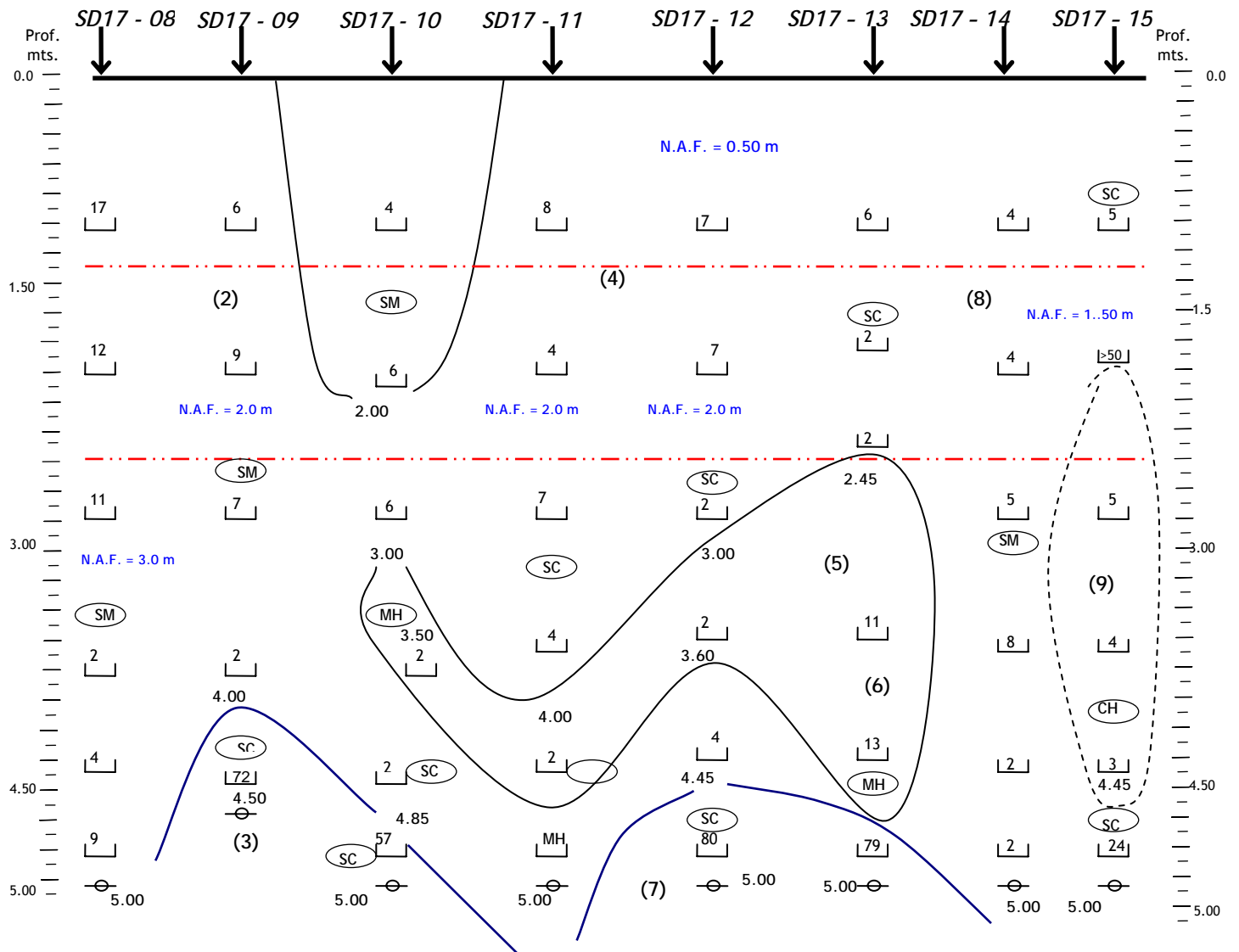


Figura 1.55 - Perfil Estratigráfico - Línea de Impulsión Ciudad Radial - Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá



- (1) Relleno de arena no plástica de color gris, con bajo contenido de humedad y compacidad suelta
- (2) Arena sedimentaria no plástica de compacidad muy suelta a suelta
- (3) Tosca de muy alta compacidad
- (4) Arena limo arcillosa sedimentaria de color café claro a café grisáceo, con plasticidad media a alta, contenido de humedad medio y compacidad muy suelta a suelta
- (5) Lente de limo de color café claro a gris, con alto contenido de arenas, plasticidad y humedad media a alta y consistencia variable entre muy blanda y firme

- (6) El limo presenta consistencia firme en el SD17-13 y muy blanda en los demás sondeos
- (7) Arena arcillosa residual (tosca) de color gris, con alto contenido de finos, humedad media, plasticidad media a alta y de muy alta compacidad
- (8) Arena no plástica de color café, con humedad baja a media y compacidad suelta
- (9) Arcilla plástica de color café claro, con humedad media a alta y consistencia blanda

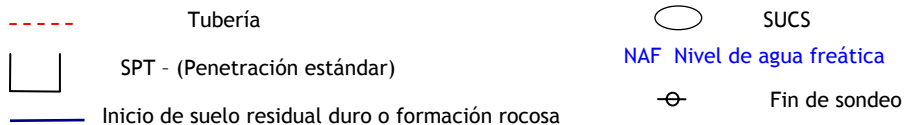


Figura 1.56 - Perfil Estratigráfico - Línea de Impulsión Ciudad Radial -
Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de
Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

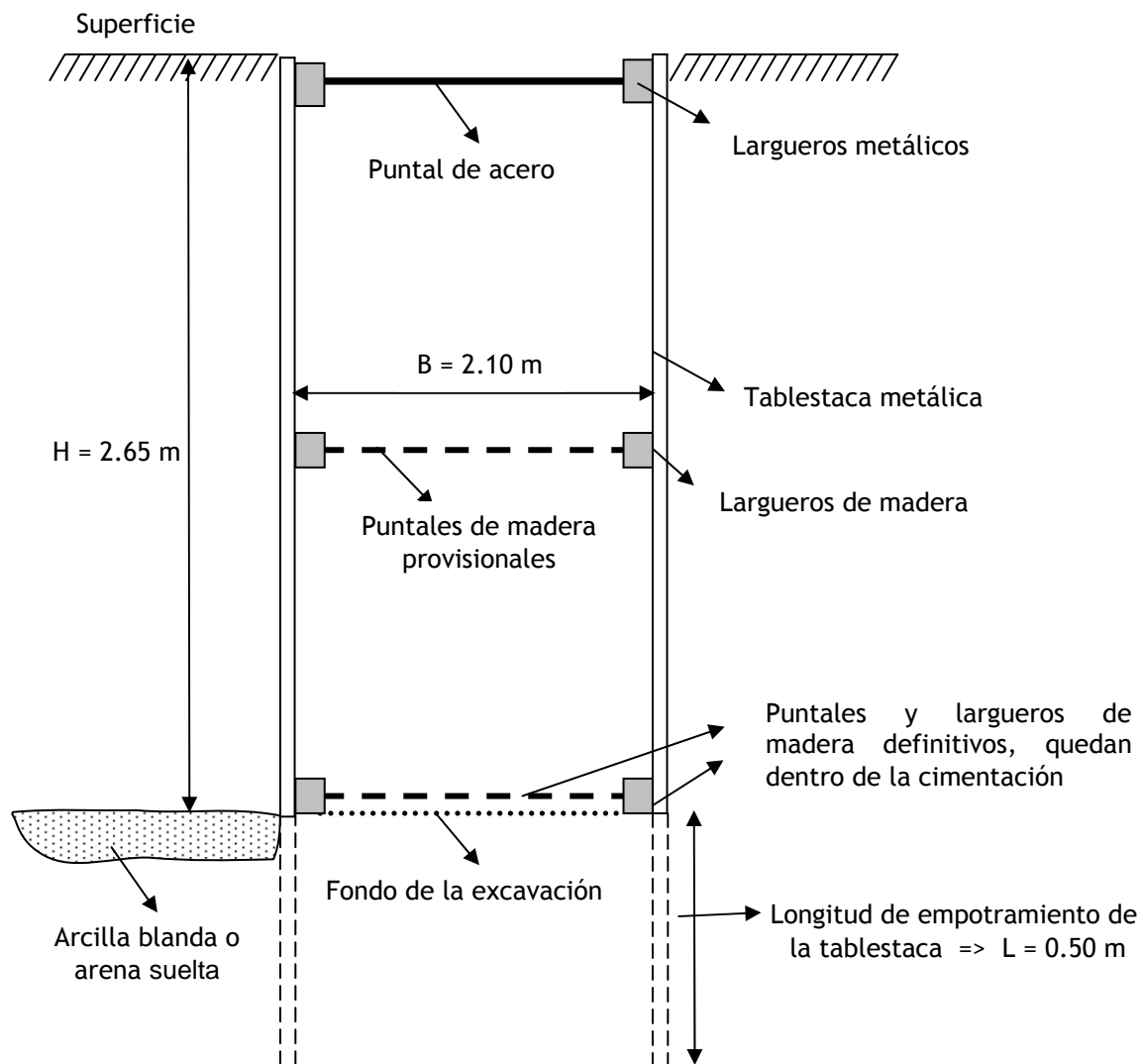


Figura 1.57 - Apuntalamiento de Tablestacas - Línea de Impulsión
Ciudad Radial

Deben hacerse recintos del orden de 7.0 m, como se indica en la figura 1.58. Para realizar las excavaciones en estos recintos, se hincan las tablestacas y se colocan los largueros y los apuntalamientos metálicos superiores. A medida que se profundice, deben colocarse puntales de madera provisionales para evitar deflexiones en la tablestaca. Terminada la excavación, hay necesidad de colocar puntales de madera definitivos en la parte inferior y retirar los intermedios (ver figura 1.57). Se dice que los puntales del fondo son definitivos porque quedarán permanentes dentro del lecho de la tubería.

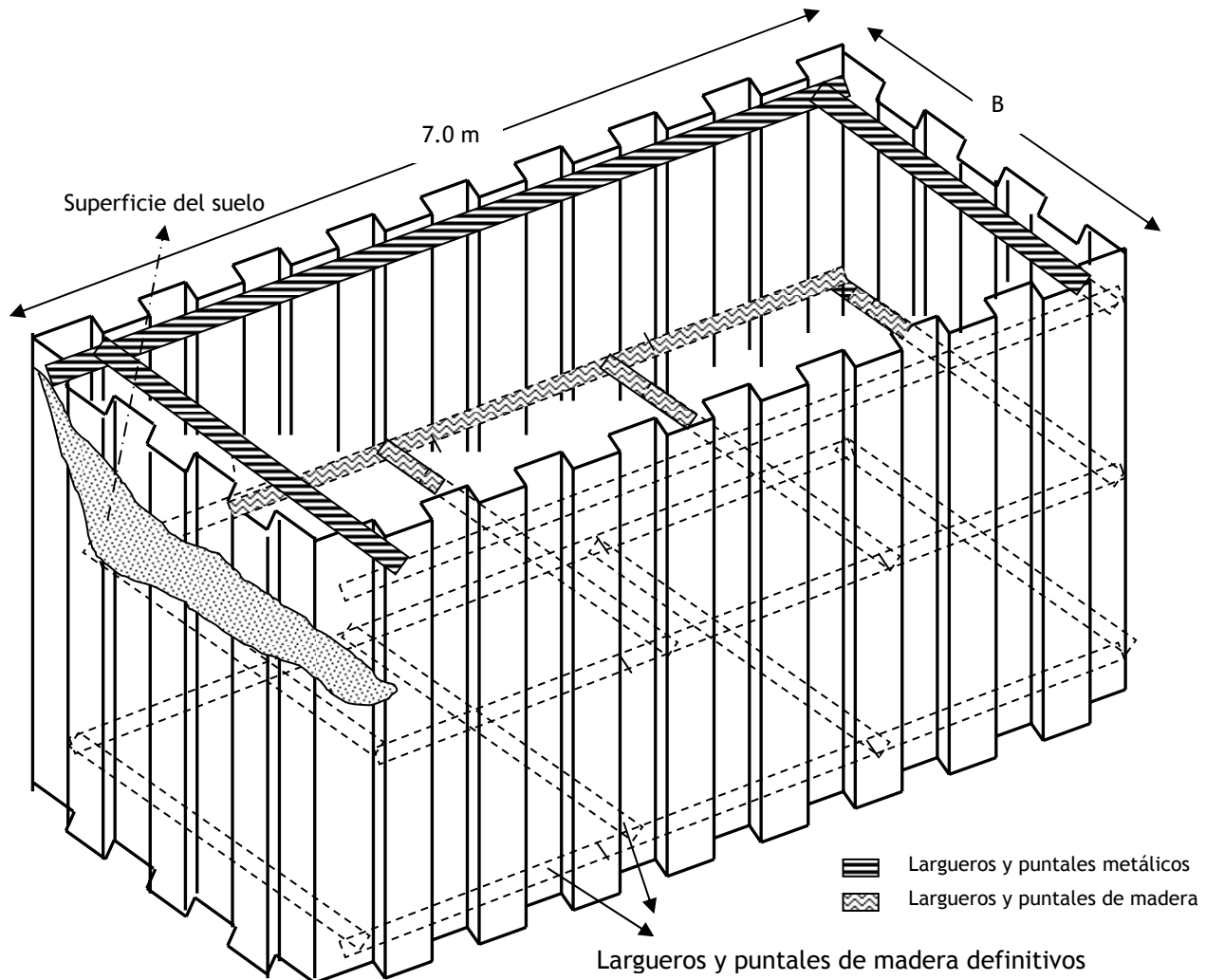


Figura 1.58 - Detalle de los Recintos Tablestacados y sus Apuntalamientos Línea de Impulsión Ciudad Radial

En la figura 1.59 se ilustra la forma del diagrama de presiones y los empujes que actúan sobre la tablestaca. El diagrama de presiones se consideró de acuerdo con el criterio de Terzagui y Peck para suelos arcillosos. Los valores de los empujes, reacciones, momentos y otras magnitudes que se citarán en las páginas siguientes, tienen respaldo en la memoria de cálculos que se anexa al final de éste informe.

Los momentos máximos, sin factor de seguridad, para escoger la sección de la tablestaca, de acuerdo con la longitud, se indican en el tabla 1.16. De igual manera, se dan los valores de las reacciones R_1 y R_2 para escoger los puntales y largueros. Nótese que tanto los valores de los momentos, como los de las reacciones, están expresados en toneladas por metro de longitud de excavación. (Ver también memoria de cálculos).

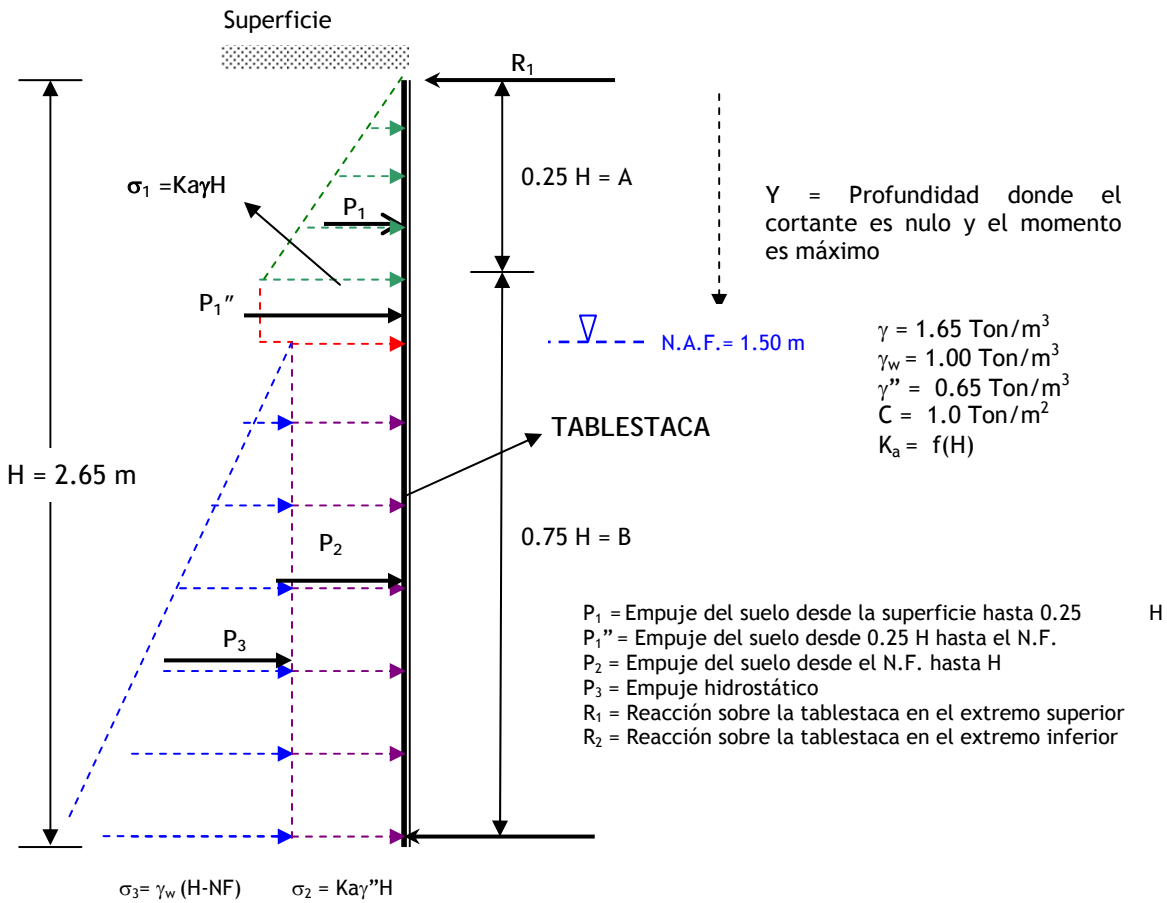


Figura 1.59 - Diagramas de Presiones, Empujes y Reacciones - L.I. Ciudad Radial

Tabla 1.16 - Momentos Máximos y Reacciones para Tablestacas - Profundidad de Excavación = 2.65 m

MOMENTO MÁXIMO (Ton-m/m)	R_1 (Ton/m)	R_2 (Ton/m)
1.70	2.20	2.30

Los máximos caudales de infiltración que se esperan en estas excavaciones, son del orden de 0.76 L/min y de 2.88 L/min por cada metro de longitud de excavación, para las zonas donde se encuentre la lama y la arena limo arcillosa respectivamente.

1.11.4 Análisis y Recomendaciones - Cimentación de la Tubería

La tubería tendrá un diámetro nominal de 1200 mm, y como la clave debe estar enterrada 1.20 mínimo, las profundidades de cimentación, como ya se mencionó, serán del orden de 2.65 m. El suelo que servirá de apoyo será la lama sedimentaria de consistencia blanda a media o la arena limo arcilloso sedimentario de compacidad muy suelta a suelta. De acuerdo con las recomendaciones del fabricante de la tubería de plástico reforzado con fibra de vidrio, puede usarse una de rigidez SN 2500 y clase PN-6 (diseñada para una presión de trabajo de 6 Bares).

A continuación se indican las características generales del lecho y material de relleno y se dan algunos detalles y recomendaciones adicionales para la instalación:

1. La clave de la tubería debe quedar enterrada mínimo 1.20 m.
2. Previo a la colocación de la tubería, donde el suelo lo permita, debe compactarse el fondo de la excavación mediante un saltarín u otro equipo liviano, con el fin de minimizar asentamientos del sistema.
3. En el fondo de la excavación, se procede luego a colocar un geotextil, para después compactar sobre éste, con una energía mayor o igual al 95% del Próctor Estándar, un lecho de 25 cm de espesor. El geotextil será permeable, con una resistencia a la tensión por el método Grab, de mínimo 2300 N. El material del lecho, de acuerdo con recomendaciones de fabricantes, debe ser una grava con arena o una arena gruesa con un contenido de finos inferior al 12% y tamaño máximo 1 ¼". (Ver figura 1.60).
4. El espacio comprendido entre las paredes de la excavación y la tubería, debe rellenarse y compactarse con una energía mayor o igual al 95% del Próctor Estándar, hasta una altura mínima de 30 cm por encima de la cota clave de la tubería. El relleno, de acuerdo con el fabricante, debe cumplir con las mismas características del material del lecho especificado en el numeral anterior (Ver figura 1.60).
5. Las recomendaciones 3 a 5 y 7 a 11 dadas en el numeral 4.4 del Informe del Colector Avenida Balboa, también son aplicables para esta línea.
6. A continuación en la figura 1.61 se ilustra el tipo de instalación recomendado en esta línea de impulsión.

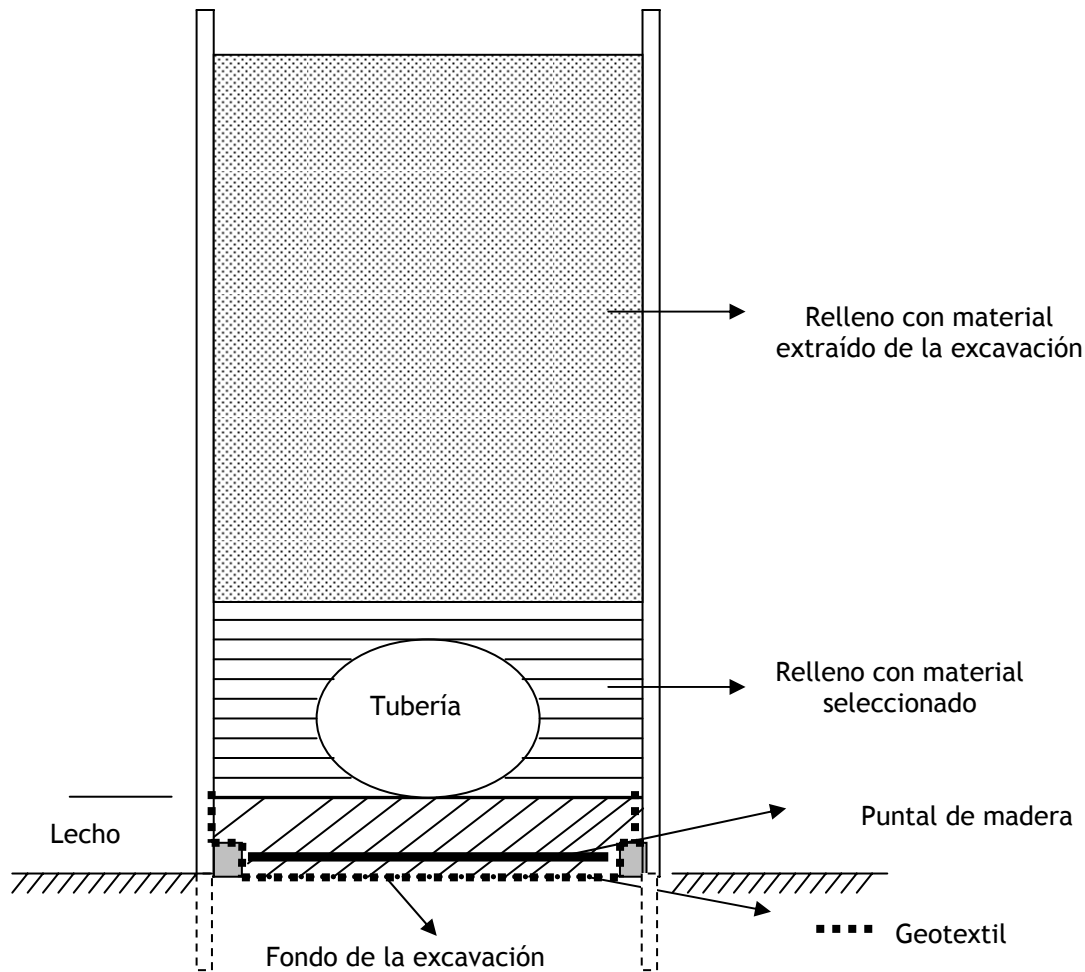


Figura 1.60 - Detalle del lecho, Relleno Seleccionado, Relleno Adicional y Geotextil - Línea de impulsión Ciudad Radial

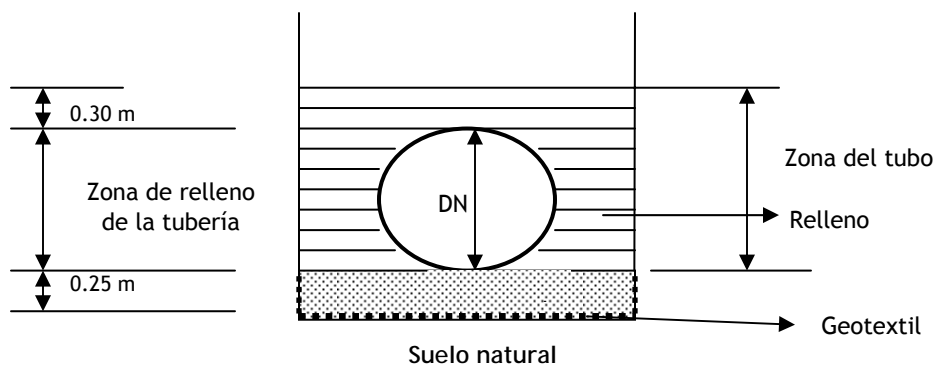


Figura 1.61 - Instalación Recomendada - L.I. Ciudad Radial

7. La extracción de la tablestaca debe hacerse por partes mientras se colocan y compactan el lecho y el relleno, para evitar que se aflojen. En caso de notar que esto suceda, es conveniente repasar la compactación. Al comenzar el relleno adicional, después de terminado el de la zona del tubo, la tablestaca puede sacarse como mas convenga.
8. La arena sedimentaria no plástica detectada del SD17-07 al SD17-09 y en el SD17-14, al igual que los 2.0 primeros metros del SD17-10, pueden servir como lecho o relleno seleccionado, si se mezclan con grava o arena gruesa para cumplir con las características recomendadas.
9. Para este tramo, si decide usarse tubería rígida, de acuerdo con la teoría de Spangler, para calcular C_w , usar los siguientes parámetros:

$$\gamma = 1.65 \text{ Ton/m}^3$$

$$\phi = 9^\circ \text{ (Según Spangler)}$$

Para el diseño de la cimentación, debe tenerse en cuenta que en el fondo de las excavaciones se encontrará suelo muy blando.

10. Al igual que en las líneas anteriores, en esta línea, las fuerzas que se esperan en los anclajes son muy grandes y los suelos de resistencia muy baja y compresibles. Por lo tanto, el diseño de los anclajes es también complejo y debe estudiarse con cuidado.

Se considera que uno de los tipos de anclaje mas apropiado, es por medio de pilares de cimentación o pilotes de diámetro grande (del orden de 0.80 m - 1.0 m de diámetro), llevados y empotrados en la roca, diseñados de tal manera que suministren la resistencia lateral necesaria.

1.12 Análisis Químico

Las propiedades químicas del terreno natural, es un factor importante en la elección de la tubería que se vaya a utilizar en el proyecto, debido a que algunos suelos con determinadas características químicas, pueden corroer o causar daños considerables a algunos materiales con los que se construyen las conducciones.

A continuación se indica el análisis químico realizado a todo lo largo de las líneas de impulsión, con el fin de que el constructor tenga en cuenta estos parámetros, antes de elegir un material o tipo de tubería específico.

1.13 Recomendaciones Finales

- En las líneas de impulsión Parque Lefevre, Jardín Olímpico, Don Bosco y Ciudad Radial, debido a la mala calidad de los suelos, se han propuesto como anclajes, pilares de cimentación empotrados en la roca para que resistan grandes cargas laterales. Por lo tanto en la etapa final de diseño, en los sitios donde sea necesario utilizarlos, es conveniente hacer perforaciones mas profundas hasta encontrar la roca y penetrar algunos metros en ella, para poder diseñar estos pilares.

- Una vez escogidos los materiales de cimentación de las tuberías (lecho y relleno hasta 0.30 m por encima de la clave), deben hacerse pruebas de Próctor Estándar, para conocer su densidad máxima y humedad óptima de compactación.
- En los informes de cada línea de impulsión se han indicado algunos suelos nativos que por su baja plasticidad y bajo contenido de finos, potencialmente podrían servir para cimentar la tubería, ya sea usándolos solos o mezclados con grava o arena gruesa. Sería conveniente en la etapa final, obtener muestras más grandes y dosificarlas en diferentes proporciones con estos agregados, para obtener el diseño adecuado mas económico que cumpla con las especificaciones.
- Existe también la posibilidad de utilizar los suelos nativos menos aptos para cimentar la tubería, mejorándolos o estabilizándolos con cal o cemento. La cal es apropiada para estabilizar suelos plásticos y el cemento es adecuado para los arenosos. Se podría realizar una pequeña investigación sobre este tema con el fin de definir o cuantificar las cantidades de estabilizante necesario, y determinar su viabilidad desde los puntos de vista técnico y económico.
- En el colector Avenida Balboa, donde las excavaciones son mas profundas y se encuentra roca; para no disturbar por mucho tiempo el tráfico en esta avenida, se sugiere estudiar la posibilidad de utilizar máquinas tuneladoras para realizar las excavaciones en esos sitios.

CAPÍTULO 2

RECOMENDACIONES DE EXCAVACIÓN Y DE CIMENTACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS ESTACIONES DE BOMBEO

2.1 Introducción

De acuerdo con los compromisos adquiridos por la compañía NIPPON KOEI CO.,LTD con la Unidad Coordinadora del Proyecto para el Saneamiento de la Ciudad y Bahía de Panamá, se realiza el diseño y las recomendaciones de excavación y cimentación para la construcción de las siete estaciones de bombeo pertenecientes al proyecto “DISEÑO DEL SISTEMA DE INTERCEPCIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE PANAMÁ.

Las estaciones de bombeo que forman parte del proyecto mencionado son: Paitilla, Boca La Caja, Río Abajo, Matías Hernández, Juan Díaz, Ciudad Radial y Tocumen. Adicional a éstas estaciones, el proyecto tiene aproximadamente 23 Km. de conducción de aguas residuales y una planta principal de tratamiento de éstas.

Este informe comprende el análisis y las recomendaciones pertinentes desde el punto de vista geotécnico, tanto para la realización de las excavaciones, como para la construcción de los cimientos de cada una de las estaciones de bombeo.

2.2 Objetivos

Las finalidades de este estudio son:

- Mediante la realización de sondeos y pruebas de laboratorio, identificar los suelos y profundidades en las diferentes estaciones de bombeo, al igual que sus propiedades físicas más relevantes para este proyecto.
- Identificar en las zonas objeto de este estudio, los distintos estratos del subsuelo y conocer sus propiedades físico-mecánicas más importantes, tales como humedad, plasticidad, tamaño de partículas, resistencia, peso unitario y compresibilidad.
- Recomendar el método más conveniente desde los puntos de vista técnico y económico, para realizar las excavaciones.
- Analizar y recomendar el tipo de fundación más adecuado desde los puntos de vista técnica y económica, la profundidad de cimentación más conveniente y las presiones de contacto que garanticen una suficiente estabilidad y funcionalidad de las estructuras.
- Establecer los parámetros de empuje lateral necesarios para el diseño de los muros de contención que se necesiten diseñar.
- Recomendar algunos detalles y procesos constructivos pertinentes a esta obra.

2.3 Localización y Descripción del Proyecto

El Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales de La Ciudad de Panamá está encaminado a canalizar y tratar las aguas residuales de Ciudad de Panamá, con el fin de evitar o disminuir la contaminación en la bahía.

El funcionamiento típico de cada estación de bombeo consiste en recibir el agua residual de su área de aferencia, por medio de colectores que trabajan por gravedad, conducirla mediante un canal a un foso donde se encuentran 4 o 5 bombas sumergibles y enviar el agua por medio de éstas a las líneas de impulsión que terminan en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Juan Díaz.

Las principales estructuras de las estaciones de bombeo son: un canal de acceso de aguas, un foso donde se alojan las bombas sumergibles, un recinto para la disposición de válvulas, un transformador y dos generadores que deben ir ubicados superficialmente. Adicionalmente, se instalará un puente grúa, con el fin de permitir el retiro fácil y rápido de cualquier elemento al que se necesite reparar o hacer mantenimiento. (Cada uno de estos elementos puede verse en las figuras 2.9, 2.10 y 2.11).

2.4 Estación de Bombeo Paitilla

La Estación de Bombeo Paitilla, al igual que las otras estaciones, tendrá un área en planta construida de aproximadamente 660 m².

Esta estación fue planeada para recibir el agua proveniente del colector Avenida Balboa; tiene en su interior 5 bombas sumergibles, que están concebidas para manejar un caudal de 490 l/s cada una. Posteriormente, estas bombas envían el agua residual por medio de una tubería de 1200 mm de diámetro hasta la línea de impulsión Vía Israel.

La actual superficie del lote donde se construirá esta estación, coincide con el nivel de máxima marea. Es conveniente entonces, elevar el piso mínimo 1 m con un relleno.

2.4.1 Trabajos de Campo y Laboratorio

Se realizaron 3 sondeos en el área en la cual se construirá La Estación de Bombeo Paitilla. Los sondeos fueron llevados hasta profundidades de 7.79 m, 5.15 m y 6.0 m, y los métodos de perforación utilizados fueron percusión y rotación con tricono y broca de carburo. En la figura 2.1 se ilustra la localización en planta de los sondeos realizados.

En cada sondeo se registró el perfil de suelos y se tomaron muestras alteradas para ensayos de clasificación. Con las muestras así obtenidas se llevaron a cabo ensayos de laboratorio para determinar su contenido de agua en estado natural, distribución granulométrica y límites de consistencia. De igual manera, con base en las pruebas de campo y en el criterio y la experiencia del Ingeniero Supervisor de las perforaciones, se determinó el grado de compacidad y consistencia de los materiales. Las pruebas de campo realizadas para determinar la resistencia de los suelos fueron:

Penetración Estándar (SPT) y resistencia a la penetración, mediante el penetrómetro de mano.

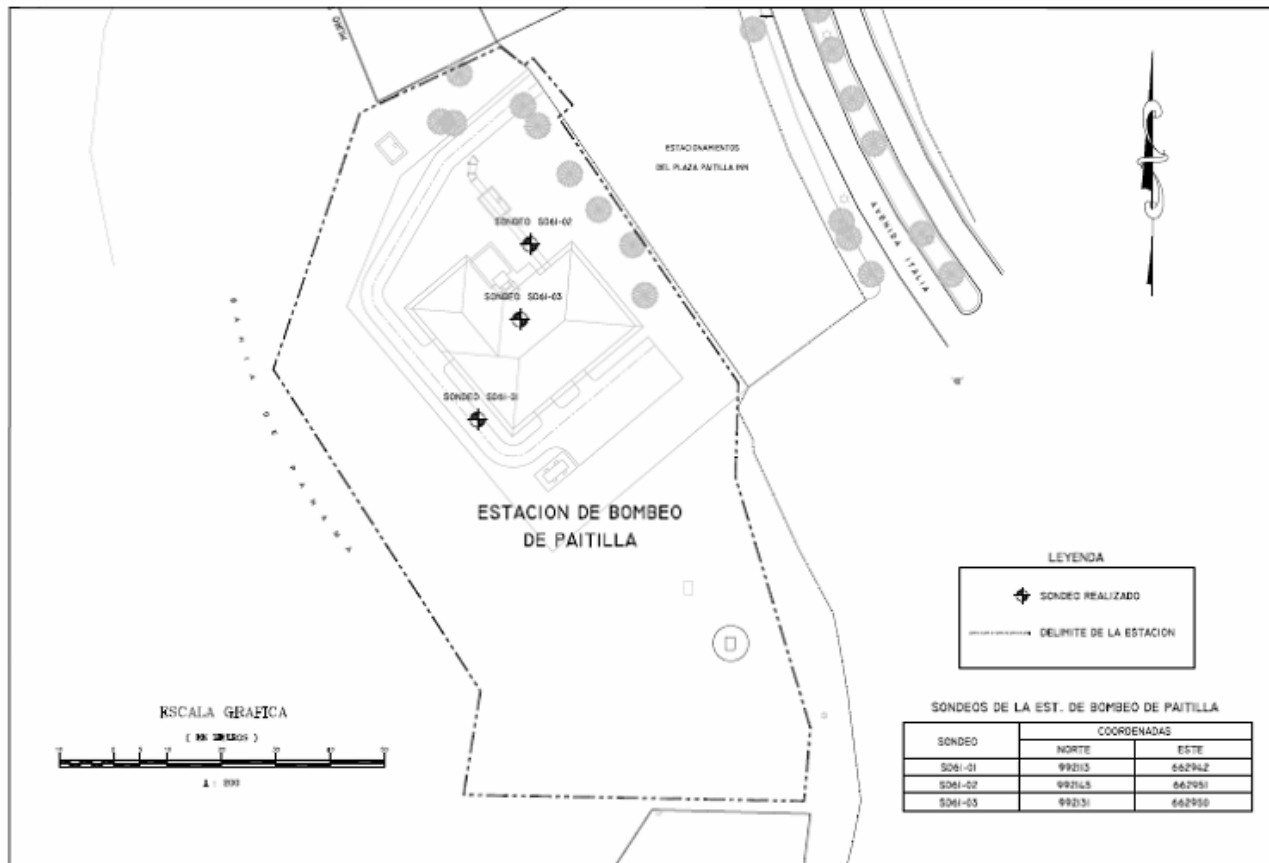


Figura 2.1 - Localización de los Sondeos en la EB de Paitilla

2.4.2 Estratigrafía

La estratigrafía se ilustra en la figura 2.2 y se describe a partir de la superficie de la siguiente manera:

- Relleno heterogéneo de colores café rojizo y gris claro; conformado por mezcla de arcilla, arena, grava y fragmentos de roca, con humedad baja a media, plasticidad media y de compacidad suelta a media; se encuentra a partir de la superficie hasta 3.0 m en los SD61-01 y SD61-02. Este suelo tiene un contenido de finos promedio de 25%, L.L. entre 27% y 49%, I.P. entre 6% y 23% y Penetración Estándar variable desde 5 hasta > 50, pero predominan valores entre 5 y 13, con promedio de 9.
- Relleno de escombros, formado por fragmentos de losa de concreto reforzado (conocido localmente como caliche). Se encontró desde el inicio del sondeo hasta 3.0 m en el SD61-03.

- Arena no plástica de color café claro a gris, con finos en promedio de 13%, contenido de humedad media y compacidad suelta a media, que se encuentra a partir del estrato anterior hasta 6.40 m y 4.50 m respectivamente en los SD61-01 y SD61-03, y hasta la profundidad explorada en el SD61-02; con Penetración Estándar entre 8 y 23, y promedio de 14.
- Arena arcillosa residual (conocida localmente como tosca), de color café claro a grisáceo, con bajo contenido de humedad, plasticidad y compacidad media a alta; que se encontró en el SD61-01, a partir del estrato anterior hasta la profundidad explorada. Este suelo tiene aproximadamente 35% de finos, L.L.= 40%, I.P.= 24% y Penetración Estándar variable desde 16 hasta >50.
- Debajo de la arena arcillosa residual se encuentra la roca de La Formación Panamá, dura, con una resistencia a la compresión típica entre 200 Kg/cm² y 300 Kg/cm². Se perforó en el SD61-03, desde 4.50 m hasta 6.0 m.
- El nivel de aguas freáticas no fue detectado hasta la profundidad explorada en estos sondeos.

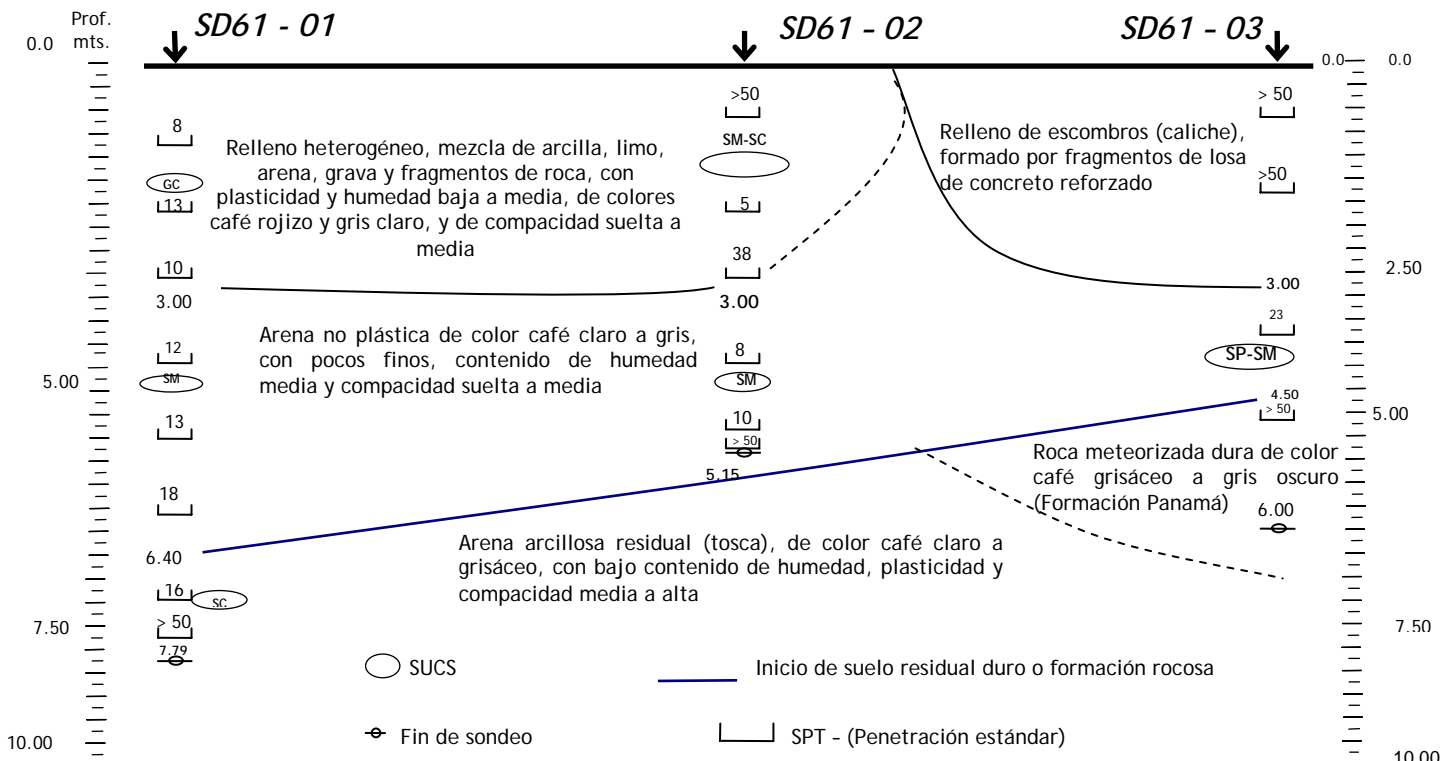


Figura 2.2 - Perfil Estratigráfico - Estación de Bombeo Paitilla - Diseño del Sistema De Intercepción, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

2.4.3 Análisis y Recomendaciones - Excavaciones

Para garantizar la suficiente estabilidad del suelo durante la realización de las excavaciones, es necesario determinar características como la consistencia y grado de compacidad del terreno natural, posición del nivel freático, entre otras. Otros parámetros fundamentales que se derivan de los anteriores, son el empuje del suelo y el empuje hidrostático.

Según el diseño hidráulico de La Estación de Bombeo Paitilla, las profundidades máximas de excavación estarán alrededor de 12.50 m, a partir de la actual superficie, de los cuales aproximadamente 6.50 m serán en suelo y el resto en arena arcillosa residual dura o roca. De acuerdo con las características geotécnicas del suelo, se considera que el sistema mas apropiado para realizar las excavaciones en el foso de bombas y el canal de acceso, es utilizando tablestaca metálica, formando recintos como se ilustra en las figuras 2.3 y 2.4, hincada hasta la profundidad a la cual encuentre rechazo en la arena arcillosa residual. (Aproximadamente 6.50 m).

A partir de ahí, se puede continuar excavando directamente sobre el material duro, sin estructura de contención. Deben colocarse apuntalamientos metálicos a la tablestaca en la parte superior y en la parte inferior, como se indica en las figuras 2.3, 4, y 5.

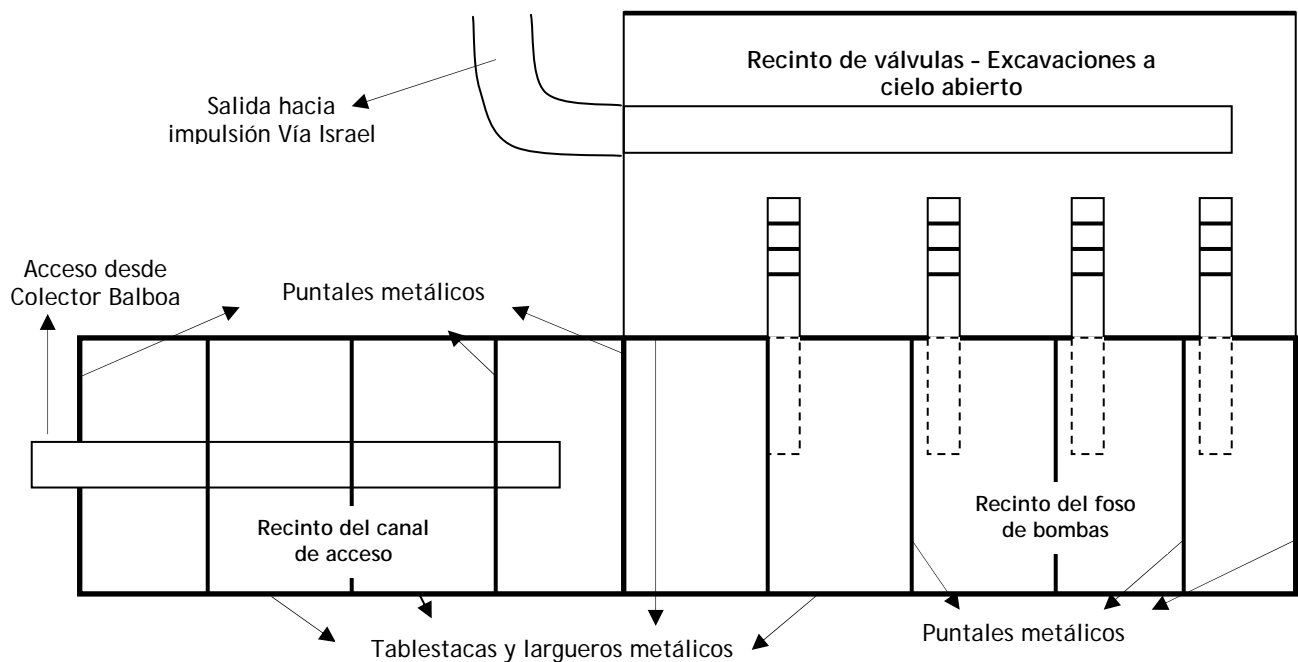


Figura 2.3 - Vista en Planta de las Zonas que deben ser Excavadas y sus Apuntalamientos - Estación de Bombeo Paitilla

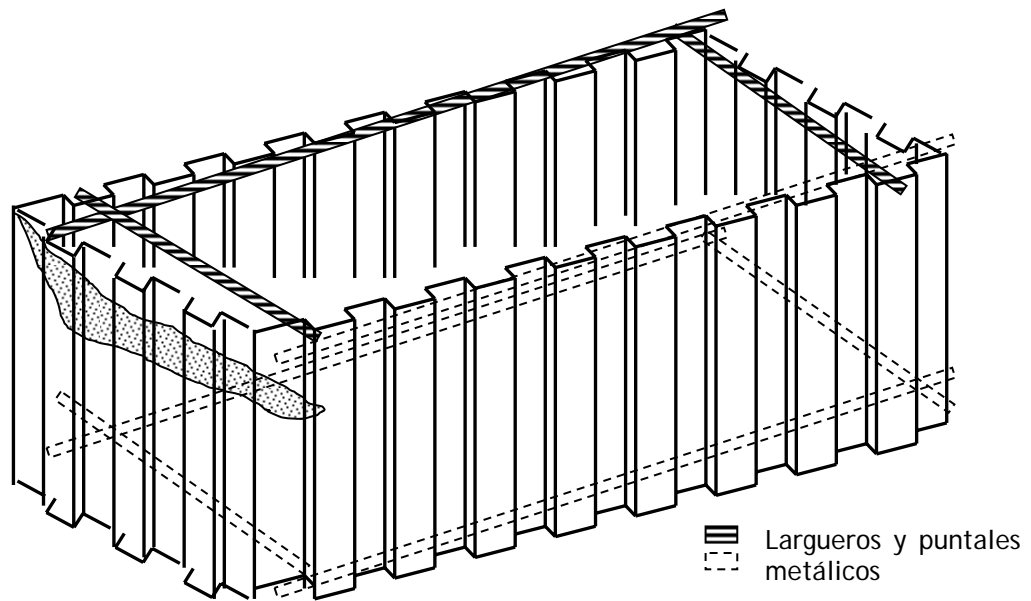


Figura 2.4 - Detalle de Recinto de Tablestacas y sus Apuntalamientos

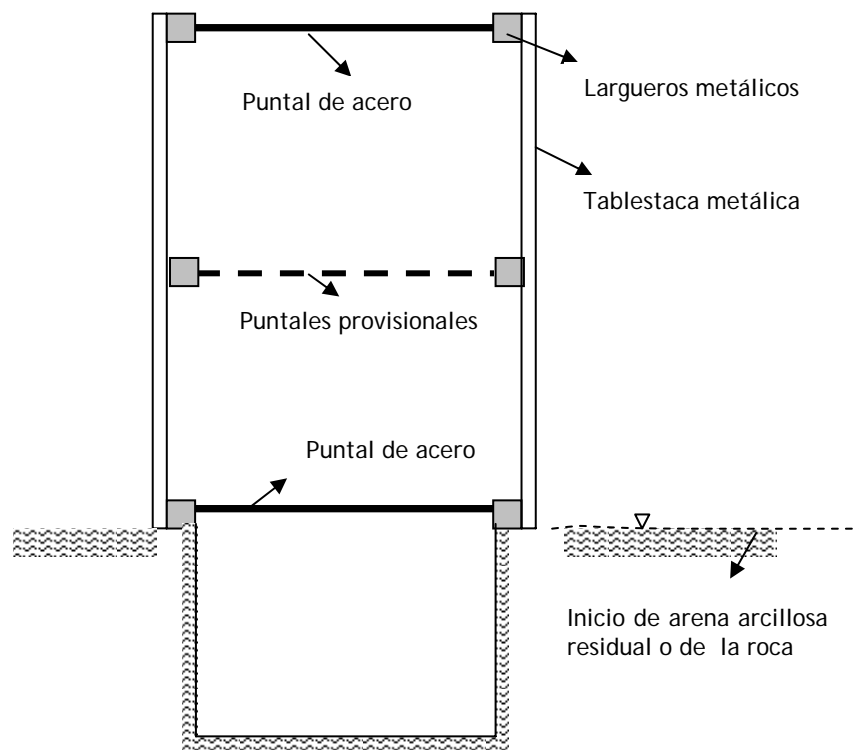


Figura 2.5 - Esquema de Excavación, Tablestacas y Apuntalamientos -
Canal de Acceso y Foso de Bombas - Estación de Bombeo Paitilla

En la figura 2.6 se ilustra la forma del diagrama de presiones y los empujes que actúan sobre la tablestaca y que fueron considerados en los cálculos. El diagrama de presiones se consideró de acuerdo con el criterio de Peck para suelos arenosos. Los valores de los empujes, reacciones, momentos y otras magnitudes que se citarán en las páginas siguientes, tienen respaldo en la memoria de cálculos que se anexa en los apéndices.

