

ALTERNATIVA PARA FUNDACIÓN DE EDIFICIOS DE GRAN ALTURA MEDIANTE MICROPILOTES

EDIFICIO SPORTING VIÑA DEL MAR

MIGUEL PETERSEN A. (Mecánico de Suelos, Chile)

OSCAR TAIBA M. (Pilotes Terratest, Chile)

SEBASTIÁN BOLDRINI L. (Pilotes Terratest, Chile)

ABSTRACT

En el siguiente trabajo se describe el proceso de análisis y diseño para la realización de las fundaciones mediante micropilotes autoperforantes para el edificio Sporting de 22 pisos de altura, el cual se ubica en Viña del Mar, Chile. El terreno sobre el cual se funda el edificio consta de una roca que se entierra bajo una arena de compacidad media producto de un manto pronunciado sobre su superficie. Los micropilotes se instalaron empotrándose en el manto rocoso, por lo cual resultan micropilotes que varían entre pequeñas longitudes (4.0m) hasta grandes longitudes (20.0m). Para el diseño se realizaron 2 ensayos a compresión sobre micropilotes de diferentes largos y diferentes análisis mediante elementos finitos.

INTRODUCCIÓN

A la fecha, no se tenía registro de una obra de edificación en altura que haya sido ejecutado utilizando micropilotes como elementos de soporte de sus fundaciones.

A continuación se realizará una descripción del diseño y la instalación de un total de 315 micropilotes del tipo autoperforante para la fundación del Edificio Sporting ubicado en Viña del Mar, Región de Valparaíso - Chile.

El edificio Sporting tiene un total de 22 pisos más 2 subterráneos con un área basal de la torre de 319m², en la que 70m² quedaron fundados mediante fundación directa a la roca y el resto se resolvió mediante micropilotes de fundación.

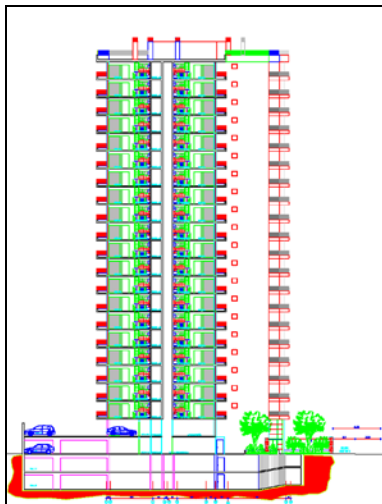


Figura N°1: Elevación del edificio Sporting

Para el sector de estacionamiento se utilizaron micropilotes sólo de manera localizada en los sectores en donde no se pudo fundar sobre la roca sana.

El edificio se encuentra aledaño al cerro Sporting, que prolonga su manto de roca enterrándose en un relleno granular típico de desmonte de cerro. Así el terreno de fundación corresponde a una roca gneiss migmatítico y un suelo correspondiente a una grava areno-limosa y arcillosa de compacidad media y variable.

La solución planteada tuvo en cuenta las siguientes características exigidas por el calculista