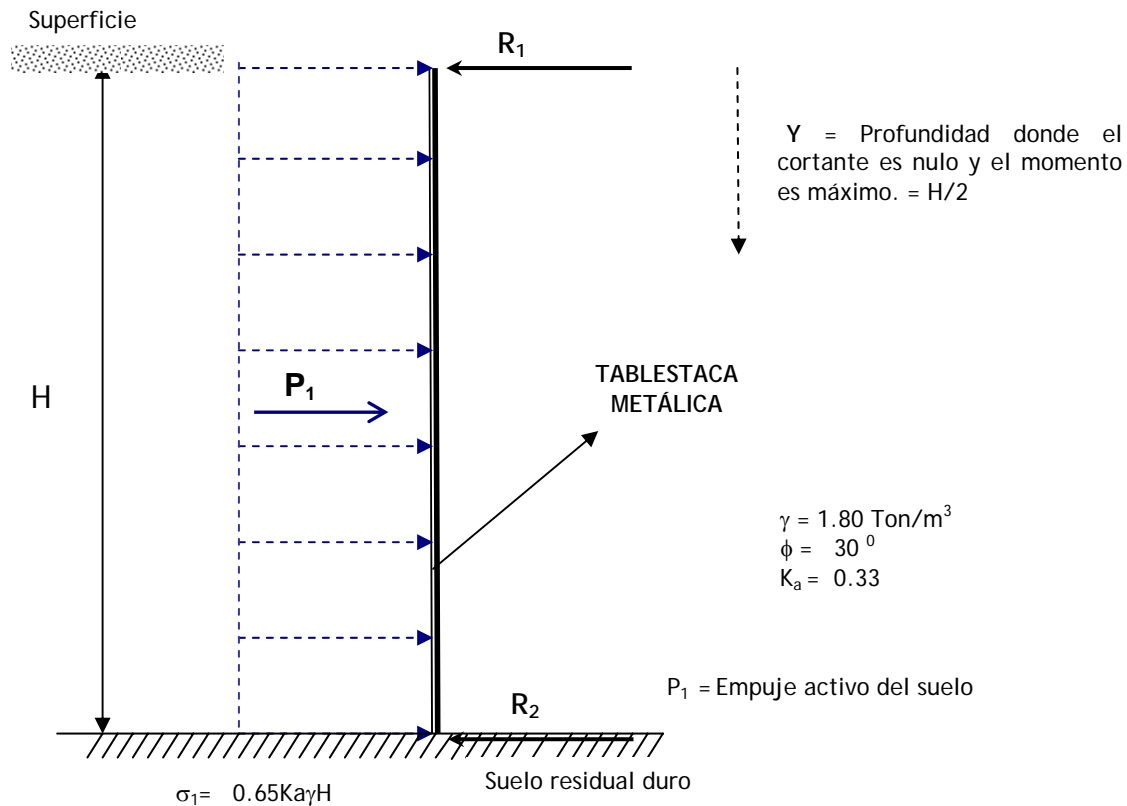


Figura 2.6 - Diagramas de Presiones, Empujes y Reacciones sobre la Tablestaca - Estación de Bombeo Paitilla

A continuación se dan algunas recomendaciones adicionales para realizar las excavaciones en la estación de bombeo Paitilla.

1. Los momentos máximos, sin factor de seguridad, para escoger la sección de la tablestaca, de acuerdo con la profundidad de excavación, se indican en el tabla 2.1. De igual manera, se dan los valores de las reacciones R_1 y R_2 para escoger los puntales y largueros metálicos. Nótese que tanto los valores de los momentos, como los de las reacciones, están expresados en toneladas por metro de longitud de excavación. (Ver también memoria de cálculos en apéndices).

**Tabla 2.1 - Momentos Máximos y Reacciones para Tablestacas
Estación de Bombeo Paitilla**

Profundidad de excavación - m	MOMENTO MÁXIMO (Ton-m/m)	R ₁ = R ₂ (Ton/m)
5.0	6.0	4.8
6.0	10.4	6.9
7.0	16.6	9.5

2. Si durante el hincado de la tablestaca a través del relleno, ésta se atranca con algún fragmento de roca, puede retirarse y tratar de romper la partícula desde la superficie o dejar la tablestaca en ese sitio, y cuando se excave retirar el fragmento y continuar el hincado.
3. Cuando se esté haciendo la excavación a lo largo de la tablestaca, deben colocarse puntales intermedios provisionales como se ilustra en la figura 2.5.
4. La excavación de la roca puede hacerse con martillos percutores, con el método de Pre-Splitting para fracturar la roca con esfuerzos de tensión o con productos químicos expansivos que se consiguen en el mercado.
5. Las excavaciones para el recinto de válvulas, debido a que solo tendrán 2.40 m de profundidad a partir de la superficie del relleno, pueden hacerse a cielo abierto con una inclinación de los taludes de 3 vertical, 1 horizontal.

2.4.4 Análisis y Recomendaciones de Cimentación

De acuerdo con la estratigrafía encontrada en el sitio y teniendo en cuenta el peso de las diferentes estructuras que conforman la estación Paitilla, se dan las siguientes recomendaciones de cimentación:

1. El relleno necesario para elevar 1 m el piso de esta estación, puede hacerse con cualquier suelo que no sea expansivo ni orgánico, que se deje compactar. Esto quiere decir que si es suelo fino, debe tener una humedad cercana a la óptima de compactación.
2. El foso en el cual se alojarán las bombas sumergibles y el canal de acceso, estarán cimentados directamente sobre la roca. Como se mencionó anteriormente, esta roca tiene una alta resistencia, con capacidad portante permisible superior a 100 Ton/m². (Ver figuras 2.8 y 2.10).
3. Las válvulas de tapón y check, el acople flexible y la tubería grande que conduce el agua a la línea de impulsión Vía Israel, estarán alojadas a una profundidad aproximada de 3.40 m, a partir de la superficie del relleno. Estos elementos pueden recibir vibraciones de las bombas, por lo tanto antes de construir la losa del piso debe compactarse el suelo con un vibrador. El tipo de cimentación mas apropiado es mediante pilotes

apoyados en el estrato de arena arcillosa residual dura; estos pilotes pueden ser circulares, de 0.60 m de diámetro, fundidos o colados in "situ", con una resistencia a la compresión del concreto mínima de 280 Kg/cm² (28 MPa). La longitud aproximada es de 4.10 m (ver figuras 2.9 y 2.10). La capacidad de carga permisible de cada pilote será de 15.3 Ton.

4. El transformador puede ser cimentado mediante zapata directamente sobre el relleno, utilizando una presión de contacto no mayor a 5.0 Ton/m². La profundidad de cimentación será igual al espesor de la zapata y se recomienda compactar el fondo de la excavación con un equipo liviano, antes de construir el cimiento.
5. Debido a que los generadores producen vibraciones de tipo armónico sobre el suelo de cimentación, debe garantizarse que la fundación no experimente amplitudes de desplazamiento vibratorio superiores a las aconsejables para no causar daño al equipo ni incomodidad a las personas. En este caso particular se consideró conveniente limitar la mitad de la amplitud a 0.001" (0.025 mm), de acuerdo con el criterio de Blake. Una losa rígida de 3.50 m de ancho x 7.50 m de largo colocada sobre el relleno cumple con los requisitos de Blake. Como puede verse en la memoria de cálculo, la mitad de la máxima amplitud de vibración vertical para esta cimentación es de 0.0005" y la mitad de la máxima amplitud de vibración lateral es de 0.001". Para ambos tipos de vibración, el generador con esta losa de cimentación está muy alejado de entrar en resonancia. Se utilizó la teoría de George Gazetas (Foundation Engineering, Second Edition, Hsai-Yang Fang).

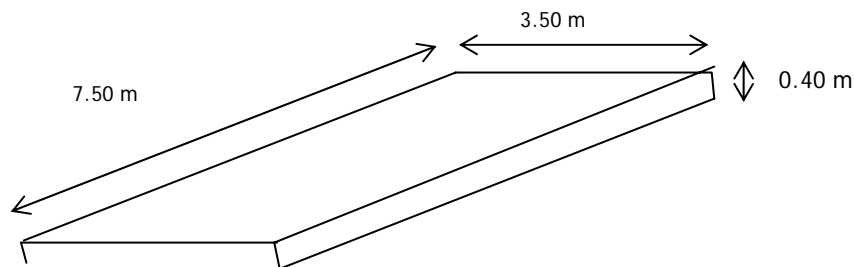


Figura 2.7 - Losa de Cimentación para cada uno de los Generadores - Estación Paitilla

6. La caseta donde van el transformador y los generadores, podrá cimentarse mediante zapata convencional directamente sobre el relleno, utilizando una presión de contacto no mayor que 5.0 Ton/m². Debe tenerse cuidado de separar estructuralmente, por medio de juntas de construcción, ésta caseta del resto de la estructura, para evitar agrietamientos por asentamientos diferenciales.
7. En las figuras 2.8, 2.9 y 2.10, se ilustran las principales estructuras de La Estación de Bombeo Paitilla, y cada una de las cimentaciones sugeridas.

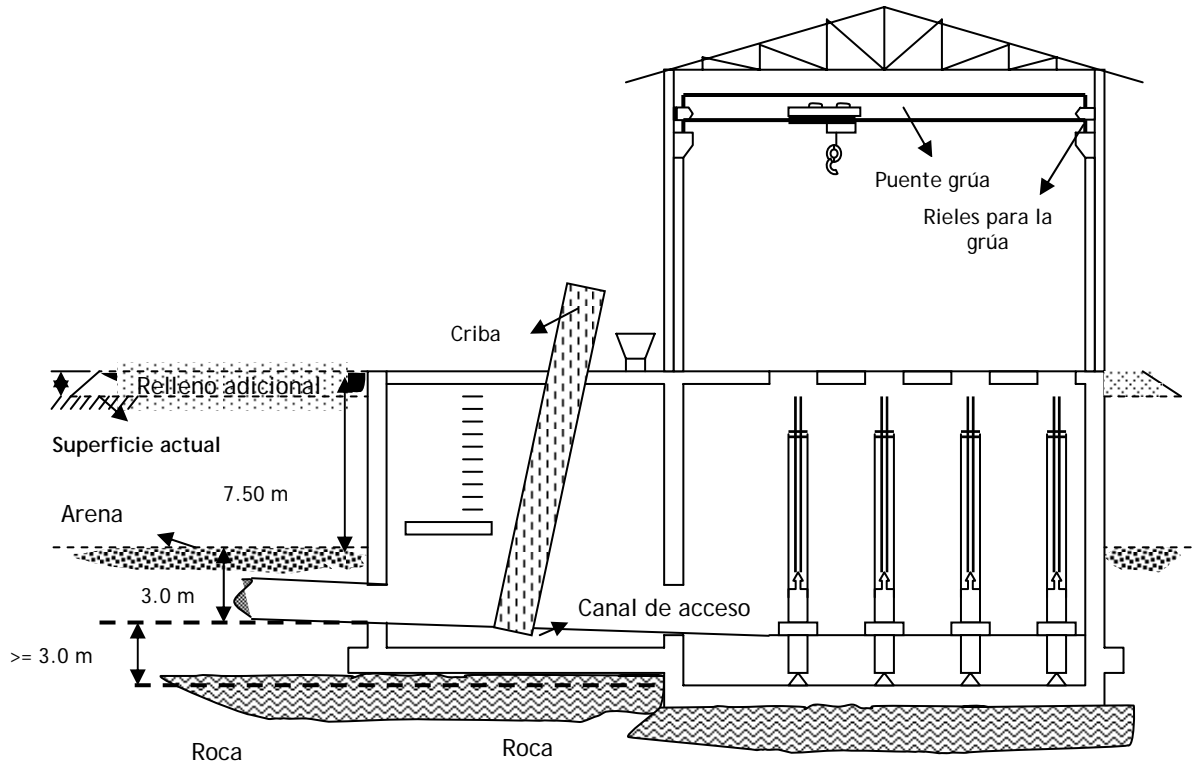


Figura 2.8 - Estación de Bombeo Paitilla - Vista frontal

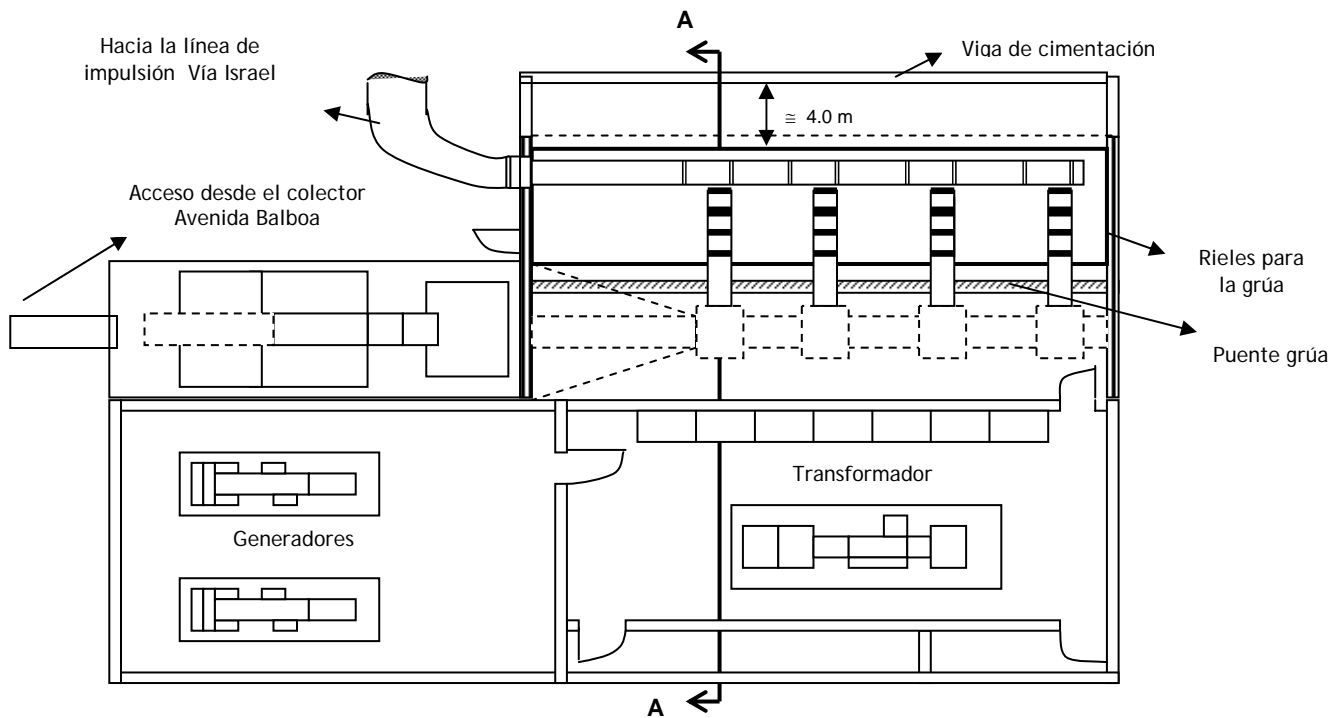


Figura 2.9 - Estación de Bombeo Paitilla - Vista en Planta

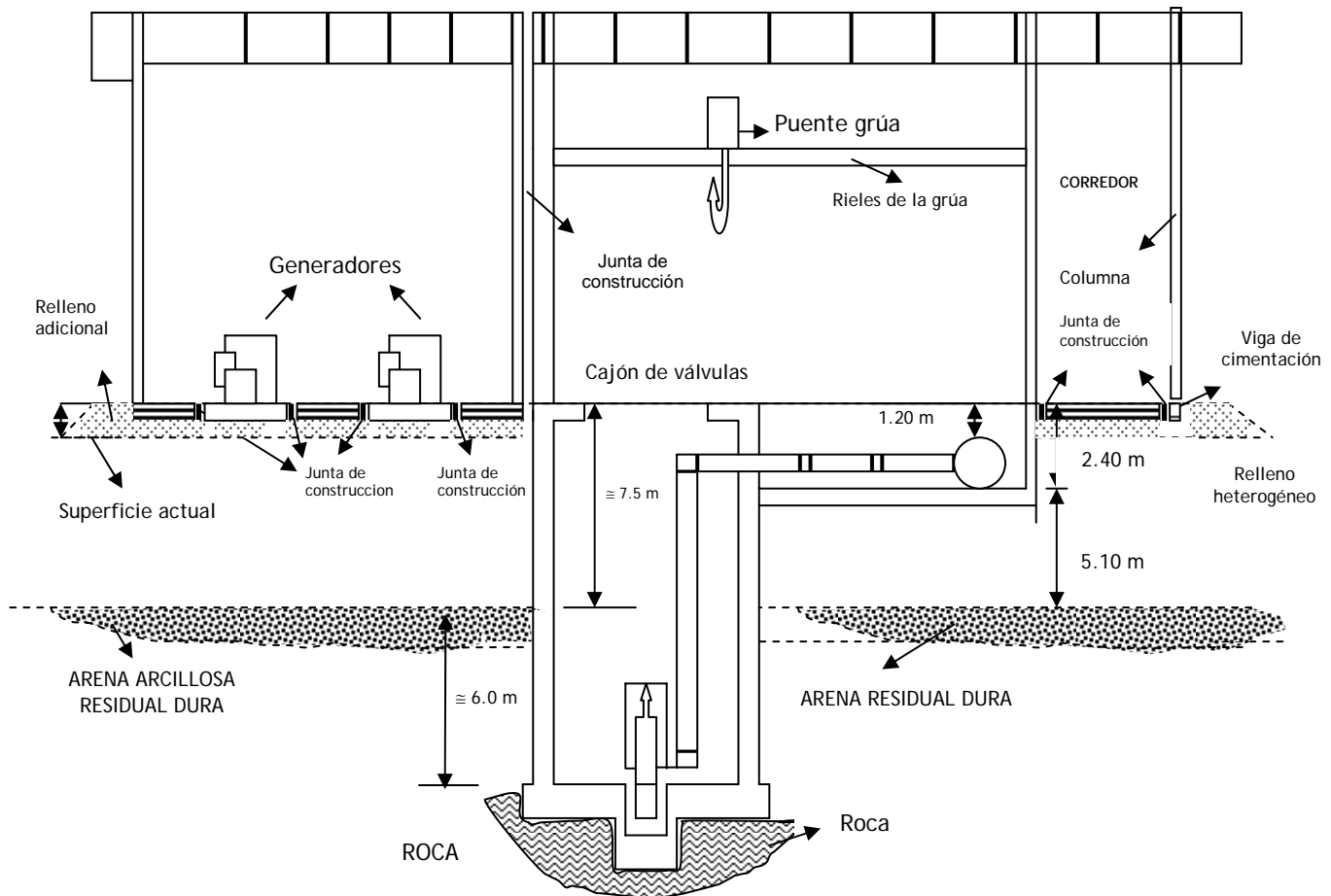


Figura 2.10 - Estación de Bombeo Paitilla - Vista lateral; (Corte A-A de la planta)

Durante la realización de los sondeos, no se detectó nivel freático en el suelo. Aunque la máxima marea alta puede aparecer, la posibilidad de que coincida con un sismo fuerte es muy baja, por lo cual es poco probable que se presente

8. Para muros de contención, el empuje lateral puede calcularse considerando el mismo diagrama de presiones que actúa sobre la tablestaca. Sin embargo, cuando se produzca la máxima marea, el nivel freático puede llegar hasta la superficie actual (1.0 m por debajo del nivel del relleno); por tanto, debe chequearse que los muros resistan el empuje hidrostático adicional generado bajo estas condiciones. En la memoria de cálculos (apéndices) se indica el diagrama de empuje lateral bajo estas circunstancias.
9. En el diseño de la losa de fondo del recinto de válvulas debe tenerse en

- cuenta una máxima subpresión del orden de 3.80 Ton/m².
10. Cálculos preliminares indican que la fuerza de subpresión generada en el recinto de válvulas para las condiciones más críticas (con N.F. en la superficie del relleno), es del orden de 365 Ton. Por otra parte, el peso total de la estructura, columna de agua y fricción lateral del suelo sobre los muros enterrados, la cual ayuda a evitar el levantamiento de la estructura, es de aproximadamente 411 Ton, magnitud *ligeramente superior* a la fuerza de subpresión; por tanto, no se espera que se presente levantamiento de la estructura. (Ver memoria de cálculos en apéndices).
 11. Inmediatamente después de terminar las excavaciones, se recomienda proteger el fondo con un solado de concreto pobre, con el fin de evitar remoldeo del suelo por aguas lluvias y procesos constructivos.
 12. Antes de la construcción del relleno, debe compactarse con algún equipo vibratorio pesado la superficie del terreno natural.
 13. Si durante el diseño o construcción se encuentran condiciones del subsuelo no previstas en este Informe, deben ajustarse los diseños a las nuevas condiciones.

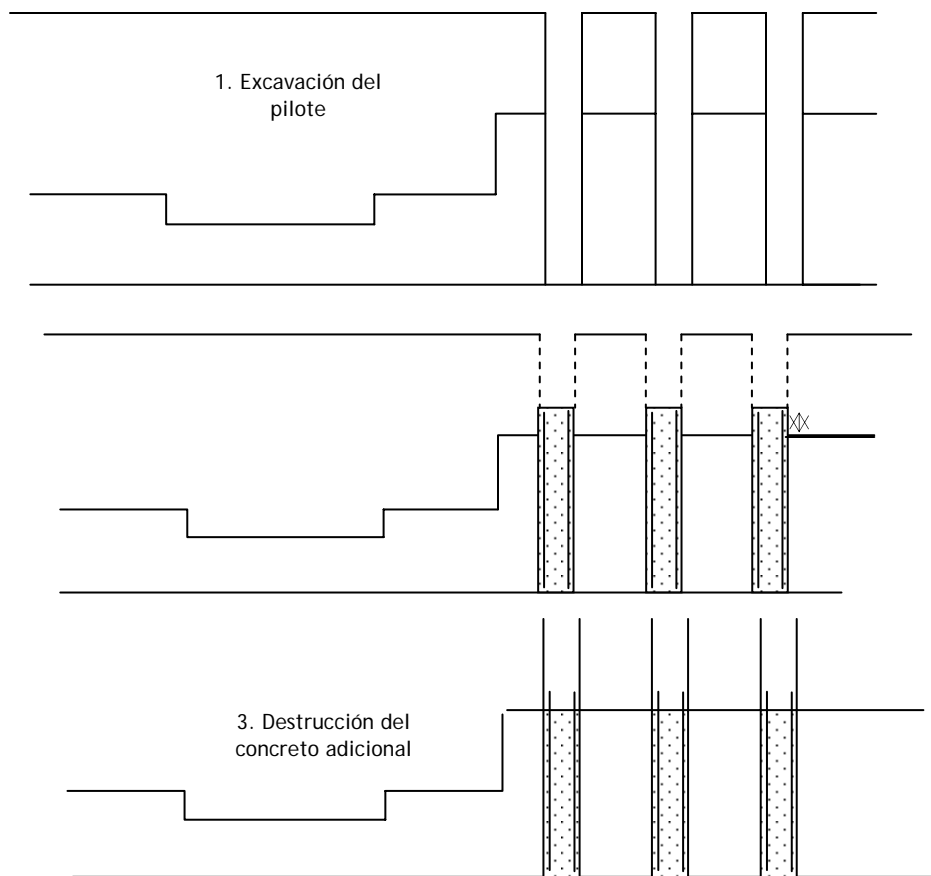


Figura 2.10A - Detalle Constructivo para Pilotes que no llegarán a la Superficie

2.5 Estación de Bombeo Boca La Caja

La Estación de Bombeo Boca La Caja, se encuentra ubicada cerca de la parte final de la línea de impulsión Vía Israel, tiene en su interior 5 bombas sumergibles, que están concebidas para manejar un caudal de 510 l/s cada una. Posteriormente, estas bombas envían el agua residual por medio de una tubería de 1600 mm de diámetro hacia la línea de impulsión Cincuentenario.

2.5.1 Trabajos de Campo y Laboratorio

Se realizaron 2 sondeos en el área donde se construirá esta estación de bombeo. Los sondeos fueron llevados hasta profundidades de 10.0 m y 15.0 m, y los métodos de perforación utilizados fueron percusión y rotación con tricono y corona de diamante. En la figura 2.11 se ilustra la localización en planta de los sondeos realizados.

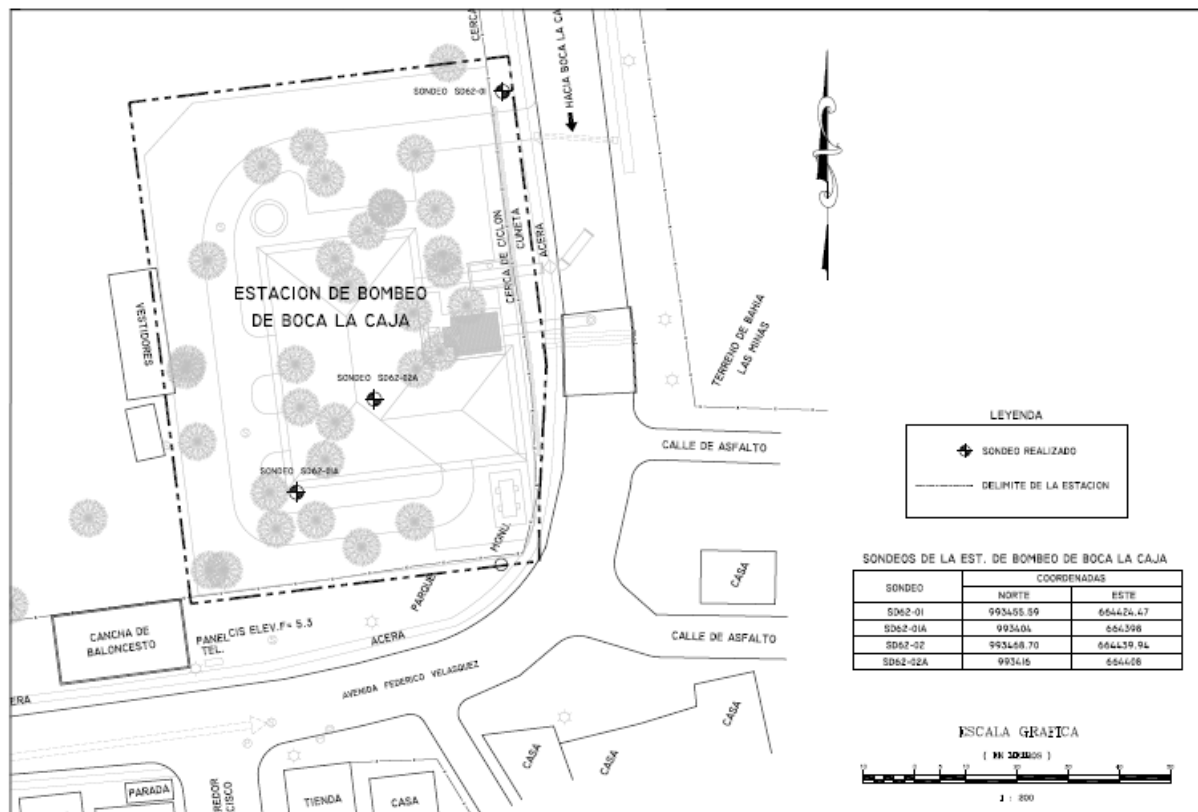


Figura 2.11 - Estación de Bombeo Boca La Caja - Localización en Planta de los Sondeos Realizados

En cada sondeo se registró el perfil de suelos y se tomaron muestras alteradas para ensayos de clasificación e inalteradas para pruebas de resistencia. Con las muestras así obtenidas se llevaron a cabo ensayos de laboratorio para determinar su contenido de agua en estado natural, distribución granulométrica, límites de consistencia y resistencia al corte. De igual manera, con base en las pruebas de campo y en el criterio y la experiencia del Ingeniero

Supervisor de las perforaciones, se determinó el grado de compacidad y consistencia de los materiales. Las pruebas de campo realizadas fueron: Penetración Estándar (SPT) y resistencia a la penetración mediante el penetrómetro de mano.

2.5.2 Estratigrafía

La estratigrafía se ilustra en la figura 2.12 y se describe a partir de la superficie de la siguiente manera:

- Arcilla arenosa de color café rojizo con pintas grises, con humedad media, plasticidad media a alta y consistencia firme a muy firme. Se encuentra a partir de la superficie hasta 2.0 m en ambos sondeos. Tiene finos entre 79% y 88%, L.L. e I.P. promedio de 57% y 31% respectivamente. Se midieron Penetraciones Estándar entre 9 y 21 con promedio de 14.
- Arena arcillosa o arcilla arenosa de color café grisáceo, con alto contenido de finos, plasticidad, humedad variable y compacidad suelta a media o consistencia media a firme, que se encuentra a partir del estrato anterior hasta 5.0 m en estos sondeos. Tiene finos variables entre 22% y 55%, L.L. de 32% a 39%, I.P. entre 15% y 20% y Penetraciones Estándar de 9 y 17.
- Limo arenoso residual de color café grisáceo a gris (tosca), con humedad y plasticidad baja a media y consistencia dura, que se encuentra a partir del estrato anterior hasta 8.0 m y 7.50 m respectivamente en los SD62-01 y SD62-02. La Penetración Estándar es superior a 50.
- Aglomerado tobácico, roca meteorizada dura de color café grisáceo a gris, que se encuentra a partir del estrato anterior hasta la profundidad explorada en estos sondeos. Esta roca presenta una resistencia a la compresión del orden de 125 Kg/cm².
- El nivel de aguas freáticas no fue detectado durante la realización de los sondeos.

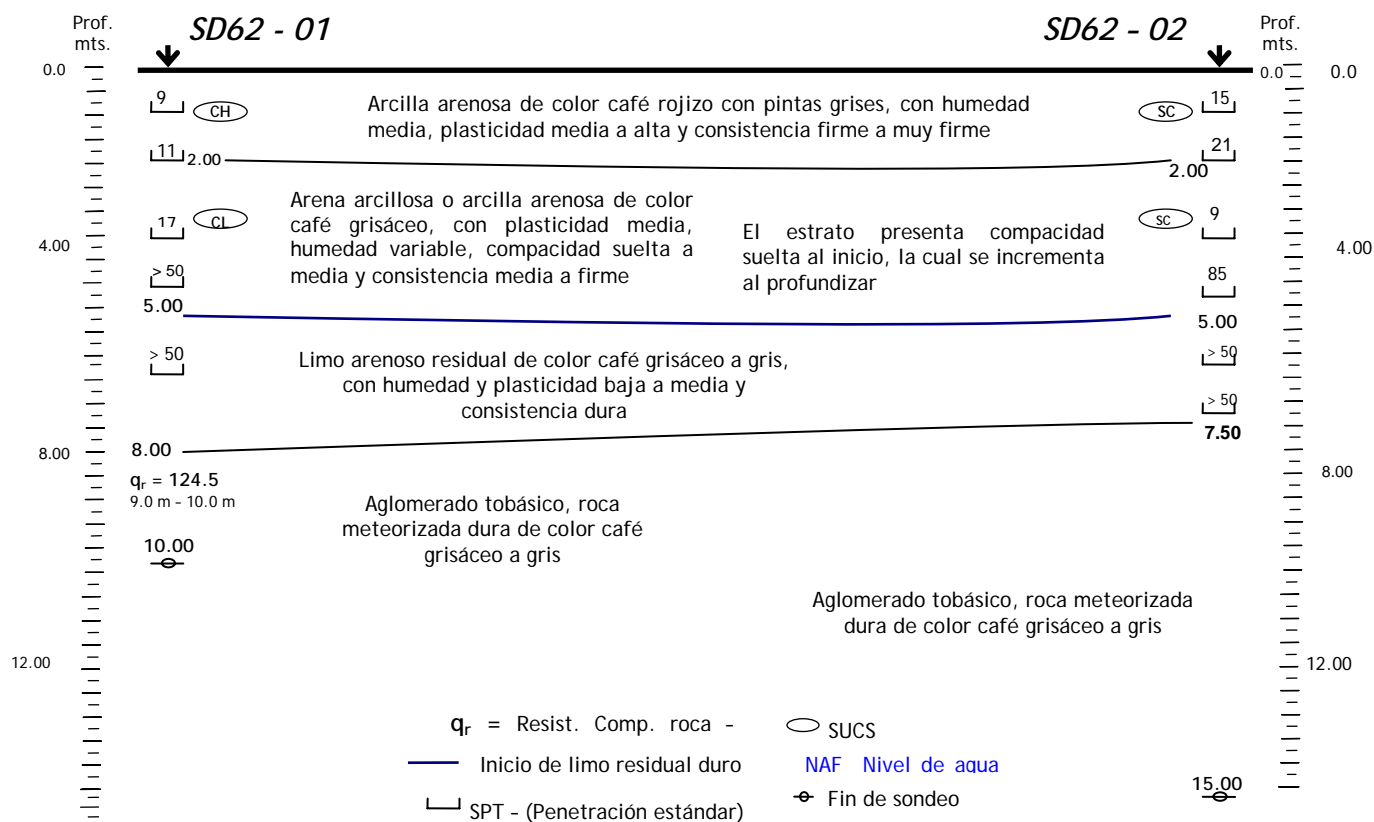


Figura 2.12 - Perfil Estratigráfico - Estación de Bombeo Boca La Caja -
Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de
Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

2.5.3 Análisis y Recomendaciones - Excavaciones

Es conveniente cimentar el foso de las bombas en algún estrato duro, para disminuir los efectos de las vibraciones de las bombas. Por tanto, las excavaciones en esta estación tendrán profundidades hasta de 5.0 m. Debido a las características geotécnicas de los suelos y a la ausencia del nivel freático, se considera que es posible realizar las excavaciones a cielo abierto, con una inclinación de los taludes de 2 vertical, 1 horizontal. Mientras se realice la construcción de las estructuras, es conveniente proteger los taludes con una delgada capa de concreto lanzado.

2.5.4 Análisis y Recomendaciones de Cimentación

De acuerdo con la estratigrafía encontrada y con las características de peso y condiciones de funcionamiento de las diferentes estructuras que conforman la estación Boca La Caja, se dan las siguientes recomendaciones de cimentación:

1. El foso de bombas debe cimentarse sobre el limo arenoso residual duro, encontrado a 5.0 m de profundidad. Este suelo tiene una capacidad portante permisible de 20.0 Ton/m². (Ver figuras 2.14 y 2.16).

2. Se asume que el canal de acceso a la estación de bombeo, quedará aproximadamente a 3.0 metros de profundidad, donde se registran aun estratos blandos o sueltos, en consecuencia, el tipo de cimentación mas apropiado es mediante pilotes circulares pre-excavados o fundidos in "situ" de 0.60 m de diámetro, apoyados en la tosca que se encuentra, como ya se mencionó, aproximadamente a 5.0 m de profundidad. La capacidad de carga permisible de cada pilote será de 15.0 Ton. En la figura 2.14 se indica la ubicación de los pilotes y la profundidad a la cual quedará este canal.
3. El recinto en donde estarán alojadas las válvulas de tapón y check, el acople flexible y la tubería grande que conduce el agua a la Línea de Impulsión Cincuentenario, se construirá a una profundidad de 2.80 m. Debe estar apoyado sobre pilotes circulares fundidos in "situ", de 0.60 m de diámetro, cimentados también sobre la tosca y por tanto tendrán aproximadamente 2.20 m de longitud (Ver figuras 2.15 y 2.16). La capacidad de carga permisible de cada pilote será de 15.0 Ton.
4. El transformador puede ser cimentado superficialmente mediante losa o zapata, utilizando una presión de contacto no mayor a 10.0 Ton/m^2 . La profundidad de cimentación será igual al espesor de la zapata y se recomienda compactar el fondo de la excavación mediante un equipo liviano, antes de construir el cimiento.
5. Los generadores producen vibraciones de tipo armónico, por lo tanto debe garantizarse que la fundación no experimente amplitudes de desplazamiento vibratorio superiores a las aconsejables para no causar daño al equipo ni incomodidad a las personas. En este caso se limitó la mitad de la amplitud a $0.001''$ (0.025 mm), de acuerdo con el criterio de Blake. Una losa rígida de 3.00 m de ancho x 7.00 m de largo colocada sobre el relleno cumple con los requisitos de Blake. La mitad de la máxima amplitud de vibración vertical para esta cimentación es de $0.0005''$ y la mitad de la máxima amplitud de vibración lateral es de $0.0009''$, para ambos tipos de vibración el generador con esta losa de cimentación está muy alejado de entrar en resonancia (ver memoria de cálculos en apéndices). Se utilizó la teoría mencionada en el análisis de la Estación Paitilla. (Ver figura 2.13)

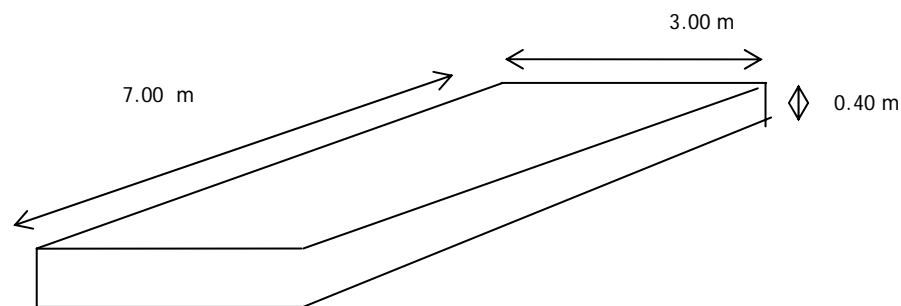


Figura 2.13 - Esquema de losa para la Cimentación de los Generadores
- Estación Boca La Caja

6. La caseta donde van el transformador y los generadores, podrá cimentarse superficialmente mediante zapata convencional utilizando una presión de contacto no mayor que 10.0 Ton/m^2 . Debe tenerse cuidado de separar estructuralmente, por medio de juntas de construcción, esta caseta del resto de la estructura que está apoyada con pilotes sobre el limo arenoso residual duro.
7. Es conveniente cimentar el corredor aledaño al recinto de válvulas, con el mismo tipo de pilotes anteriormente descritos. (Ver figuras 2.15 y 2.16).
8. A continuación en las figuras 2.14, 2.15 y 2.16, se ilustran las principales estructuras de la Estación de Bombeo Boca La Caja, y cada una de las cimentaciones sugeridas.
9. Para muros de contención, el empuje lateral puede calcularse mediante un diagrama de presiones triangular, considerando un peso unitario del suelo de 1.75 Ton/m^3 y un coeficiente de empuje lateral del suelo de 0.42.
10. Durante la realización de los sondeos, no se detectó nivel freático en el suelo, en consecuencia no se espera que se produzcan fenómenos de licuación.
11. El concreto utilizado para la construcción de los pilotes debe tener una resistencia a la compresión mínima de 280 Kg/cm^2 (28 MPa). Estos pilotes también deben profundizarse mínimo 0.50 m en el estrato resistente.
12. Aunque debajo de la tosca se encuentra la roca dura, no se recomendó llevar los pilotes hasta ella, para evitar el uso de equipos de perforación más complejos. Por otro lado, la capacidad portante de los pilotes recomendados es suficiente para cimentar estas estructuras. Sin embargo el constructor debe penetrarlos mínimo 0.50 m en la tosca, para asegurar de que desarrollen la capacidad portante.
13. Los pilotes cuya cabeza no llegará hasta la superficie, se sugiere construirlos antes de realizar las excavaciones, por la dificultad de meter dentro de ellas las máquinas constructoras. Para ello, se realiza la excavación del pilote desde la superficie, se coloca el acero de refuerzo y se funde el concreto hasta aproximadamente 1.0 m por encima de la futura cabeza del pilote (o según experiencia del constructor). Luego se destruye el concreto de esta longitud adicional, que generalmente es de mala calidad. Después de esto, se pueden colocar las tablestacas para iniciar las excavaciones (ver figura 2.10A).
14. Inmediatamente después de terminar las excavaciones, se recomienda proteger el fondo con un solado de concreto pobre, con el fin de evitar remoldeo del suelo por aguas lluvias y procesos constructivos.
15. Si durante el diseño o construcción se encuentran condiciones del subsuelo no previstas en este informe, deben ajustarse los diseños a las nuevas condiciones.

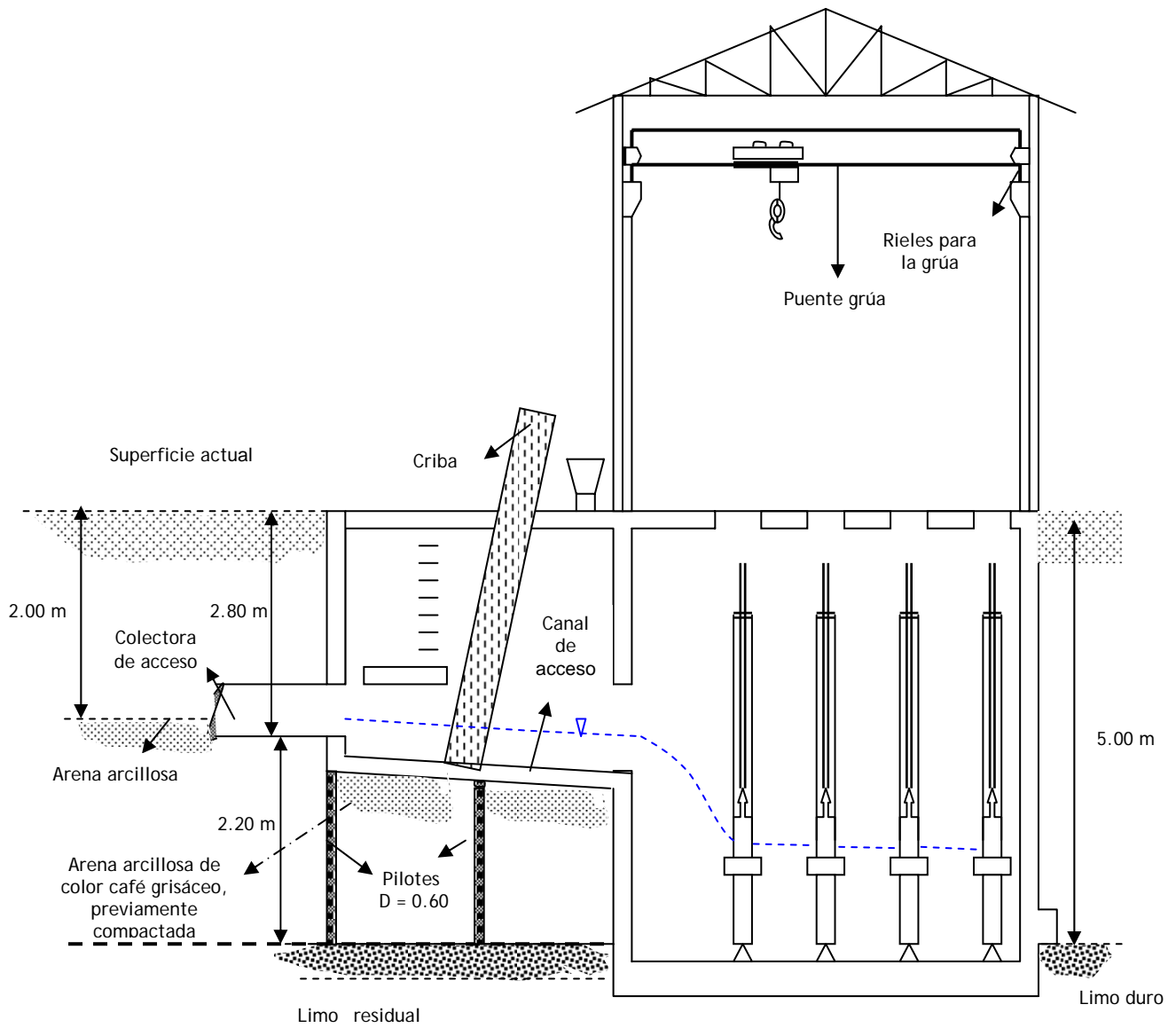


Figura 2.14 - Estación de Bombeo Boca La Caja
Vista Frontal

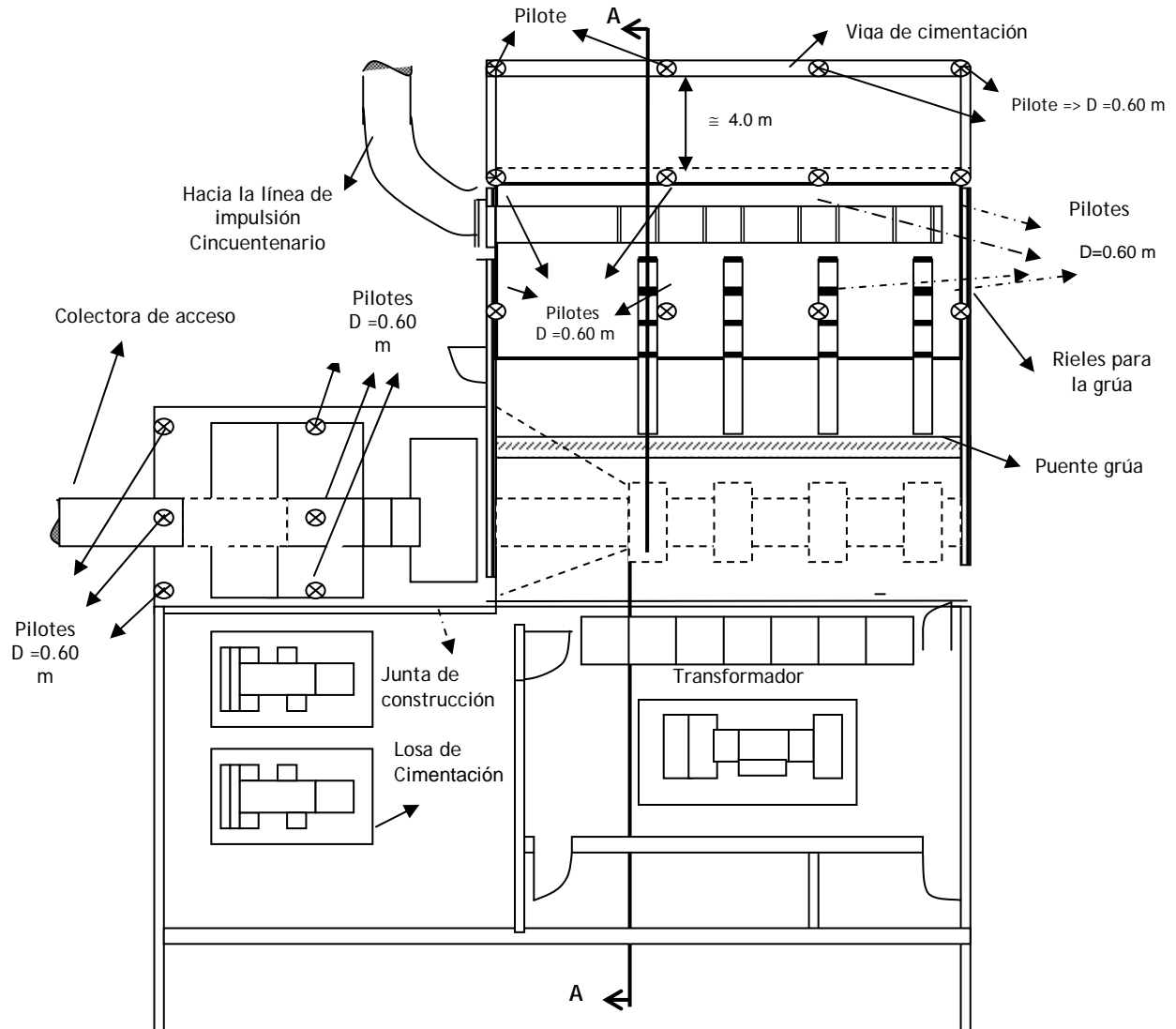


Figura 2.15 - Estación de Bombeo Boca La Caja - Vista en Planta

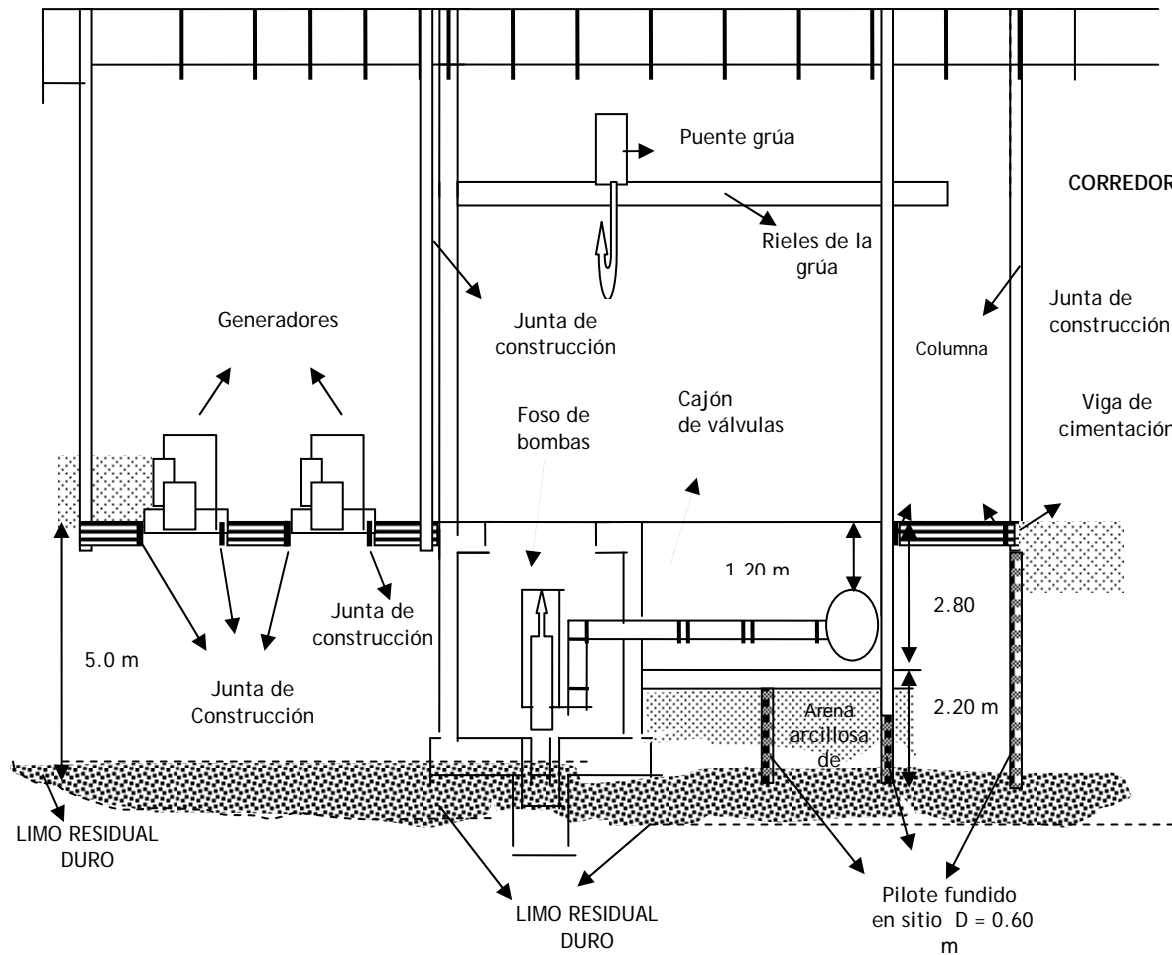


Figura 2.16 - Estación de Bombeo Boca La Caja - Vista lateral; (Corte A-A de la planta)

2.6 Estación de Bombeo Río Abajo

La Estación de Bombeo Río Abajo, se encuentra ubicada cerca de la parte final de la línea de impulsión Cincuentenario, tiene en su interior 4 bombas sumergibles, que están concebidas para manejar un caudal de 310 l/s cada una. Las bombas envían el agua residual por medio de una tubería de 1700 mm de diámetro hacia la línea de impulsión Parque Lefevre.

2.6.1 Trabajos de Campo y Laboratorio

Se realizaron 2 sondeos en el área donde se construirá esta estación de bombeo. Los sondeos se llevaron hasta profundidades de 7.0 m y 12.0 m, y los métodos de perforación utilizados fueron percusión y rotación con tricono y corona de diamante. En la figura 2.17 se ilustra la localización en planta de los sondeos realizados.

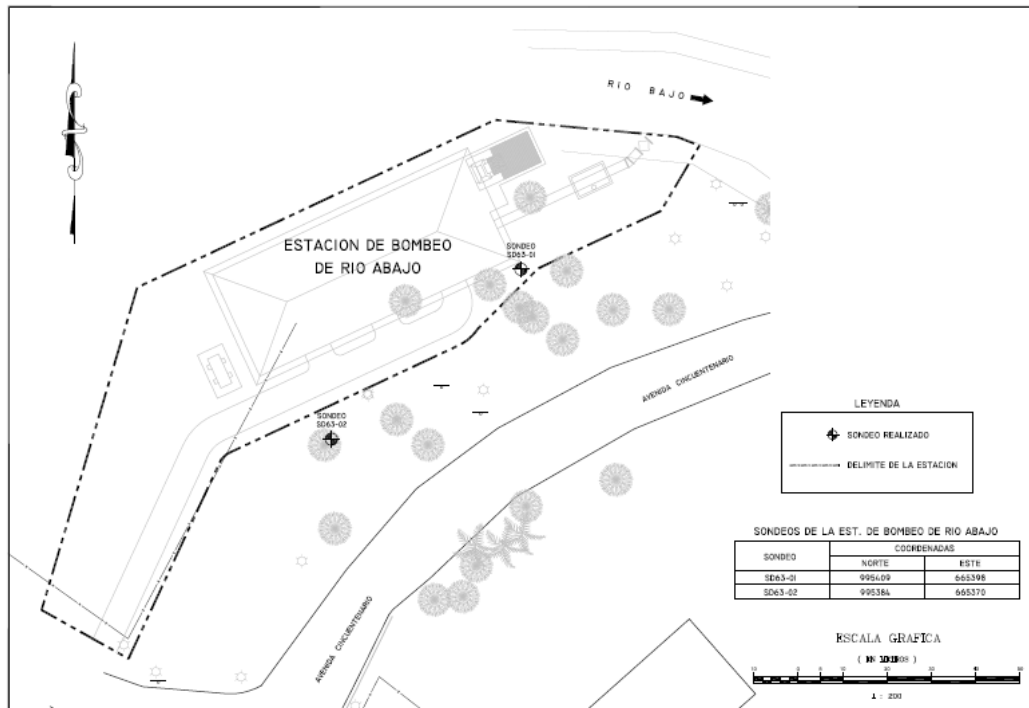


Figura 2.17 - Estación de Bombeo Rio Abajo - Localización en Planta de los Sondeos Realizados

En cada sondeo se registró el perfil de suelos y se tomaron muestras alteradas para ensayos de clasificación e inalteradas para pruebas de resistencia. Con estas muestras se realizaron ensayos de laboratorio para determinar su contenido de agua en estado natural, distribución granulométrica, límites de consistencia y resistencia al corte. De igual manera, con base en pruebas de Penetración Estándar y en el criterio y la experiencia del Ingeniero Supervisor de las perforaciones, se determinó el grado de compacidad y consistencia de los materiales.

2.6.2 Estratigrafía

La estratigrafía se ilustra en la figura 2.18 y se describe a partir de la superficie de la siguiente manera:

- Relleno heterogéneo conformado por mezcla de arcilla, arena, grava y fragmentos de roca, plasticidad media a alta, humedad baja a media y compacidad suelta. Se encuentra a partir de la superficie hasta 3.0 m en ambos sondeos. Contiene finos entre 35% y 48%, L.L. de 39% a 46%, I.P. entre 21% y 26% y Penetración Estándar entre 5 y 16, con promedio de 9.
- Arcilla de color gris oscuro, con humedad y plasticidad media a alta y consistencia blanda, que se encuentra a partir del estrato anterior hasta 5.0 m en el SD63-02 únicamente. Tiene 64% de finos, L.L.= 59%, I.P.=34% y Penetración Estándar promedio de 4.

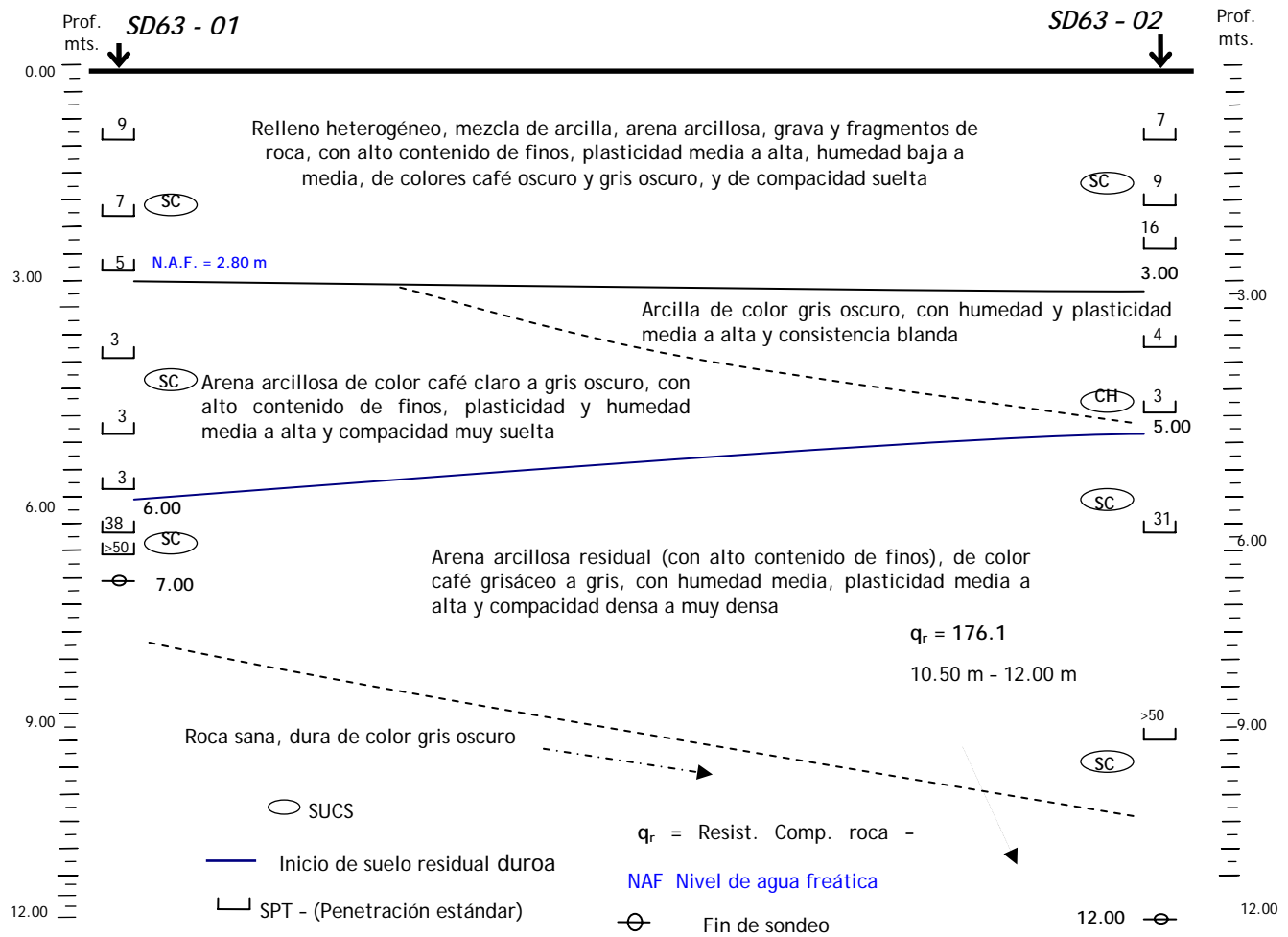


Figura 2.18 - Perfil Estratigráfico - Estación de Bombeo Rio Abajo -
Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de
Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

- Arena arcillosa de color café claro a gris oscuro, con alto contenido de finos, plasticidad y humedad media a alta y compacidad muy suelta, que se encuentra a partir del relleno heterogéneo hasta 6.0 m en el SD63-01. Este suelo tiene 25% de finos, L.L.=40%, I.P.=23% y Penetración Estándar promedio de 3.
- Arena arcillosa residual de color café grisáceo a gris (tosca), con alto contenido de finos, humedad media, plasticidad media a alta y compacidad alta a muy alta. Se registra a partir de los estratos anteriores hasta la profundidad explorada en el SD63-01 y hasta 10.50 m en el SD63-02. Tiene finos entre 33% y 41%, L.L. de 44% a 50%, I.P. desde 27% a 30% y Penetración Estándar entre 31 y >50.
- Roca sana dura de color gris oscuro, que se detectó únicamente en el SD63-02, debajo del estrato anterior hasta la profundidad explorada. Esta roca

presenta una resistencia a la compresión inconfiada del orden de 176 Kg/Cm².

- El nivel de aguas freáticas fue detectado a 2.80 m de profundidad en el SD63-01 únicamente.

2.6.3 Análisis y Recomendaciones - Excavaciones

Debido a la necesidad de cimentar el foso de bombas directamente sobre un estrato duro, como se ha mencionado en las estaciones anteriores, las excavaciones en esta estación tendrán profundidades ligeramente superiores a 6.0 m.

De acuerdo con las características geotécnicas del suelo, se considera que el sistema mas apropiado para realizar las excavaciones es utilizando tablestaca metálica, hincada hasta encontrar rechazo en la arena arcillosa residual.

Deben colocarse apuntalamientos metálicos a la tablestaca en la parte superior y en la parte inferior, como se indica en las figuras 2.19, 2.20, 2.21 y 2.22.

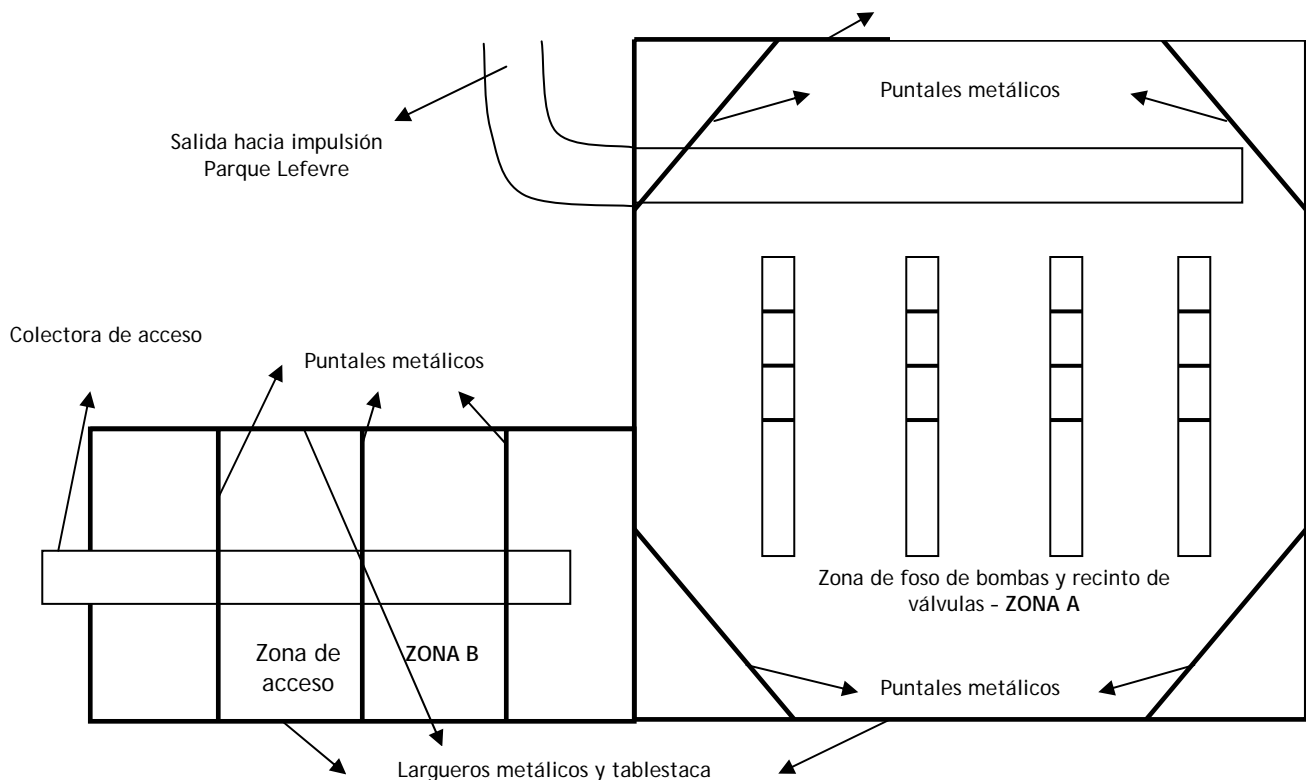


Figura 2.19 - Vista en Planta de la Zona que debe llevar Apuntalamientos para Realizar las Excavaciones - Estación de Bombeo Río Abajo

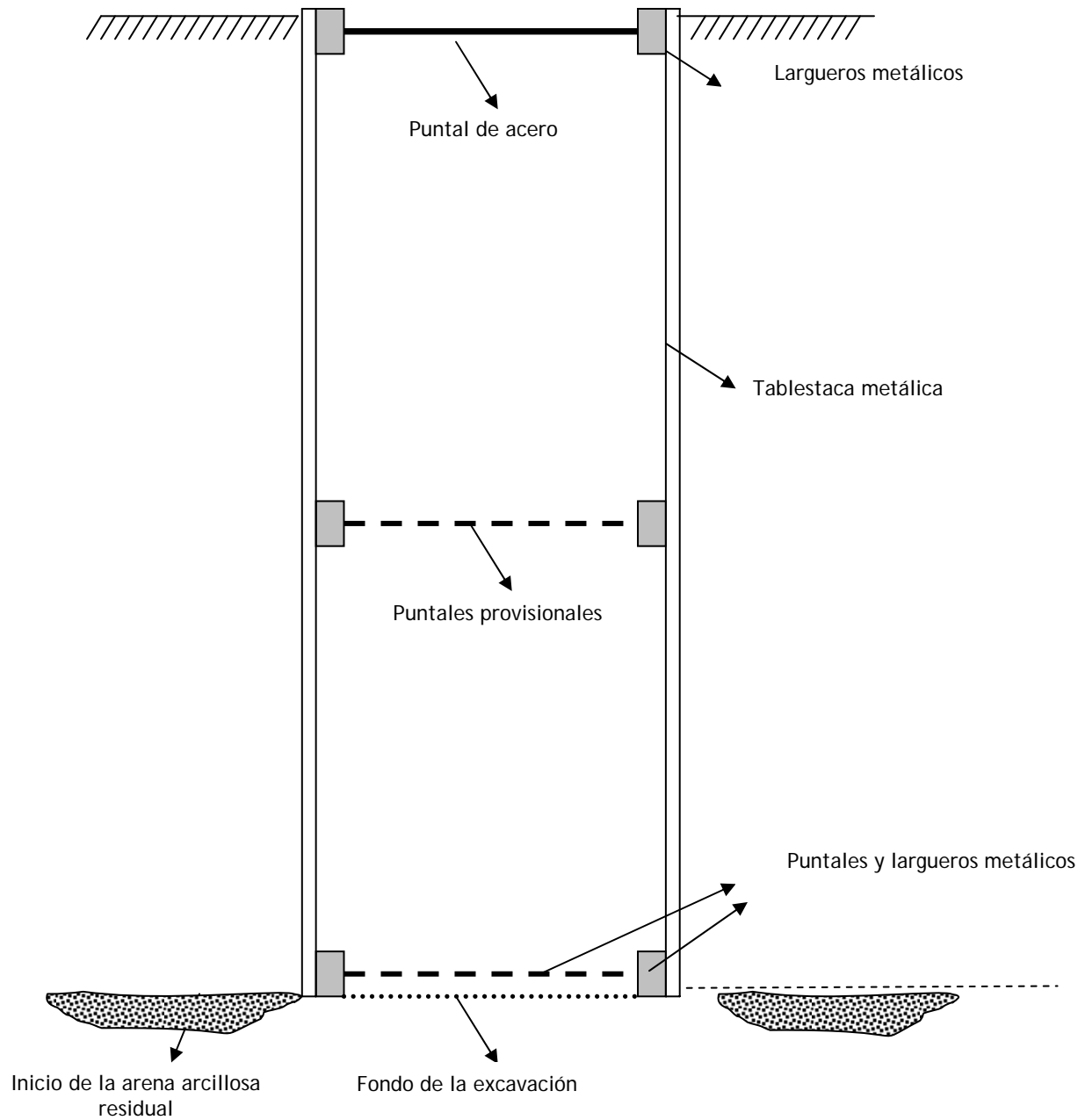


Figura 2.20 - Esquema de Excavaciones, Tablestacas y Apuntalamientos - Estación de Bombeo Río Abajo

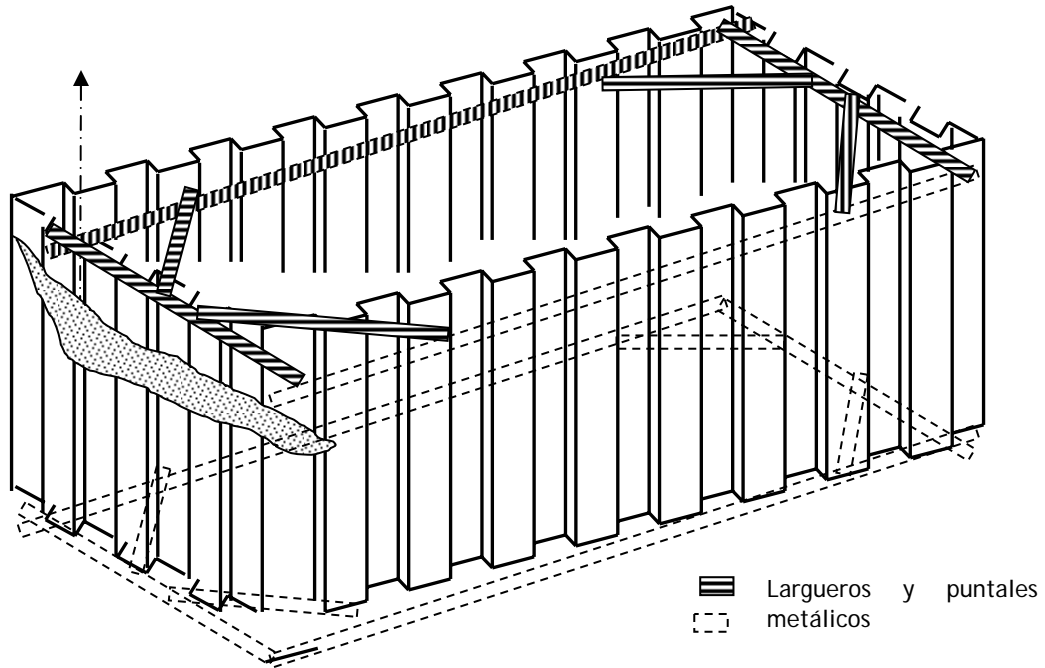


Figura 2.21 - Detalle de Recintos Tablestacados y sus Apuntalamientos - ZONA A - Estación Río Abajo

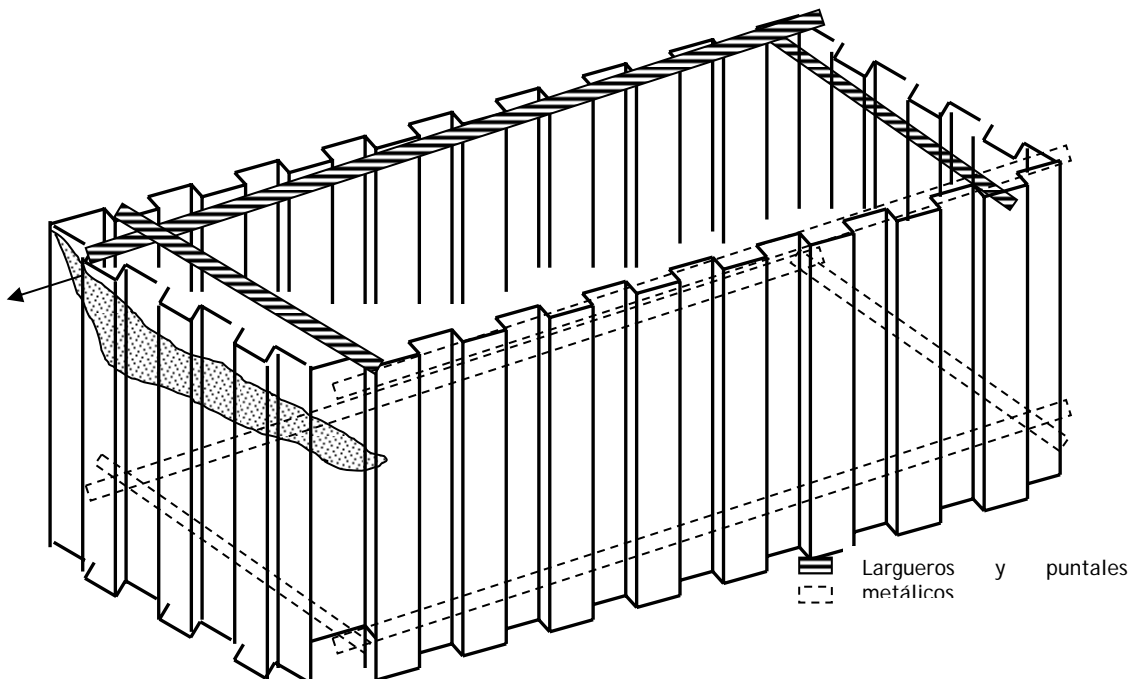


Figura 2.22 - Detalle de Recintos Tablestacados y sus Apuntalamientos - ZONA B - Estación Río Abajo

En la figura 2.23 se ilustra la forma del diagrama de presiones y los empujes que actúan sobre la tablestaca y que fueron considerados en los cálculos. El diagrama de presiones se consideró de acuerdo con el criterio de Peck para suelos arenosos. Los valores de los empujes, reacciones, momentos y otras magnitudes que se citarán en las páginas siguientes, tienen respaldo en la memoria de cálculos en el apéndice de éste informe.

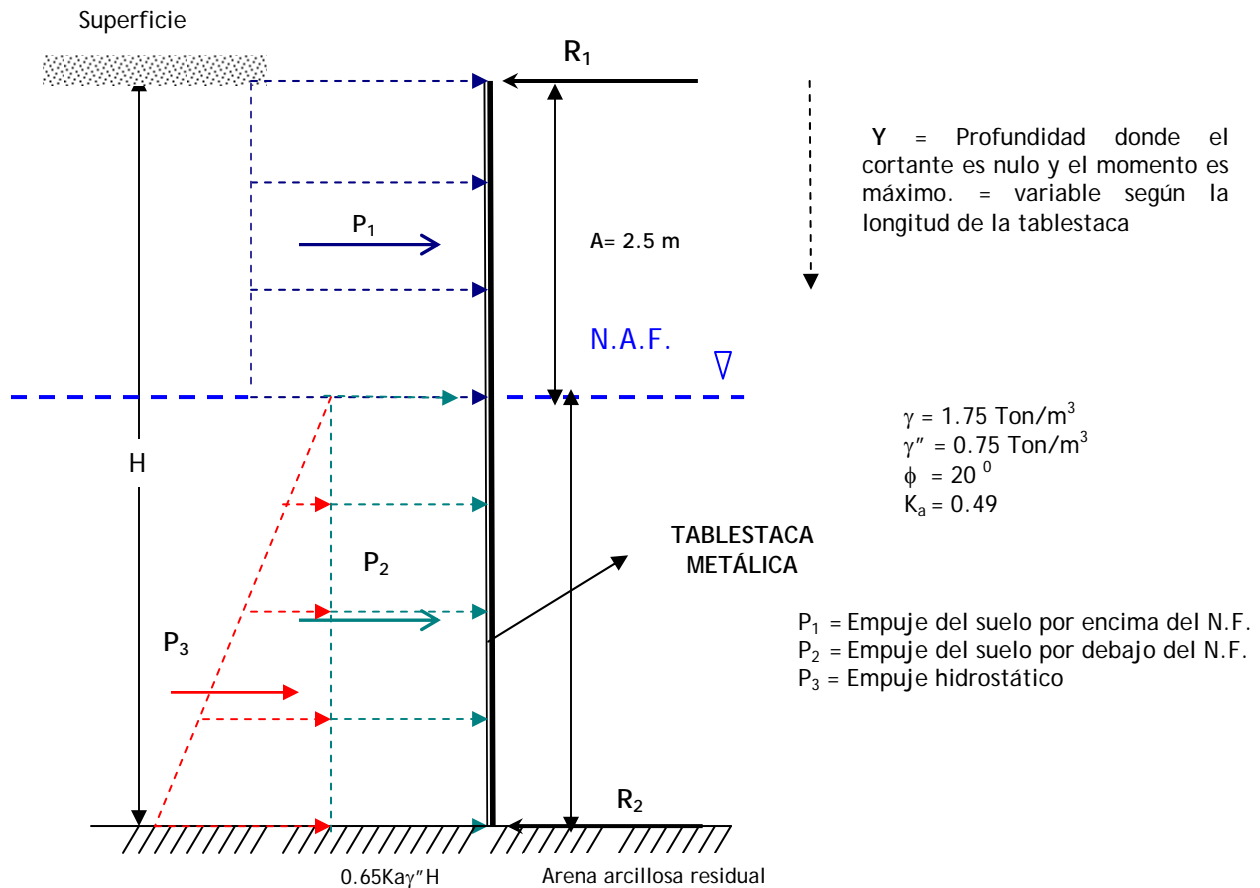


Figura 2.23 - Diagramas de Presiones, Empujes y Reacciones sobre la Tablestaca - Estación de Bombeo Río Abajo

A continuación se dan algunas recomendaciones adicionales para realizar las excavaciones en la estación de bombeo Río Abajo:

1. Los momentos máximos, sin factor de seguridad, para escoger la sección de la tablestaca, de acuerdo con la longitud, se indican en el tabla 2.2. De igual manera, se dan los valores de las reacciones R_1 y R_2 para escoger los puntales y largueros metálicos. Nótese que tanto los valores de los momentos, como los de las reacciones, están expresados en toneladas por metro de longitud de excavación. (Ver también memoria de cálculos en el apéndice de este informe).

Tabla 2.2 - Momentos Máximos y Reacciones para Tablestacas

Profundidad de excavación - m	MOMENTO MÁXIMO (Ton-m/m)	R1 (Ton/m)	R2 (Ton/m)
3.0	1.8	2.5	2.2
4.0	3.3	3,4	3,5
5.0	6.6	5,4	6.2
6.0	11.9	7,9	9.9

2. Cuando se esté haciendo la excavación a lo largo de la tablestaca, deben colocarse puntales intermedios provisionales como se ilustra en la figura 2.20.

2.6.4 Análisis y Recomendaciones de Cimentación

De acuerdo con la estratigrafía encontrada en el sitio y teniendo en cuenta las características de peso y condiciones de funcionamiento de las diferentes estructuras que conforman la estación Río Abajo, se dan las siguientes recomendaciones de cimentación:

1. Debido a la vibración que producen las bombas, es conveniente cimentar el foso donde se alojan, sobre un estrato rígido y duro como la arena arcillosa residual (tosca), que se encuentra aproximadamente a 6.0 m de profundidad. Su capacidad portante permisible es de 20.0 Ton/m². (Ver figuras 2.25 y 2.27).
2. Como el canal de acceso a la estación de bombeo, quedará aproximadamente a 3.0 metros de profundidad, donde aun se registran estratos muy blandos o sueltos, el tipo de cimentación mas apropiado es mediante pilotes circulares pre-excavados o fundidos in situ de 0.60 m de diámetro, apoyados en el estrato de tosca resistente que se encuentra a 3.0 m por debajo del fondo del canal. La capacidad de carga permisible de cada pilote será de 15.0 Ton. En la figura 2.25 se indica la ubicación de los pilotes y la profundidad a la cual quedará este canal.
3. El recinto donde estarán alojadas las válvulas de tapón y check, el acople flexible y la tubería que conduce el agua a la Línea de Impulsión Parque Lefevre, debe colocarse a 2.90 m de profundidad. Por lo tanto es conveniente apoyarlo sobre el mismo tipo de pilotes circulares de 0.60 m de diámetro, llevados también hasta la arena arcillosa resistente. (Ver figuras 2.26 y 2.27).
4. El transformador puede cimentarse superficialmente mediante losa o zapata, utilizando una presión de contacto no mayor a 10.0 Ton/m². La profundidad de cimentación será igual al espesor de la zapata y se recomienda compactar el fondo de la excavación, antes de construir el

cimiento.

5. Los generadores producen vibraciones de tipo armónico, por lo tanto debe garantizarse que la fundación no experimente amplitudes de desplazamiento vibratorio superiores a las aconsejables para no causar daño al equipo ni incomodidad a las personas. En este caso se limitó la mitad de la amplitud a 0.001" (0.025 mm), de acuerdo con el criterio de Blake. Una losa rígida de 2.00 m de ancho x 4.50 m de largo colocada sobre el relleno cumple con los requisitos de Blake. La mitad de la máxima amplitud de vibración vertical para esta cimentación es de 0.001" y la mitad de la máxima amplitud de vibración lateral es de 0.001", para ambos tipos de vibración el generador con esta losa de cimentación está muy alejado de entrar en resonancia (ver memoria de cálculos en el apéndice de este informe). Se utilizó la teoría mencionada en el análisis de la Estación Paitilla.

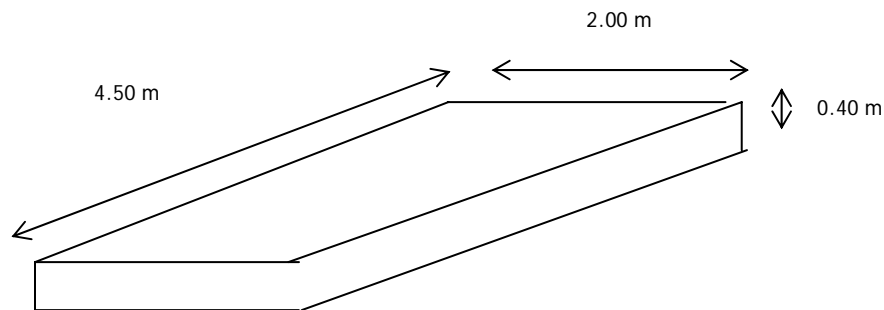


Figura 2.24 - Esquema de Losa para la Cimentación de los Generadores - Estación Río Abajo

6. La caseta donde van el transformador y los generadores, podrá cimentarse superficialmente mediante zapata convencional utilizando una presión de contacto no mayor que 10.0 Ton/m². Debe tenerse cuidado de separar estructuralmente esta caseta, por medio de junta de construcción, del resto de la estructura que está apoyada sobre pilotes en la arena arcillosa resistente, con el fin de evitar asentamientos diferenciales. Es recomendable compactar el fondo de las excavaciones antes de construir las zapatas.
7. Es conveniente cimentar el corredor aledaño al recinto de válvulas, con el mismo tipo de pilotes anteriormente descritos. (Ver figuras 2.26 y 2.27).
8. A continuación en las figuras 2.25, 2.26 y 2.27, se ilustran las principales estructuras de La Estación de Bombeo Río Abajo, y cada una de las cimentaciones sugeridas.
9. Para muros de contención, el empuje lateral puede calcularse considerando el mismo diagrama de presiones que actúa sobre la tablestaca.

10. Al igual que en la estación Boca La Caja, los pilotes cuya cabeza no llegará hasta la superficie, se sugiere construirlos antes de realizar las excavaciones y de la misma manera, por las razones allá indicadas. (ver figura 2.10A).
11. Inmediatamente después de terminar las excavaciones, se recomienda proteger el fondo con un solado de concreto pobre, con el fin de evitar remoldeo del suelo por aguas lluvias y procesos constructivos.
12. El concreto utilizado para la construcción de los pilotes debe tener una resistencia a la compresión mínima de 280 Kg/cm^2 (28 MPa). Estos pilotes también deben profundizarse mínimo 0.50 m en el estrato resistente.
13. Si durante el diseño o construcción se encuentran condiciones del subsuelo no previstas en este informe, deben ajustarse los diseños a las nuevas condiciones.

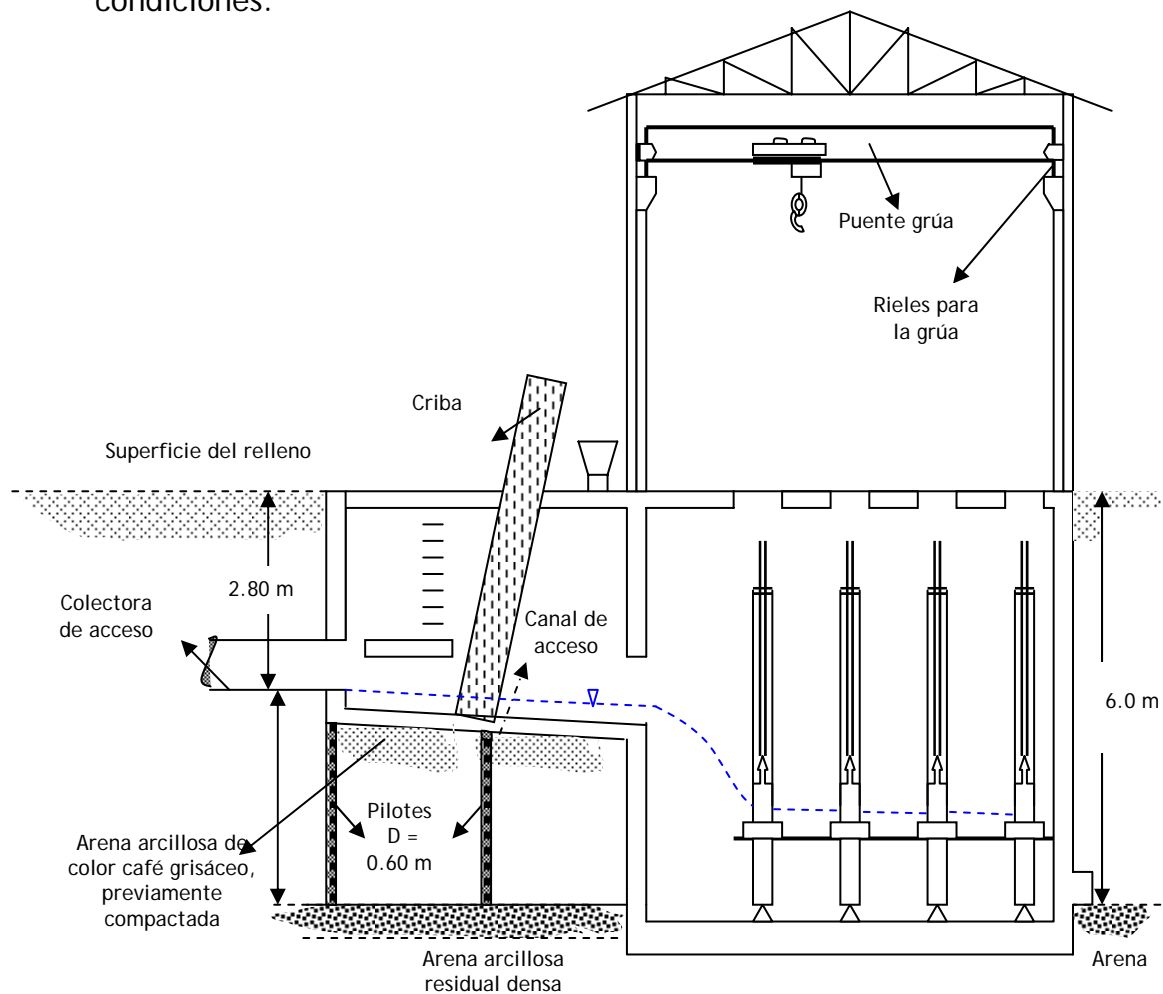


Figura 2.25 - Estación de Bombeo Río Abajo
Vista frontal

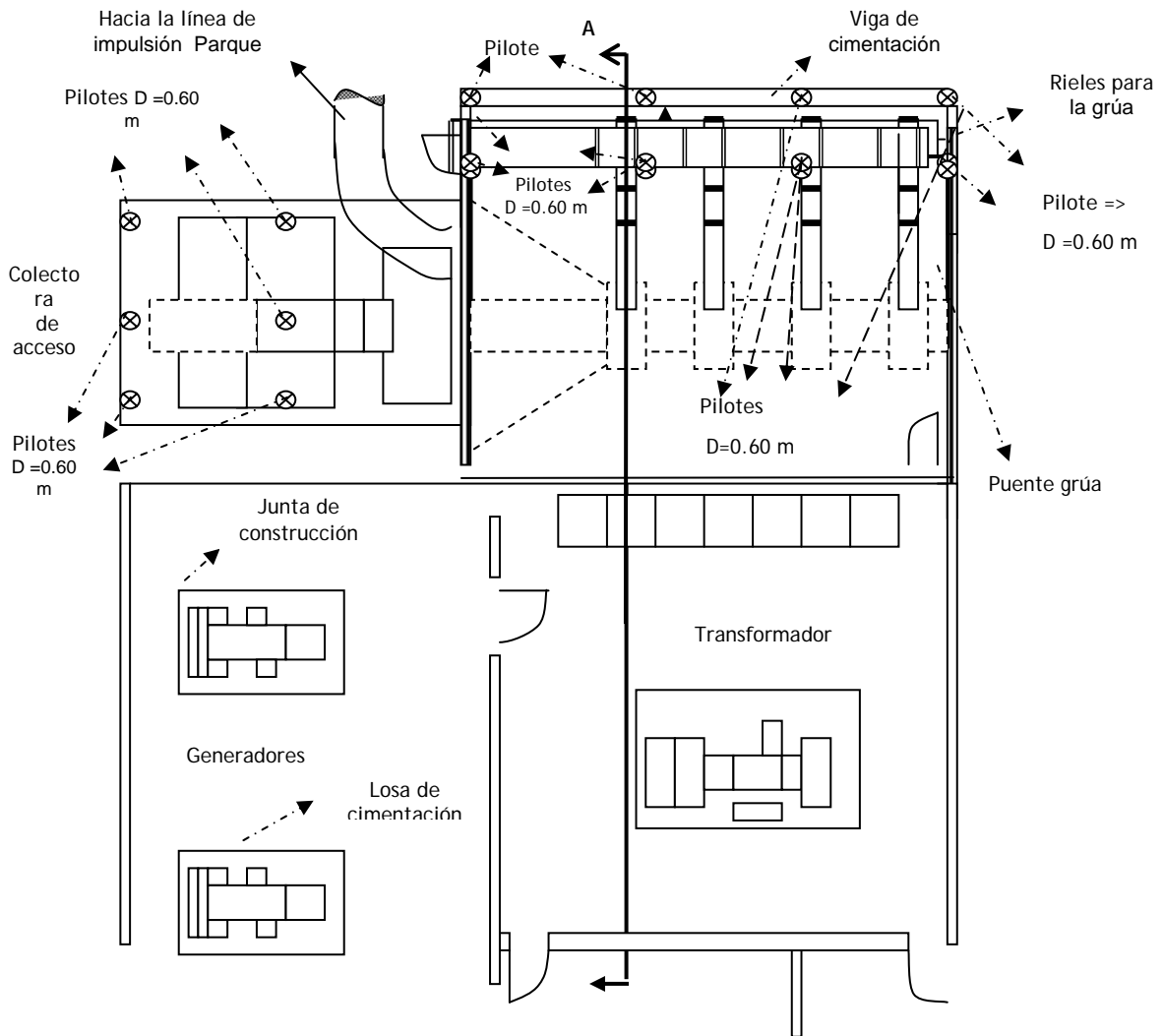


Figura 2.26 - Estación de Bombeo Río Abajo - Vista en Planta

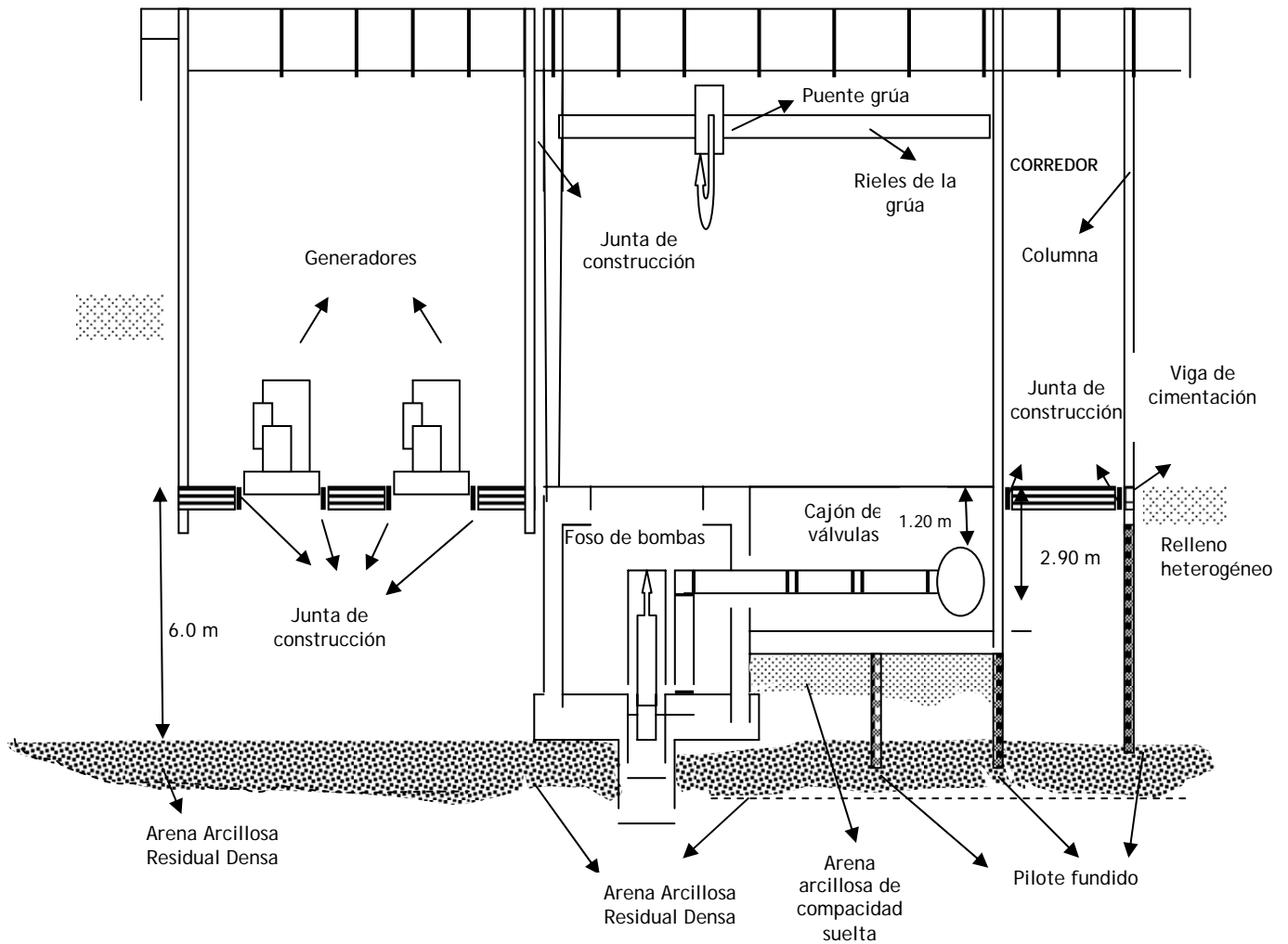


Figura 2.27 - Estación de Bombeo Río Abajo - Vista lateral; (Corte A-A de la planta)

2.7 Estación de Bombeo Matías Hernández

La Estación de Bombeo Matías Hernández, se encuentra ubicada cerca de la parte final de La Línea de Impulsión Parque Lefevre, tiene en su interior 4 bombas sumergibles, que están concebidas para manejar un caudal de 610 l/s cada una. Las bombas enviarán el agua residual por medio de una tubería de 2000 mm de diámetro hacia la línea de impulsión Jardín Olímpico.

La actual superficie del lote donde se construirá esta estación, se encuentra aproximadamente 1.50 m por debajo del nivel de máxima inundación del río Matías Hernández. Es conveniente entonces, elevar el piso mínimo 2 m con un relleno adicional. Se recomienda colocar este material 3 meses antes de comenzar los trabajos de excavación y construcción, por motivos técnicos que se explicarán mas adelante. La superficie que debe cubrirse con este relleno previo, es la indicada en las figuras 2.28 y 2.29. (En estas figuras puede verse que en el área donde se excavará posteriormente, no se colocará relleno).

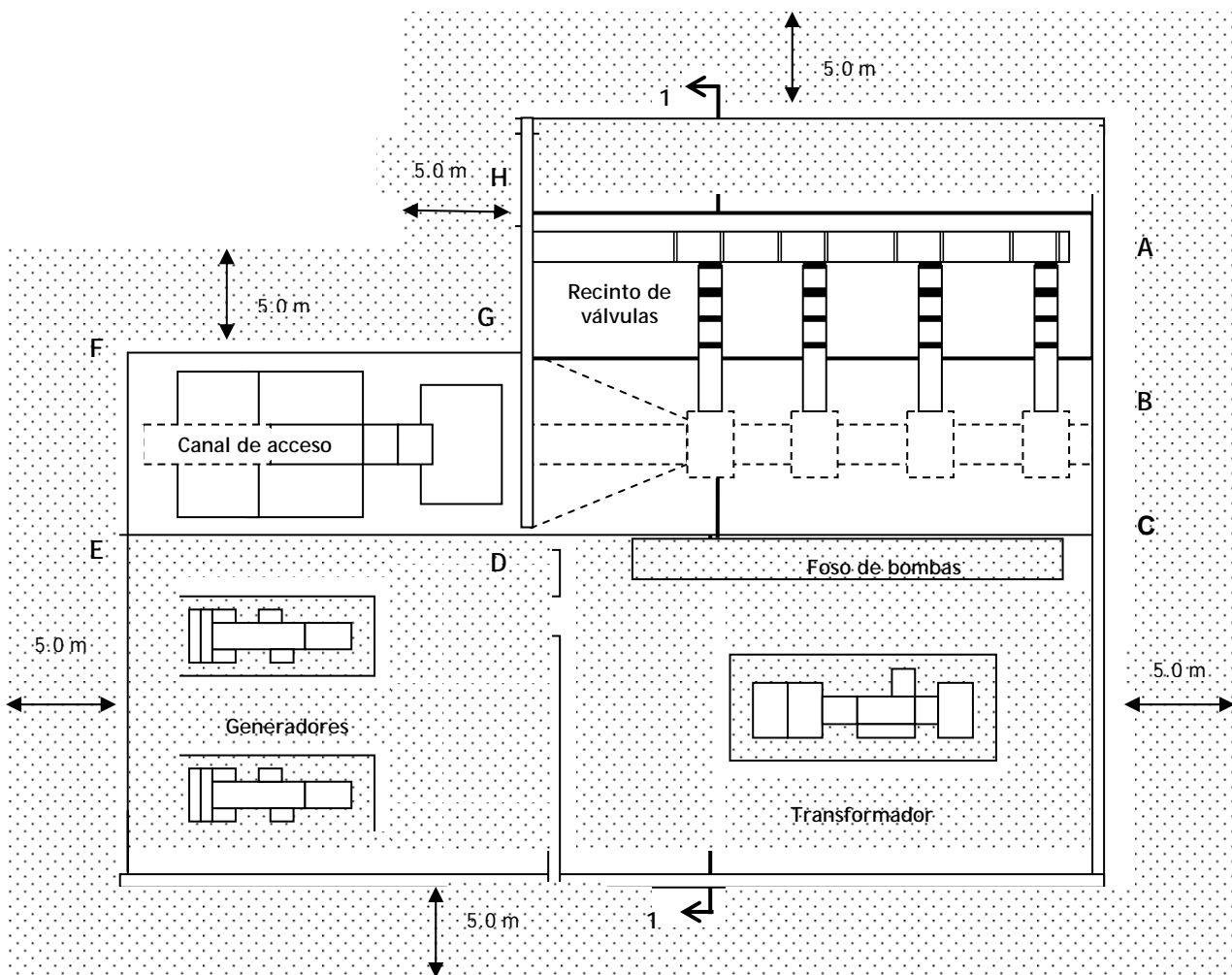


Figura 2.28 - Detalle de las Zonas que deben Rellenarse - E.B. Matías Hernández - Planta

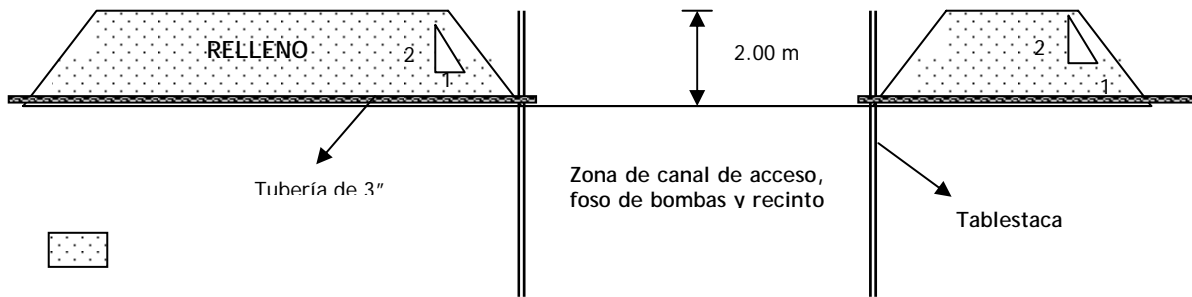


Figura 2.29 - Detalle de las Zonas que deben Rellenarse - Corte 1-1- Perfil

2.7.1 Trabajos de Campo y Laboratorio

Se realizaron 2 sondeos en el área donde se construirá esta estación de bombeo. Los sondeos se llevaron hasta profundidades de 10.0 m y 15.0 m, y los métodos de perforación utilizados fueron percusión y rotación con tricono y corona de diamante. En la figura 2.30 se ilustra la localización en planta de los sondeos realizados.

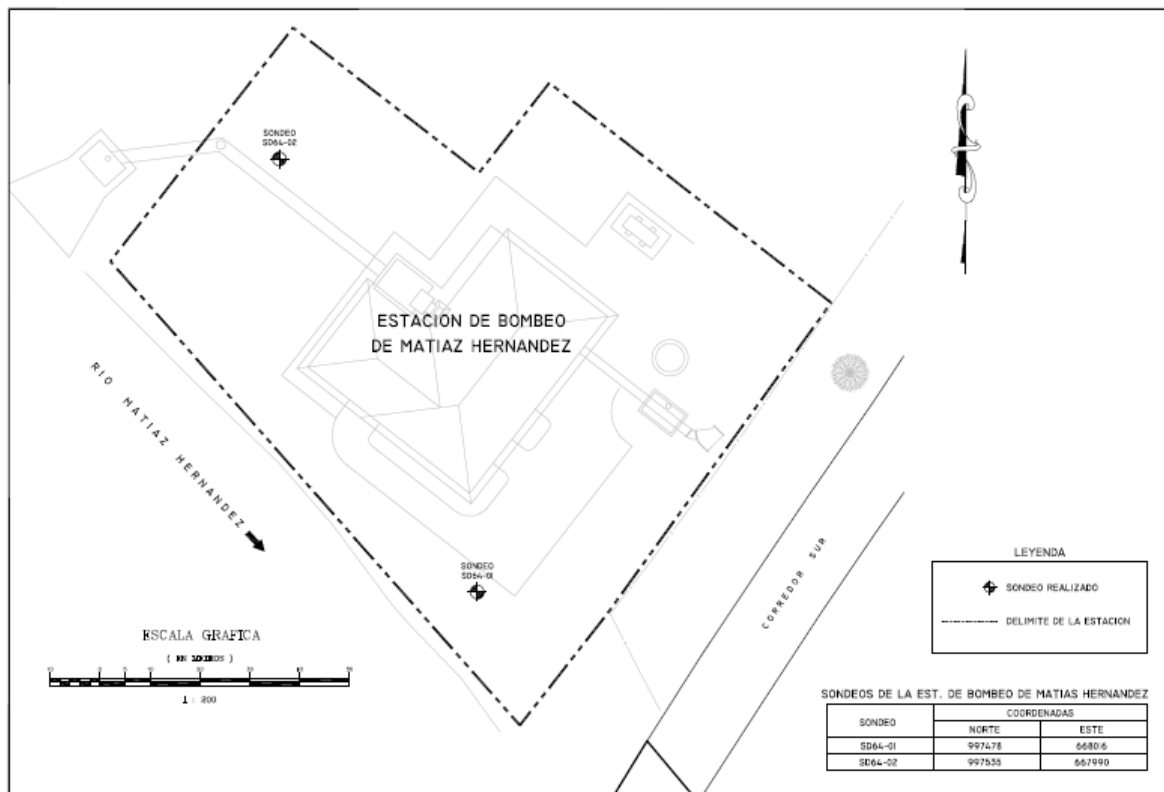


Figura 2.30 - Estación de Bombeo Matías Hernández - Localización en Planta de los Sondeos Realizados

En cada sondeo se registró el perfil de suelos y se tomaron muestras alteradas para ensayos de clasificación e inalteradas para pruebas de resistencia. Con estas muestras se realizaron ensayos de laboratorio para determinar su contenido de agua en estado natural, distribución granulométrica, límites de consistencia y resistencia al corte. De igual manera, con base en pruebas de campo y en el criterio y la experiencia del Ingeniero Supervisor de las perforaciones, se determinó el grado de compacidad y consistencia de los materiales. Las pruebas de campo realizadas fueron Penetración Estándar y resistencia a la penetración mediante el penetrómetro de bolsillo.

2.7.2 Estratigrafía

La estratigrafía se ilustra en la figura 2.31 y se describe a partir de la superficie de la siguiente manera:

- Relleno conformado por arcilla plástica de color café oscuro, con 87% de finos, L.L.= 57% e I.P.= 34%, humedad media, consistencia blanda a media y Penetración Estándar promedio de 6. Se encuentra hasta 1.95 m y 3.30 m respectivamente en estos sondeos.
- Arcilla sedimentaria de alta plasticidad, conocida localmente como lama, con L.L.= 62% e I.P.= 39%, de color café grisáceo a gris oscuro, humedad media a alta, consistencia muy blanda a blanda, y Penetración Estándar promedio de 3. Se encuentra debajo del estrato anterior hasta 7.50 m y 8.0 m en estos sondeos. Este estrato presenta en promedio una cohesión de 0.57 Ton/m² y un ángulo ϕ de 3.5⁰, en ensayos de corte directo sin drenar.
- Arena arcillosa de color gris, de L.L.= 40% e I.P.= 23%, con alto contenido de finos (28%), humedad y plasticidad media, compacidad muy suelta a suelta y Penetración Estándar promedio de 6. Se encuentra debajo de la arcilla anterior hasta 9.55 m, en el SD64-01 únicamente.
- Arena arcillosa residual de color café grisáceo y gris (tosca), con 39% de finos plásticos, L.L.= 50% e I.P.= 32%, humedad media, compacidad media y Penetración Estándar promedio de 22. Se detectó debajo de los dos estratos anteriores hasta el fondo de la perforación y hasta 10.0 m respectivamente en los SD64-01 y SD64-02.
- Arenisca de grano fino, roca medianamente dura, de color café grisáceo a gris. Este material presenta algunas fisuras con oxidación. Se encontró debajo del limo arenoso residual en el SD64-02.
- El nivel de aguas freáticas fue detectado entre 3.00 m y 3.50 m en estos sondeos.

2.7.3 Análisis y Recomendaciones - Excavaciones

Debido a la consistencia muy blanda a blanda de las capas superficiales de suelo, se considera que el sistema mas apropiado para realizar todas las excavaciones es utilizando tablestaca metálica, hincada hasta encontrar rechazo en la arena residual

resistente (aproximadamente a 9.50 m de la superficie original), con el fin de evitar falla de fondo. De acuerdo con los prediseños de las estaciones, en la zona del canal de acceso y del recinto de válvulas las excavaciones a partir de la superficie actual serán del orden de 3.50 m de profundidad y en el foso de bombas, la profundidad será de aproximadamente 6.30 m. En las figuras 2.32, 2.33 y 2.34 se indican los apuntalamientos necesarios y los recintos tablestacados.

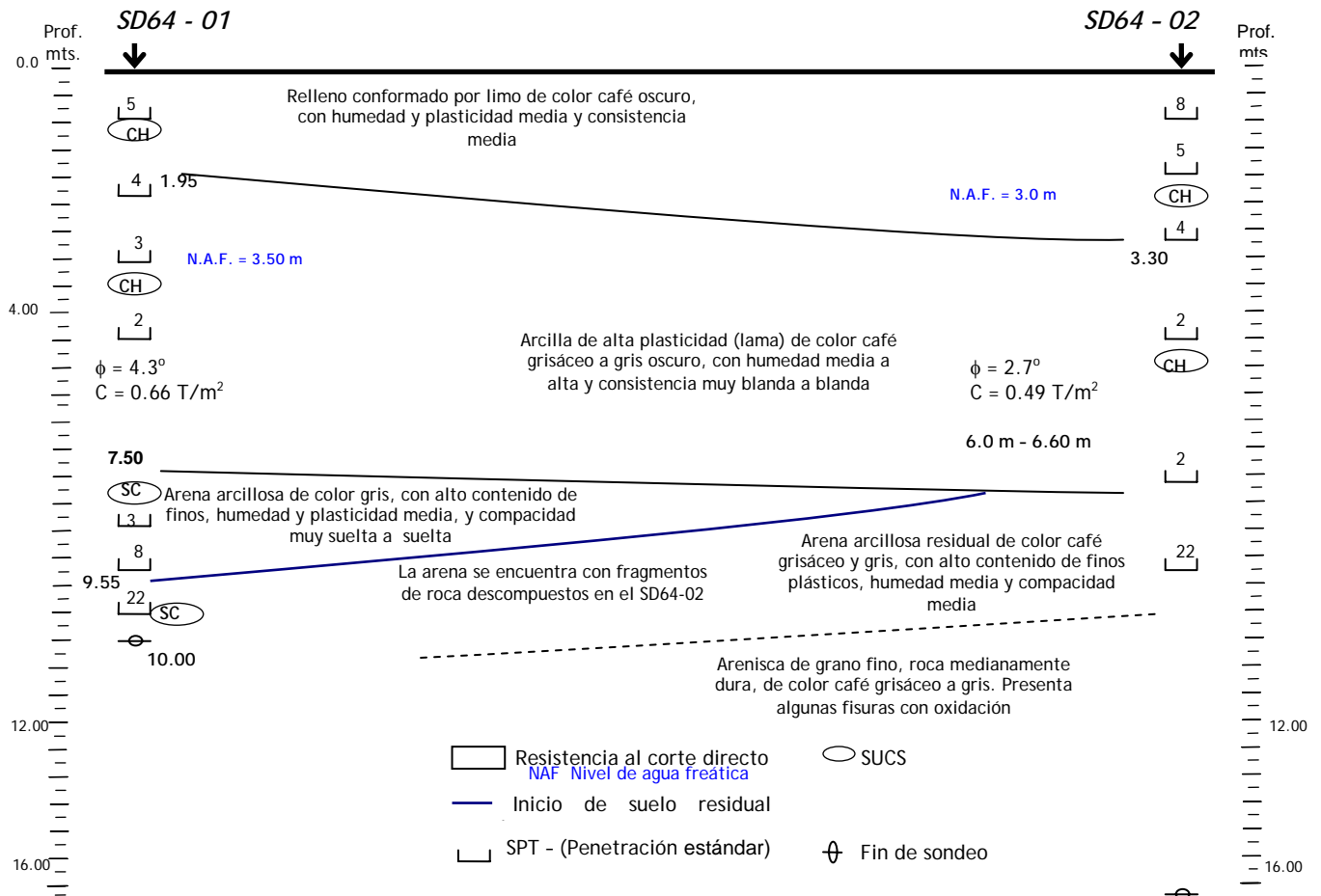


Figura 2.31 - Perfil Estratigráfico - Estación de Bombeo Matías Hernández - Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

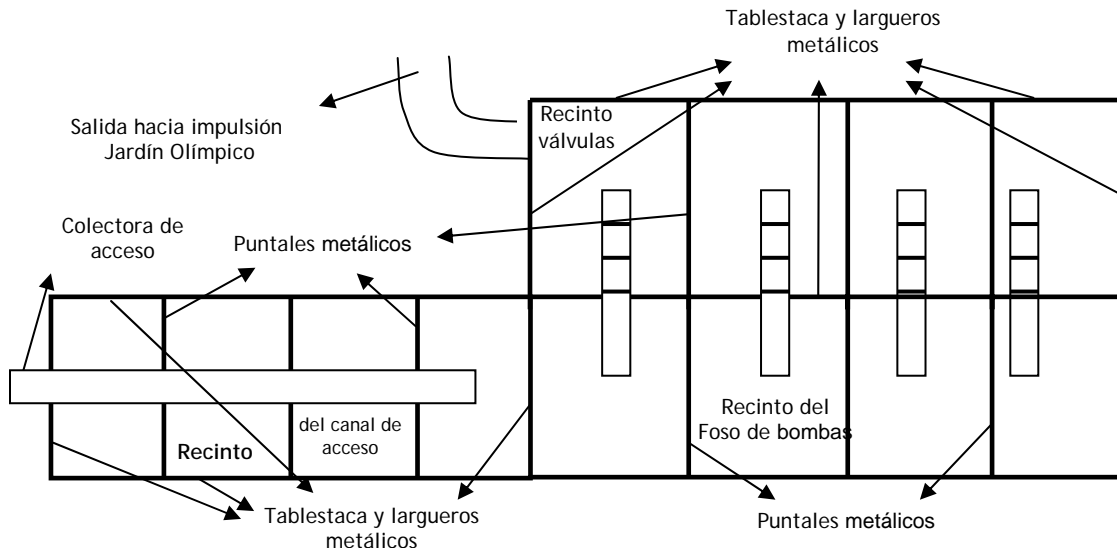


Figura 2.32 - Vista en Planta de la Zona que debe llevar Tablestacas para Realizar las Excavaciones - Estación de Bombeo Matías Hernández

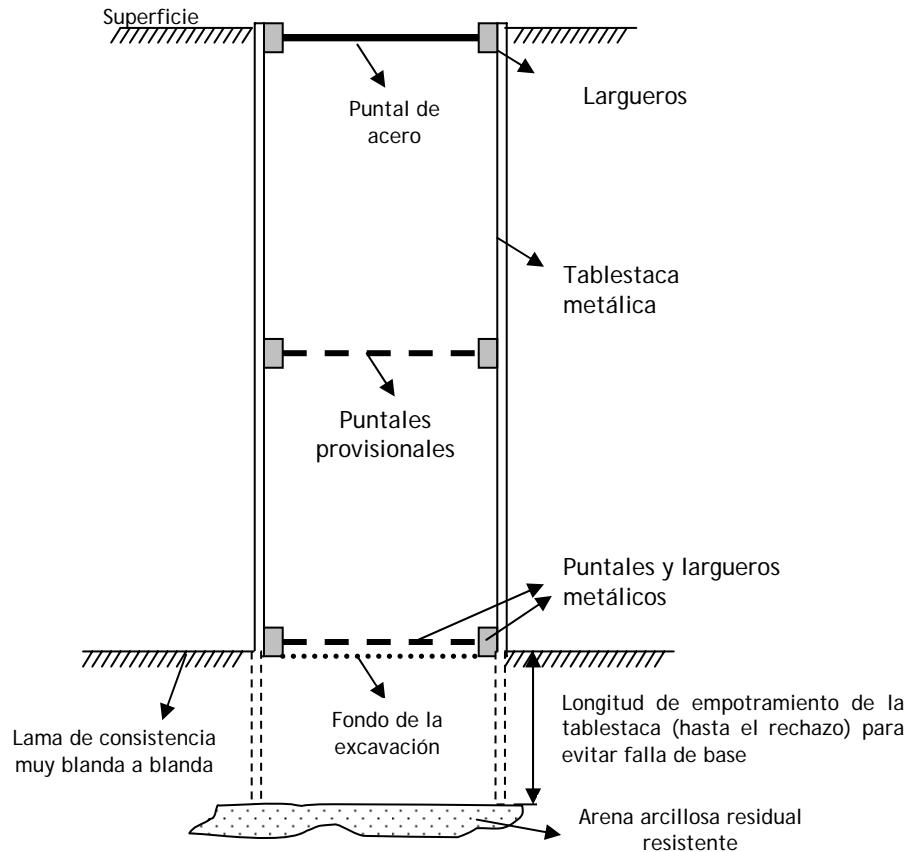


Figura 2.33 - Esquema de Excavaciones, Tablestacas y Apuntalamientos - Estación de Bombeo Matías Hernández

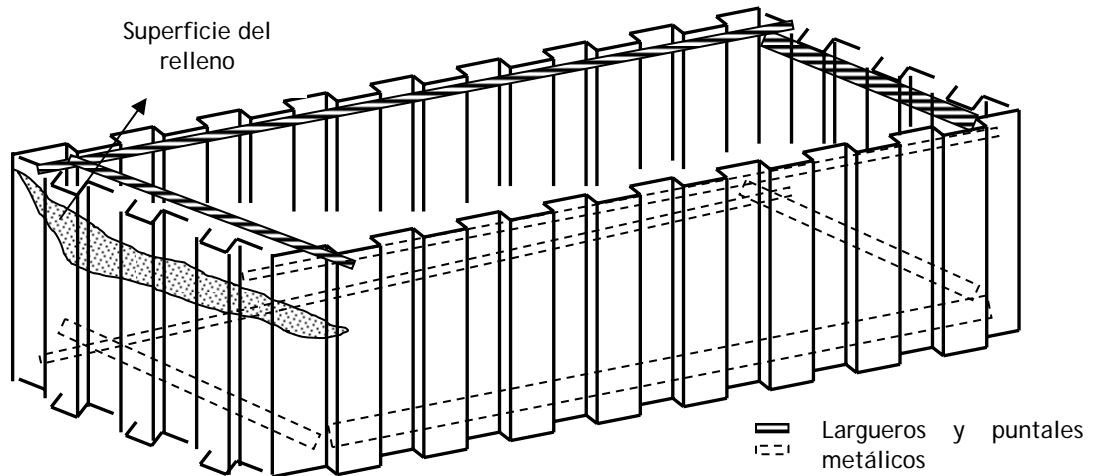


Figura 2.34 - Recinto de Tablestacas y sus Apuntalamientos -E. B.
Matías Hernández

En la figura 2.35 se muestra la forma del diagrama de presiones y los empujes que actúan sobre la tablestaca. Este diagrama se consideró de acuerdo con el criterio de Terzagui y Peck para suelos arcillosos. Los valores de los empujes, reacciones, momentos y otras magnitudes que se citarán en las páginas siguientes, tienen respaldo en la memoria de cálculos en el apéndice de éste informe.

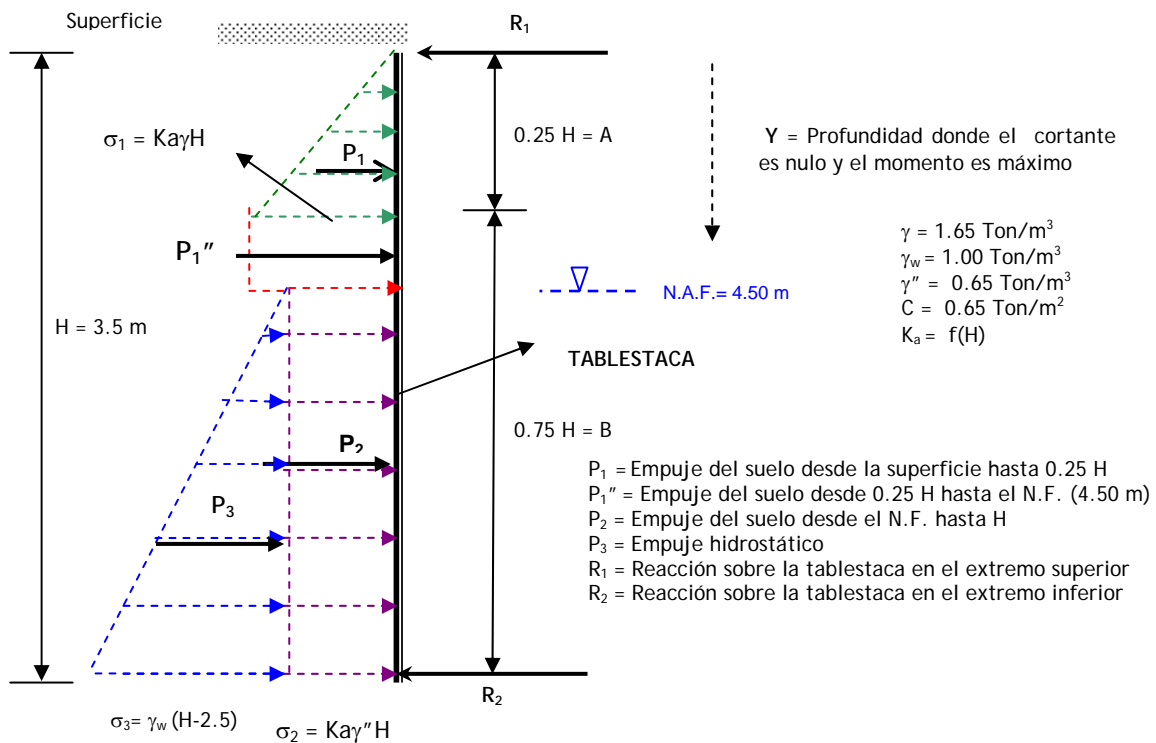


Figura 2.35 - Diagramas de Presiones, Empujes y Reacciones - E.B.
Matías Hernández

A continuación se dan algunas recomendaciones adicionales para realizar las excavaciones y la construcción del relleno:

1. El material para el relleno adicional puede ser cualquier tipo de suelo que no sea orgánico ni expansivo, que se deje compactar. Esto quiere decir que si es un suelo fino, su humedad natural debe estar cercana a la óptima de compactación. Antes de empezar a construirlo es conveniente compactar la superficie original con un compactador pesado.
2. El relleno se compactará hasta alcanzar mínimo el 95% del proctor.
3. La colocación del relleno inducirá consolidación y asentamientos en los estratos arcillosos blandos del subsuelo. Para que se produzca al menos el 80% del asentamiento por consolidación en un periodo no mayor de tres meses, después de colocar el relleno es necesario construir pilotes de arena o grava. Si se usan pilotes de arena de diámetro 0.40 m deben colocarse en forma de triángulo equilátero distanciados 1.30 m y si se usan pilotes de 0.60 m la distancia centro a centro entre ellos debe ser de 1.60 m, los pilotes deben profundizarse hasta encontrar la tosca a 8.50 m en promedio (ver figura 2.36 y otras en la memoria de cálculo). El máximo asentamiento calculado que se espera es del orden de 35 cm. Durante este tiempo es conveniente llevar un control de medición de asentamientos. Después de este periodo, se pueden iniciar las excavaciones y el resto de la construcción.

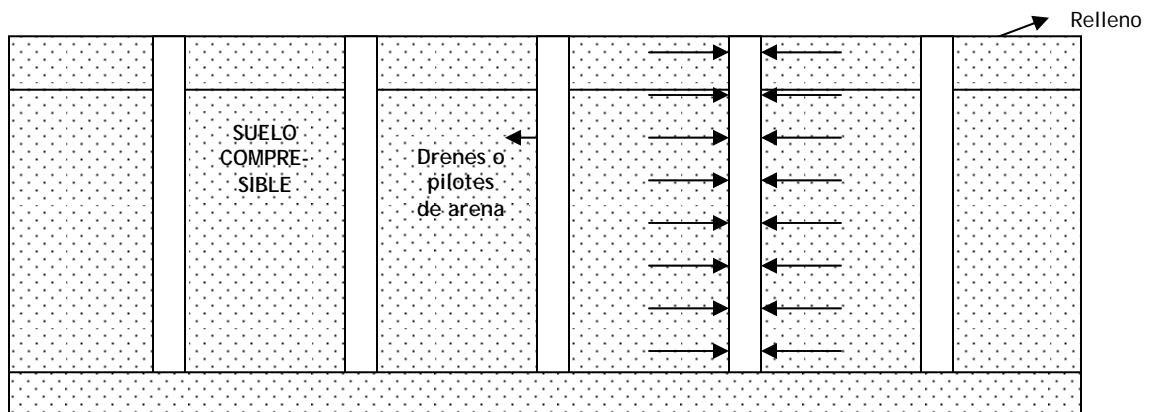


Figura 2.36 - Detalle de Pilotes de Arena

4. Los momentos máximos, sin factor de seguridad, para escoger la sección de la tablestaca, de acuerdo con la profundidad de excavación, se indican en el tabla 2.3. De igual manera, se dan los valores de las reacciones R_1 y R_2 para escoger los puntales y largueros metálicos. Nótese que tanto los valores de los momentos, como los de las reacciones, están expresados en toneladas por metro de longitud de excavación. (Ver también memoria de cálculos en el apéndice).

Tabla 2.3 - Momentos Máximos y Reacciones para Tablestacas

Profundidad de excavación - m	MOMENTO MÁXIMO (Ton-m/m)	R ₁ (Ton/m)	R ₂ (Ton/m)
5.5	25.3	15.0	16.0
6.5	40.4	20.9	21.0
7.5	59.3	27.3	27.3
8.5	82.3	34.3	34.9

5. Cuando se esté haciendo la excavación a lo largo de la tablestaca, deben colocarse puntales intermedios provisionales como se ilustra en la figura 2.33.

2.7.4 Análisis y Recomendaciones de Cimentación

Después de los tres meses recomendados antes de iniciar las excavaciones, el suelo aun sigue consolidando; en consecuencia, todas las estructuras de esta estación de bombeo deben cimentarse mediante pilotes empotrados mínimo 1.0 m en el estrato resistente de tosca. Los pilotes experimentarán fricción negativa, también experimentarán este tipo de fricción, los muros verticales enterrados donde se va a producir asentamiento relativo entre el suelo y el muro, estos son los AB, BC, CD, DE, EF, FG, GH y HA, indicados en la figura 2.28.

Teniendo en cuenta los comentarios anteriores y la muy baja resistencia del subsuelo, se dan las siguientes recomendaciones de cimentación:

1. Como el canal de acceso a la estación de bombeo, quedará aproximadamente a 4.90 metros por debajo de la superficie del relleno, donde aun se encuentra arcilla muy blanda, el tipo de cimentación mas apropiado es mediante pilotes circulares pre-excavados o fundidos in situ, apoyados en la tosca que se encuentra a 6.60 m por debajo del fondo del canal. El diámetro de pilote más apropiado, para esta y todas las estructuras de esta estación es 60 cm, cuya capacidad de carga permisible es de 18.4 Ton. Este valor ya está afectado por fricción negativa. En la figura 2.39 se indica una posible ubicación de los pilotes y la profundidad a la cual quedará este canal.
2. El recinto donde estarán alojadas las válvulas de tapón y check, el acople flexible y la tubería que conduce el agua a la Línea de Impulsión Jardín Olímpico, queda a 5.20 m de profundidad, a partir de la superficie del relleno. Por lo tanto es conveniente apoyarlo sobre el mismo tipo de pilote, cuya longitud aproximada será de 6.30 m. (Ver figuras 2.40 y 2.41).
3. Las bombas producen vibraciones de tipo armónico sobre el suelo de cimentación. Como éstas van colocadas con el eje axial en el sentido vertical, las oscilaciones serán esencialmente horizontales. Se consideró

limitar la mitad de la amplitud en este sentido a 0.004 cm, de acuerdo con el criterio de Blake. A la profundidad del foso de bombas, todavía se encuentra la lama muy blanda. Es necesario entonces usar cimentación profunda, llevada hasta la tosca que se encuentra a 3.25 m debajo de la base del foso. De acuerdo con cálculos tentativos del peso de la losa de fondo, de los muros laterales, de las bombas y de la fricción negativa, se necesitan 27 pilotes. Una distribución tentativa de ellos se indica en la figura 2.37. La separación centro a centro es superior a la mínima recomendada.

Para el análisis dinámico de oscilación horizontal, se utilizó la teoría de *George Gazetas*. (*Foundation Engineering Handbook, Second Edition of Hsai-Yang Fang*). La alternativa de 27 pilotes analizada anteriormente, cumple con las exigencias de Blake (Ver memoria de cálculos en el apéndice). Es de anotar, que aunque también la rigidez lateral del suelo a lo largo de los muros, contribuye a resistir las fuerzas oscilatorias horizontales, no fue tomada en cuenta porque los solos pilotes fueron suficientes. La distribución de pilotes recomendada está sujeta a las dimensiones indicadas en la figura 2.37; si estas magnitudes cambian, debe recalcularse el número de ellos, utilizando la capacidad de carga indicada en el numeral 1 de estas recomendaciones.

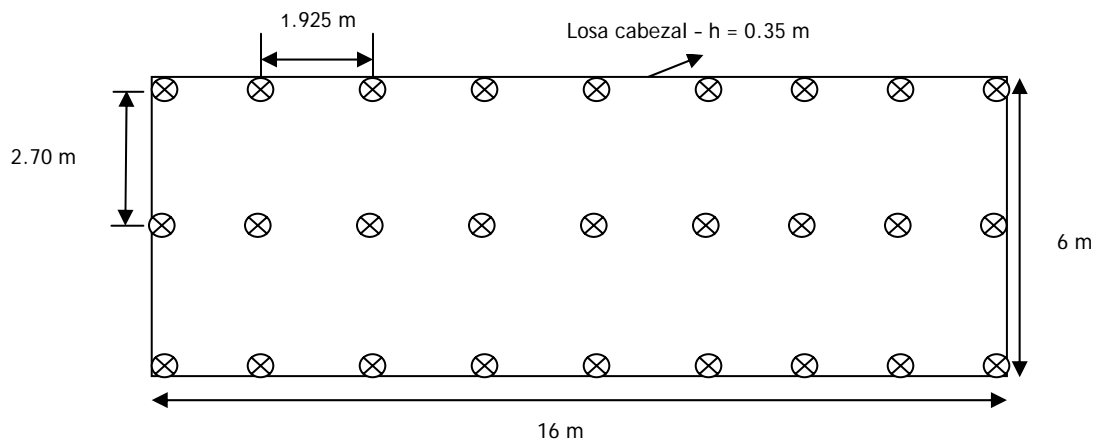


Figura 2.37 - Planta, Ubicación de Pilotes para el Foso de Bombas Estación de Bombeo Matías Hernández - Pilotes de 60 cm

4. Los generadores producen vibraciones de tipo armónico, por lo tanto debe garantizarse que la fundación no experimente amplitudes de desplazamiento vibratorio superiores a las aconsejables para no causar daño al equipo ni incomodidad a las personas. En este caso se limitó la mitad de la amplitud a 0.001" (0.025 mm), de acuerdo con el criterio de Blake. Una losa rígida de 3.00 m de ancho x 5.00 m de largo colocada sobre el relleno cumple con los requisitos de Blake. La mitad de la máxima amplitud de vibración vertical para esta cimentación es de 0.0008" y la mitad de la

máxima amplitud de vibración lateral es de 0.001", para ambos tipos de vibración el generador con esta losa de cimentación está muy alejado de entrar en resonancia (ver memoria de cálculos en el apéndice). Se utilizó la teoría mencionada en el análisis de la Estación Paitilla. De acuerdo con la teoría de Richart, con el fin de limitar la mitad de la amplitud de las oscilaciones verticales a 0.004 cm, y para sostener el peso del generador y de una zapata cabezal de 5.0 m x 2.5 m x 0.40 m, se requieren mínimo 6 pilotes, como se indica en la figura 2.38. Los pilotes tendrán aproximadamente 12.50 m de longitud.

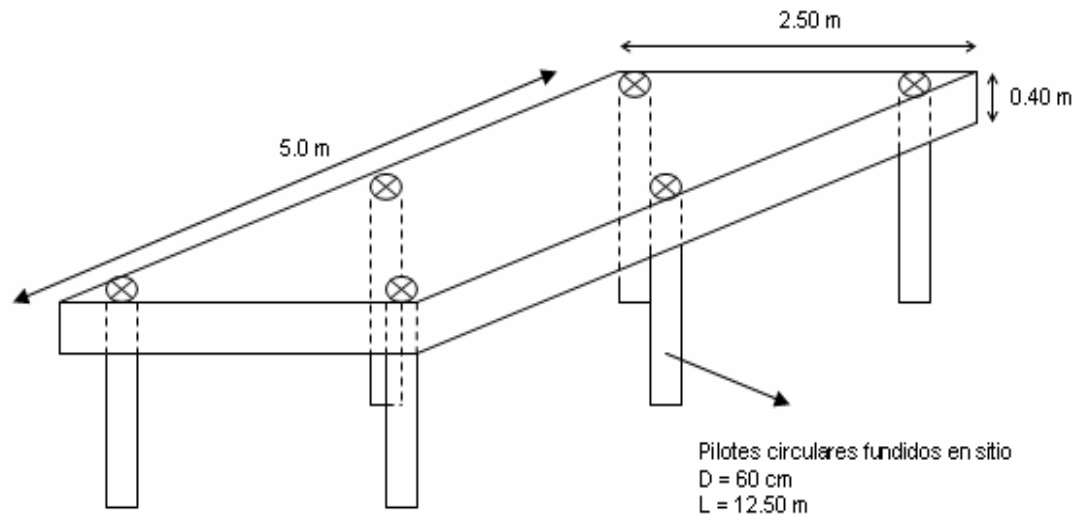


Figura 2.38 - Losa cabezal y Pilotes para Cimentar los Generadores -
Pilotes de 60 cm de Diámetro - Estación Matías Hernández

5. El transformador y todos los muros laterales de esta estación, pueden cimentarse con zapatas convencionales colocadas sobre el relleno a una profundidad no mayor de 0.6 m. La capacidad portante permisible para estas zapatas es de 10.0 Ton/m².
6. En las figuras 2.39, 2.40 y 2.41, se ilustran las principales estructuras de La Estación de Bombeo Matías Hernández, y cada una de las cimentaciones sugeridas.
7. Para calcular el número de pilotes necesarios en la cimentación del canal de acceso y del recinto de válvulas, debe considerarse el peso adicional generado por la fricción negativa en los muros enterrados (Ver figura 2.28). En el tabla 2.4 se indica la magnitud de esta fuerza por cada muro. Si las dimensiones de los muros cambian en los diseños definitivos, este valor debe recalcularse considerando una fricción negativa por m² de área de contacto de 0.52 Ton/m².

Tabla 2.4 - Peso adicional generado por la fricción negativa - Canal de Acceso y Recinto de Válvulas - E.B. Matías Hernández

ZONA	MURO	h - m	L - m	A- m ²	Fricción negat Ton/m ²	Fricción Negat. Ton
Canal de acceso	DE	5.20	10.5	54.6	0.52	28.4
	EF	5.20	6.0	31.2	0.52	16.2
	FG	5.20	10.5	54.6	0.52	28.4
Recinto de válvulas	GH	5.50	6.0	33.0	0.52	17.2
	HA	5.50	15.0	82.5	0.52	42.9
	AB	5.50	6.0	33.0	0.52	17.2

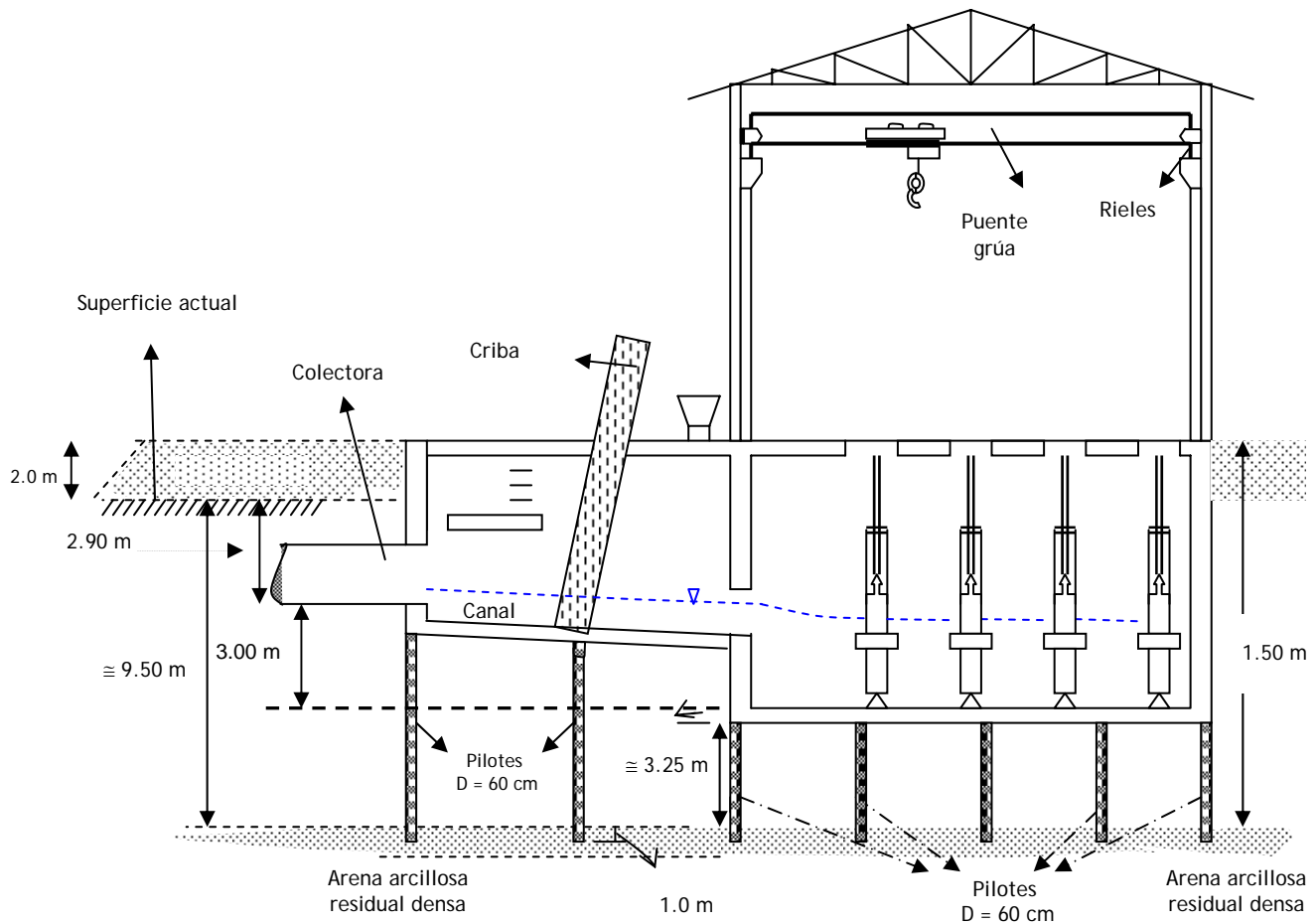


Figura 2.39 - Estación de Bombeo Matías Hernández Vista Frontal

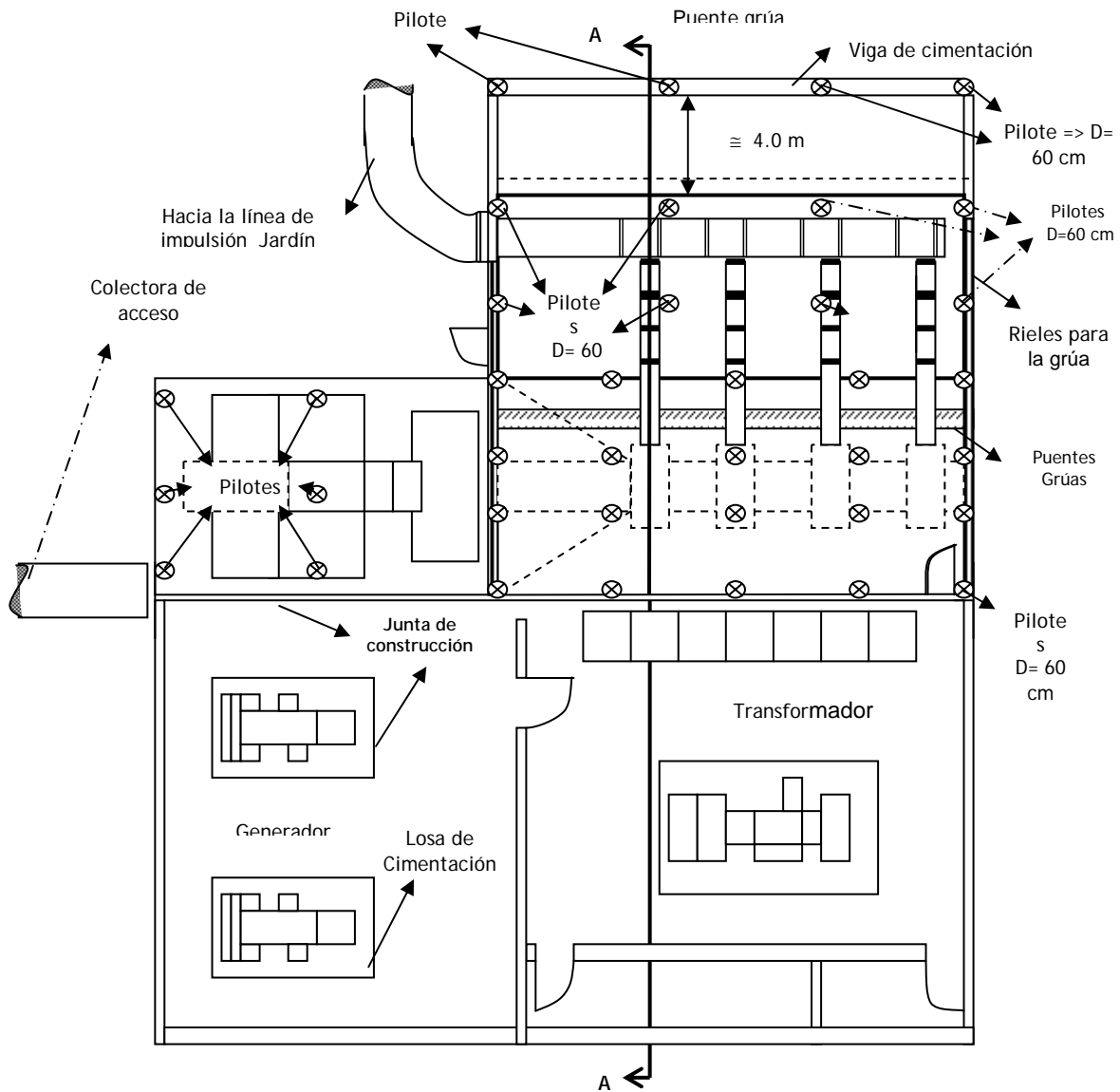


Figura 2.40 - Estación de Bombeo Matías Hernández - Vista en Planta

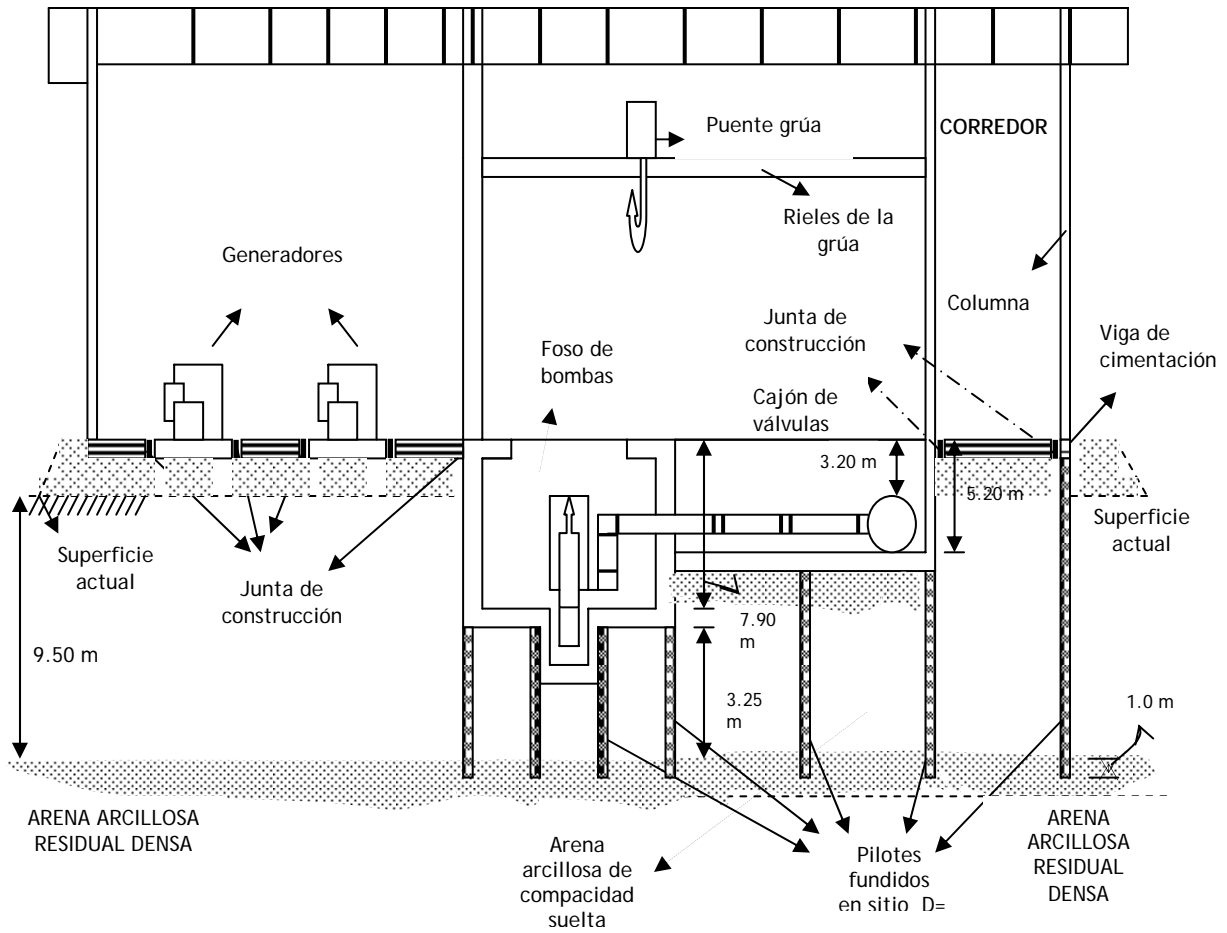


Figura 2.41 - Estación de Bombeo Matías Hernández - Vist a lateral;
(Corte A-A de la Planta)

La tosca en esta estación, de acuerdo con los registros de los sondeos, tiene una menor resistencia que en las otras estaciones. Por esta razón, es conveniente penetrar la punta de los pilotes mínimo 1.0 m en este suelo. (Ver figuras 2.39 y 2.41). El concreto para los pilotes, debe tener una resistencia a la compresión mínima de 280 Kg/cm^2 (28 Mpa).

8. Los suelos encontrados en esta estación, no son susceptibles de licuarse bajo los sismos característicos del área de Panamá.
9. Para muros de contención, el empuje lateral puede calcularse considerando el mismo diagrama de presiones que actúa sobre la tablestaca. Aunque cuando se presente la máxima elevación del río, el nivel freático puede subir hasta 0.50 m por debajo de la superficie del relleno, la magnitud de los empujes laterales es del mismo orden que con el N.F. indicado en la figura 2.35.
10. En el diseño de la losa de fondo del canal de acceso, del recinto de válvulas y del foso de bombas, debe tenerse en cuenta una subpresión del orden de 4.80 Ton/m^2 , 5.10 y 7.80 Ton/m^2 respectivamente. Estas presiones se presentarán cuando el río tenga su máximo nivel.
11. Cálculos preliminares indican que la fuerza de subpresión para las condiciones más críticas (con N.F. = 0.50 m por debajo de la superficie del relleno), es del orden de 1541 Ton. Por otra parte, el peso total de la estructura, columna de agua y fricción lateral del suelo sobre pilotes y muros enterrados, la cual ayuda a evitar el levantamiento de la estructura, es de aproximadamente 1967 Ton, magnitud superior a la fuerza de subpresión; por lo tanto no se espera levantamiento de la estructura.
12. Antes de construir el relleno debe compactarse con un equipo vibratorio pesado la superficie original del lote.
13. Al igual que en la estación Boca La Caja, los pilotes cuya cabeza no llegará hasta la superficie del relleno, se sugiere construirlos antes de realizar las excavaciones y de la misma manera, por las razones allá indicadas. (ver figura 2.10A).
14. Inmediatamente después de terminar las excavaciones, se recomienda proteger el fondo con un solado de concreto pobre, con el fin de evitar remoldeo del suelo por aguas lluvias y procesos constructivos.
15. Si durante el diseño o construcción se encuentran condiciones del subsuelo no previstas en este informe, deben ajustarse los diseños a las nuevas condiciones.

2.8 Estación de Bombeo Tocumen

La Estación de Bombeo Tocumen, se encuentra ubicada cerca al aeropuerto internacional del mismo nombre, aproximadamente a 50 m de la margen derecha del río Tocumen. Tiene en su interior 4 bombas sumergibles, que están concebidas para manejar un caudal de 450 l/s cada una. Esta estación recibe el agua residual de la

zona, para posteriormente enviarla por medio de una tubería de 1200 mm de diámetro hacia la línea de impulsión Don Bosco.

La actual superficie del lote donde se construirá esta estación, se encuentra por debajo del nivel de inundación del Río Tocumen. Es conveniente entonces, elevar el piso mínimo 2 m con un relleno adicional. Se recomienda colocar este material tres meses antes de comenzar los trabajos de excavación y construcción, por motivos técnicos que se explicarán mas adelante. La superficie que debe cubrirse con este relleno previo, es la indicada en las figuras 2.42 y 2.43. (En estas figuras puede verse que en el recinto de válvulas, el canal de acceso y el foso de bombas, no deberá utilizarse este relleno). Sin embargo, deben dejarse tubos de 3" de diámetro, como se indica en la figura 2.43, con el fin de evitar la acumulación de aguas lluvias en la parte central que no se rellena.

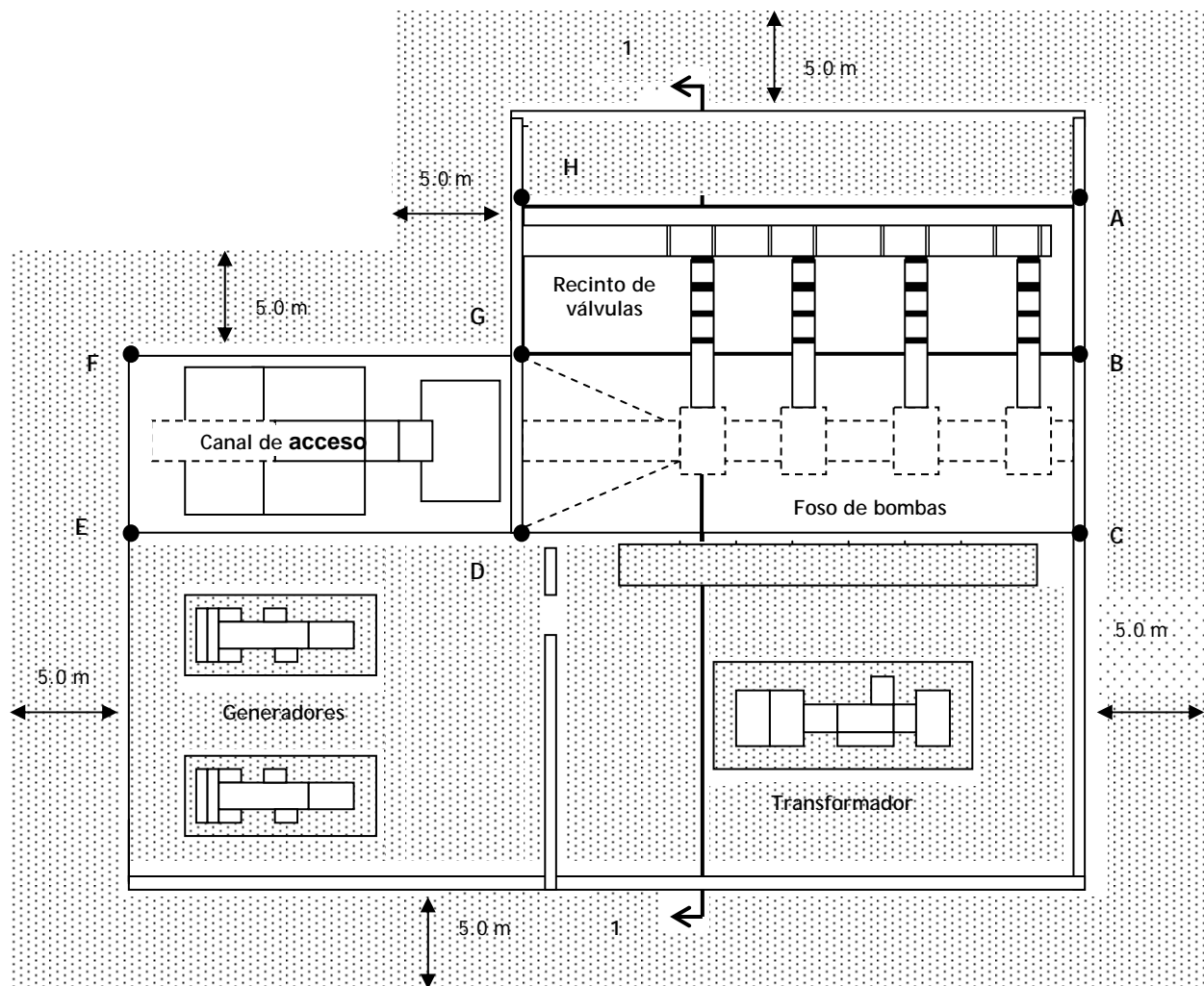


Figura 2.42 - Detalle de la Zonas que deben Rellenarse - Estación de Bombeo Tocumen - Planta

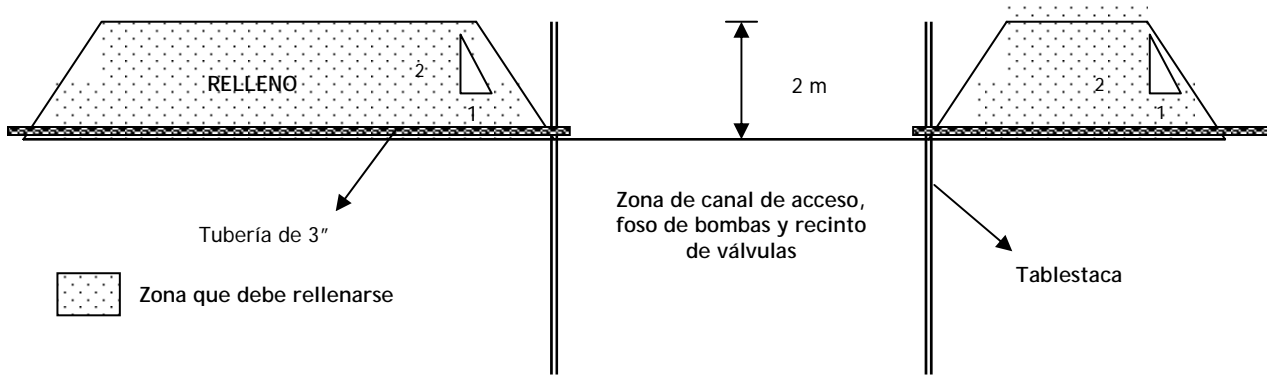


Figura 2.43 - Detalle de las Zonas que deben Rellenarse - Corte 1-1- Perfil

2.8.1 Trabajos de Campo y Laboratorio

Se realizaron 2 sondeos en el área donde se construirá esta estación de bombeo. Los sondeos se llevaron hasta profundidades de 7.45 m y 9.50 m, y los métodos de perforación utilizados fueron percusión y rotación con tricono y corona de diamante. En la figura 2.44 se ilustra la localización en planta de los sondeos realizados.

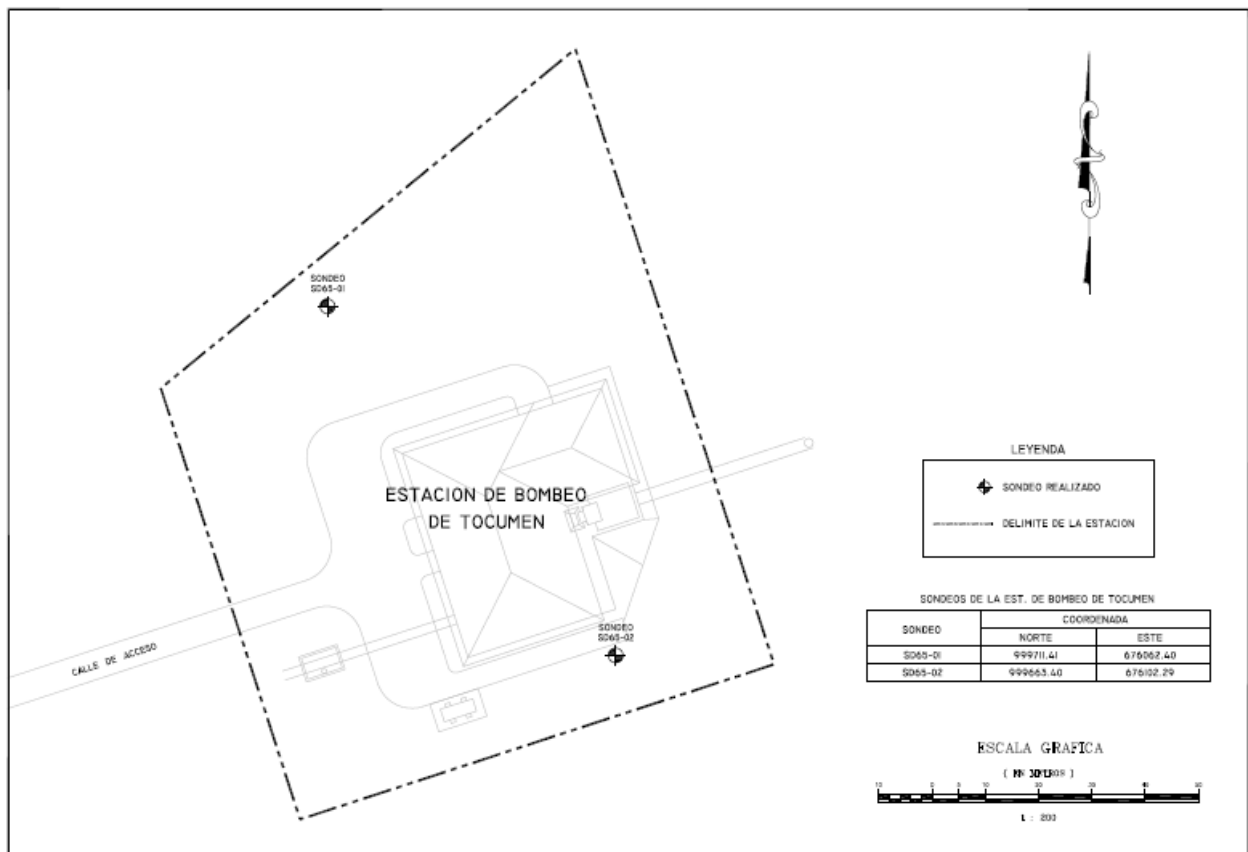


Figura 2.44 - Estación de Bombeo Tocumen - Localización en Planta de los Sondeos Realizados

En cada sondeo se registró el perfil de suelos y se tomaron muestras alteradas para ensayos de clasificación e inalteradas para pruebas de resistencia. Con estas muestras se realizaron ensayos de laboratorio para determinar su contenido de agua en estado natural, distribución granulométrica, límites de consistencia y resistencia al corte. De igual manera, con base en pruebas de campo y en el criterio y la experiencia del Ingeniero Supervisor de las perforaciones, se determinó el grado de compacidad y consistencia de los materiales. Las pruebas de campo realizadas fueron Penetración Estándar y resistencia a la penetración mediante el penetrómetro de bolsillo.

2.8.2 Estratigrafía

La estratigrafía se ilustra en la figura 2.45 y se describe a partir de la superficie de la siguiente manera:

- Arcilla arenosa sedimentaria (lama) de color ocre claro a gris oscuro, con humedad y plasticidad media a alta y consistencia muy blanda a media; que se encontró hasta 6.15 m y 4.80 m respectivamente en estos sondeos. Este suelo tiene un contenido de finos entre 54% y 75%, L.L. entre 38% y 47%, I.P. de 23% a 27% y Penetración Estándar variable desde <1 hasta 6. (En el SD65-01, la arcilla tiene mejor consistencia que en el SD65-02).
- Arcilla arenosa residual (tosca) de color gris oscuro, con alto contenido de arenas, humedad media, plasticidad alta y consistencia dura. Tiene 55% de finos, L.L.= 56%, I.P.= 36%, y Penetración Estándar superior a 50. Se registró debajo del estrato anterior hasta 6.45 m y 6.0 m en los SD65-01 y SD65-02.
- Roca meteorizada de color café grisáceo, detectada a partir de la tosca hasta 8.0 m en el SD65-02.
- Arenisca de color café grisáceo a gris, roca sana, medianamente dura. Se detectó debajo de los estratos anteriores hasta la profundidad explorada en ambos sondeos. Presenta una resistencia a la compresión inconfiada promedio de 215 Kg/cm².
- El nivel de aguas freáticas se encontró entre 1.50 m y 3.0 m en estos sondeos.

2.8.3 Análisis y Recomendaciones - Excavaciones

Teniendo en cuenta las características geotécnicas del suelo, se considera que el sistema mas apropiado para realizar todas las excavaciones es utilizando tablestaca metálica, hincada hasta encontrar rechazo en la arcilla residual resistente (aproximadamente a 6.15 m de la superficie original), con el fin de evitar falla de fondo. De acuerdo con el diseño tentativo de las estaciones, en la zona del canal de acceso y del recinto de válvulas, las excavaciones a partir de la superficie actual serán del orden de 2.40 m a 3.0 m de profundidad y en el foso de bombas, será de aproximadamente 6.50 m. En las figuras 2.46, 2.47, 2.48 y 2.49, se indican los apuntalamientos necesarios y los recintos tablestacados.

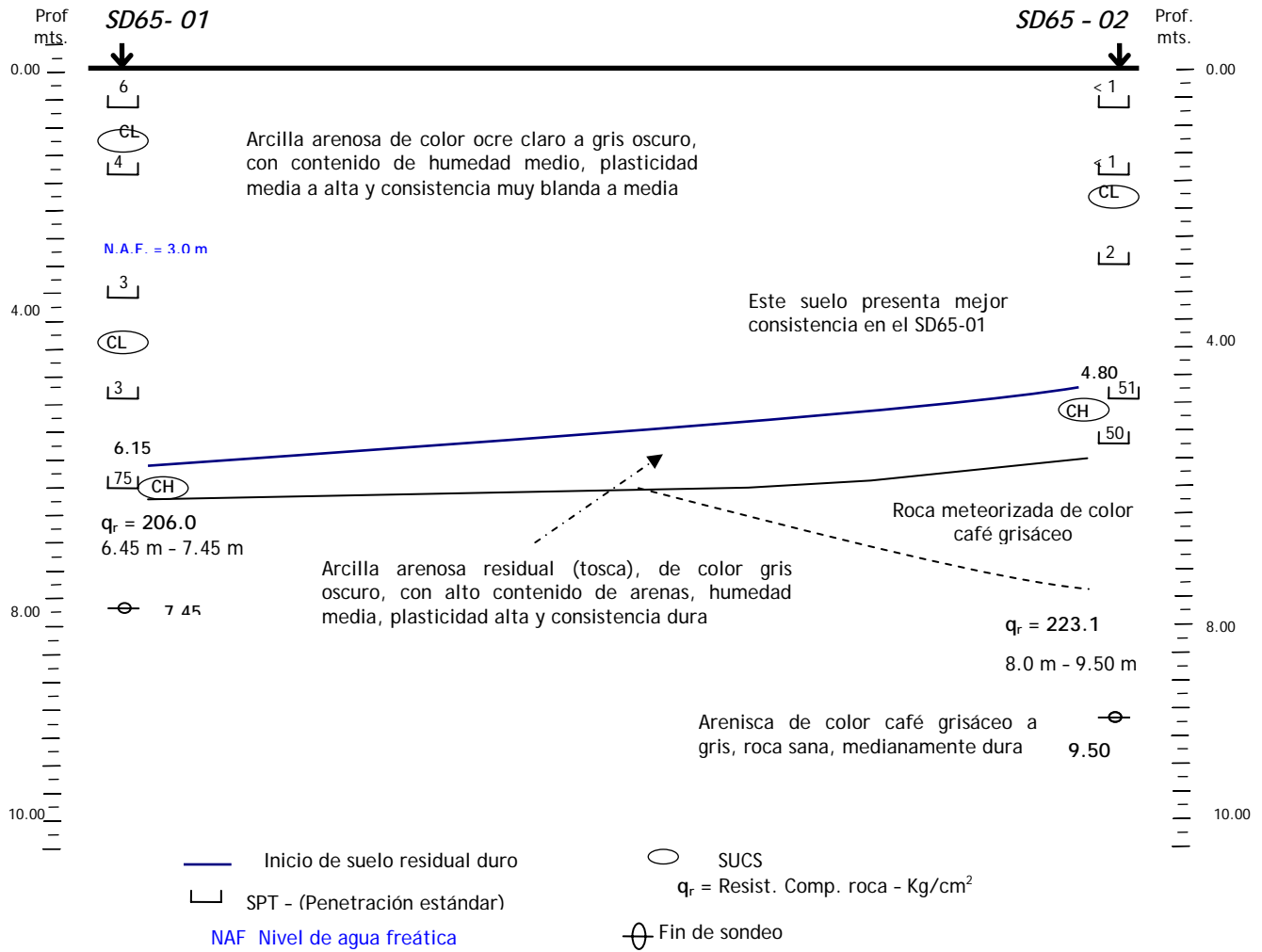


Figura 2.45 - Perfil Estratigráfico - Estación De Bombeo Tocumen -
Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de
Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

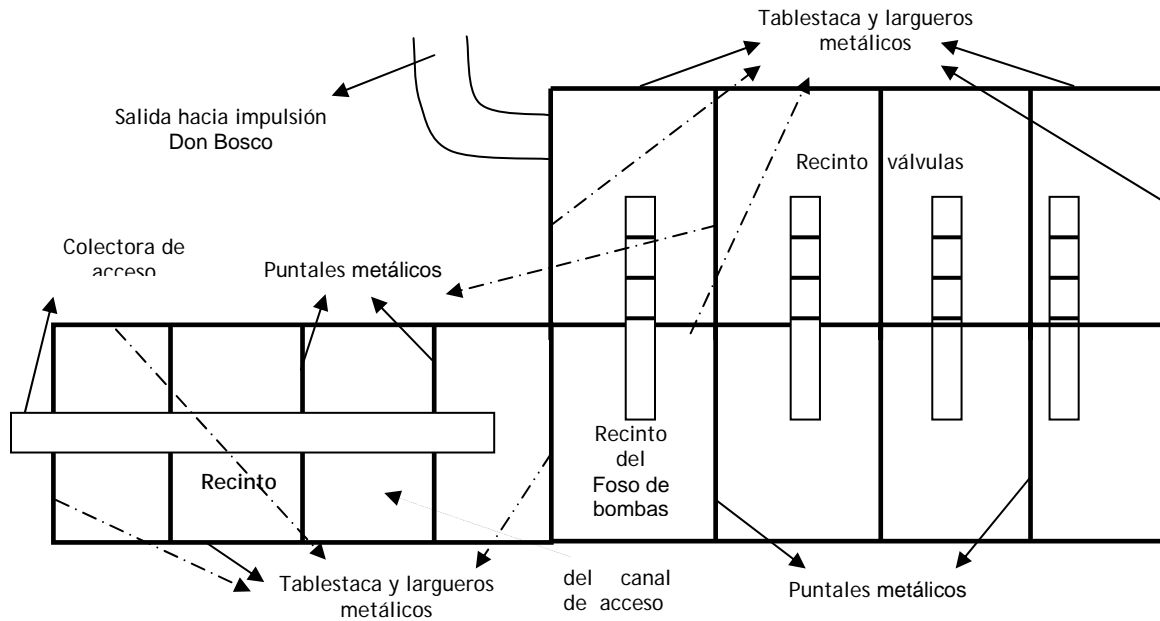


Figura 2.46 - Vista en Planta de la Zona que debe llevar Tablestacas para Realizar las Excavaciones - Estación de Bombeo Tocumen

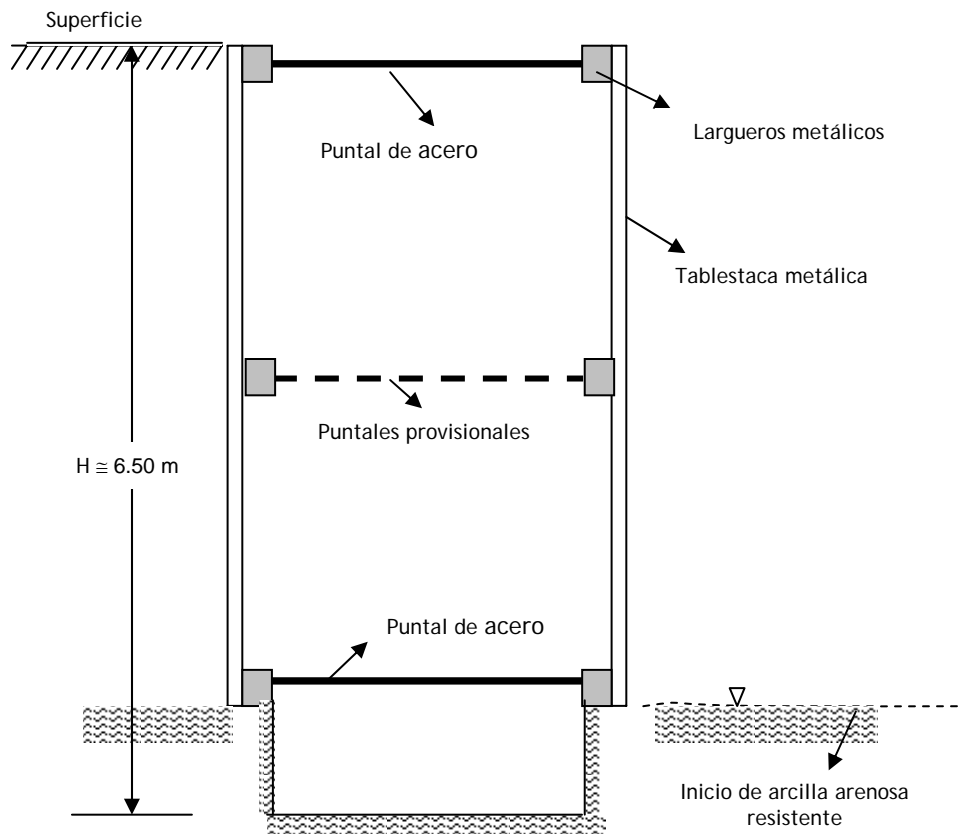


Figura 2.47 - Esquema de Excavación, Tablestacas y Apuntalamientos - Foso de Bombas - Estación de Bombeo Tocumen

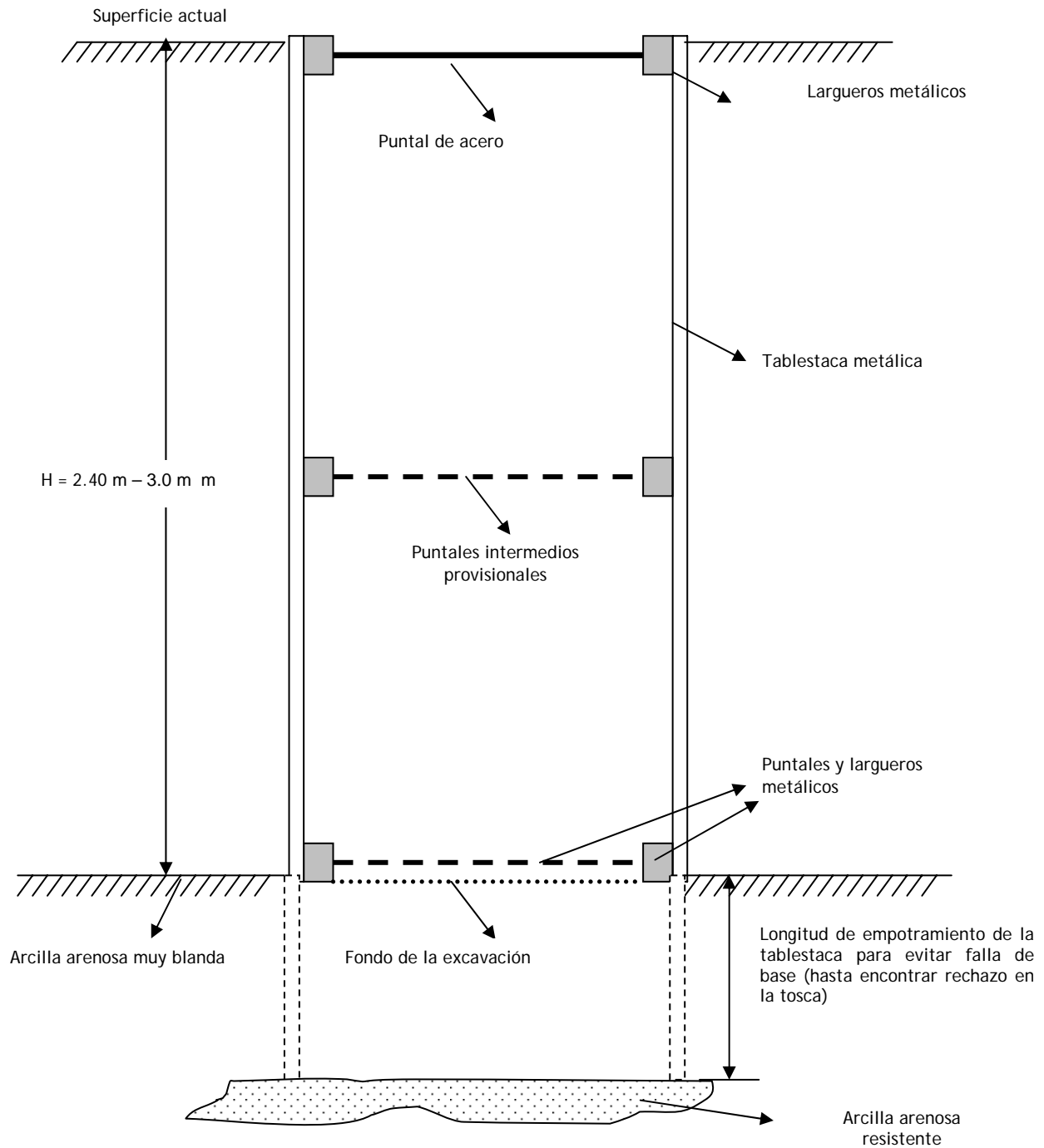


Figura 2.48 - Esquema de Excavaciones, Tablestacas y Apuntalamientos - Estación de Bombeo Tocumen - Canal de Acceso y Recinto de Válvulas

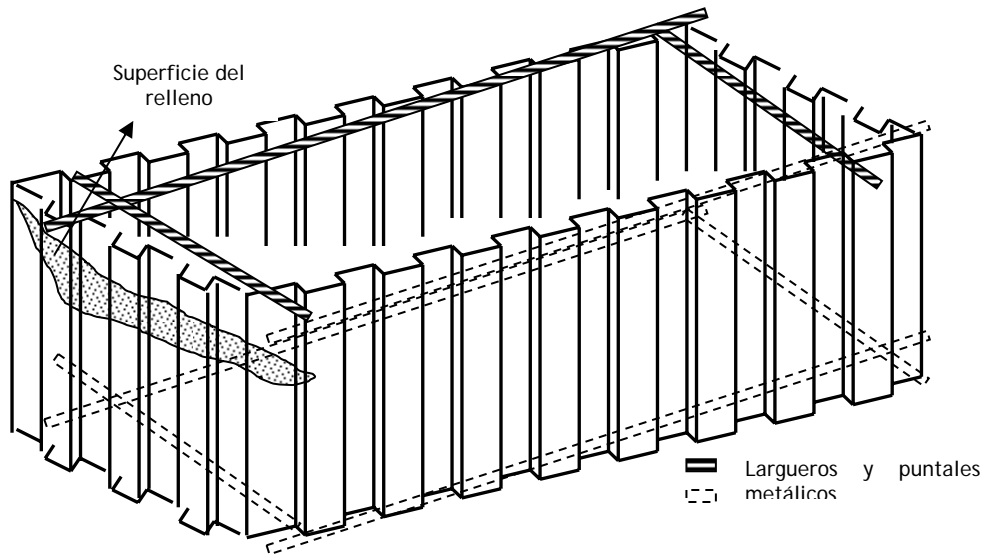


Figura 2.49 - Recinto de Tablestacas y sus Apuntalamientos -E. B. Tocumen

En la figura 2.50 se muestra la forma del diagrama de presiones y los empujes que actúan sobre la tablestaca.

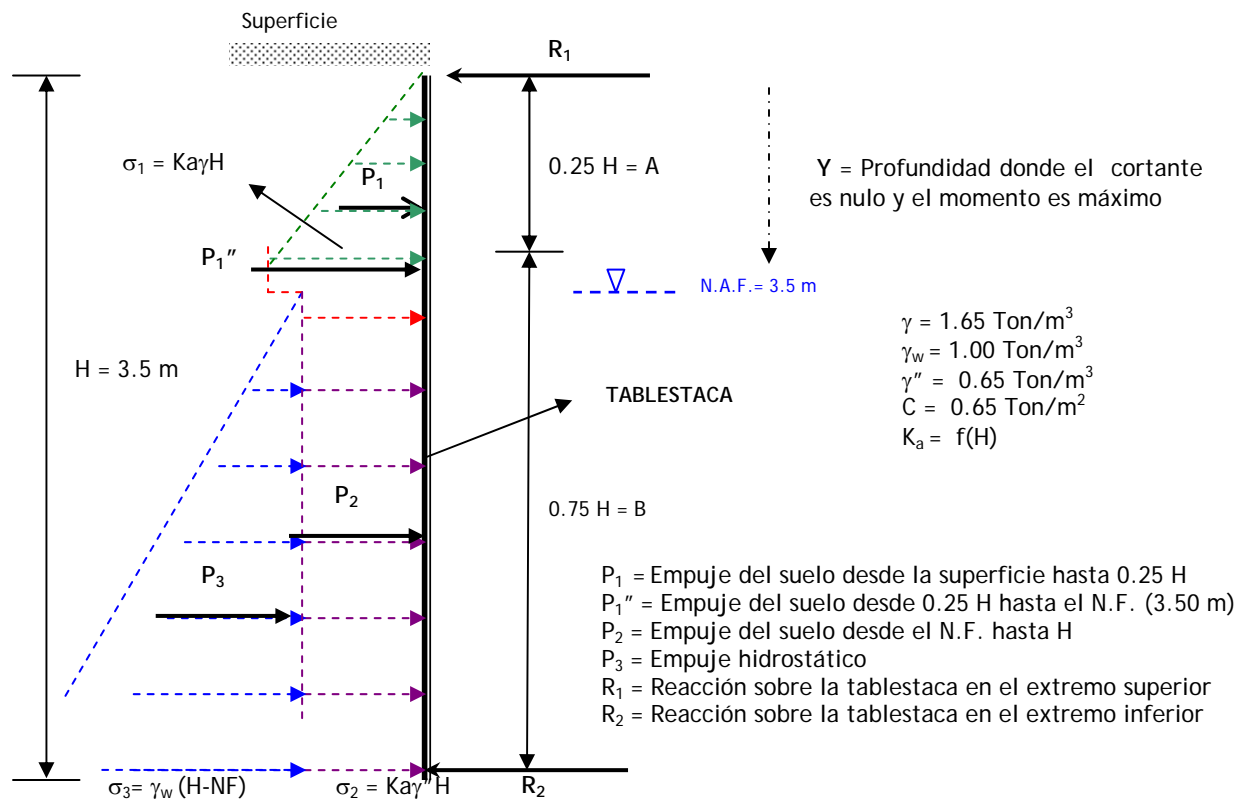


Figura 2.50 - Diagramas de Presiones, Empujes y Reacciones - E.B. Tocumen

Este diagrama se realizó de acuerdo al criterio de Terzagui y Peck para suelos arcillosos. Los valores de los empujes, reacciones, momentos y otras magnitudes que se citarán en las páginas siguientes, tienen respaldo en la memoria de cálculos en el apéndice de éste informe.

A continuación se dan algunas recomendaciones adicionales para realizar las excavaciones y la construcción del relleno:

1. El material para el relleno adicional puede ser cualquier tipo de suelo que no sea orgánico ni expansivo, que se deje compactar. Esto quiere decir que si es un suelo fino, su humedad natural debe estar cercana a la óptima de compactación.
2. El relleno se compactará hasta alcanzar mínimo el 95% del Proctor.
3. La colocación del relleno inducirá consolidación y asentamientos en los estratos arcillosos blandos del subsuelo. Para que se produzca al menos el 80% del asentamiento por consolidación en un periodo no mayor de tres meses, después de colocar el relleno es necesario construir pilotes de arena o grava con las mismas distancias indicadas en la estación Matías Hernández y deben profundizarse hasta encontrar la tosca a 5.0 m en promedio (ver figura 2.36). El máximo asentamiento calculado que se espera es del orden de 28 cm. Durante este tiempo es conveniente llevar un control de medición de asentamientos. Después de este periodo, se pueden iniciar las excavaciones y el resto de la construcción.
4. Los momentos máximos, sin factor de seguridad, para escoger la sección de la tablestaca, de acuerdo con la profundidad de excavación, se indican en el tabla 2.5. De igual manera, se dan los valores de las reacciones R_1 y R_2 para escoger los puntales y largueros metálicos. Nótese que tanto los valores de los momentos, como los de las reacciones, están expresados en toneladas por metro de longitud de excavación. (Ver también memoria de cálculos en el apéndice).

**Tabla 2.5 - Momentos Máximos y Reacciones para Tablestacas
Estación de Bombeo Tocumen**

Profundidad de excavación - m	MOMENTO MÁXIMO (Ton-m/m)	R_1 (Ton/m)	R_2 (Ton/m)
4.5	12.8	9.4	9.8
5.5	22.6	14.0	14.1
6.5	35.5	19.3	19.7
7.5	51.9	25.1	26.6
8.5	72.2	31.6	34.7

5. Cuando se esté haciendo la excavación a lo largo de la tablestaca, deben colocarse puntales intermedios provisionales como se ilustra en las figuras 2.47 y 2.48.

2.8.4 Análisis y Recomendaciones de Cimentación

El tiempo de consolidación del subsuelo bajo el relleno, de acuerdo con la teoría de Terzaghi, es del orden de 28 años, considerando las condiciones más favorables. (Ver memoria de cálculos en el apéndice). Teniendo en cuenta que en la práctica, el tiempo en el que ocurren los asentamientos reales, se encuentra aproximadamente entre el 33% y el 50% del teórico, el anterior periodo se reduce a 12 años, que es todavía inaceptable para este proyecto, por el tiempo de espera tan largo, de allí la necesidad de construir los pilotes de arena antes indicados.

Después de los 3 meses recomendados antes de iniciar las excavaciones, el suelo aun sigue consolidando; en consecuencia, gran parte de las estructuras de esta estación de bombeo deben cimentarse mediante pilotes apoyados en el estrato resistente de tosca. Los pilotes experimentarán fricción negativa, también experimentarán este tipo de fricción, los muros verticales enterrados donde se va a producir asentamiento relativo entre el suelo y el muro, estos son los AB, BC, CD, DE, EF, FG, GH y HA, indicados en la figura 2.42.

Teniendo en cuenta los comentarios anteriores y la muy baja resistencia del subsuelo, se dan las siguientes recomendaciones de cimentación:

1. Como el canal de acceso a la estación de bombeo, quedará aproximadamente a 5.0 metros por debajo de la superficie del relleno, donde aun se encuentra arcilla muy blanda, el tipo de cimentación mas apropiado es mediante pilotes circulares pre-excavados o fundidos in situ, apoyados en la tosca que se encuentra a 3.15 m por debajo del fondo del canal. El diámetro de pilote más apropiado, para esta y las demás estructuras que tendrán cimentación profunda, es 60 cm, cuya capacidad de carga permisible es de 15.1 Ton. Este valor está afectado por fricción negativa. En la figura 2.51 se indica una posible ubicación de los pilotes y la profundidad a la cual quedará este canal.
2. El recinto donde estarán alojadas las válvulas de tapón y check, el acople flexible y la tubería que conduce el agua a la Línea de Impulsión Don Bosco, queda a 4.40 m de profundidad, a partir de la superficie del relleno. Por lo tanto debe apoyarse sobre el mismo tipo de pilote, cuya longitud aproximada será de 3.75 m. (Ver figuras 2.52 y 2.53).
3. De acuerdo con las dimensiones tentativas de la profundidad del foso de bombas, lo mas conveniente es cimentarlo directamente sobre la tosca, que se encuentra a 8.15 m de profundidad, a partir de la superficie del relleno. La capacidad portante permisible de la tosca es de 30 Ton/m². Aunque las bombas producen vibraciones sobre el suelo de cimentación, al cimentar el foso en ese estrato, no se tendrán inconvenientes con estas. (Ver figura 2.54).

4. Las condiciones del suelo y la máxima amplitud de vibración para los generadores de esta estación, son los mismos que los de la estación Río Abajo, por tanto las zapatas de 2.0 x 4.50 sobre el relleno sirven de cimentación a estos generadores (ver memoria de cálculos apéndice).
5. El transformador y todos los muros laterales de esta estación, pueden cimentarse con zapatas convencionales. La capacidad portante permisible es de 10 Ton/m². Es importante sin embargo dejar las juntas de construcción que se indican en las figuras 2.52 y 2.53 para evitar daños por asentamientos diferenciales.
6. En las figuras 2.51, 2.52 y 2.53, se ilustran las principales estructuras de La Estación de Bombeo Tocumen, y cada una de las cimentaciones sugeridas.
7. Para calcular el número de pilotes necesarios en la cimentación del canal de acceso y del recinto de válvulas, debe considerarse el peso adicional generado por la fricción negativa en los muros enterrados (Ver figura 2.42). En el tabla 2.6 se indica la magnitud de esta fuerza por cada muro. Si las dimensiones de los muros cambian en los diseños definitivos, este valor debe recalcularse considerando una fricción negativa por m² de área de contacto de 0.52 Ton/m².

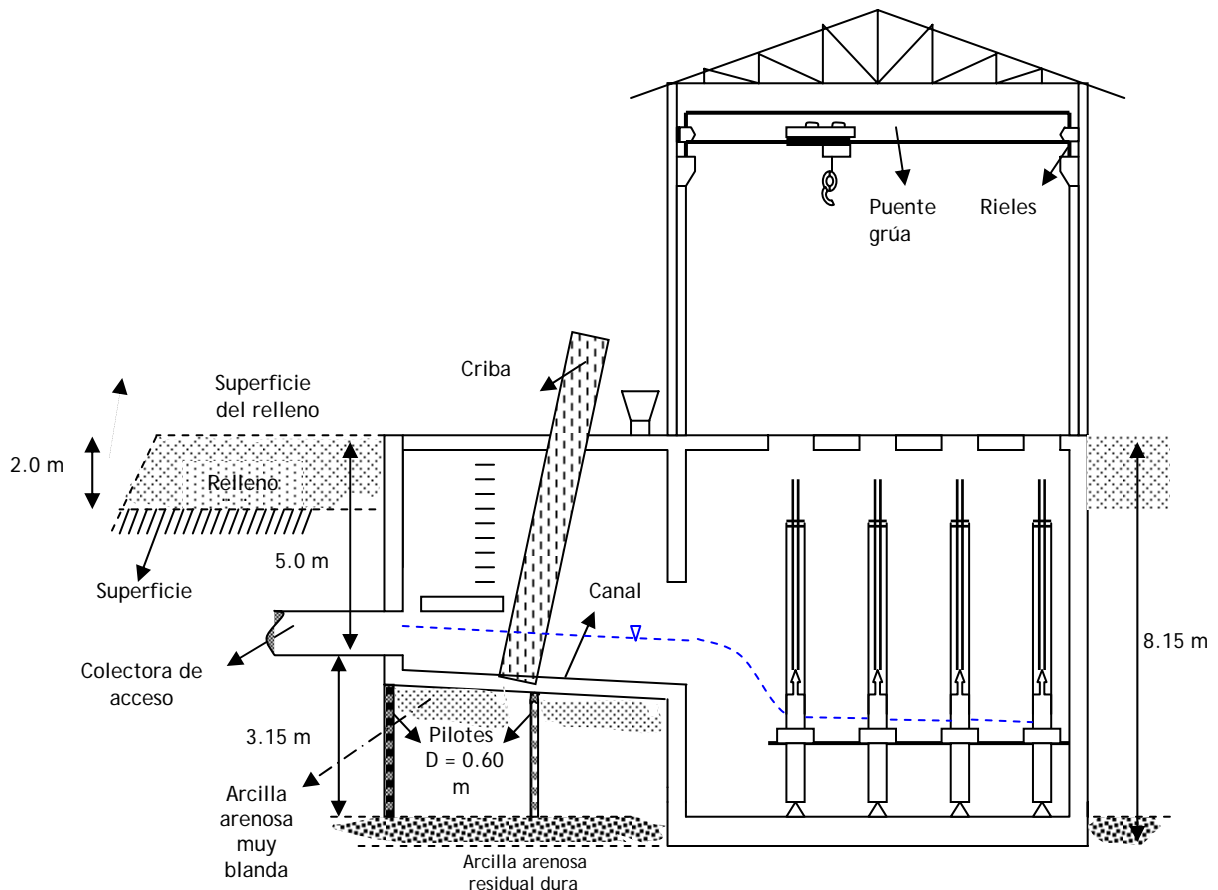


Figura 2.51 - Estación de Bombeo Tocumen Vista Frontal

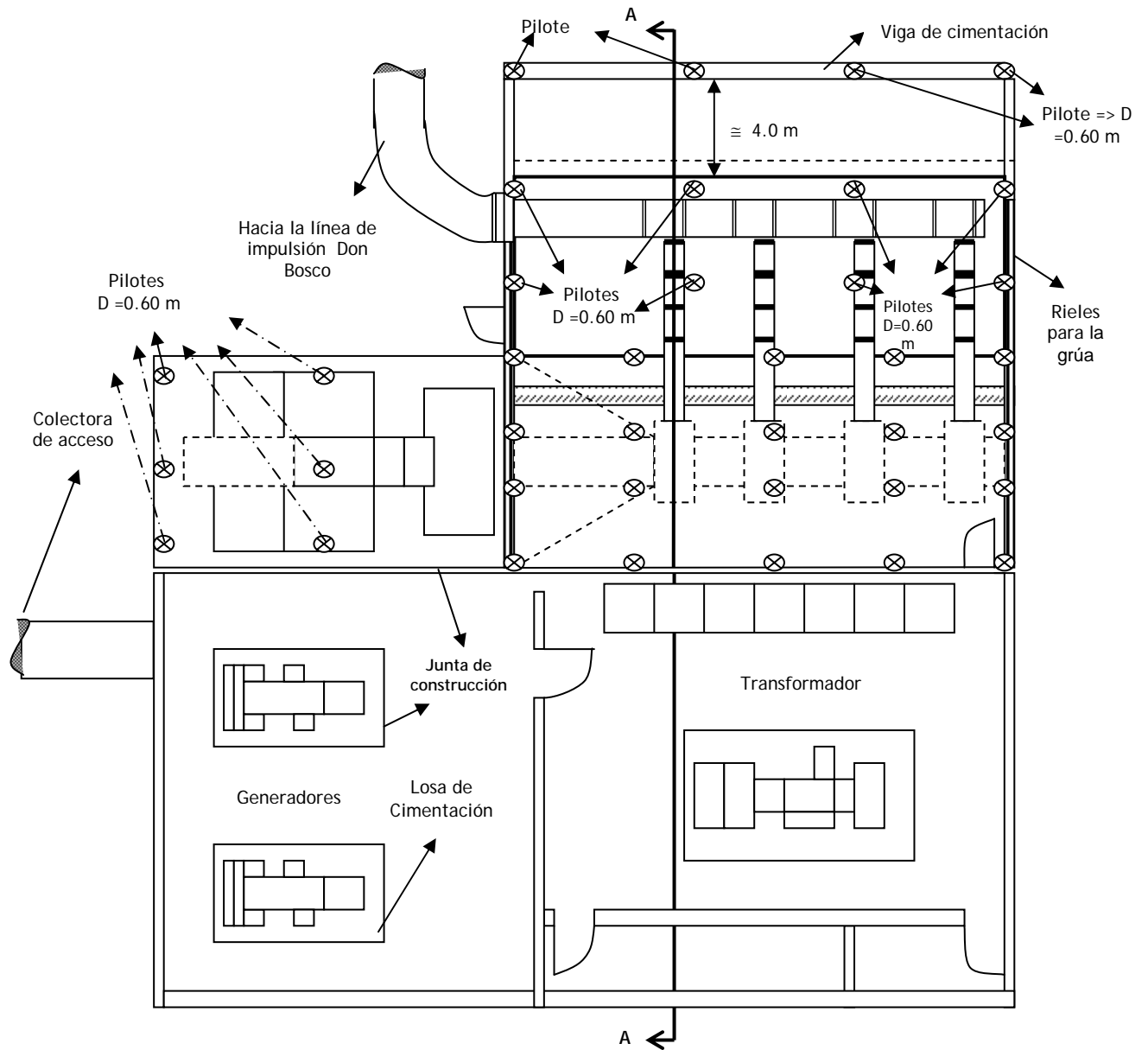


Figura 2.52 - Estación de Bombeo Tocumen - Vista en Planta

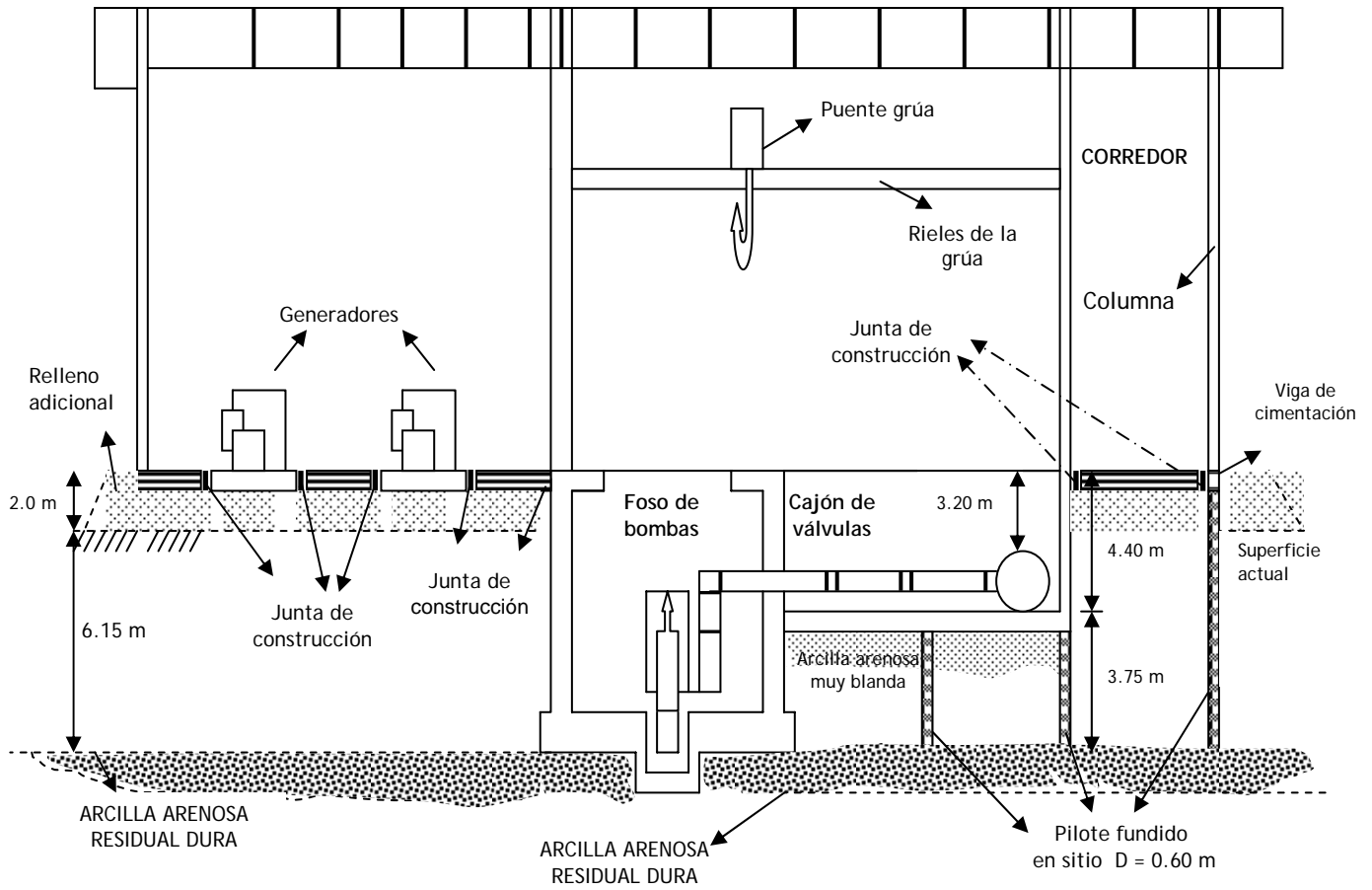


Figura 2.53 - Estación de Bombeo Tocumen - Vista Lateral; (Corte A-A de la Planta)

Tabla 2.6 - Peso Adicional Generado por la Fricción Negativa Canal de Acceso y Recinto de Válvulas - E.B. Tocumen

ZONA	MURO	h - m	L - m	A- m ²	Fricción negat Ton/m ²	Fricción Negat. Ton
Canal de acceso	DE	5.00	10.5	52.5	0.52	27.3
	EF	5.00	6.0	30.0	0.52	15.6
	FG	5.00	10.5	52.5	0.52	27.3
Recinto de válvulas	GH	4.40	6.0	26.4	0.52	13.7
	HA	4.40	16.0	70.4	0.52	36.6
	AB	4.40	6.0	26.4	0.52	13.7

8. Los suelos encontrados, no son susceptibles de licuarse bajo los sismos característicos del área de Panamá.
9. Para muros de contención, el empuje lateral puede calcularse considerando el mismo diagrama de presiones que actúa sobre la tablestaca. Aunque cuando se presente la máxima elevación del río, el nivel freático puede subir hasta 0.50 m por debajo de la superficie del relleno, la magnitud de los empujes laterales es del mismo orden que con el N.F. indicado en la figura 2.50.
10. En el diseño de la losa de fondo del canal de acceso y del recinto de válvulas, debe tenerse en cuenta una máxima subpresión del orden de 5.0 Ton/m² y 4.40 Ton/m² respectivamente.
11. El concreto utilizado para la construcción de los pilotes debe tener una resistencia a la compresión mínima de 280 Kg/cm² (28 MPa). Estos pilotes también deben profundizarse mínimo 0.50 m en el estrato resistente.
12. Cálculos preliminares indican que la fuerza de subpresión para las condiciones más críticas (con N.F. en la superficie), es del orden de 1520 Ton. Por otra parte, el peso total de la estructura, columna de agua y fricción lateral del suelo sobre pilotes y muros enterrados, la cual ayuda a evitar el levantamiento de la estructura, es de aproximadamente 1567 Ton, magnitud muy similar a la fuerza de subpresión; por lo cual, en los diseños definitivos debe considerarse alguna medida para evitar el posible levantamiento de la estructura. (Ver memoria de cálculos en el apéndice).
13. Al igual que en la estación Boca La Caja, los pilotes cuya cabeza no llegará hasta la superficie del relleno, se sugiere construirlos antes de realizar las excavaciones y de la misma manera, por las razones allá indicadas. (ver figura 2.10A).

14. Inmediatamente después de terminar las excavaciones, se recomienda proteger el fondo con un solado de concreto pobre, con el fin de evitar remoldeo del suelo por aguas lluvias y procesos constructivos.
15. Si durante el diseño o construcción se encuentran condiciones del subsuelo no previstas en este informe, deben ajustarse los diseños a las nuevas condiciones.

2.9 Estación de Bombeo Ciudad Radial

La Estación de Bombeo Ciudad Radial, se encuentra ubicada aproximadamente a 500 m del lado derecho del final de la línea de impulsión Don Bosco. Tiene en su interior 3 bombas sumergibles, que están concebidas para manejar un caudal de 90 l/s cada una. Esta estación recibe el agua residual de la zona, para posteriormente enviarla por medio de una tubería de 1200 mm de diámetro hacia la línea de impulsión Ciudad Radial.

2.9.1 Trabajos de Campo y Laboratorio

Se realizaron 2 sondeos en el área donde se construirá esta estación de bombeo. Los sondeos se llevaron hasta profundidades de 10.0 m y 15.0 m, y los métodos de perforación utilizados fueron percusión y rotación con tricono y corona de diamante. En la figura 2.54 se ilustra la localización en planta de los sondeos realizados.

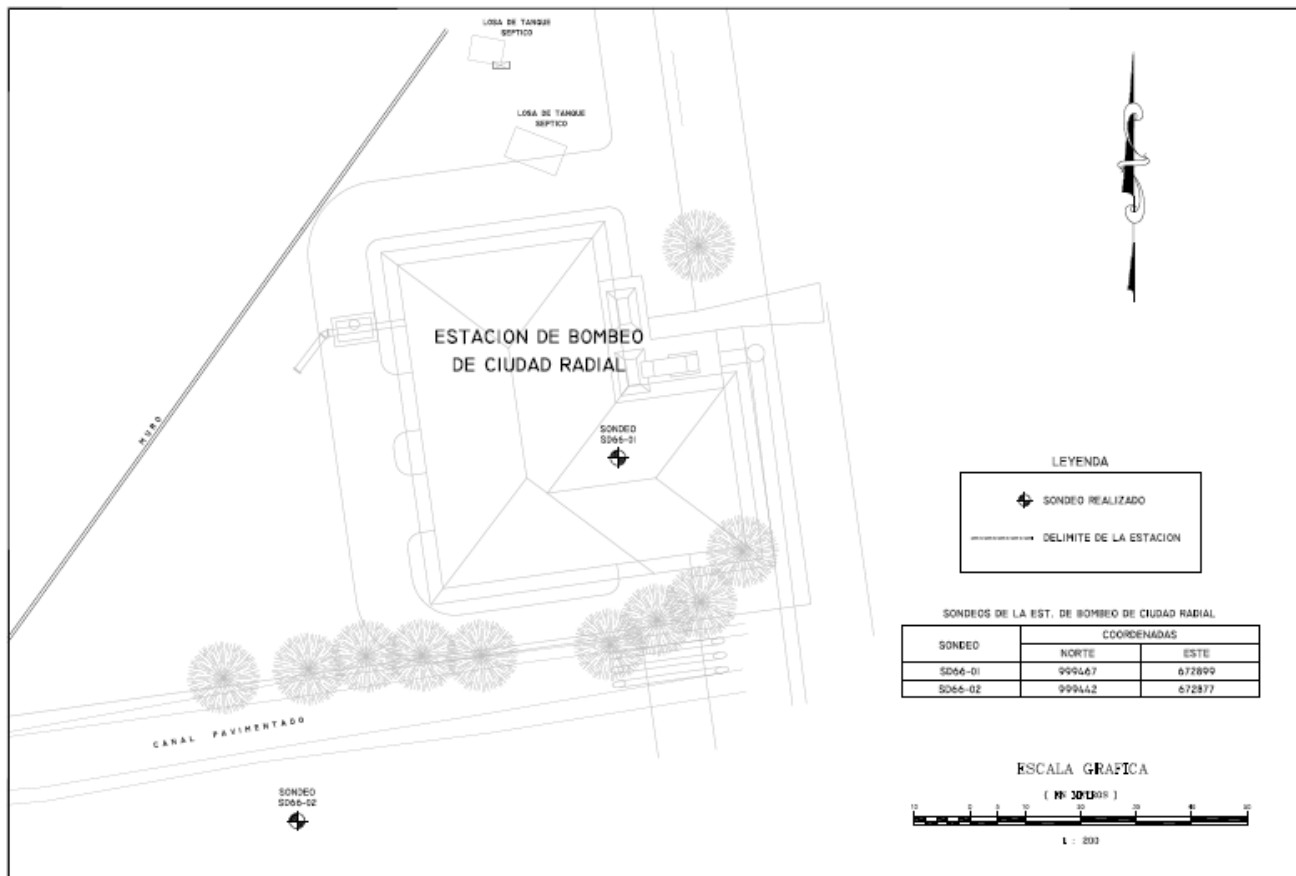


Figura 2.54 - Estación de Bombeo Ciudad Radial - Localización en Planta de los Sondeos Realizados

En cada sondeo se registró el perfil de suelos y se tomaron muestras alteradas para ensayos de clasificación e inalteradas para pruebas de resistencia. Con estas muestras se realizaron ensayos de laboratorio para determinar su contenido de agua en estado natural, distribución granulométrica, límites de consistencia y resistencia al corte. De igual manera, con base en pruebas de campo y en el criterio y la experiencia del Ingeniero Supervisor de las perforaciones, se determinó el grado de compacidad y consistencia de los materiales. Las pruebas de campo realizadas fueron Penetración Estándar y resistencia a la penetración mediante el penetrómetro de bolsillo.

2.9.2 Estratigrafía

La estratigrafía se ilustra en la figura 2.55 y se describe a partir de la superficie de la siguiente manera:

- Relleno de arena limosa de color café grisáceo, con humedad alta, plasticidad media a baja y compacidad muy suelta, detectado hasta 1.40 m en el SD66-01. Un ensayo de Penetración Estándar dio igual a 3.
- Arcilla arenosa sedimentaria de color gris oscuro (lama), con humedad media a alta, plasticidad alta y consistencia blanda a media; registrada hasta 3.0 m y 6.0 m respectivamente en los SD66-01 y SD66-02. Este material tiene un contenido de finos entre 72% y 92%, L.L. de 56% a 72%, I.P. desde 39% a 46% y Penetración Estándar variable entre 2 y 7, con promedio de 4.
- Un lente de arena no plástica de color café grisáceo, con humedad media y compacidad muy suelta, registrada debajo de la lama, de 1.0 m de espesor, solo en el SD66-01. La Penetración Estándar es igual a 3.
- Arena arcillosa residual de color gris oscuro (tosca), con alto contenido de finos, humedad media a baja, plasticidad alta y compacidad muy alta. Se detectó debajo de los estratos anteriores hasta 6.0 m y 7.50 m en estos sondeos. Tiene 39% de finos, L.L.= 76%, I.P.= 52% y Penetración Estándar superior a 50.
- Roca meteorizada de color café grisáceo a gris, de dureza media, detectada debajo de la tosca hasta 8.0 m y 10.0 m en los SD66-01 y SD66-02.
- Arenisca de grano fino, roca sana de color gris oscuro y dureza media. Este material tiene una resistencia a la compresión inconfiada de 215 Kg/cm² y 155 Kg/cm² en los SD66-01 y SD66-02 respectivamente. Se detectó debajo de la roca meteorizada hasta la profundidad explorada en estos sondeos.
- El nivel de aguas freáticas se encontró a 2.0 m de profundidad en el SD66-02 únicamente.

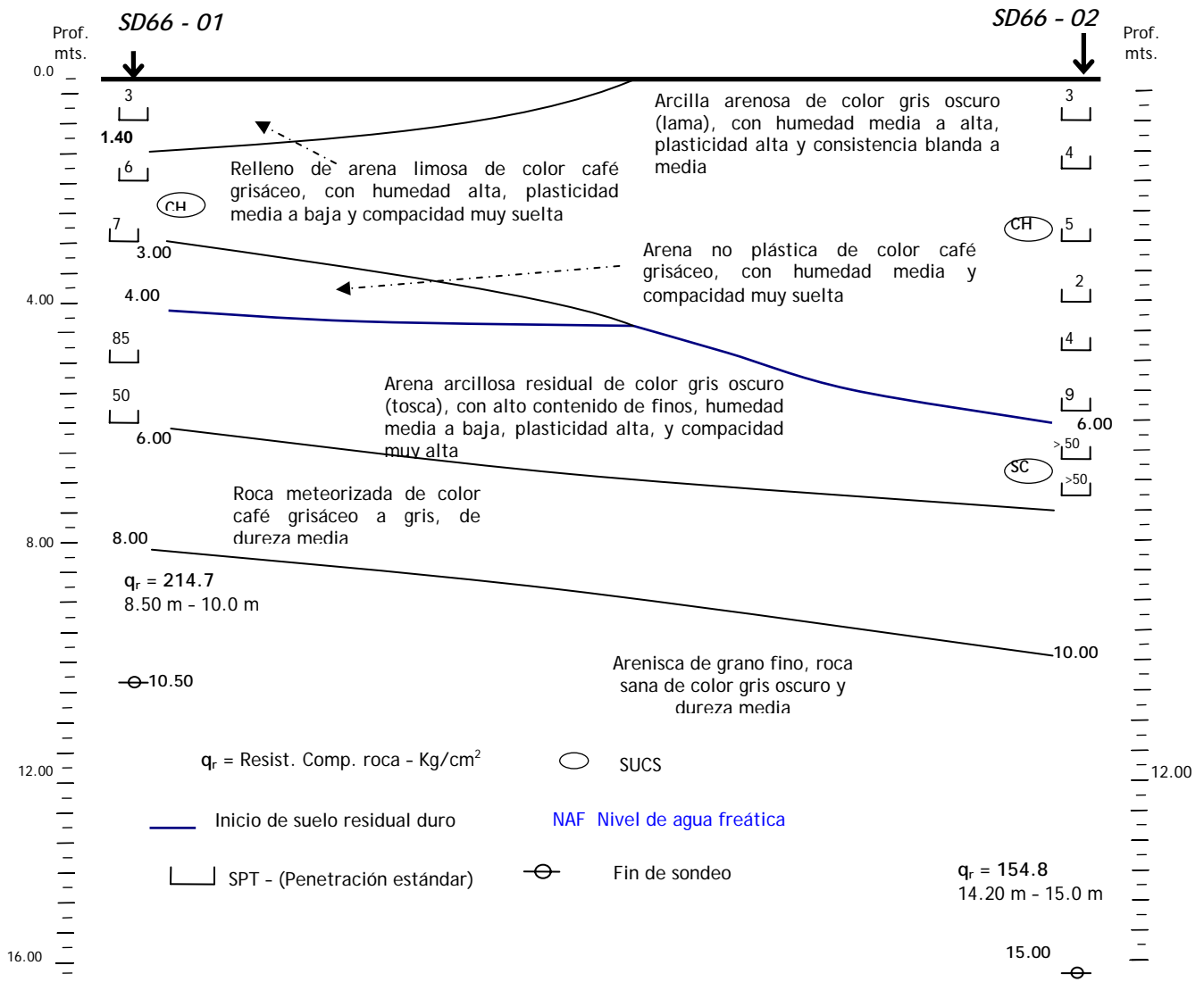


Figura 2.55 - Perfil Estratigráfico - Estación de Bombeo Ciudad Radial - Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento Y Disposición de Aguas Residuales de la Ciudad De Panamá

2.9.3 Análisis y Recomendaciones - Excavaciones

Debido a la consistencia blanda de los estratos superficiales, el sistema mas apropiado para realizar todas las excavaciones es utilizando tablestaca metálica, hincada hasta encontrar rechazo en la arena arcillosa residual resistente. (Esta profundidad estará entre 4.0 m y 6.0 m).

En la zona del canal de acceso y del recinto de válvulas, las excavaciones serán aproximadamente de 2.70 m a 3.30 m de profundidad.

En el foso de bombas, la profundidad será del orden de 6.0 m a 6.30 m, por tanto, en este sitio hay que excavar también en el estrato de arena arcillosa resistente.

En las figuras 2.56, 2.57, 2.58, 2.59 y 2.60, se indican los apuntalamientos necesarios y los recintos tablestacados.

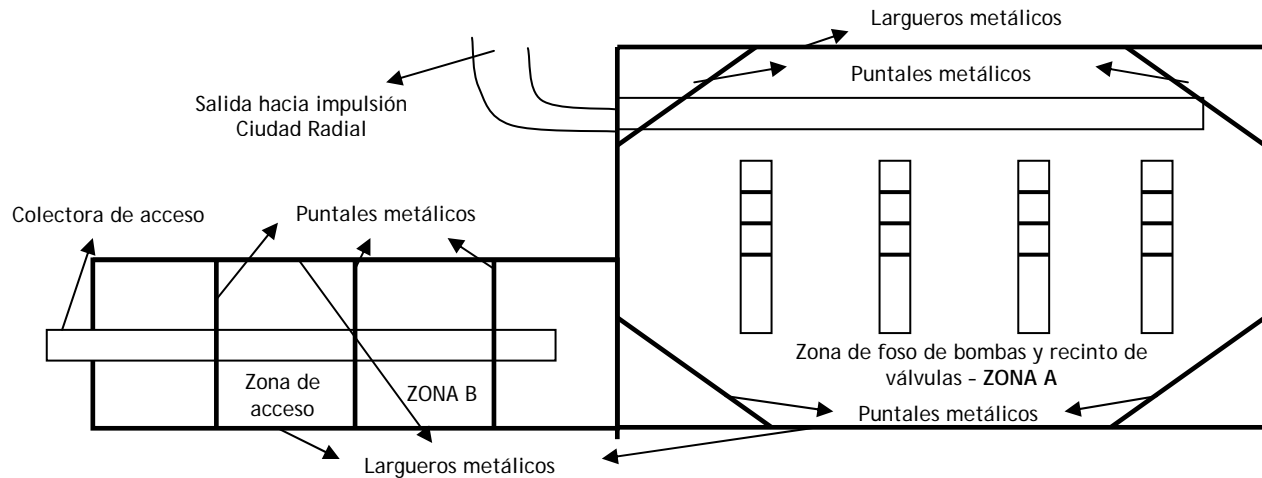


Figura 2.56 - Vista en Planta de la Zona que debe llevar Apuntalamientos para Realizar las Excavaciones - Estación de Bombeo Ciudad Radial

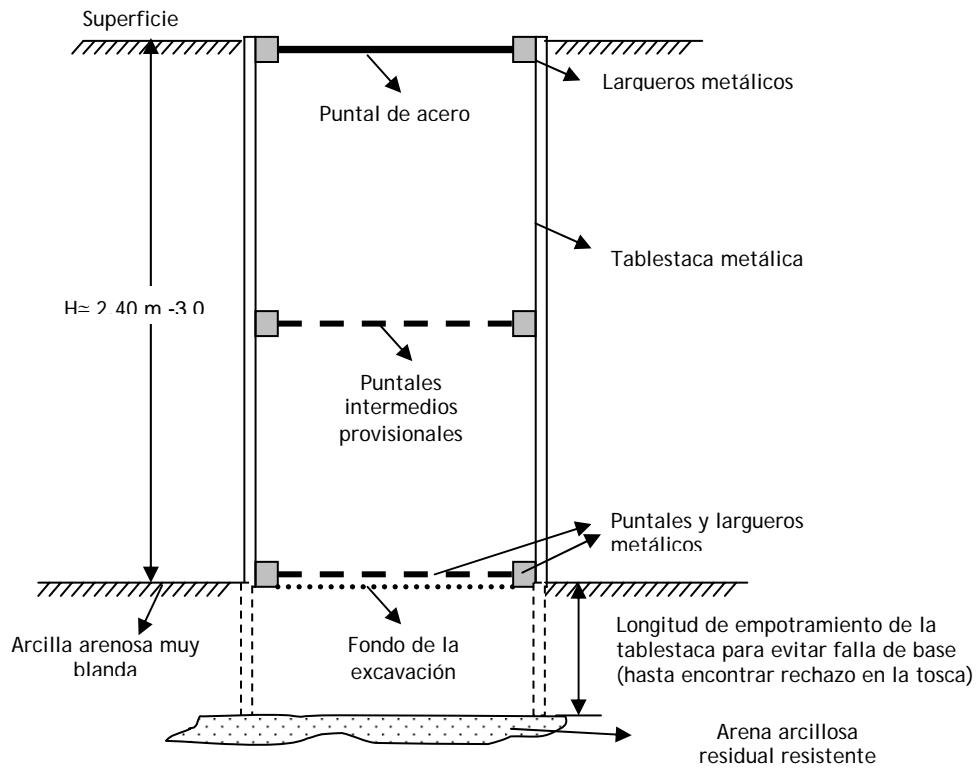


Figura 2.57 - Esquema de Excavaciones, Tablestacas y Apuntalamientos - Estación de Bombeo Ciudad Radial - Canal de Acceso y Recinto de Válvulas

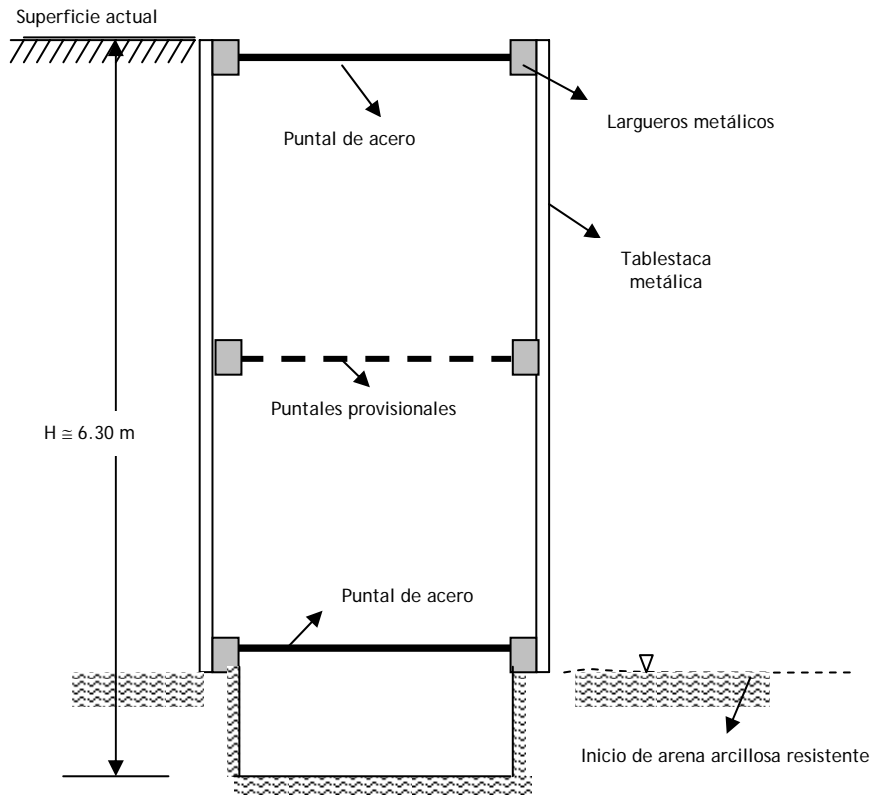


Figura 2.58 - Esquema de Excavación, Tablestacas y Apuntalamientos
- Foso de Bombas - Estación de Bombeo Ciudad Radial - Foso de
Bombas

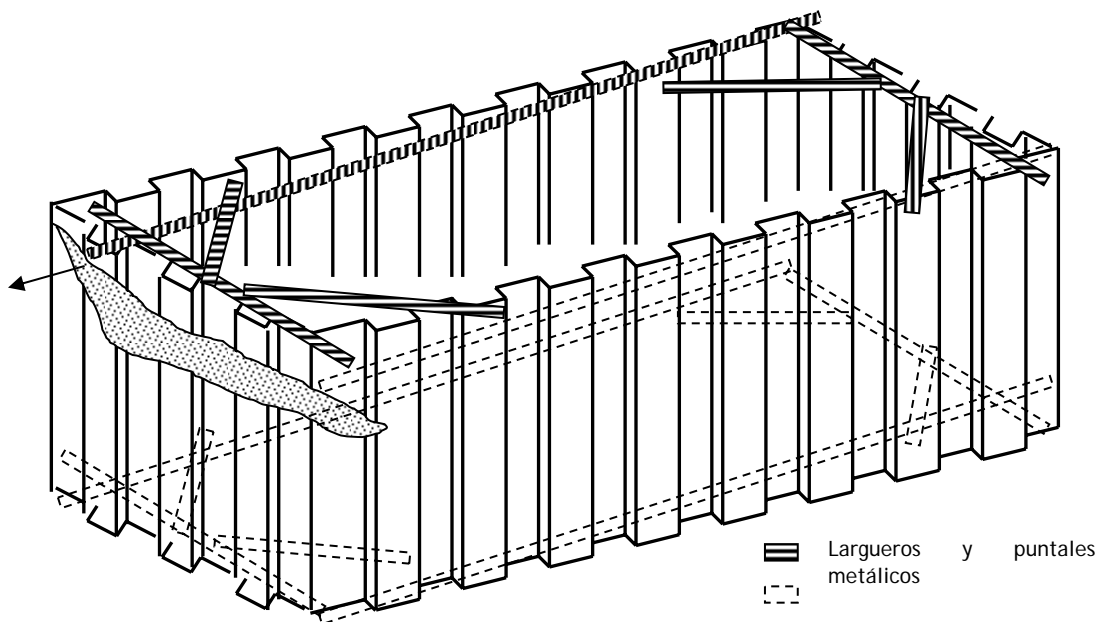


Figura 2.59 - Recintos de Tablestacas y sus Apuntalamientos - ZONA A - Estación
Ciudad Radial

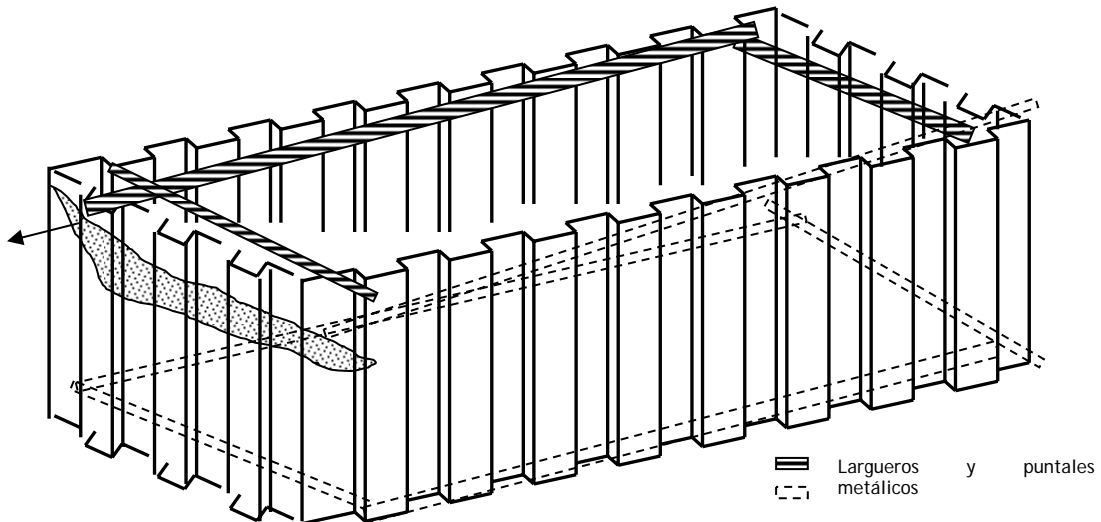


Figura 2.60. - Recintos de Tablestacas y sus Apuntalamientos - ZONA B - Estación Ciudad Radial

En la figura 2.61 se muestra la forma del diagrama de presiones y los empujes que actúan sobre la tablestaca.

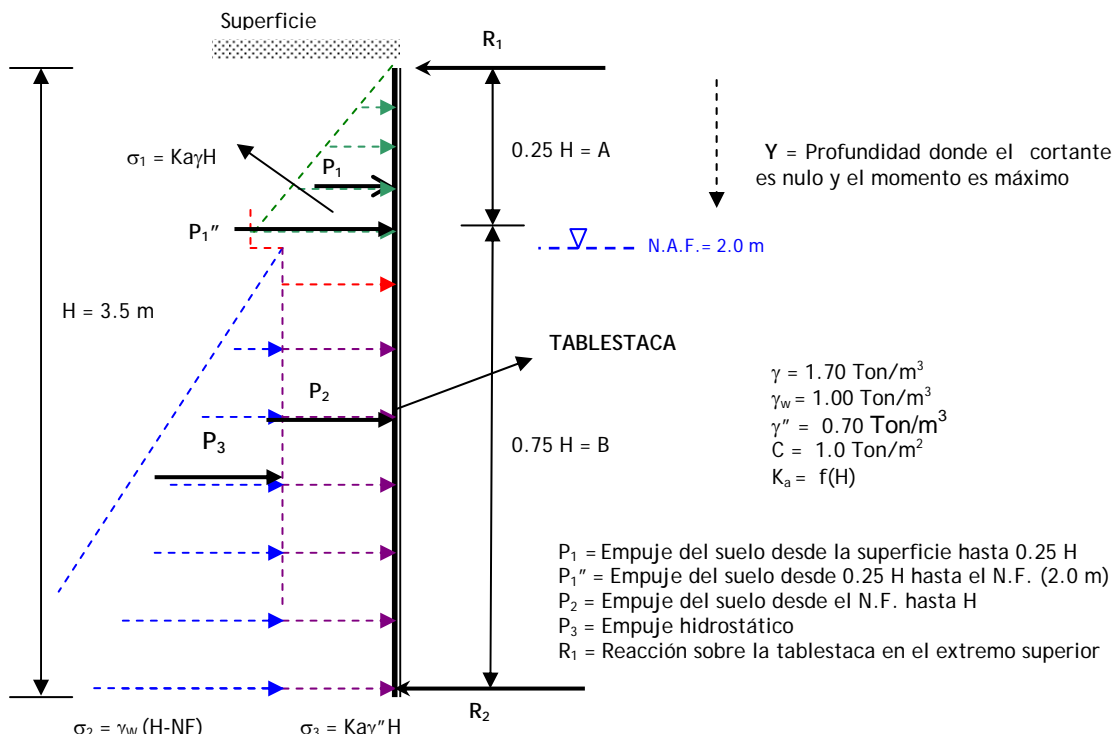


Figura 2.61 - Diagramas de Presiones, Empujes y Reacciones - E.B. Ciudad Radial

Este diagrama consideró el criterio de Terzagui y Peck para suelos arcillosos. Los valores de los empujes, reacciones, momentos y otras magnitudes que se citarán en las páginas siguientes, tienen respaldo en la memoria de cálculos que se anexa en el apéndice éste informe.

A continuación se dan algunas recomendaciones adicionales para realizar las excavaciones:

1. Los momentos máximos, sin factor de seguridad, para escoger la sección de la tablestaca, de acuerdo con la profundidad de excavación, se indican en el tabla 2.7. De igual manera, se dan los valores de las reacciones R_1 y R_2 para escoger los puntales y largueros metálicos. Nótese que tanto los valores de los momentos, como los de las reacciones, están expresados en toneladas por metro de longitud de excavación. (Ver también memoria de cálculos en los apéndices).

Tabla 2.7 - Momentos Máximos y Reacciones para Tablestacas

Profundidad de excavación - m	MOMENTO MÁXIMO (Ton-m/m)	R_1 (Ton/m)	R_2 (Ton/m)
< = 3.5	3.8	3.7	4.1
4.5	8.6	6.9	8.0
5.5	16.4	10.8	13.2
6.5	28.1	15.3	19.6

2. Cuando se esté haciendo la excavación a lo largo de la tablestaca, deben colocarse puntales intermedios provisionales como se ilustra en las figuras 2.59 y 2.60.

2.9.4 Análisis y Recomendaciones de Cimentación

De acuerdo con la estratigrafía encontrada en el sitio y teniendo en cuenta las características de peso y condiciones de funcionamiento de las diferentes estructuras que conforman la estación Ciudad Radial, se dan las siguientes recomendaciones de cimentación:

1. Como el canal de acceso a la estación de bombeo, quedará aproximadamente a 3.0 metros de profundidad, donde aun se encuentra arcilla blanda, el tipo de cimentación mas apropiado es mediante pilotes circulares pre-excavados o fundidos in situ, apoyados en la tosca que se encuentra a 3.0 m por debajo del fondo del canal. El diámetro de pilote más apropiado es 60 cm, cuya capacidad de carga permisible es de 15.0 Ton. En la figura 2.63 se indica una posible ubicación de los pilotes y la profundidad a la cual quedará este canal.
2. El recinto donde estarán alojadas las válvulas de tapón y check, el acople

flexible y la tubería que conduce el agua a la Línea de Impulsión Ciudad Radial, queda a 2.40 m de profundidad. Por lo tanto es conveniente apoyarlo con el mismo tipo de pilote, cuya longitud aproximada será de 3.60 m. (Ver figuras 2.64 y 2.65).

- De acuerdo con las dimensiones tentativas de la profundidad del foso de bombas, lo mas conveniente es cimentarlo y empotrarlo en la tosca resistente que se detectó entre 4.0 m y 6.0 m de profundidad. Si se considera que 1.0 m de empotramiento en ese suelo es suficiente, el foso de bombas deberá tener entonces una profundidad mínima de 7.0 m. La capacidad portante permisible de la tosca es de 30 Ton/m². Al cimentar la estructura en ese estrato, las vibraciones causadas por las bombas no presentarán inconveniencias. (Ver figura 2.65).
- Los generadores producen vibraciones de tipo armónico, por lo tanto debe garantizarse que la fundación no experimente amplitudes de desplazamiento vibratorio superiores a las aconsejables para no causar daño al equipo ni incomodidad a las personas. En este caso se limitó la mitad de la amplitud a 0.001" (0.025 mm), de acuerdo con el criterio de Blake. Una losa rígida de 2.00 m de ancho x 3.00 m de largo colocada sobre un relleno similar al recomendado para los de la estación Río Abajo cumple con los requisitos de Blake. La profundidad tentativa del relleno debe ser de 1.5 m tal como se indica en la figura de la memoria de cálculos en el apéndice de esa estación. La mitad de la máxima amplitud de vibración vertical para esta cimentación es de 0.0003" y la mitad de la máxima amplitud de vibración lateral es de 0.0005", para ambos tipos de vibración el generador con esta losa de cimentación está muy alejado de entrar en resonancia (ver memoria de cálculos en el apéndice). Se utilizó la teoría mencionada en el análisis de la Estación Paitilla.

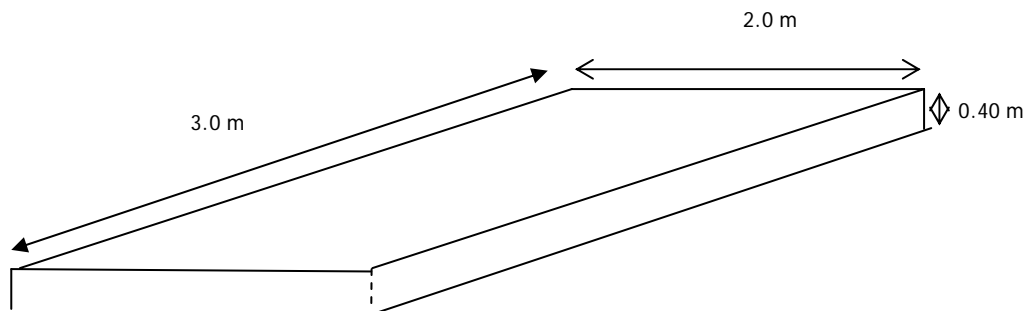


Figura 2.62 - Esquema de Losa de Cimentación de los Generadores - Estación Ciudad Radial

- El transformador puede cimentarse superficialmente mediante losa o zapata, utilizando una presión de contacto no mayor a 10.0 Ton/m². Es conveniente también colocarlo sobre un relleno similar al de los generadores.
- La caseta donde van el transformador y los generadores, podrá cimentarse

superficialmente mediante zapata convencional utilizando una presión de contacto no mayor que 4.0 Ton/m^2 . Debe tenerse cuidado de separar estructuralmente esta caseta, por medio de junta de construcción, del resto de la estructura que está apoyada con pilotes sobre la arena arcillosa resistente, para evitar asentamientos diferenciales.

7. Es conveniente cimentar el corredor aledaño al recinto de válvulas, con el mismo tipo de pilotes anteriormente descritos. (Ver figuras 2.65 y 2.66).
8. En las figuras 2.63, 2.64 y 2.65, se ilustran las principales estructuras de La Estación de Bombeo Ciudad Radial, y cada una de las cimentaciones sugeridas.

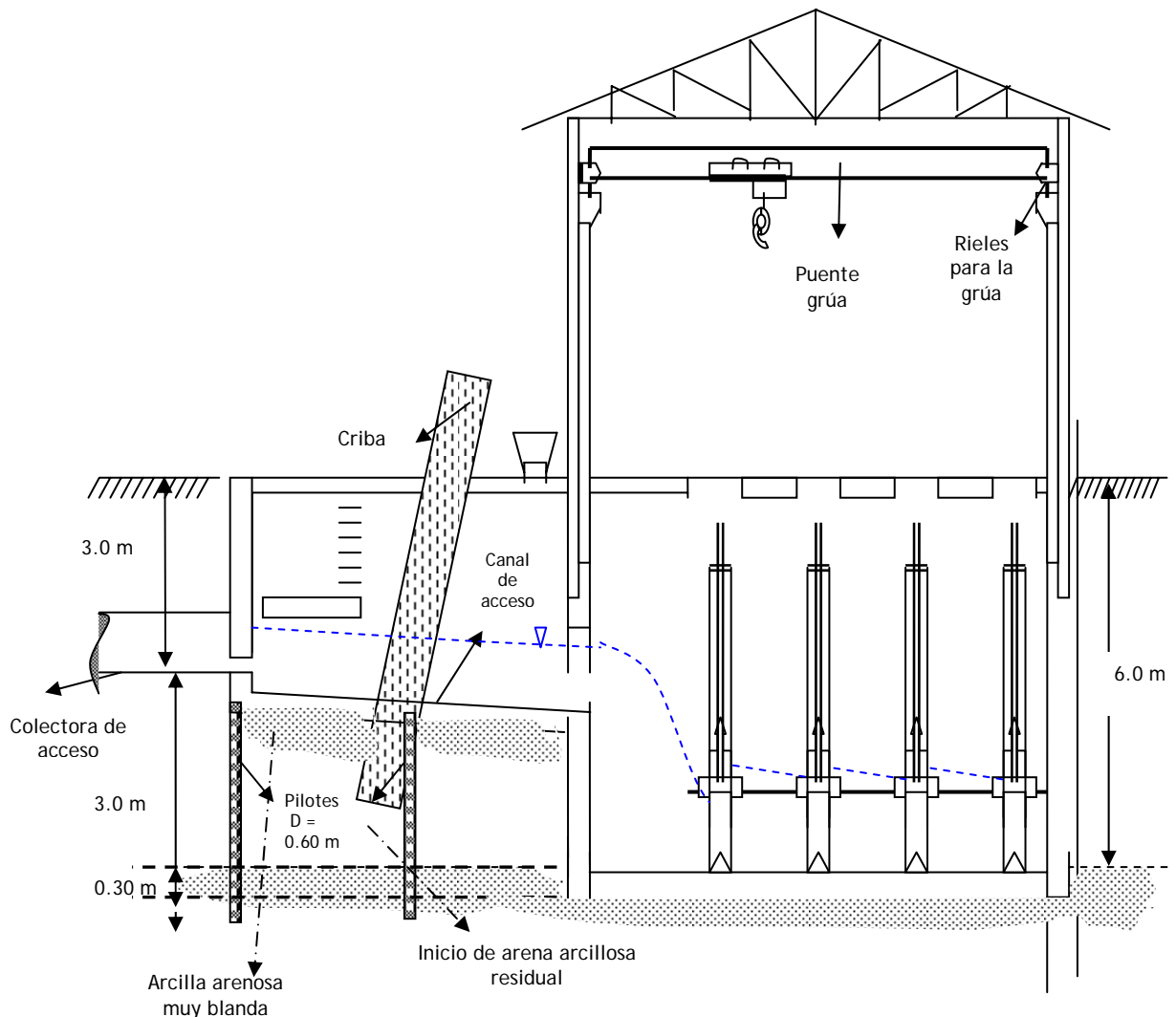


Figura 2.63 - Estación de Bombeo Ciudad Radial - Vista frontal

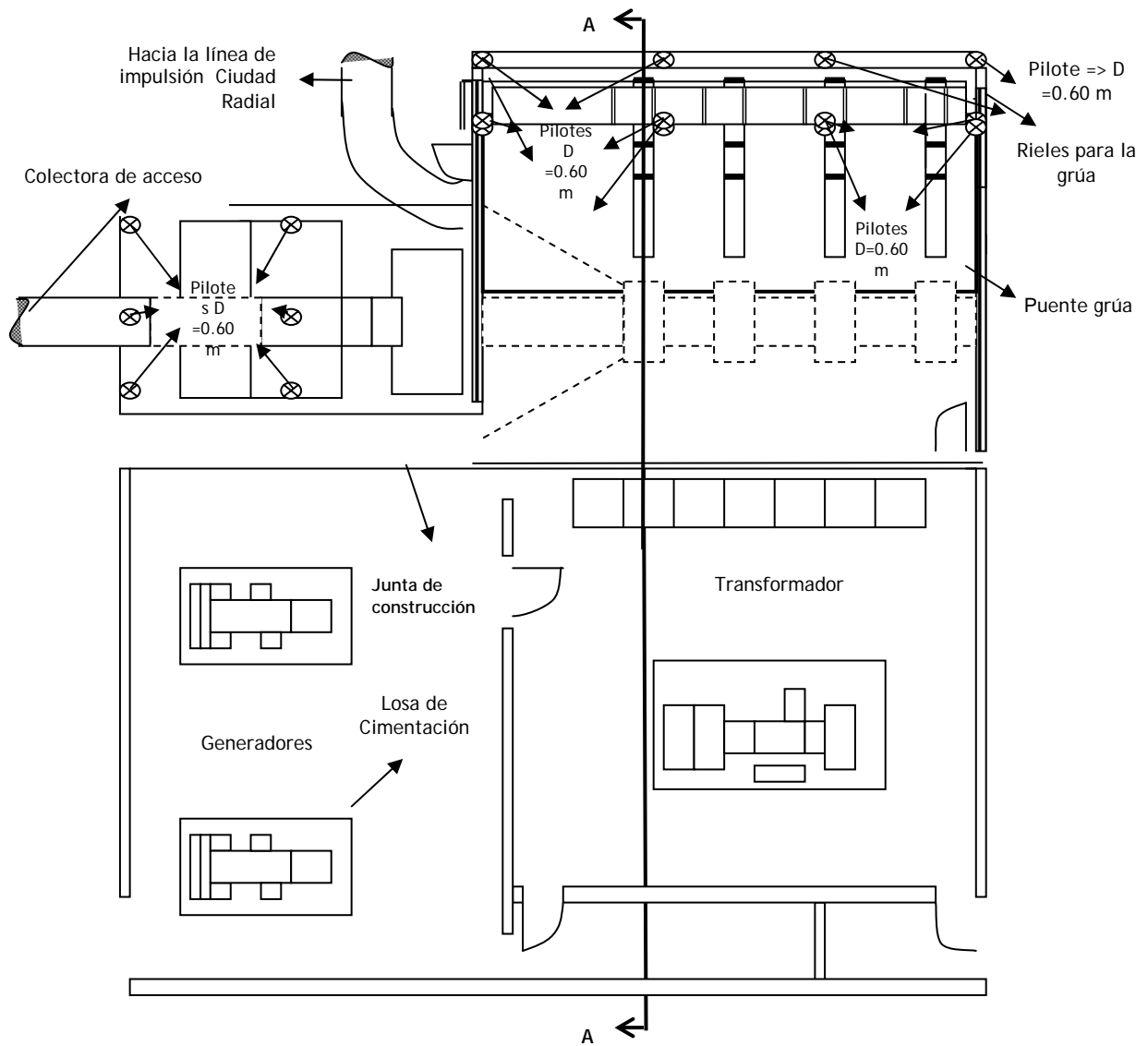


Figura 2.64 - Estación de Bombeo Ciudad Radial - Vista en Planta

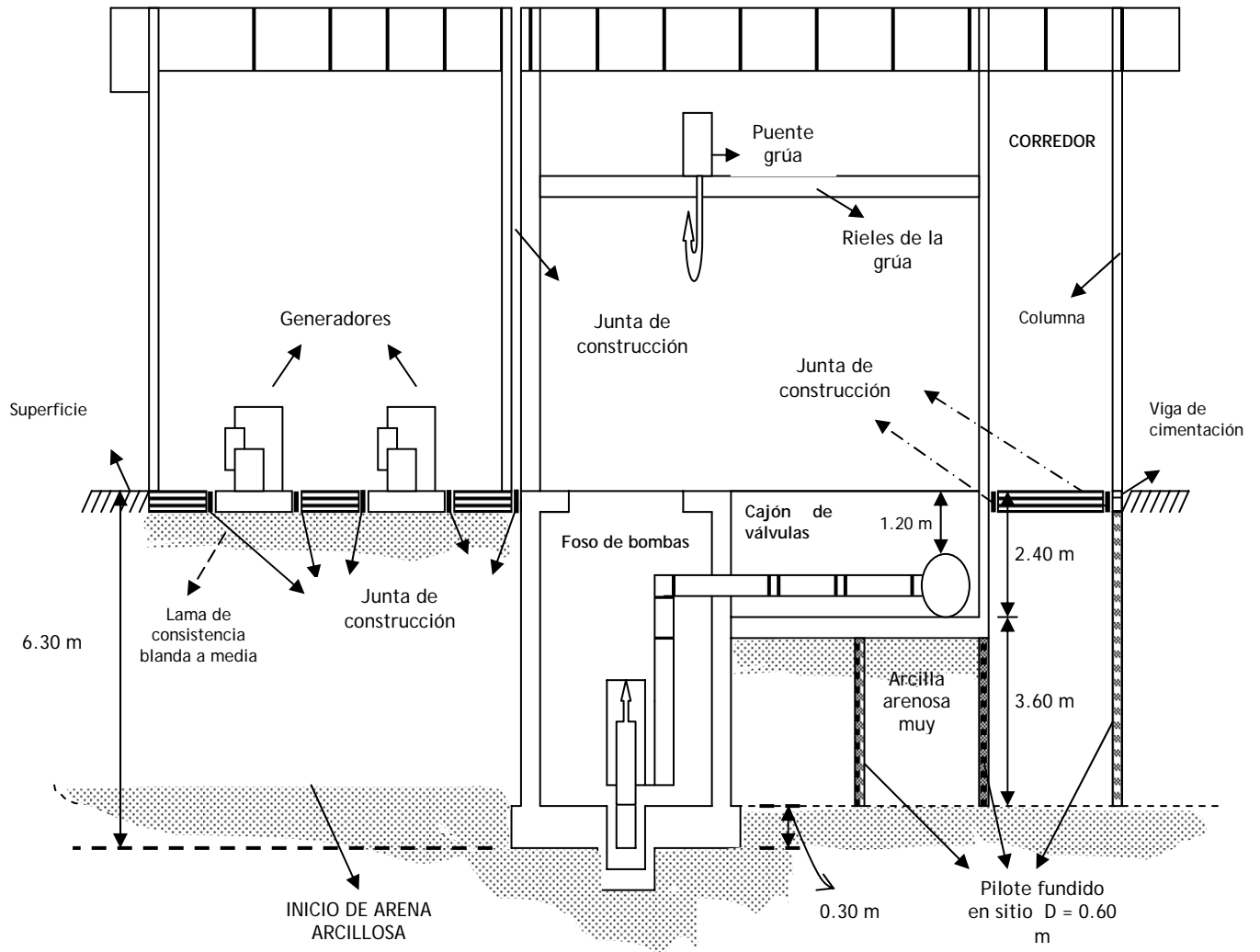


Figura 2.65 - Estación de Bombeo Ciudad Radial - Vista lateral; (Corte A-A de la Planta)

En el diseño de las losas de fondo del canal de acceso, del recinto de válvulas y del foso de bombas, debe tenerse en cuenta una máxima subpresión del orden de 3.30 Ton/m², 2.70 Ton/m² y 6.30 Ton/m² respectivamente.

9. Cálculos preliminares, asumiendo los espesores y dimensiones de los muros indicados en la memoria de cálculos (ver apéndice), indican que la fuerza de subpresión para las condiciones más críticas (con N.F. en la superficie), es del orden de 1072 Ton. Por otra parte, el peso total de la estructura, columna de agua y fricción lateral del suelo sobre pilotes y muros enterrados, la cual ayuda a evitar el levantamiento de la estructura, es de aproximadamente 1263 Ton, magnitud superior a la fuerza de subpresión; por lo tanto no se espera levantamiento de la estructura.
10. El concreto utilizado para la construcción de los pilotes debe tener una resistencia a la compresión mínima de 280 Kg/cm² (28 MPa). Estos pilotes también deben profundizarse mínimo 0.50 m en el estrato resistente.
11. Al igual que en la estación Boca La Caja, los pilotes cuya cabeza no llegará hasta la superficie del relleno, se sugiere construirlos antes de realizar las excavaciones y de la misma manera, por las razones allá indicadas. (ver figura 2.10A).
12. Inmediatamente después de terminar las excavaciones, se recomienda proteger el fondo con un solado de concreto pobre, con el fin de evitar remoldeo del suelo por aguas lluvias y procesos constructivos.
13. Si durante el diseño o construcción se encuentran condiciones del subsuelo no previstas en este informe, deben ajustarse los diseños a las nuevas condiciones.

2.10 Estación de Bombeo Juan Díaz

La Estación de Bombeo Juan Díaz, se ubicará en las inmediaciones de La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Juan Díaz, junto a la margen derecha del río que lleva el mismo nombre. Tendrá en su interior 5 bombas sumergibles, que están concebidas para manejar un caudal de 730 l/s cada una. Estas bombas envían el agua residual por medio de una tubería de 1200 mm de diámetro hacia la parte final de la línea de Impulsión Ciudad Radial, para posteriormente llevarla a la PTAR.

La actual superficie del lote donde se construirá esta estación, se encuentra aproximadamente 1.60 m por debajo del nivel de aguas máximas del río Juan Díaz. Es conveniente entonces, elevar el piso mínimo 2 m con un relleno adicional. Se recomienda colocar este material mínimo tres meses antes de comenzar los trabajos de excavación y construcción, por motivos técnicos que se explicarán mas adelante. La superficie que debe cubrirse con este relleno previo, es la indicada en las figuras 2.67 y 2.68. (En estas figuras puede verse que en el recinto de válvulas, el canal de acceso y el foso de bombas, no deberá colocarse este relleno). Sin embargo, deben dejarse tubos de 3" de diámetro, como se indica en la figura 2.67, con el fin de evitar la acumulación de aguas lluvias en la parte central que no se rellena.

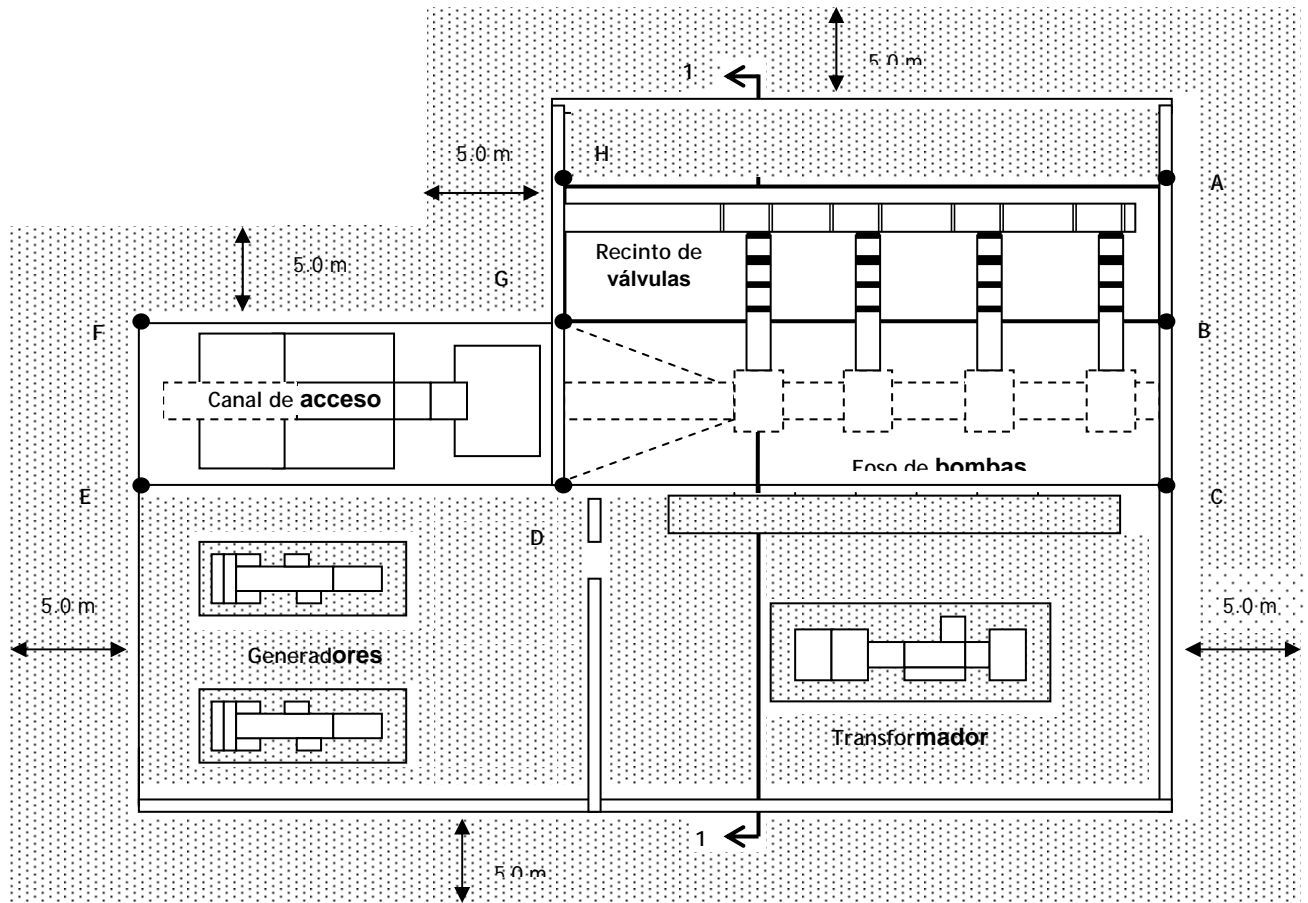


Figura 2.66 - Detalle de la Zonas que deben Rellenarse - Estación de Bombeo Juan Díaz - Planta

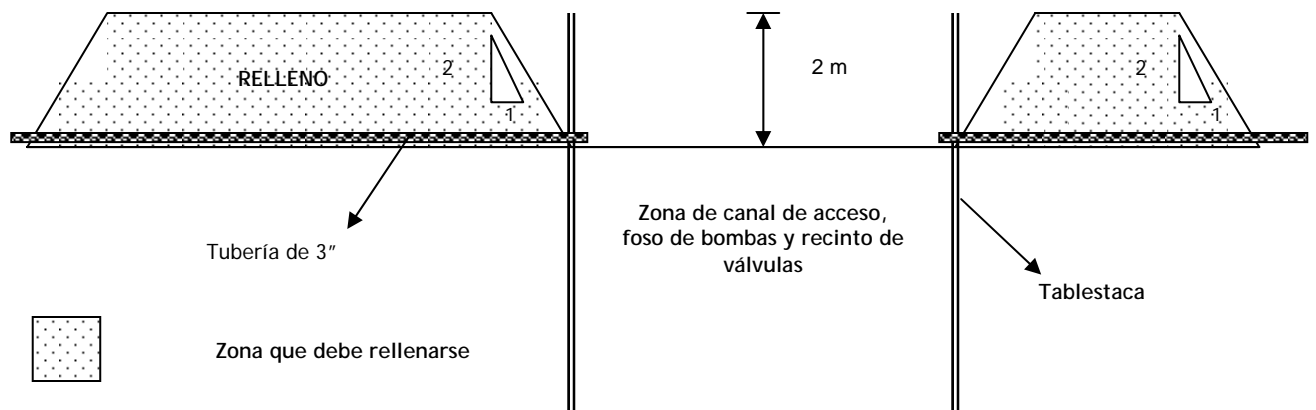


Figura 2.67 - Detalle de las Zonas que deben Rellenarse - Corte 1-1- Perfil

2.10.1 Trabajos de Campo y Laboratorio

Se realizaron 2 sondeos en el área donde se construirá esta estación. Los sondeos se llevaron hasta profundidades de 10.0 m y 20.0 m, y los métodos de perforación utilizados fueron percusión y rotación con tricono y corona de diamante. En la figura 2.68 se ilustra la localización en planta de los sondeos realizados.

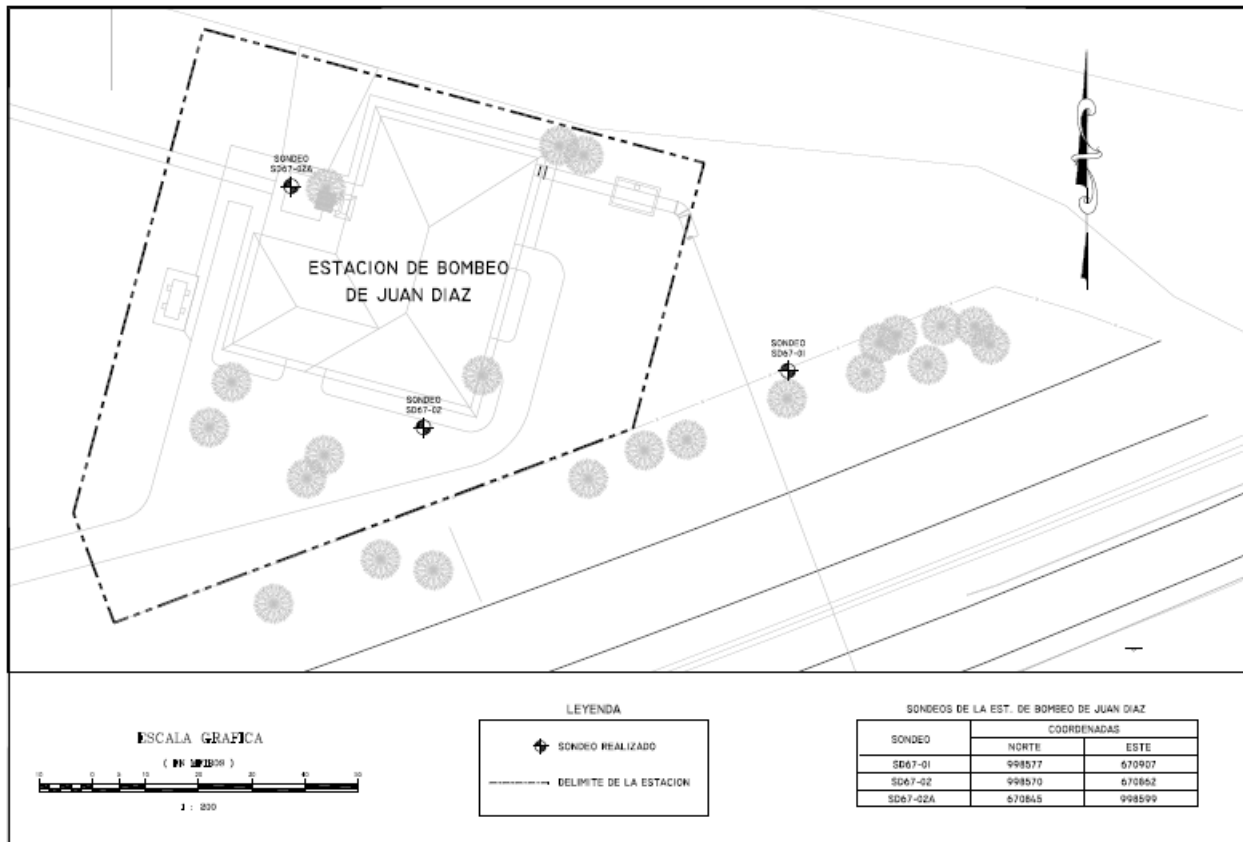


Figura 2.68 - Estación de Bombeo Juan Díaz - Localización en Planta de los Sondeos Realizados

En cada sondeo se registró el perfil de suelos y se tomaron muestras alteradas para ensayos de clasificación. Con estas muestras se realizaron ensayos de laboratorio para determinar su contenido de agua en estado natural, distribución granulométrica y límites de consistencia. De igual manera, con base en pruebas de campo y en el criterio y la experiencia del Ingeniero Supervisor de las perforaciones, se determinó el grado de compacidad y consistencia de los materiales. Las pruebas de campo realizadas fueron Penetración Estándar y resistencia a la penetración mediante el penetrómetro de bolsillo.

2.10.2 Estratigrafía

La estratigrafía se ilustra en la figura 2.69 y se describe a partir de la superficie de la siguiente manera:

- Relleno conformado por bolos y fragmentos de roca, con Penetración Estándar superior a 50. Se encontró en el SD67-01 hasta 2.0 m.
- Relleno de arena arcillosa bien gradada, de color gris, alta humedad y compacidad suelta, con 11% de finos, L.L.= 26%; I.P.= 5% y Penetración Estándar de 10. Se registró hasta 1.50 m en el SD67-02.
- Arcilla arenosa de color café claro a café grisáceo (lama), con humedad y plasticidad media a alta, consistencia muy blanda a blanda, finos= 70%, L.L.= 48%; I.P.= 25% y Penetración Estándar variable entre menor que 1 y 5. Se registró debajo de los estratos anteriores hasta 6.0 m y 4.55 m en estos sondeos.
- Arena arcillosa bien gradada, de color gris, con humedad media, baja plasticidad, compacidad muy suelta a suelta, L.L.= 26%; I.P.= 5%; finos= 11% y Penetración Estándar entre 3 y 11; que subyace al estrato anterior hasta 8.0 m en el SD67-01 únicamente.
- Arcilla arenosa de color gris oscuro (lama), con alto contenido de humedad, plasticidad media y consistencia muy blanda. Tiene un contenido de finos de 63%, L.L.= 48%; I.P.=28% y Penetración Estándar menor a 1. En el SD67-02, se registró con materia orgánica. Se encuentra debajo de la arena arcillosa de color gris y de la arcilla arenosa de color café hasta el fondo de la perforación en el SD67-01 y hasta 6.30 m en el SD67-02.
- Arena arcillosa de color gris, bien gradada, con humedad media a baja, baja plasticidad, compacidad muy suelta a media, L.L.= 26%; I.P.= 5%; finos= 11% y Penetración Estándar promedio de 12. Se registró en el SD67-02 debajo del estrato anterior hasta 15.0 m.
- Grava con arena y fragmentos de bolos, de color gris, no plástica, con humedad media a baja, compacidad media a muy densa y Penetraciones Estándar superiores a 50. Se detectó a 18.0 m de profundidad, en el SD67-02.
- El nivel de aguas freáticas fue encontrado a 3.60 m y 3.50 m en estos sondeos.

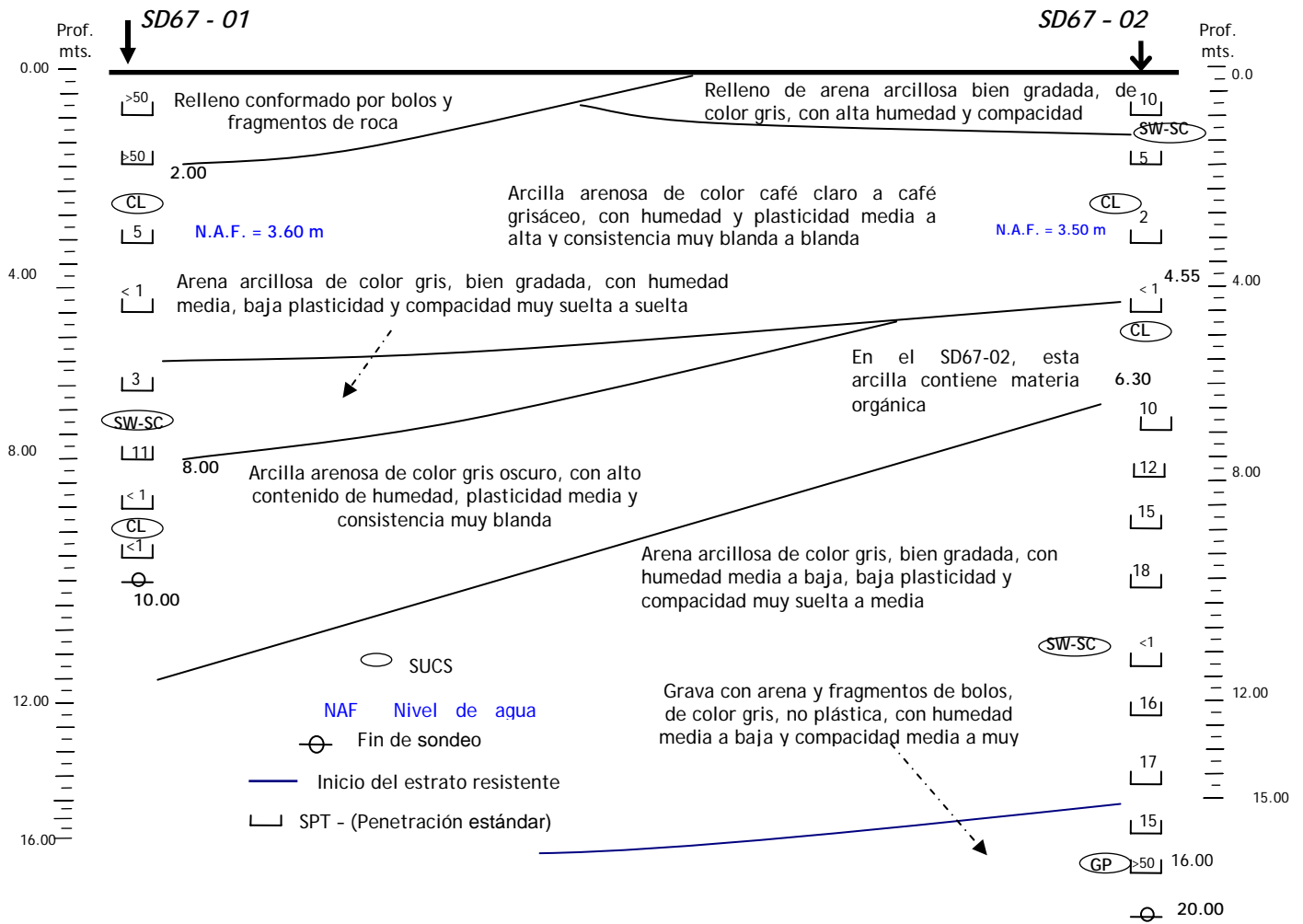


Figura 2.69 - Perfil Estratigráfico - Estación de Bombeo Juan Díaz -
Diseño del Sistema de Intercepción, Tratamiento y Disposición de
Aguas Residuales de la Ciudad de Panamá

2.10.3 Análisis y Recomendaciones - Excavaciones

Debido a que la consistencia de los estratos superficiales es muy blanda, el sistema más apropiado para realizar todas las excavaciones es utilizando tablestaca metálica.

En la zona del canal de acceso y del recinto de válvulas, las excavaciones a partir de la superficie del relleno adicional serán del orden de 5.0 m a 5.50 m de profundidad; en el foso de bombas, la profundidad será de aproximadamente 8.50 m.

Se recomienda llevar las tablestacas mínimo hasta 14.0 m, a partir de dicha superficie, para evitar falla de fondo.

En las figuras 2.70, 2.71, 2.72 y 2.73 se indican los apuntalamientos necesarios y los recintos tablestacados.

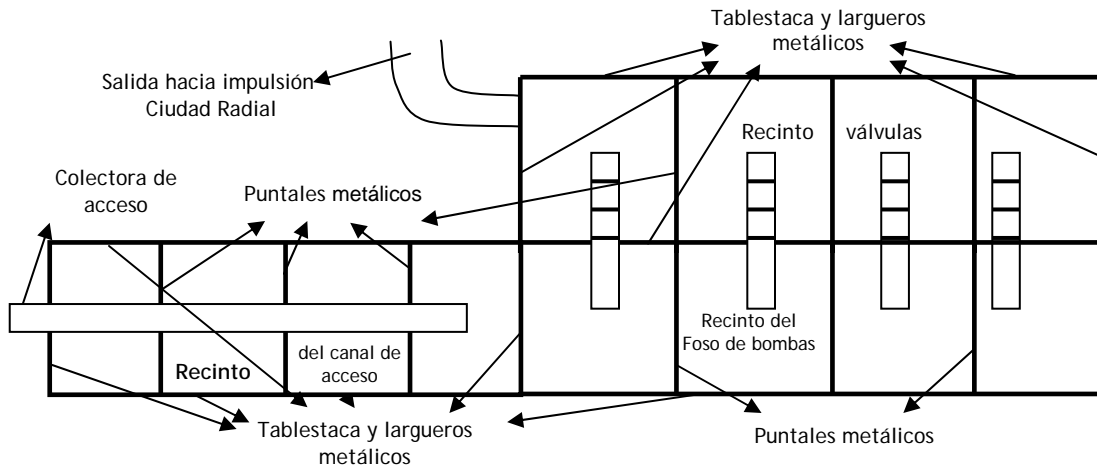


Figura 2.70 - Vista en Planta de la Zona que debe llevar Tablestacas para Realizar las Excavaciones - Estación de Bombeo Juan Díaz

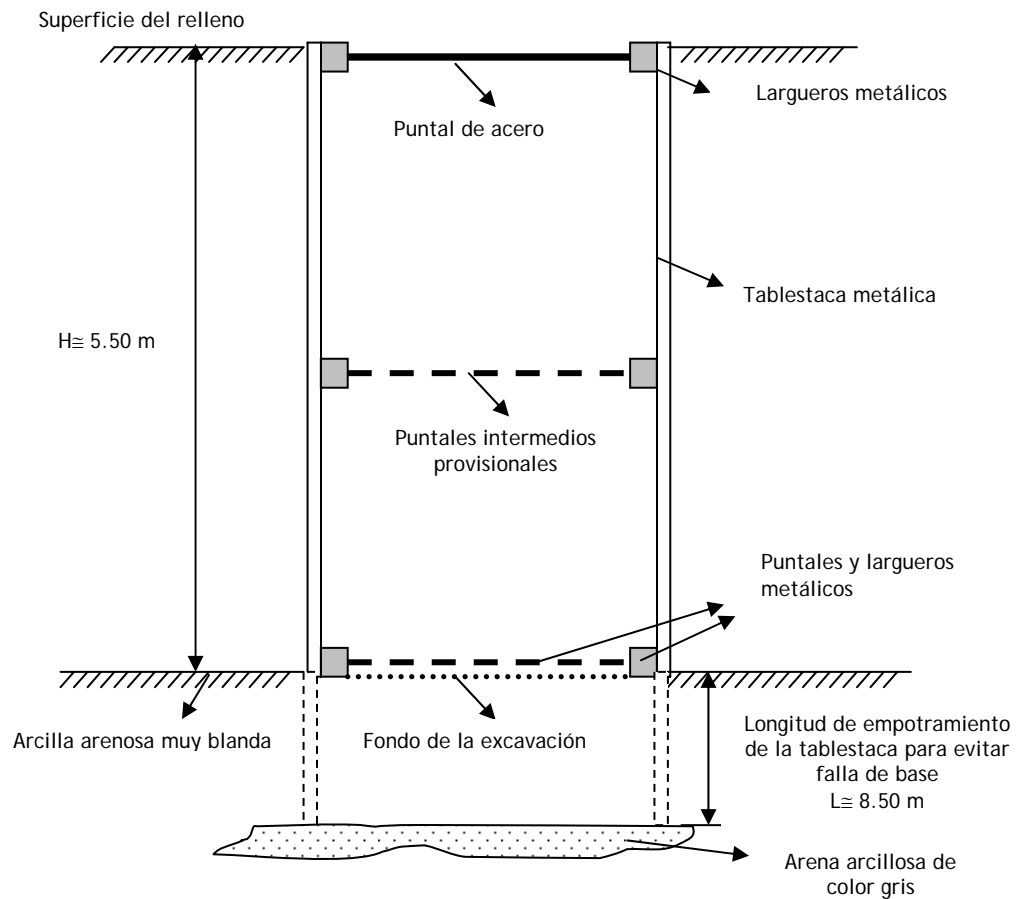


Figura 2.71 - Esquema de Excavaciones, Tablestacas y Apuntalamientos - Estación de Bombeo Juan Díaz - Canal de Acceso y Recinto de Válvulas

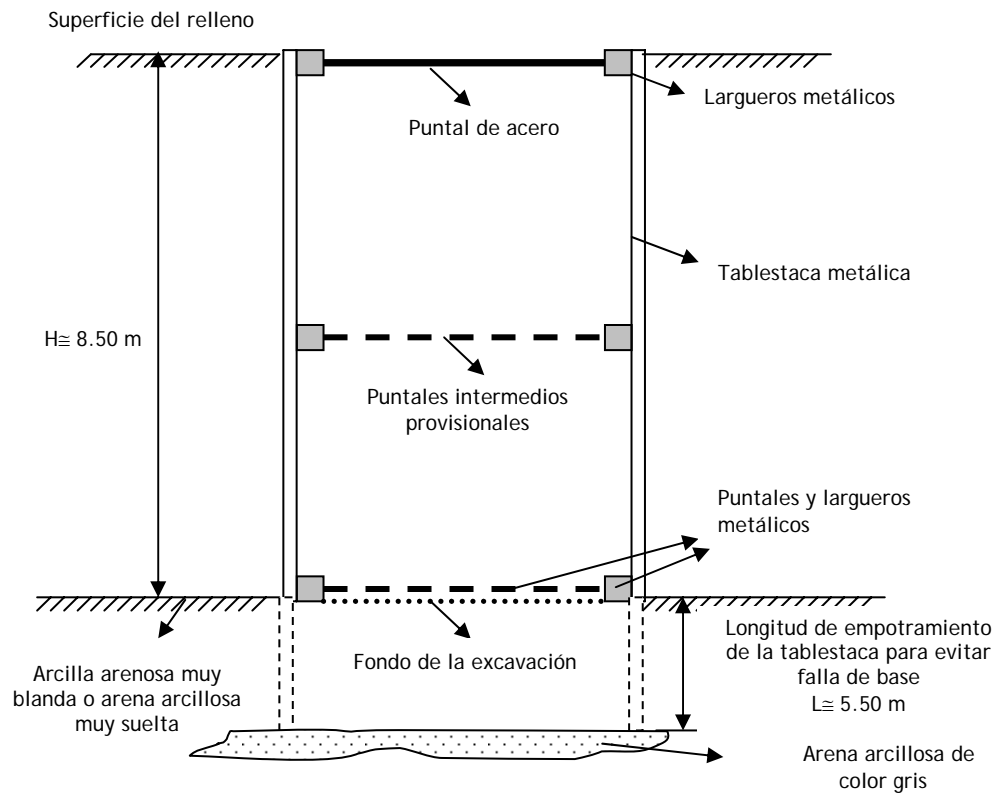


Figura 2.72 - Esquema de Excavaciones, Tablestacas y Apuntalamientos - Estación de Bombeo Juan Díaz - Foso de Bombas

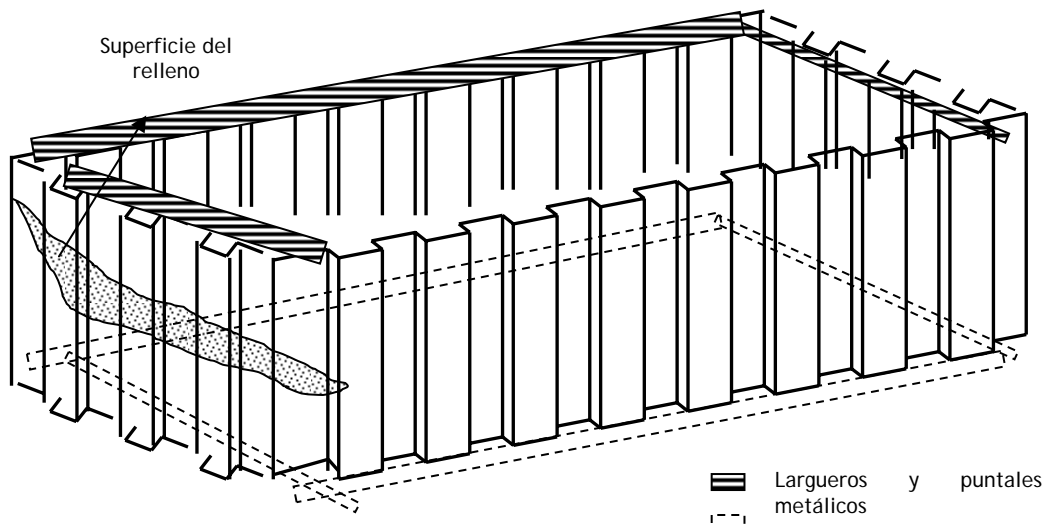


Figura 2.73 - Recinto de Tablestacas y sus Apuntalamientos -E. B. Juan Díaz

En la figura 2.74 se muestra la forma del diagrama de presiones y los empujes que actúan sobre la tablestaca.

Este diagrama se consideró de acuerdo con el criterio de Terzagui y Peck para suelos arcillosos.

Los valores de los empujes, reacciones, momentos y otras magnitudes que se citarán en las páginas siguientes, tienen respaldo en la memoria de cálculos que se anexa al apéndice éste informe.

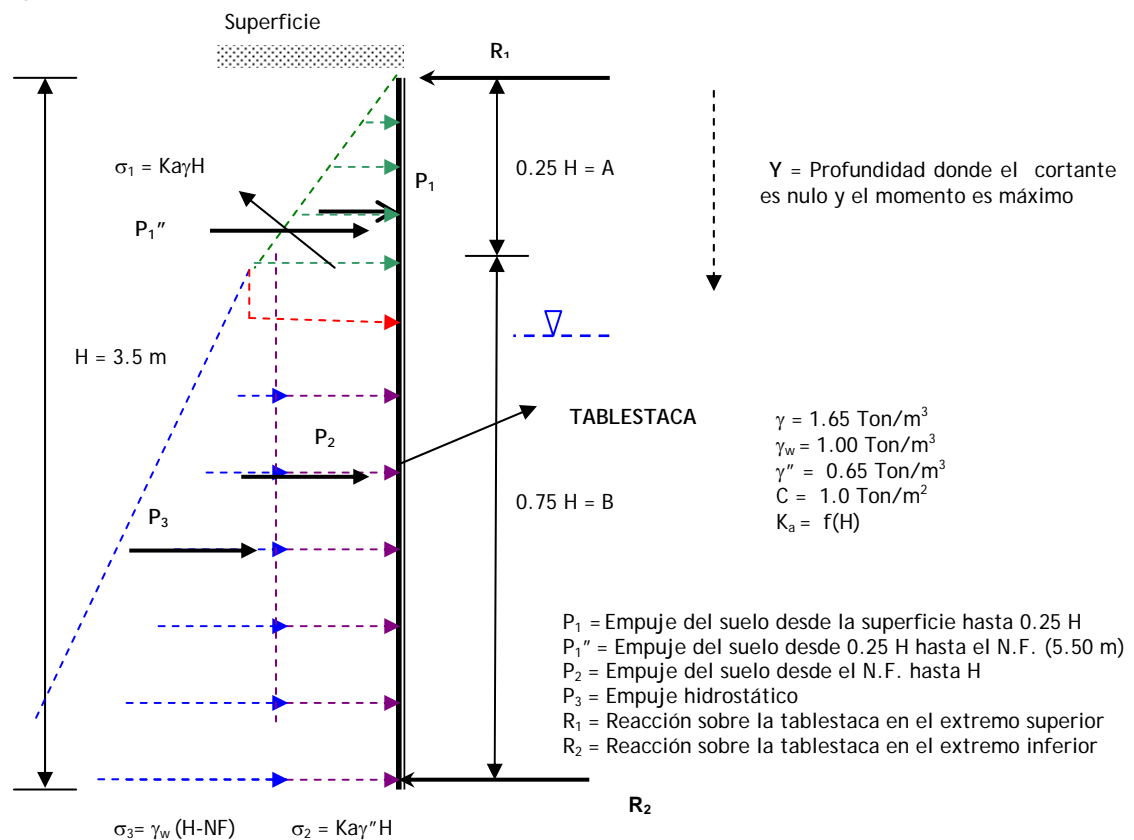


Figura 2.74 - Diagramas de Presiones Empujes y Reacciones - E.B.
Juan Díaz

A continuación se dan algunas recomendaciones adicionales para realizar las excavaciones y la construcción del relleno:

1. El material del relleno adicional en el metro más superficial debe ser de un suelo altamente permeable como arena gruesa o grava por razones que se explicarán mas adelante. El otro metro puede ser de cualquier tipo de suelo que no sea orgánico ni expansivo, que se deje compactar. Esto quiere decir que si es un suelo fino, su humedad natural debe estar cercana a la óptima de compactación.
2. El relleno se compactará hasta alcanzar mínimo el 95% del proctor.

3. Después de colocar el relleno, en la zona ilustrada en las figuras 2.66 y 2.68, deben construirse pilotes de grava, para que se produzca al menos el 80% del asentamiento por consolidación del subsuelo blando en un periodo no mayor de tres meses. Si se usan pilotes de grava de diámetro 0.40 m deben colocarse en forma de triángulo equilátero distanciados 1.30 m y si se usan pilotes de 0.60 m la distancia centro a centro entre ellos debe ser de 1.60 m, los pilotes deben tener 15.0 m de longitud (ver figura en la memoria de cálculo). El máximo asentamiento calculado que se espera es del orden de 28 cm. Durante este tiempo es conveniente llevar un control de medición de asentamientos. Después de este periodo, se pueden iniciar las excavaciones y el resto de la construcción.
4. Los momentos máximos, sin factor de seguridad, para escoger la sección de la tablestaca, de acuerdo con la longitud, se indican en el tabla 2.8. De igual manera, se dan los valores de las reacciones R_1 y R_2 para escoger los puntales y largueros metálicos. Nótese que tanto los valores de los momentos, como los de las reacciones, están expresados en toneladas por metro de longitud de excavación. (Ver también memoria de cálculo en apéndice).

Tabla 2.8 - Momentos Máximos y Reacciones para Tablestacas Estación de Bombeo Juan Díaz

Profundidad de excavación - m	MOMENTO MÁXIMO (Ton-m/m)	R1 (Ton/m)	R2 (Ton/m)
5.5	25.6	15.0	19.1
6.5	42.9	21.5	23.4
7.5	64.3	28.5	29.0
8.5	90.1	36.1	36.0
9.5	120.8	44.2	44.3

5. Cuando se esté haciendo la excavación a lo largo de la tablestaca, deben colocarse puntales intermedios provisionales como se ilustra en las figuras 2.66 y 2.67.
7. Para planificar el sistema de bombeo para la evacuación de aguas, se esperan caudales máximos de filtración de 7.35 lts/min por cada metro de longitud de zanja, para el foso de bombas y de 1.82 lts/min por cada metro de longitud de zanja, para los recintos del canal de acceso y de válvulas.

2.10.4 Análisis y Recomendaciones de Cimentación

Aún con pilotes de grava, después de los tres meses recomendados antes de iniciar las excavaciones, el suelo aun sigue consolidando; en consecuencia, todas las estructuras de esta estación de bombeo deben cimentarse mediante pilotes

empotrados en el estrato resistente de grava con arena y fragmentos de bolos, que se encuentra aproximadamente a 20.0 m de profundidad, a partir del relleno. Los pilotes experimentarán fricción negativa. También experimentarán este tipo de fricción, los muros verticales enterrados donde se va a producir asentamiento relativo entre el suelo y el muro, estos son los AB, BC, CD, DE, EF, FG, GH y HA, indicados en la figura 2.67.

De acuerdo con los comentarios anteriores y la muy baja resistencia del subsuelo, se dan las siguientes recomendaciones de cimentación:

1. Como el canal de acceso a la estación de bombeo, quedará aproximadamente a 5.50 m por debajo de la superficie del relleno, donde aun se encuentra arcilla muy blanda, el tipo de cimentación mas apropiado es mediante pilotes circulares pre-excavados o fundidos in situ, empotrados mínimo 1.0 m en el estrato resistente de grava y fragmentos de roca que se encuentra aproximadamente a 14.50 m por debajo del fondo del canal. Se recomiendan para esta estructura, pilotes fundidos "in situ", de 0.80 m de diámetro debido a que tendrán mayor longitud. Su capacidad de carga permisible es de 49.2 Ton. Este valor tiene en cuenta ya el efecto de fricción negativa (ver memoria de cálculos en el apéndice). En la figura 2.77 se indica una posible ubicación de los pilotes y la profundidad a la cual quedará este canal.
2. El recinto donde estarán alojadas las válvulas de tapón y check, el acople flexible y la tubería que conduce el agua a la Línea de Impulsión Ciudad Radial, queda aproximadamente a 5.0 m de profundidad, a partir de la superficie del relleno. Por lo tanto es conveniente apoyarlo sobre el mismo tipo de pilote empotrado, cuya longitud aproximada será de 16.0 m. (Ver figuras 2.78 y 2.79).
3. Las bombas producen vibraciones de tipo armónico sobre el suelo de cimentación. Como éstas van colocadas con el eje axial en el sentido vertical, las oscilaciones serán esencialmente horizontales. Se consideró limitar la mitad de la amplitud en este sentido a 0.004 cm, de acuerdo con el criterio de Blake. A la profundidad del foso de bombas, todavía se encuentra arcilla muy blanda o arena arcillosa muy suelta. Es necesario entonces usar pilotes empotrados también mínimo 1.0 m en el estrato resistente que se encuentra a 11.50 m debajo de la base del foso. De acuerdo con cálculos tentativos del peso de la losa de fondo, de los muros laterales, de las bombas y de la fricción negativa, se necesitan 14 pilotes de 0.80 m de diámetro para soportar las cargas estáticas verticales. Una distribución tentativa de ellos se indica en la figura 2.75. La separación centro a centro es superior a la mínima recomendada (2.0 a 2.5 veces el diámetro, centro a centro).

Para el análisis dinámico de oscilación horizontal, se utilizó la teoría de *Gazetas*. El número de pilotes calculado anteriormente para resistir las cargas verticales son también suficientes para cumplir el criterio de Blake para limitar las oscilaciones horizontales. (Ver memoria de cálculos en el apéndice). Es de anotar, que aunque

también la rigidez lateral del suelo a lo largo de los muros, contribuye a resistir las fuerzas oscilatorias horizontales, no fue tenida en cuenta porque los solos pilotes fueron suficientes. El número de pilotes mencionado anteriormente está sujeto a las dimensiones indicadas en la figura 2.75; si estas magnitudes cambian, debe recalcularse el número de ellos, utilizando la capacidad de carga indicada en el numeral 1 de estas recomendaciones.

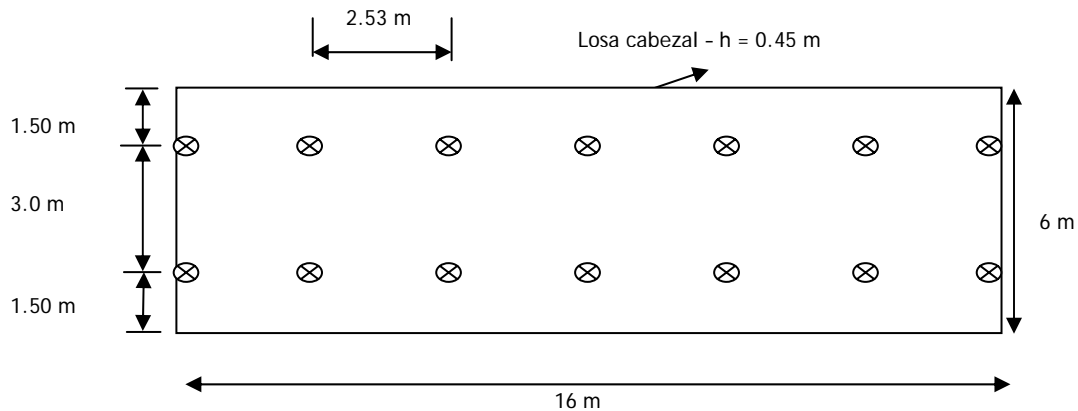


Figura 2.75 - Planta, Ubicación de Pilotes para el Foso de Bombas - Estación de Bombeo Juan Díaz - Pilotes de 80 cm

4. Los generadores producen vibraciones de tipo armónico, por lo tanto debe garantizarse que la fundación no experimente amplitudes de desplazamiento vibratorio superiores a las aconsejables para no causar daño al equipo ni incomodidad a las personas. En este caso se limitó la mitad de la amplitud a 0.001" (0.025 mm), de acuerdo con el criterio de Blake. Una losa rígida de 2.00 m de ancho x 3.00 m de largo colocada sobre el relleno cumple con los requisitos de Blake. La mitad de la máxima amplitud de vibración vertical para esta cimentación es de 0.0003" y la mitad de la máxima amplitud de vibración lateral es de 0.0005", para ambos tipos de vibración el generador con esta losa de cimentación está muy alejado de entrar en resonancia (ver memoria de cálculos en el apéndice y figura 2-76).

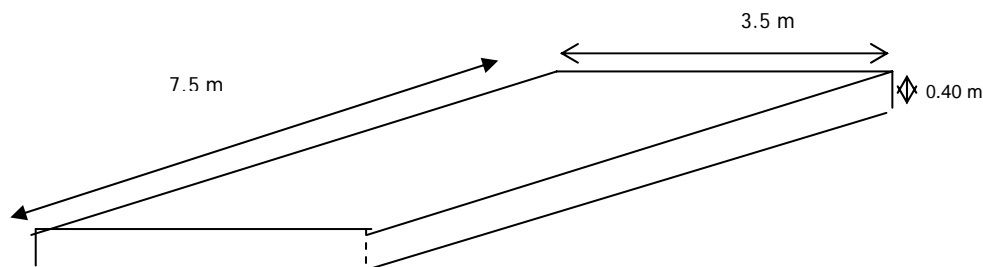


Figura 2.76 - Esquema de Losa de Cimentación de los Generadores - Estación Juan Díaz

5. El transformador y todos los muros laterales de la caseta donde estarán alojados este equipo y los generadores pueden cimentarse con zapatas convencionales empleando una presión permisible de 10.0 Ton/m². Sin embargo deben dejarse las juntas de construcción que se indican en las figuras 2.78 y 2.79 para evitar posibles daños por asentamientos diferenciales.
6. En las figuras 2.77, 2.78 y 2.79, se ilustran las principales estructuras de La Estación de Bombeo Juan Díaz, y cada una de las cimentaciones sugeridas.
7. Para calcular el número de pilotes necesarios en la cimentación del canal de acceso y del recinto de válvulas, debe considerarse el peso adicional generado por la fricción negativa en los muros enterrados (Ver figura 2.67). En el tabla 2.9 se indica la magnitud de esta fuerza por cada muro. Si las dimensiones de los muros cambian en los diseños definitivos, este valor debe recalcularse considerando una fricción negativa por m² de área de contacto de 0.80 Ton/m².

Tabla 2.9 - Peso Adicional Generado por la Fricción Negativa - Canal de Acceso y Recinto de Válvulas - E.B. Juan Díaz

ZONA	MURO	h - m	L - m	A- m ²	Fricción negat Ton/m ²	Fricción Negat. Ton
Canal de acceso	DE	5.00	10.5	52.5	0.80	42.0
	EF	5.00	6.0	30.0	0.80	24.0
	FG	5.00	10.5	52.5	0.80	42.0
Recinto de válvulas	GH	4.40	6.0	26.4	0.80	21.1
	HA	4.40	15.0	66.0	0.80	56.3
	AB	4.40	6.0	26.4	0.80	21.1

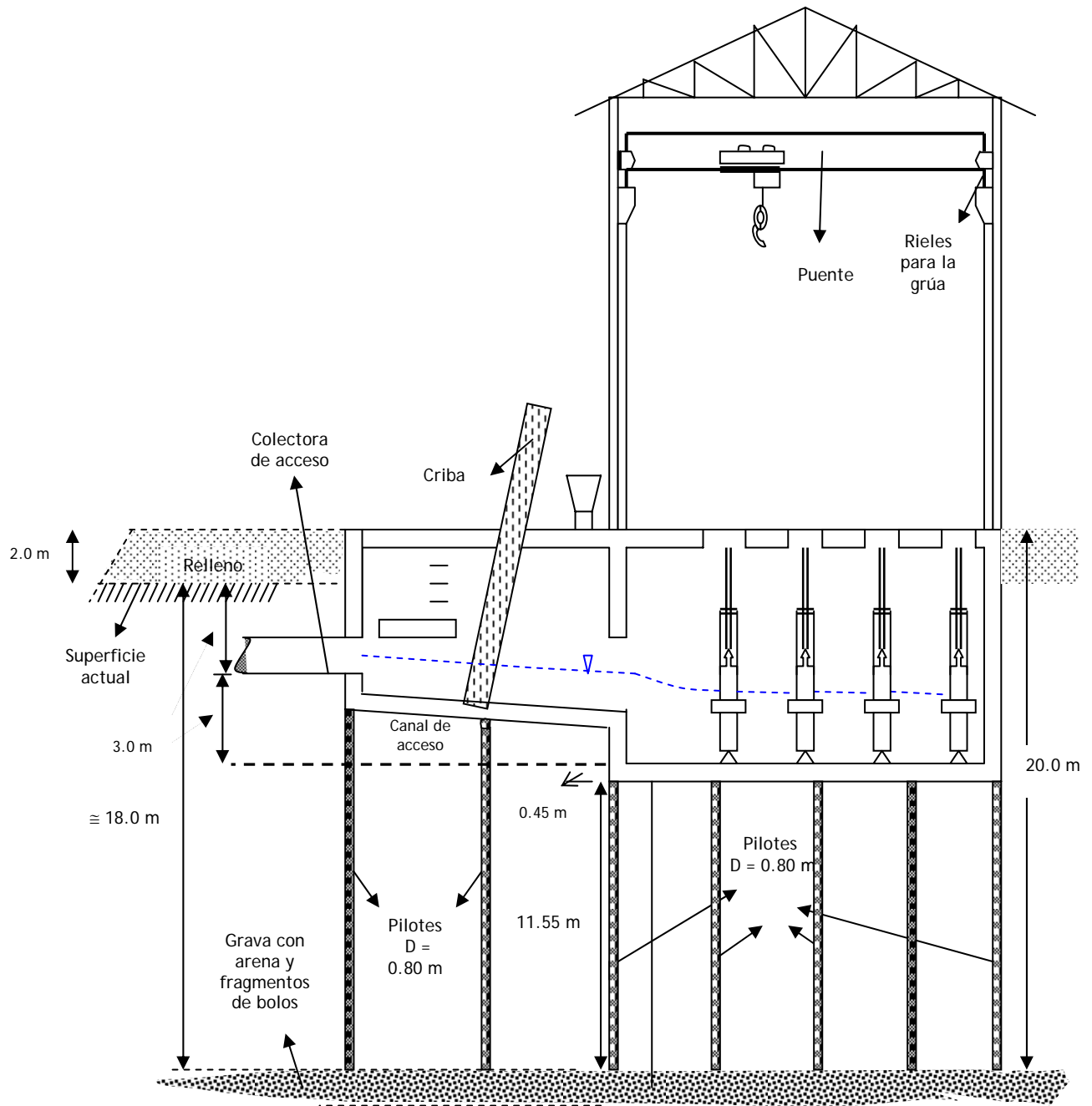


Figura 2.77 - Estación de Bombeo Juan Díaz Vista frontal

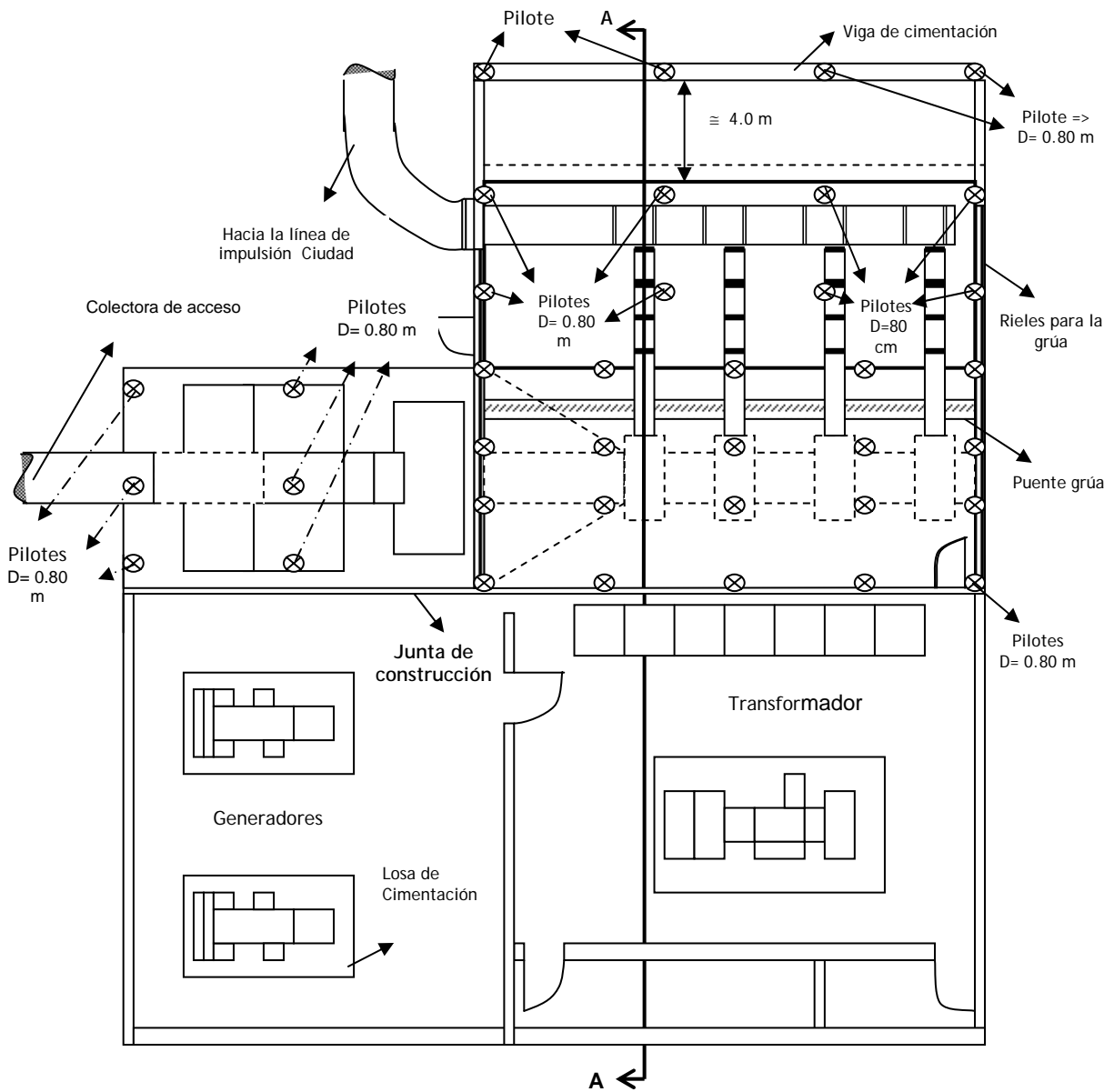


Figura 2.78 - Estación de Bombeo Juan Díaz - Vista en Planta

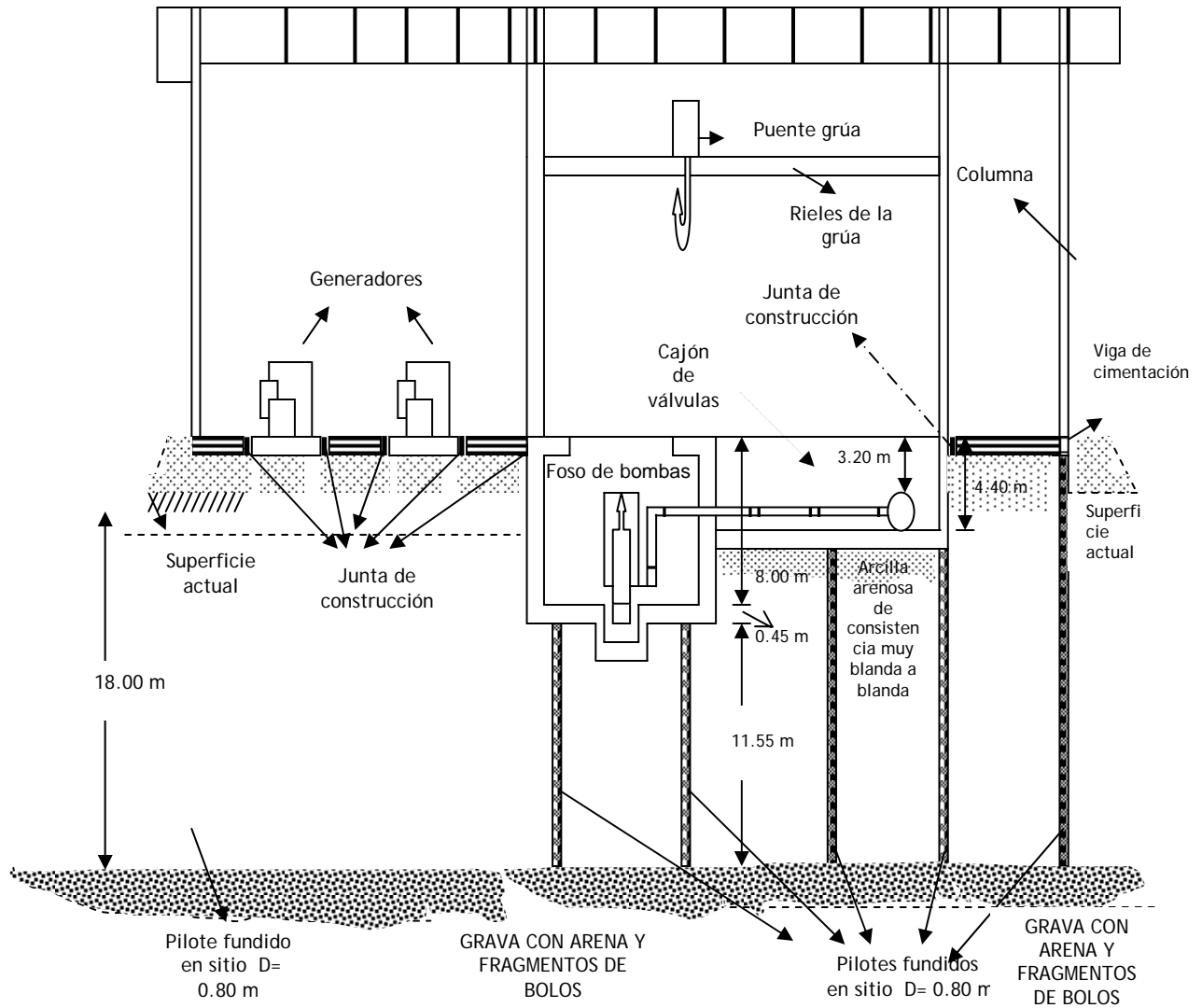


Figura 2.79 - Estación de Bombeo Juan Díaz - Vista lateral; (Corte A-A de la Planta)

8. A pesar de que algunos estratos son susceptibles de experimentar licuación, con los pilotes de grava recomendados se soluciona el problema. Sin embargo la mitad superior del relleno adicional debe tener características de filtro, para que los excesos de presión de poros generados durante el sismo puedan disiparse por esa capa. Por esta razón es conveniente que esta parte del relleno sea de grava o de arena gruesa.
9. Para muros de contención, el empuje lateral puede calcularse considerando el mismo diagrama de presiones que actúa sobre la tablestaca.
10. En el diseño de la losa de fondo del canal de acceso, del recinto de válvulas y del foso de bombas, debe tenerse en cuenta una máxima subpresión del orden de 5.45 Ton/m², 4.85 y 8.45 Ton/m² respectivamente.
11. Cálculos preliminares indican que la fuerza de subpresión para las condiciones más críticas (con N.F. en la superficie), es del orden de 1620 Ton. Por otra parte, el peso total de la estructura, columna de agua y fricción lateral del suelo sobre pilotes y muros enterrados, la cual ayuda a evitar el levantamiento de la estructura, es de aproximadamente 2900 Ton, magnitud superior a la fuerza de subpresión; por lo tanto no se espera levantamiento de la estructura.
12. Antes de construir el relleno debe compactarse la superficie original del terreno con un equipo de vibración pesado.
13. El concreto utilizado para la construcción de los pilotes debe tener una resistencia a la compresión mínima de 280 Kg/cm² (28 MPa).
14. Al igual que en la estación Boca La Caja, los pilotes cuya cabeza no llegará hasta la superficie del relleno, se sugiere construirlos antes de realizar las excavaciones y de la misma manera, por las razones allá indicadas. (ver figura 2.10A).
15. Inmediatamente después de terminar las excavaciones, se recomienda proteger el fondo con un solado de concreto pobre, con el fin de evitar remoldeo del suelo por aguas lluvias y procesos constructivos.
16. Si durante el diseño o construcción se encuentran condiciones del subsuelo no previstas en este informe, deben ajustarse los diseños a las nuevas condiciones.

2.11 Recomendaciones Finales

El propósito de estas recomendaciones es dar a conocer algunas inquietudes adicionales que deben tenerse en cuenta en el estudio definitivo.

- El mayor problema identificado en este estudio, son las condiciones geotécnicas adversas del lote de la estación Juan Díaz donde se tienen grandes espesores de suelos blandos algunos de ellos licuables y no se pudo definir con certeza la profundidad a la cual se encuentran los suelos resistentes. Si se desea mantener el mismo lote, hay necesidad de

hacer al menos dos perforaciones adicionales de mínimo 25 m de profundidad para determinar con mayor seguridad la profundidad del estrato resistente.

- Sin embargo, con el mayor conocimiento de la geología de la zona obtenido con las perforaciones, la alternativa de correr un poco el sitio actual parece más conveniente. El nuevo sitio mas apropiado sería en las cercanías del sondeo SD17-02. Dos perforaciones de 15 m de profundidad bastarían para definir las condiciones geotécnicas de ese lote.
- Se recomienda hacer un análisis mas detallado de las fuerzas de subpresión y peso real de las estructuras, sobretodo en la estación Tocumen, donde cálculos tentativos indican la posibilidad de levantamiento de la estructura al elevarse el nivel freático.
- En el lote de la estación Ciudad Radial, en el sondeo SD66-01, se registró entre 3.0 y 4.0 m de profundidad una capa de arena sin finos y en estado muy suelto pero sin nivel freático. Si esa capa se encontrara debajo del nivel freático, puede ser fácilmente licuada por un sismo de intensidad media. En el estudio definitivo de estas estaciones se recomienda hacer otros sondeos aledaños al SD66-01 para asegurarse de la posición del nivel freático y poder tener mayor certeza sobre el fenómeno de licuación en esa estación.
- Todos lo rellenos que se construyan en estas estaciones debe compactarse mínimo al 95% del proctor del suelo.

CAPÍTULO 3

RECOMENDACIONES DE EXCAVACIÓN Y DE CIMENTACIÓN PARA LA INSTALACIÓN DE COLECTORES DE LA PTAR

3.1 Introducción

Este informe describe las actividades de campo y de laboratorio, define los diversos perfiles de suelos encontrados y desarrolla el análisis y las recomendaciones desde el punto de vista geotécnico, relacionadas con la cimentación de las diferentes estructuras que integran la PTAR. En este informe, todas las decisiones técnicas están respaldadas por una memoria de cálculo que se incluye en un anexo.

3.2 Objetivos

- Identificar en la zona objeto de este estudio, los distintos estratos del subsuelo y conocer sus propiedades físico-mecánicas más importantes, tales como contenido de agua en estado natural, distribución granulométrica, límites de consistencia y resistencia al corte.
- Analizar y recomendar el tipo de fundación más adecuado desde los puntos de vista técnico y económico, la profundidad de cimentación más conveniente y las presiones de contacto que garanticen una suficiente estabilidad y funcionalidad de las estructuras.
- Establecer los parámetros de empuje lateral necesarios para el diseño de los muros de contención que se necesiten diseñar.
- Recomendar algunos otros detalles y procesos constructivos pertinentes a esta obra.

3.3 Localización y Descripción del Proyecto

El lote donde se proyecta la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Juan Díaz, está localizado al noreste de la ciudad de Panamá. Limita por el norte con el corredor sur y al este con el río Juan Díaz y tiene un área aproximada de 20 Hc. La cercanía del Río Juan Díaz al lote y el aumento de su nivel de agua en máxima creciente, hasta en 1.70 m por encima de la actual superficie, requiere que se haga un tratamiento especial al terreno que garantice el óptimo funcionamiento de la planta.

Desde el punto de vista económico y para dar solución al anterior inconveniente, se analizaron dos opciones, la construcción de un relleno en la totalidad del área del lote de 2.20 m de espesor para elevar su superficie por encima del nivel de inundación y la instalación de una estación de bombeo en la salida de la planta mas diques de protección. El relleno cuesta alrededor de US\$ 1.650.000 y la sola planta de bombeo alrededor de US\$ 20.000.000 (Ver memoria de cálculos).

Las estructuras mas importantes que formarán parte de la planta de tratamiento son las siguientes: un edificio de pre tratamiento de tres pisos, donde el agua entra

por un canal ubicado en la segunda planta, cuatro tanques de aireación con un área de 5760 m² cada uno, 20 tanques cilíndricos para la sedimentación de sólidos, con un diámetro de 44 m cada uno, dos edificios que albergarán ocho sopladores de aire cada uno, un tanque de cloración con capacidad para almacenar 14000 m³ de agua y un área en planta de 1600 m², las estructuras para el tratamiento de lodos consistentes en 14 tanques digestores de 25 m de diámetro, el edificio de manejo de sólidos, en donde estarán máquinas centrífugas, bandas transportadoras para el filtrado del agua, bombas y un galpón de secado de lodos. Todas estas estructuras se han proyectado directamente sobre la superficie del relleno, a excepción del tanque de cloración y los tanques digestores y de sedimentación que podrán estar parcialmente enterrados en el relleno.

En la figura 3.1 se ilustra la ubicación del área estudiada, con una distribución tentativa inicial de las estructuras.



Figura 3.1 - Ubicación Tentativa de las Estructuras de la Planta y Localización de los Sondeos

3.4 Trabajos de Campo y Laboratorio

Se realizaron 13 perforaciones en la planta y 2 en la tubería de salida, con profundidades de hasta 21.0 m, utilizando equipo mecánico de percusión y rotación empleando a veces corona de diamante. La figura 3.1 muestra la localización de los sondeos y el tabla 3.1 indica la profundidad alcanzada en cada uno.

En cada sondeo se estableció el perfil de suelos, se registró la profundidad del nivel freático, se hicieron ensayos de penetración estándar y se tomaron muestras alteradas a diversas profundidades con cuchara "Split Spoon".

Con las muestras obtenidas se realizaron ensayos de resistencia con penetrómetro de mano y ensayos de laboratorio para medir el contenido de agua en estado natural, la distribución granulométrica y los límites de consistencia.

**Tabla 3.1 - Sondeos Ejecutados para la Exploración
Geotécnica - PTAR Juan Díaz**

SONDEO	COORDENADAS		PROFUNDIDAD m
	NORTE	ESTE	
1	998286	670512	9.30
2	998298	670613	10.50
3	998340	670726	7.20
4	998392	670787	10.63
5	998427	670917	21.00
6	998175	670579	9.17
7	998213	670679	10.50
8	998244	670776	13.00
9	998316	670960	7.30
10	998034	670562	6.00
11	998131	670705	15.00
12	998135	670813	12.50
13	998205	670960	6.30
14	998165	671056	
15	998158	671142	

3.5 Perfiles de Suelo

Los suelos encontrados en toda el área del lote son arcillas arenosas de consistencia muy blanda a media y arenas arcillosas en estado de compacidad muy sueltas a sueltas, de origen sedimentario, depositados encima de la roca o de una capa de suelo residual duro. La estratigrafía puede describirse de la siguiente manera a partir de la superficie:

- Arcilla sedimentaria de alta plasticidad, de consistencia muy blanda a media, de colores café rojizo, café grisáceo y gris oscuro, con alto contenido de humedad, clasificada como CH o CL, con valores de la penetración estándar entre 1 y 7. Su índice de plasticidad promedio es de 35% y límite líquido promedio de 52%. Se registró en los sondeos del SD70-01 al SD70-06 hasta una profundidad promedio de 3.50 m y del SD70-11 al SD70-13, hasta una profundidad promedio de 2.50 m.
- Estratos de arena arcillosa y arenas no plásticas de colores café claro a gris oscuro, con humedad y plasticidad media y compacidad muy suelta a suelta, clasificadas como SW-SM, SP-SM y SC. El valor de la penetración estándar está comprendido entre 2 y 11. Su cantidad de finos está entre 10% y 50%. Se registró en los sondeos SD70-06 al SD70-09, desde la superficie hasta una profundidad promedio de 7.00 m, debajo de la arcilla de alta plasticidad en los sondeos SD70-11 y SD70-12, hasta una profundidad de 6.00 m. En el sondeo SD70-05 se la registró también debajo de la arcilla y hasta una profundidad de 20.0 m.
- Arena gravo limosa no plástica, con fragmentos de roca, color café grisáceo a gris oscuro, con humedad variable y compacidad media, clasificada como SM. El valor de la penetración estándar está comprendido entre 13 y 37. Su porcentaje de finos en promedio es de 14%. Se encontró debajo de los estratos anteriores y hasta una profundidad promedio de 8.00 m en los sondeos del SD70-11 al SD70-13.
- Suelo orgánico de color negro, consistencia firme a muy firme, clasificación OL, valor de la penetración estándar 16, se encontró únicamente en SD70-05 desde los 16.00 a los 18.00 m de profundidad.
- Arcilla arenosa residual o arena limosa residual (tosca), plasticidad variable de media a alta, consistencia muy dura o compacidad alta, clasificada como CH o SM. Valor de la penetración estándar en todos los casos mayor a 50. Se encontró en todos los sondeos a excepción de los sondeos SD70-05, SD70-06 y SD70-08.
- Lutita, roca de color gris oscuro, en algunos sondeos antes de la roca sana se la encuentra un poco meteorizada. Su resistencia a la compresión está entre 72 y 294 kg/cm², con un valor promedio de 150 kg/cm². Se la encontró en la mayoría de los sondeos entre 6.00 y 8.00 m de profundidad, excepto en el sondeo SD70-05, donde se encuentra a 20.00 m de profundidad, en los sondeos SD70-08 y SD70-12 donde está a 10.00 m y en el sondeo SD70-11 a 13.50 m.

En las figuras 3.2, 3.3 y 3.4 se ilustra la estratigrafía antes descrita.

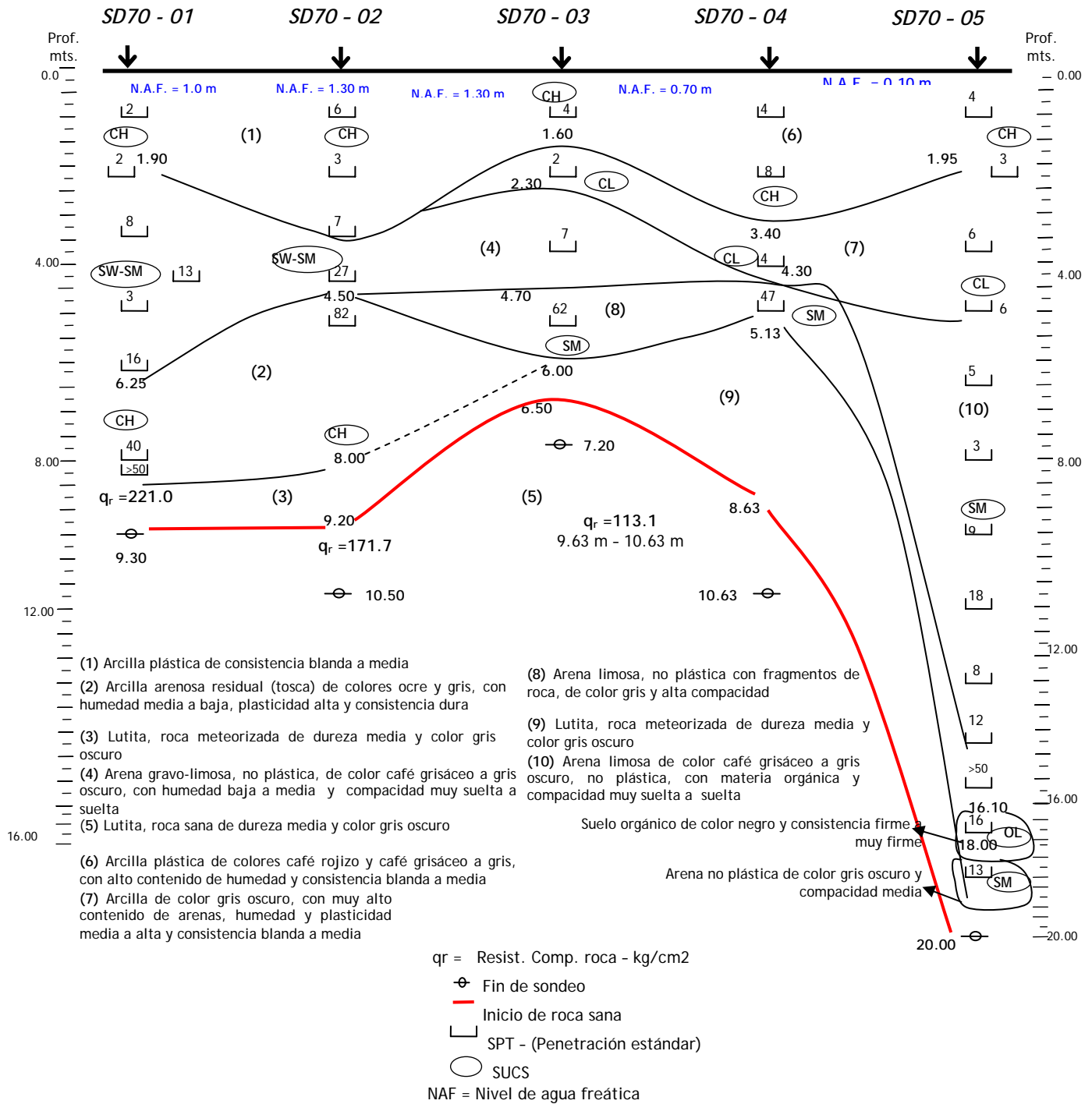


Figura 3.2 - Perfil Estratigráfico --PTAR Juan Díaz

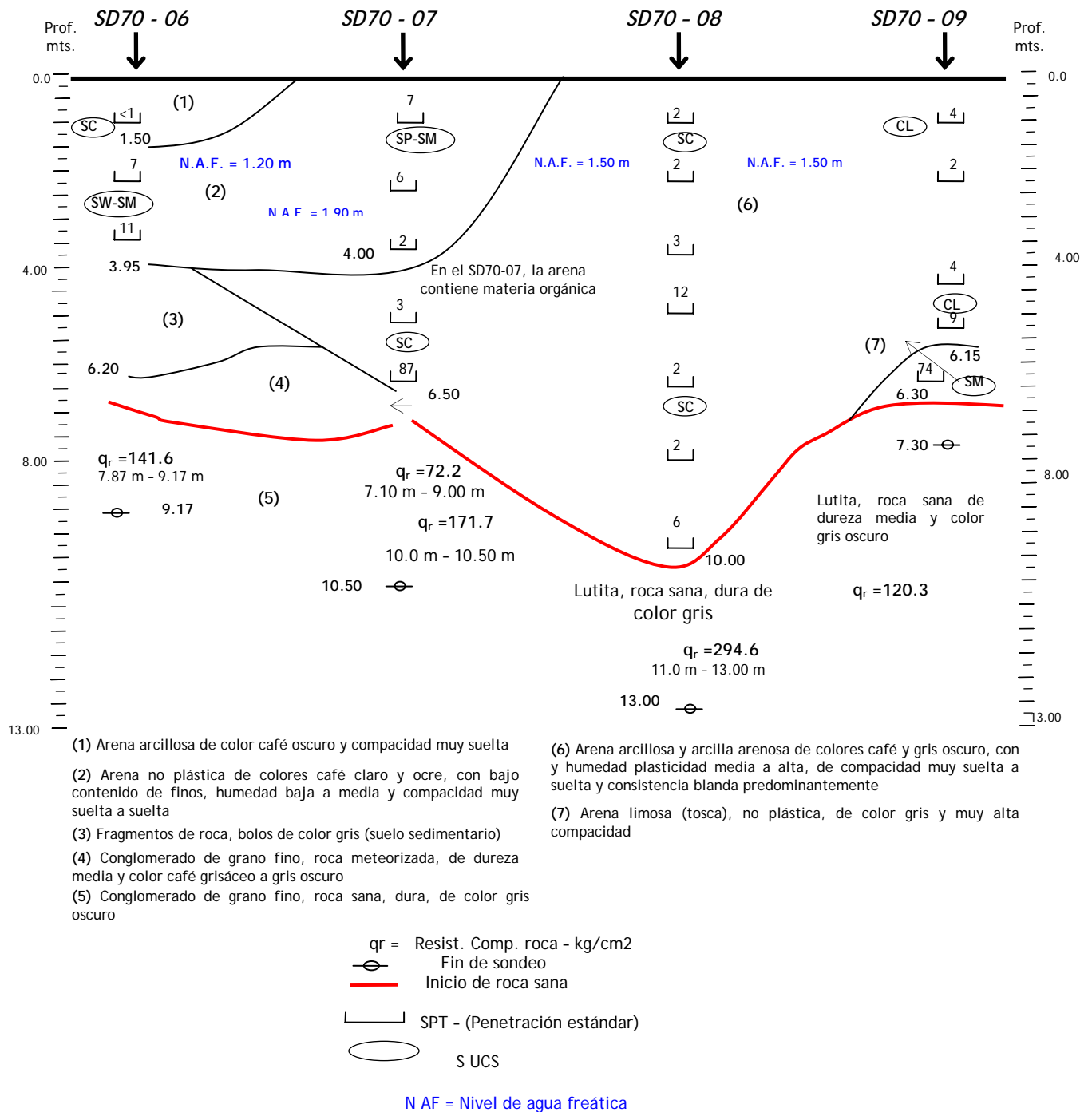
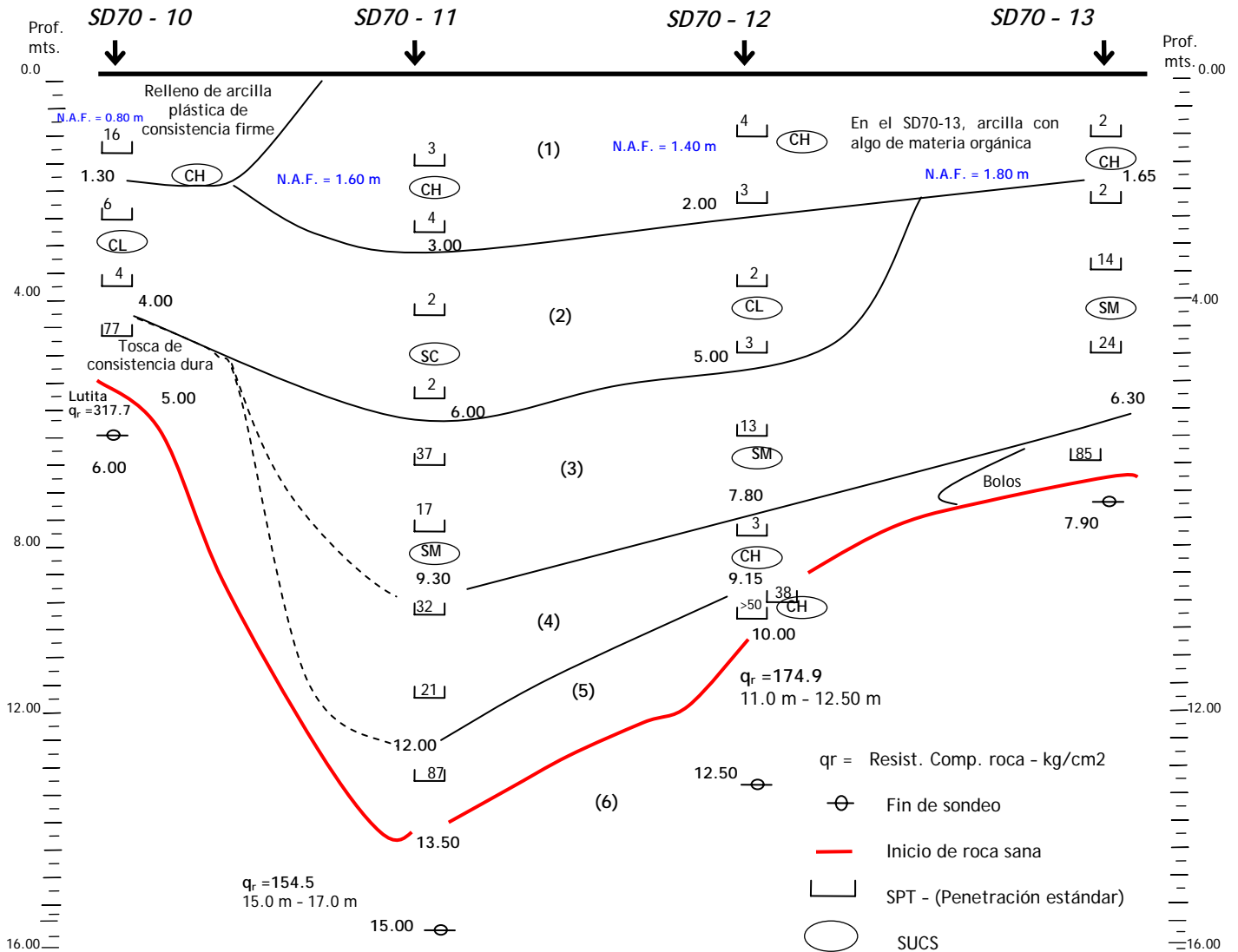


Figura 3.3. - Perfil Estratigráfico - PTAR Juan Díaz



- (1) Arcilla de alta plasticidad, con fragmentos de roca, de color café grisáceo a gris oscuro, con humedad media a alta y consistencia blanda
- (2) Arena arcillosa o arcilla arenosa de color gris oscuro, con humedad y plasticidad media alta, y de compactación muy suelta o consistencia muy blanda a blanda
- (3) Arena gravo-limosa no plástica, con fragmentos de roca, de color café grisáceo a gris oscuro, con humedad variable y compactación media

- (4) Arcilla de colores ocre y café grisáceo, con humedad media a baja, alta plasticidad y consistencia variable
- (5) Arcilla arenosa residual, (tosca), de color gris, oscuro, con humedad media, plasticidad media a alta y consistencia dura
- (6) Lutita, roca sana, de color gris oscuro y dureza media a dura

Figura 3.4. - Perfil Estratigráfico - PTAR Juan Díaz

3.6 Análisis del Relleno

Como se mencionó anteriormente, hay necesidad de construir un relleno en toda el área del lote donde van las estructuras, es decir, excepto el área que estará dedicada al almacenaje de los lodos, para elevar el nivel del terreno por encima del nivel de máxima inundación del río Juan Díaz. Este relleno también servirá de plataforma de trabajo para el equipo de construcción ya que el suelo nativo es muy blando. Este suelo presentará consolidación y por lo tanto el relleno se asentará con el tiempo. El relleno puede hacerse con material común pero debe compactarse mínimo a 95% del proctor modificado, excepto las dos primeras capas de relleno en las cuales es difícil alcanzar este porcentaje de compactación.

La magnitud del asentamiento por consolidación es de aproximadamente 0.45 m, y el tiempo que tardará en producirse el 80% de la consolidación es de 19 años.

Puesto que éste es un tiempo inaceptable, se requiere la utilización de un sistema de drenaje vertical, que permita reducir el tiempo de consolidación.

Se diseña un sistema de pilotes de grava que pueden ser de 0.40m o 0.60 m de diámetro, colocados en forma de triángulo equilátero, para reducir el tiempo a seis meses. Los pilotes de 0.40 m deben distanciarse 3.00 m y los de 0.60 m distanciarse 3.50 m, cada pilote deberá llegar hasta el estrato residual duro o la roca (ver figuras 3.5 y 3.6). Los pilotes deben construirse después de colocado el relleno.

Estos pilotes de grava además de servir como drenaje vertical, evitarán la licuación de los estratos areno-limosos de muy baja compacidad encontrados en el lote.

El método constructivo más empleado para los pilotes de grava es el de vibro sustitución, pero se pueden emplear técnicas sencillas como las indicadas en la figura 3.7.

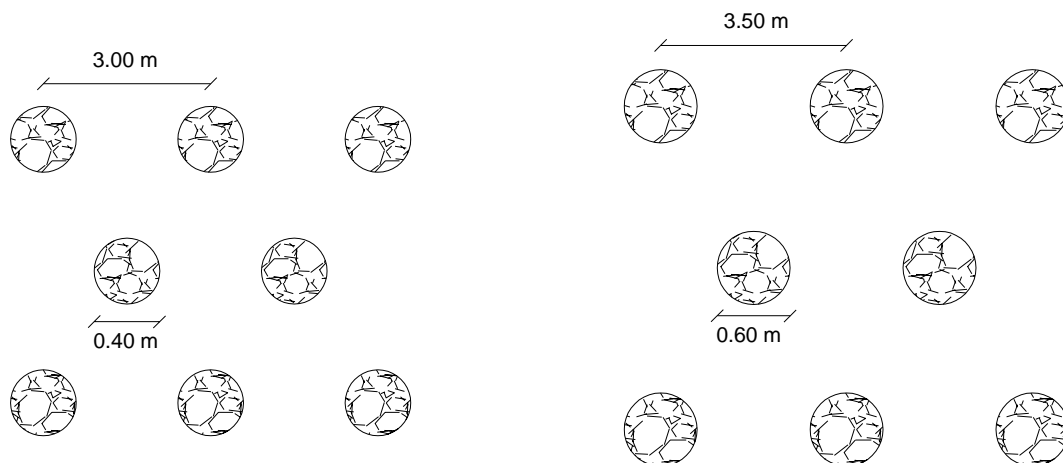


Figura 3.5. - Distribución en Planta de los Pilotes o Columnas de Grava

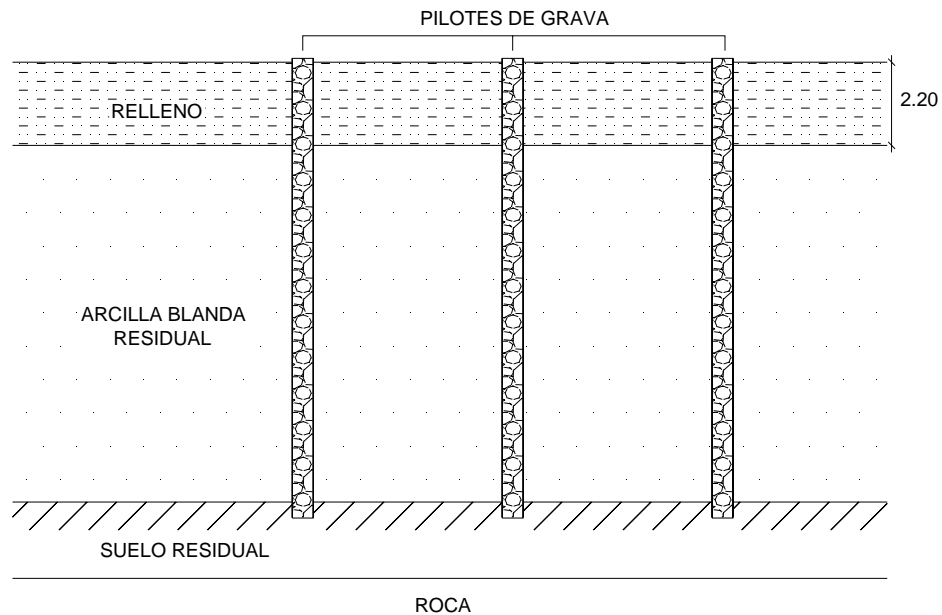


Figura 3.6 - Pilotes o Columnas de Grava

Antes de construir la cimentación de cada una de las estructuras y con el objeto de aliviar el exceso de presión de poros al producirse un terremoto y minimizar la licuación, en la cabeza de los pilotes de grava, debe construirse un filtro de grava y arena gruesa que permita la salida del agua hasta la superficie del terreno. En todas las estructuras, se debe poner una tela geotextil o tela plástica sobre el filtro para evitar la contaminación de esta capa, como lo indica la figura 3.8.

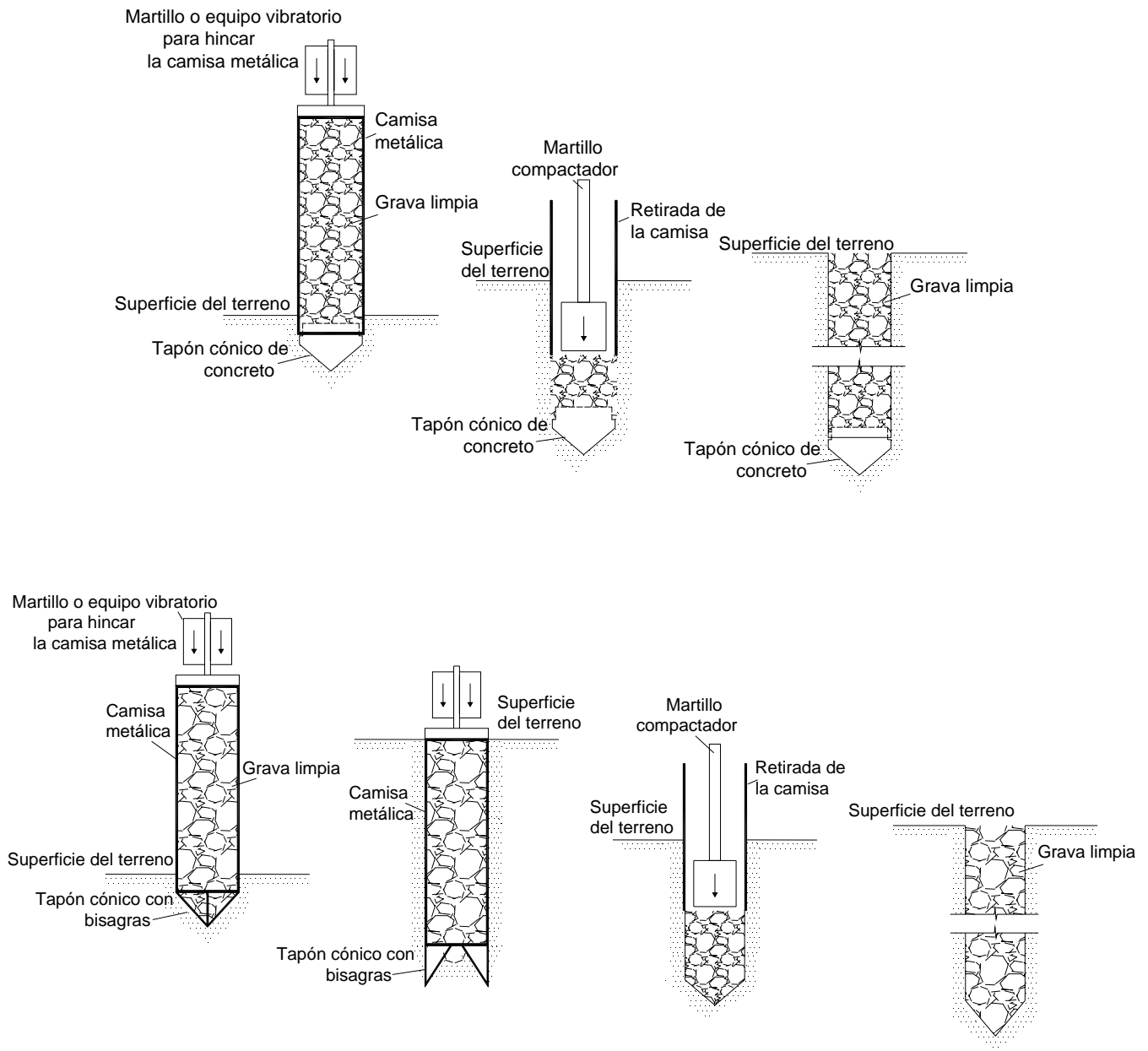


Figura 3.7 - Métodos Constructivos Pilotes de Grava

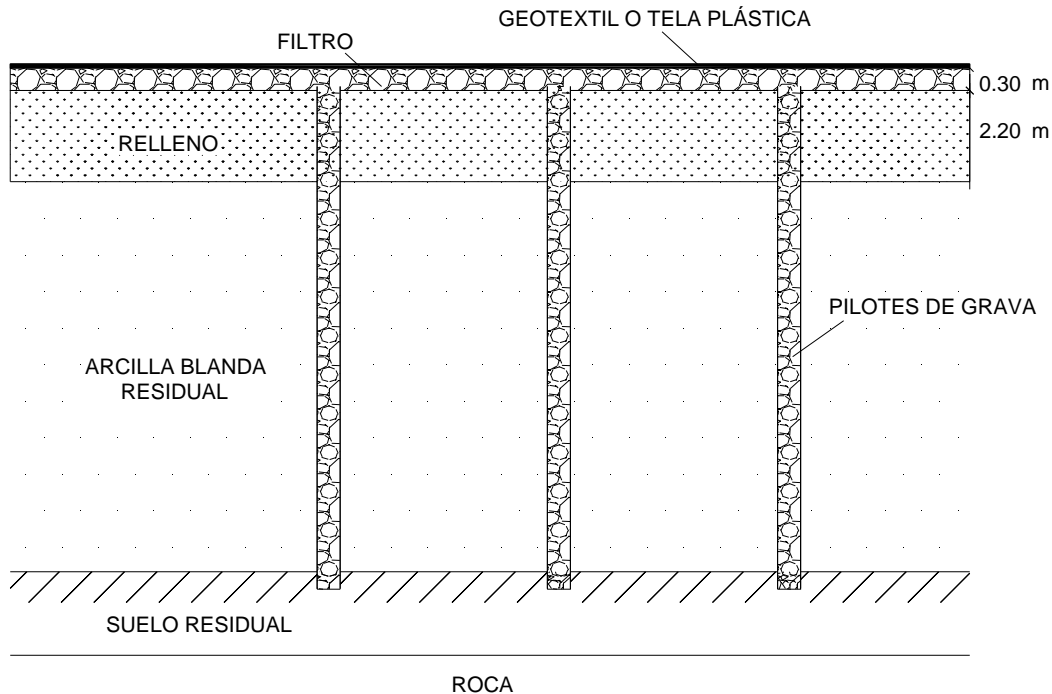


Figura 3.8 - Sistema de Pilotes de Grava

3.7 Recomendaciones de Cimentación para las Estructuras

Cada uno de los procesos que integran la planta de tratamiento, por sus condiciones de funcionamiento, presentan estructuras diferentes, lo cual obliga a hacer las recomendaciones para el diseño de la cimentación, independientemente, para cada uno de los edificios.

Se considerará como primera alternativa que los pilotes de grava no solo cumplan con acelerar el proceso de consolidación y evitar la licuación del estrato arenolimoso, sino que adicionalmente trabajen como sistema de cimentación de cada una de las edificaciones.

En los cálculos se obtuvo que cada pilote de grava de diámetro 0.60 m, tiene una capacidad de carga de 10 T y una permisible de 6.60 T, considerando un factor de seguridad de 1.5. Esta capacidad de carga se calculó considerando la actual resistencia sin drenar del suelo nativo.

3.7.1 Edificio de Pretratamiento

La estructura del edificio presenta en su distribución algunas zonas hasta de tres pisos con un canal de 2.20 m de lámina de agua, donde se tendrán cargas concentradas muy altas y otras con pesos menores, por lo que es más apropiado cimentar el edificio sobre pilotes de concreto llevados hasta el estrato de roca sana, profundizados mínimo su diámetro en ella.

Los pilotes pueden ser fundidos in situ o contruidos mediante el método de tornillo continuo (augered cast-in-place piles).

El tonelaje permisible para pilotes de concreto de diámetro 0.40 m es de 37 T, para pilotes de diámetro 0.60 m es 85 T y para pilotes de 0.8 m es 150 T, ver memoria de cálculos.

Las cargas laterales pueden ser resistidas con pilotes inclinados o con pilotes verticales anclados convenientemente en la roca. Si se usan pilotes inclinados, la inclinación mas adecuada es 4V: 1H. La carga permisible horizontal será de 9 T para los pilotes de diámetro 0.40 m y de 20.5 T para los de diámetro 0.60 m.

Los pilotes verticales empotrados 1.00 m en la roca, pueden resistir las siguientes cargas laterales: los de diámetro 0.40 m soportan 4.0 T, los de 0.60 m soportan 8.0 T y los 0.8m soportan 15 T. Para estas cargas laterales la deflexión en la cabeza del pilote es máximo 10 mm y se a supuesto que la cabeza empotra en la zapata cabezal. En la memoria de cálculos aparecen las gráficas de momento vs profundidad para diferentes longitudes de pilotes, para que el ingeniero estructural pueda diseñar el refuerzo de los mismos.

3.7.2 Tanques de Aireación

Si se observa la estratigrafía, en el sondeo SD70-05 los estratos blandos tienen espesores muy grandes y por lo tanto la roca se encuentra muy profunda, es conveniente juntar los cuatro tanques de aireación, para que el último de ellos quede en el sitio del sondeo SD70-04.

Para estas estructuras se analizaron tres alternativas de cimentación: losa de cimentación sobre el relleno, pilotes de grava y pilotes de concreto.

Para la alternativa de losa de cimentación directamente sobre el relleno, se hizo un análisis de sensibilidad asumiendo diversos valores probables de la resistencia del relleno y del suelo nativo ya endurecido por consolidación, y variando los espesores del relleno, pero no se logra un factor de seguridad apropiado para esta alternativa (ver memoria de cálculos).

Se verificó si los pilotes de grava, pueden ser utilizados también como sistema de cimentación de estas estructuras, los resultados obtenidos, consignados en la memoria de cálculos, indican que se necesitan 6573 pilotes para cada tanque, aproximadamente 6030 pilotes adicionales a los recomendados para el drenaje vertical. Estos pilotes adicionales cuestan alrededor de US\$ 1.600.000, además de una sobrecarga que es necesaria para evitar asentamientos grandes, que cuesta US\$ 94.000.

La alternativa de cimentar sobre los pilotes de concreto llevados hasta la roca recomendados para el edificio de pretratamiento, cuesta US\$ 548.000. Se considera que esta es la mejor alternativa como sistema de cimentación para los tanques de aireación (ver memoria de cálculo).

Para cada tanque, se requieren 1183 pilotes de diámetro 0.40 m, distribuidos en cuadrícula cada 2.20 m (figura 3.9), o 516 pilotes de diámetro 0.60 m, en cuadrícula cada 3.30 m. La longitud promedio de los pilotes para los cuatro tanques es de 8.50 m (ver resultados en la memoria de cálculos).

Las cargas horizontales deben resistirse de la misma manera como se recomendó para el edificio de pretratamiento, es decir con pilotes inclinados o con pilotes verticales empotrados 1.00 m en la roca.

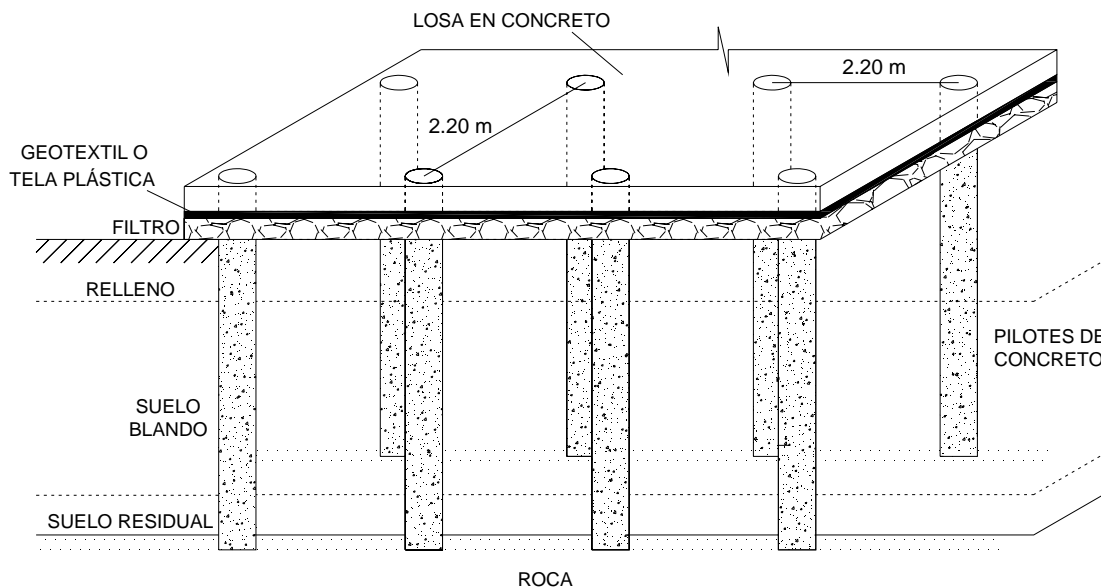


Figura 3.9 - Cimentación con Pilotes de Concreto

3.7.3 Tanques de Sedimentación

La planta de tratamiento, cuenta con 20 tanques de sedimentación, de forma cilíndrica y de 44 m de diámetro. El nivel del agua dentro de los tanques alcanza una altura de 4.40 m. La base de cada tanque tiene un desnivel hacia el centro de 2.0 m y va enterrada en el relleno, como se puede ver en la figura 3.10.

El peso por metro cuadrado de área, según los cálculos, es similar al peso de cada tanque de aireación, por lo que se descarta su cimentación sobre pilotes de grava.

La cimentación mas conveniente entonces será sobre los pilotes de concreto ya recomendados (ver figuras 3.11, 3.12 y 3.13).

Como la base inclinada del tanque estará enterrada, para la construcción de los pilotes se recomienda el siguiente procedimiento: hacer la perforación hasta alcanzar la profundidad de diseño, introducir el acero de refuerzo con la longitud adecuada, fundir por el método tremie el concreto superando la longitud del pilote en 1.0 m, después se realiza la excavación del terreno y se descabeza el pilote en ese metro (ver figura 3.14).

Para la colocación de los codos y tubos en la base del tanque, a través de los cuales saldrán los sólidos sedimentados, debido a que dicha excavación se realizará en el suelo blando, es conveniente usar tablestaca que alcance la profundidad de la tosa o rechazo (ver figura 3.15).

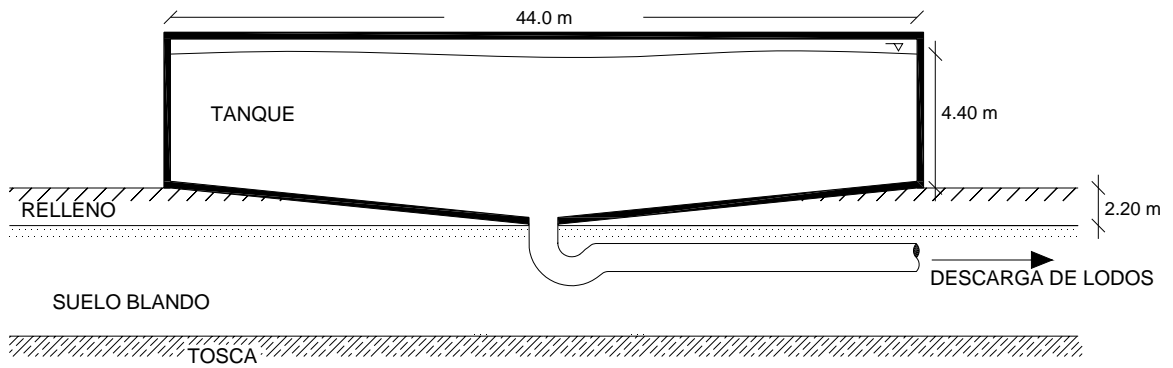


Figura 3.10 - Tanque de Sedimentación

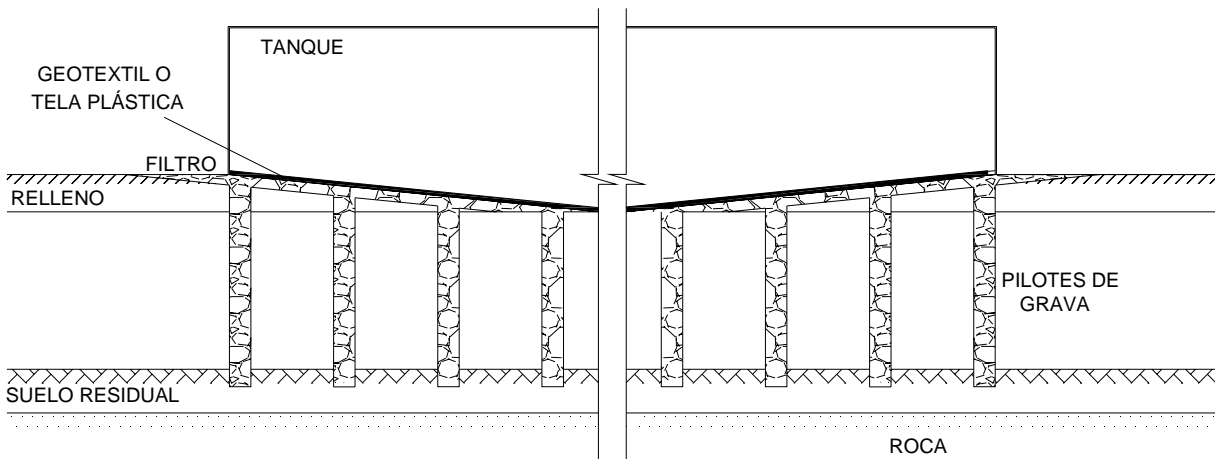


Figura 3.11 - Drenaje Vertical con Pilotes de Grava

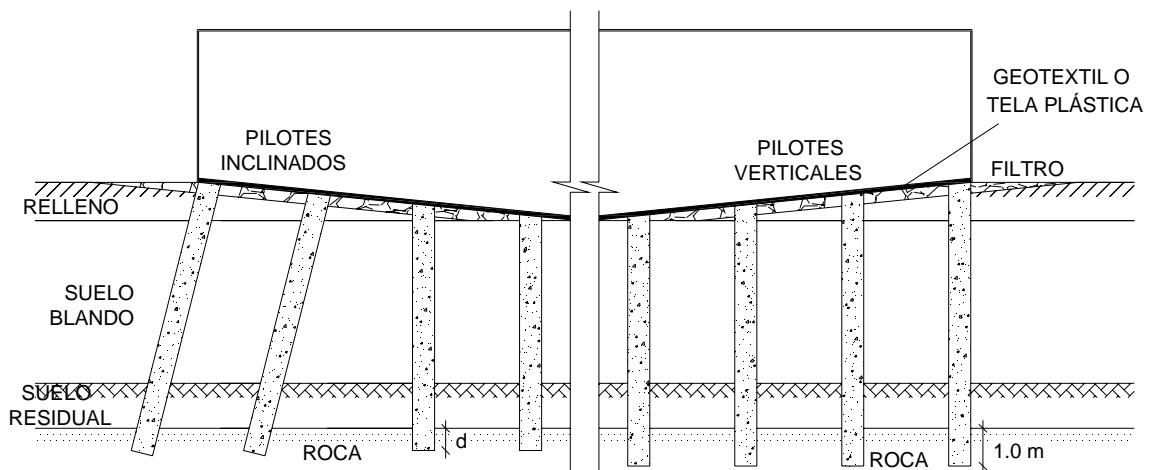


Figura 3.12 - Cimentación con Pilotes de Concreto

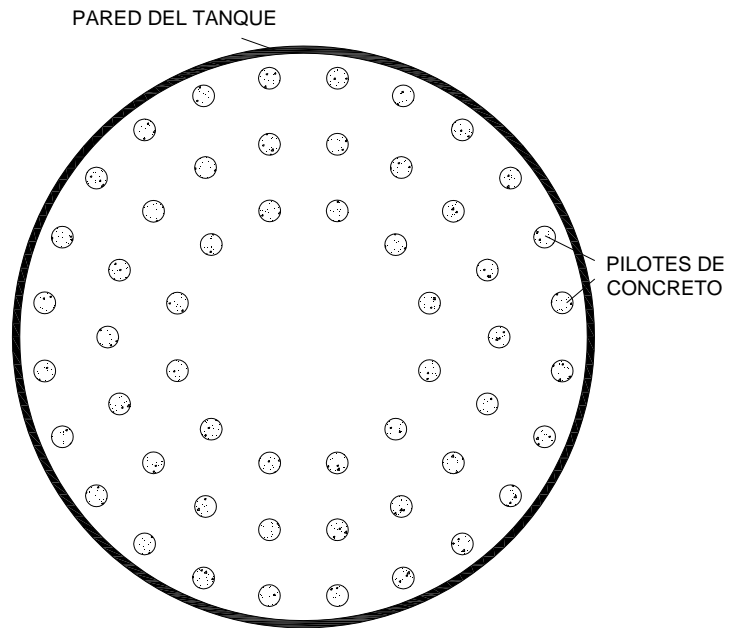


Figura 3.13 - Disposición de los Pilotes en Planta

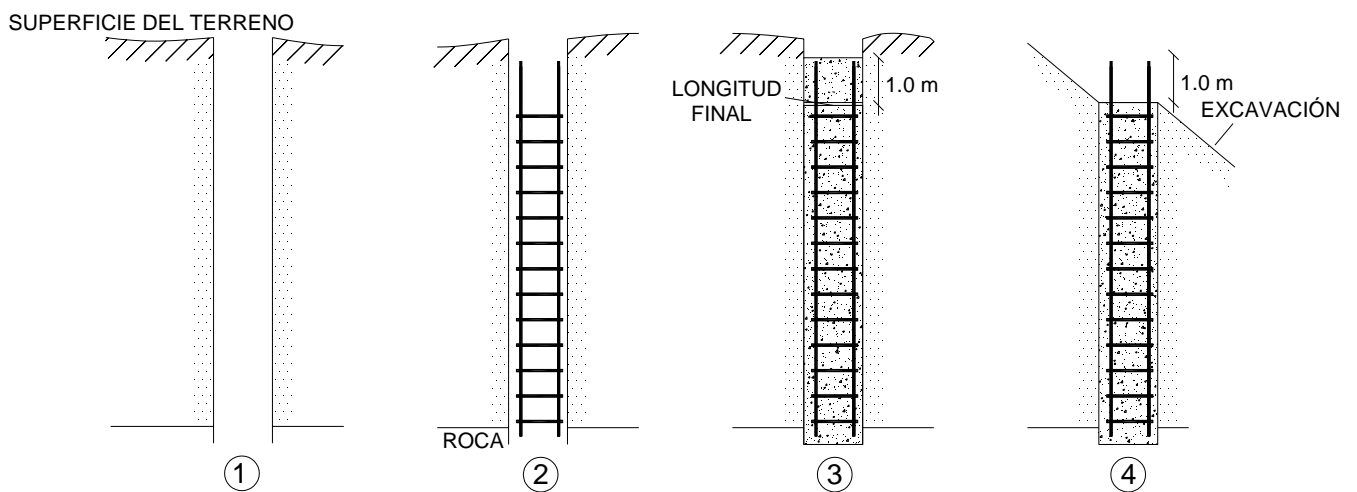


Figura 3.14 - Método Constructivo de los Pilotes de Concreto

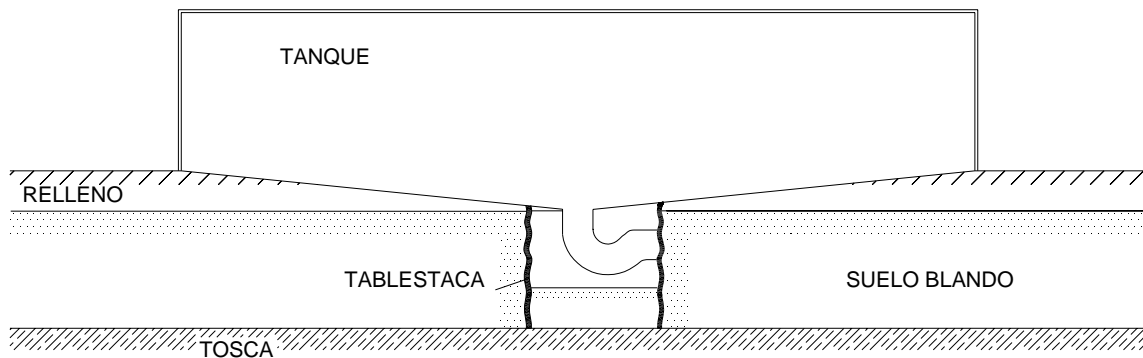


Figura 3.15 - Excavación con Tablestacas

3.7.4 Tanques Digestores

Estas estructuras son más pesadas que los tanques de sedimentación y por lo tanto deben cimentarse también sobre pilotes de concreto con las mismas recomendaciones dadas anteriormente.

3.7.5 Tanque de Cloración

El tanque de cloración tiene dimensiones totales de 48.80 m y 95.6 m en planta, está dividido en cuatro espacios iguales donde se llevará a cabo el mismo proceso.

El peso del tanque por unidad de área de contacto es de aproximadamente 4.7 T/m². La opción mas favorable para su cimentación, de acuerdo con la memoria de cálculo, es usando losa de cimentación sobre el relleno.

Con el fin de evitar futuros asentamientos indeseables del tanque, antes de llevarse a cabo su construcción, se colocará una precarga al suelo de altura 2.70 m, durante mínimo seis meses. En las figuras 3.16 y 3.17 se ilustra la colocación de la precarga y la base del tanque ya construido, que debe ir también sobre una capa de filtro.

El suelo para la sobrecarga puede ser material común y aunque en teoría no hay necesidad de compactarlo, es conveniente darle algo de compactación para que no se erosione con la lluvia.

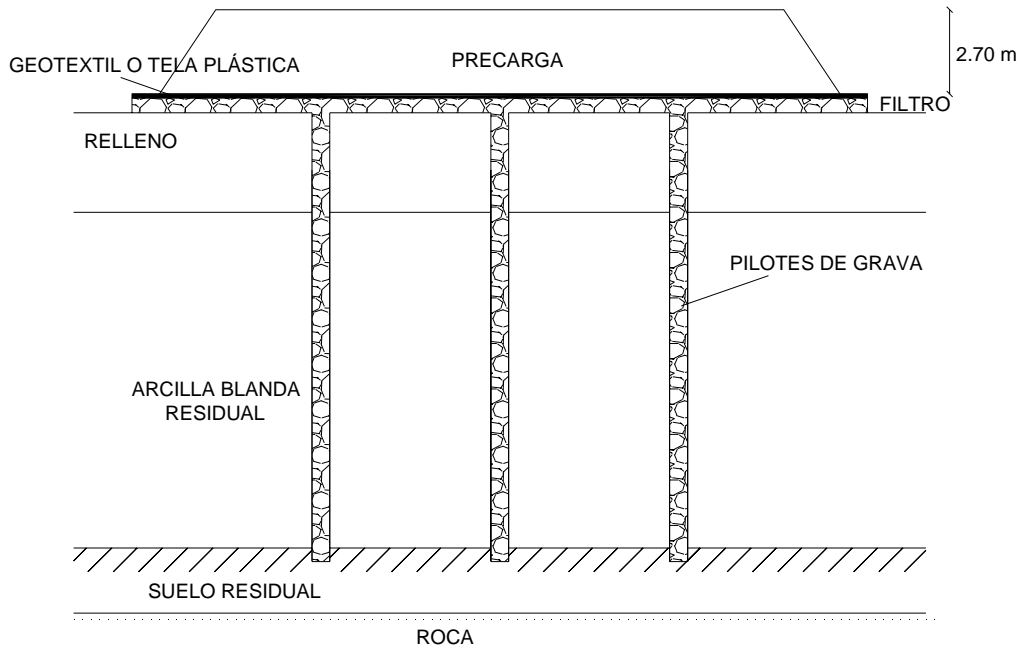


Figura 3.16 - Precarga

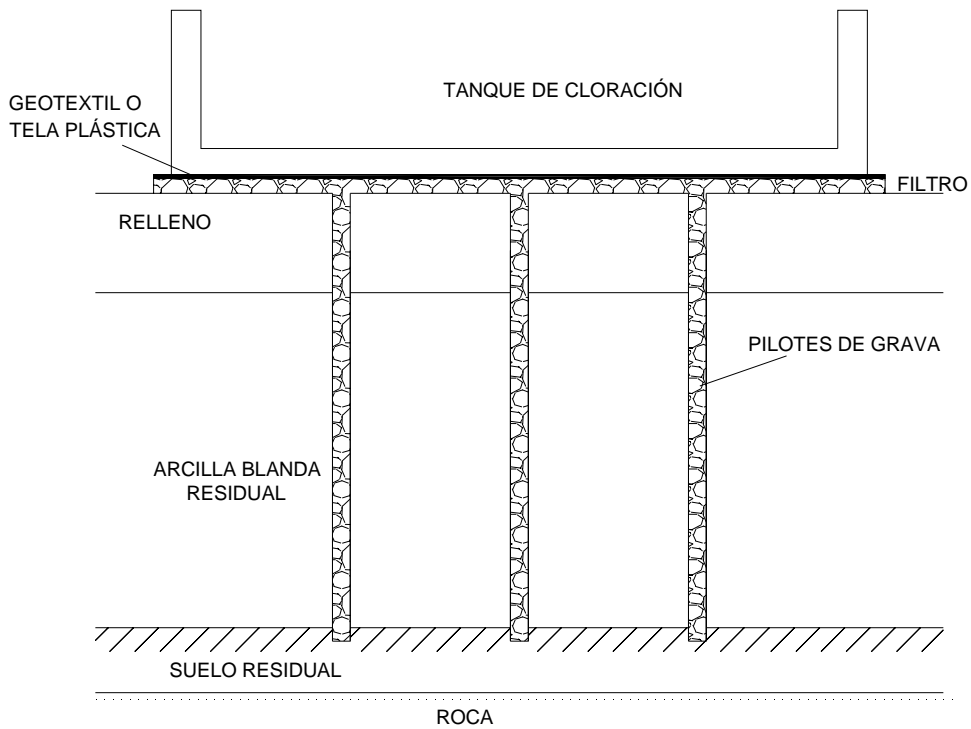


Figura 3.17 - Cimentación del Tanque de Cloración

3.7.6 Edificio para Secado de Lodos

Este edificio cuenta con 32 compartimentos de 10 m x 18 m, cada uno, donde se almacenarán los lodos por un tiempo determinado.

La estructura del edificio, está conformada básicamente por columnas metálicas que sostienen la cubierta diseñada con cerchas del mismo material, cuyo peso es aproximadamente 150 k/m². El tanque con toda la carga de lodo pesa aproximadamente 1.5 T/m².

Si las columnas se distribuyen cada 10 m en el sentido longitudinal del edificio las columnas centrales tendrán una carga aproximada de 27 T y las columnas de borde de 14 T (ver figura 3.18).

Para este edificio liviano, la cimentación mas apropiada para las columnas son zapatas cuadradas convencionales colocadas máximo a 0.60 m de profundidad, desde la superficie del relleno (ver figura 3.19).

De acuerdo con la teoría de Brown y Meyerhof, para suelos estratificados, donde se tiene un suelo resistente sobre uno mas débil, la presión permisible para zapatas, en este caso es de 10 T/m², valor que tiene incluido un factor de seguridad de 3, como se ilustra en la memoria de cálculos. Por lo tanto las columnas centrales tendrán zapatas cuadradas del orden de 1.60 m de lado y las de borde de 1.20 m de lado.

Para evitar asentamientos indeseables por consolidación, se debe colocar una precarga de altura mínima de 1.30 m, durante seis meses mínimo, también sobre una capa de filtro.

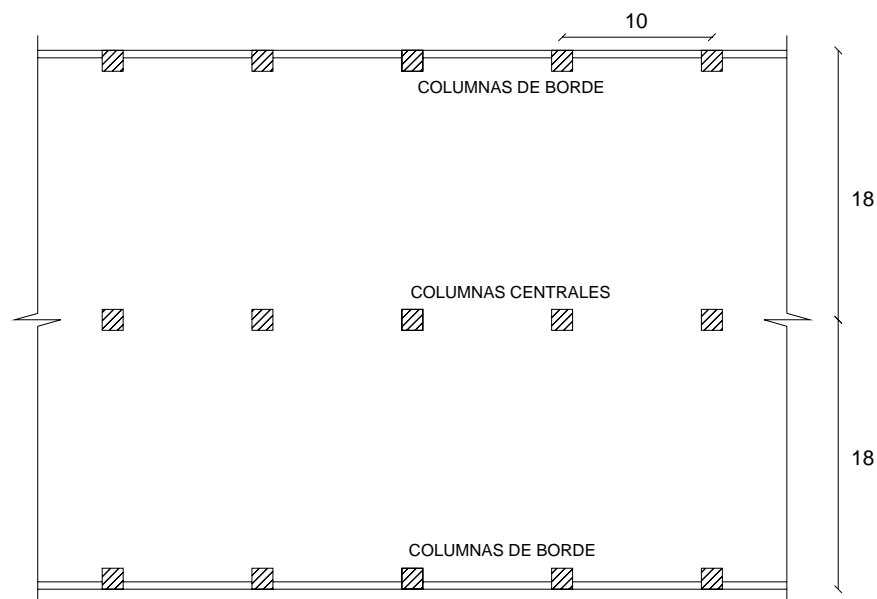


Figura 3.18 - Distribución en Planta de las Columnas Estructurales

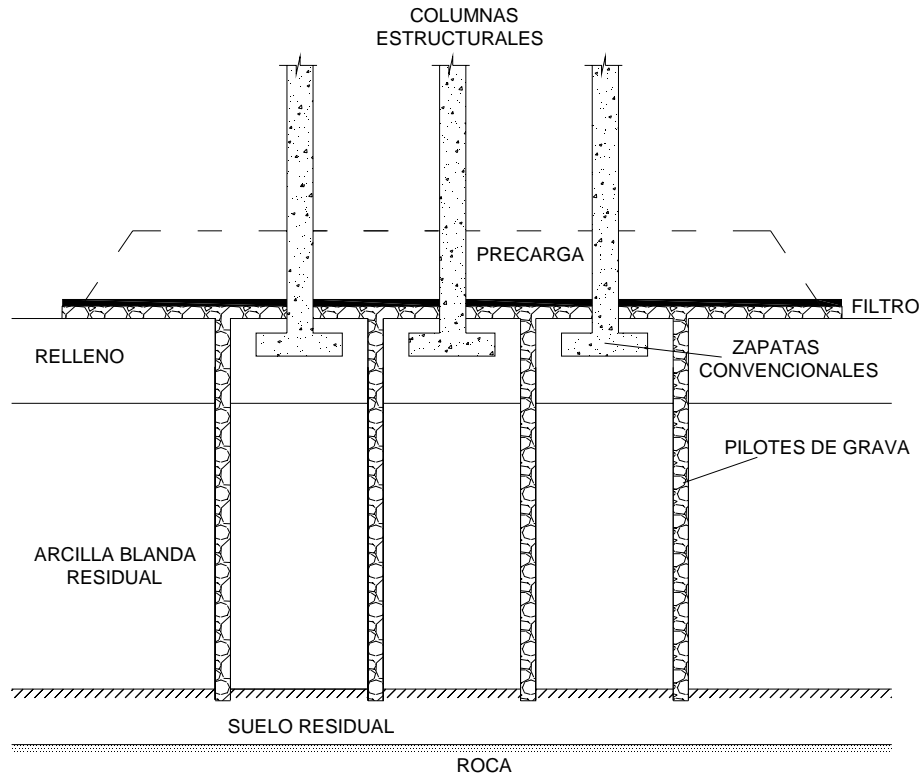


Figura 3.19 - Cimentación con Zapatas Convencionales

3.7.7 Edificio de Sopladores

La planta cuenta con dos edificios donde se ha proyectado colocar ocho sopladores en cada uno. Los sopladores son máquinas vibratorias y sus características principales son:

- Peso: 6.0 T
- Frecuencia: 3500 RPM
- Tolerancia a la vibración: 0.032 mm

Para dar las recomendaciones de cimentación de los edificios, es necesario hacer los análisis teniendo en cuenta la vibración de las máquinas, para evitar que se produzca el problema de resonancia y la amplitud de vibración no sobrepase la máxima tolerada de 0.032 mm según informe de los fabricantes.

Se analizaron como alternativas de cimentación: una losa muy rígida de dimensiones 19.0 m de largo y 9.0 m de ancho para soportar cuatro sopladores y una losa rígida de dimensiones mínimas 6.0 m x 3.0 m para cimentar individualmente cada uno de los sopladores.

En la primera alternativa de cimentación, después de desarrollados los cálculos, se encuentra que cuando estén en funcionamiento los sopladores, la losa vibraría con una amplitud de 0.0112 mm y para las losas individuales, la vibración es de 0.028 mm, en los dos casos menor a la tolerada por las máquinas (ver memoria de cálculos). Se

insiste que si se decide cimentar individualmente los sopladores, la losa debe tener mínimo 6.0 m de largo x 3.0 m de ancho.

3.7.8 Edificio de Tratamiento de Lodos

Este edificio es una especie de galpón, donde funcionarán bandas transportadoras, máquinas centrífugas y bombas, que continuarán con el proceso de tratamiento de lodos.

Hasta el momento, no se tiene información de los pesos y frecuencias de vibración de las centrífugas, por tanto no se recomendará nada respecto a la cimentación de estas máquinas.

Cálculos tentativos indican que las columnas centrales pesarán aproximadamente 12 T y las de borde 6 T. Las bandas transportadoras pesan 4.10 T y transmiten su carga a cuatro apoyos.

Excepto las centrífugas, el resto del edificio y los apoyos de las bandas transportadoras pueden cimentarse con zapatas convencionales colocadas máximo a 0.60 m de profundidad por debajo de la superficie del relleno. La capacidad portante permisible para dimensionar estas zapatas es de 10 T/m². Este valor tiene ya involucrado un factor de seguridad de 3. Las paredes se cimentarán sobre vigas de cimentación construidas a la misma profundidad y capacidad portante permisible también de 10 T/m². La cimentación de este edificio es semejante a la figura 3.19.

Para evitar asentamientos indeseables es necesario colocar una precarga de altura 1.30 m durante seis meses mínimo.

3.7.9 Edificio de Almacenamiento de Cloro

Este edificio es muy sencillo, de un solo piso, de 50.73 m x 10 m, con dos filas de columnas.

La cimentación mas sencilla para sus columnas es sobre zapatas cuadradas convencionales, enterradas máximo 0.60 m desde la superficie del relleno. La capacidad portante permisible que se puede usar para dimensionar estas zapatas es de 10 T/m². Este valor tiene involucrado un factor de seguridad de 3. La cimentación de este edificio será similar al edificio de secado de lodos (ver figura 3.19).

El piso puede ser un solado en concreto de espesor variable entre 0.07 m y 0.10 m.

Para evitar asentamientos indeseables se debe precargar el lote con un relleno de suelo común con un espesor no menor de 1.30 m. La sobrecarga debe dejarse seis meses mínimos.

3.8 Recomendaciones Finales

Deben hacerse ensayos de carga a los pilotes de concreto para confirmar su capacidad portante y poder disminuir su número en caso de que las cargas de los ensayos sean mayores a las calculadas en este informe. El número aproximado de pilotes a ensayar es de 0.5 % a 1%.

Existe la posibilidad de cimentar los tanques de aireación directamente sobre el relleno con losa de cimentación sin necesidad de pilotes de concreto, si la resistencia sin drenar del suelo nativo aumenta una magnitud moderada, después de consolidar por el peso del relleno y de una precarga (ver memoria de cálculo de los tanques de aireación). Por lo tanto, si las condiciones se prestan, vale la pena en la etapa final de diseño investigar este aumento de resistencia del suelo nativo. Esto se puede averiguar haciendo un pequeño terraplén de prueba de mínimo 4.50 m de espesor, dejarlo seis meses y después medir la resistencia del suelo blando. También es conveniente hacer ensayos triaxiales o de corte directo "consolidados y drenados al suelo nativo". El terraplén de prueba debe hacerse encima del relleno recomendado para todo el lote, en dos etapas, para evitar falla por capacidad portante.

El relleno que se debe colocar en todo el lote, es conveniente hacerlo también en dos etapas. Una primera de 1.10 m de espesor en una determinada área del lote y después completar el espesor de 2.20 m. Después de terminar el relleno como se recomendó antes, se procede a construir los pilotes de grava.

El suelo de las precargas que deberán colocarse en el tanque de cloración, edificio de tratamiento de lodos, edificio de secado de lodos y edificio de sopladores, después de cumplir su cometido, puede servir para construir los diques o jarillones de protección para el almacenamiento de los lodos o para taparlos.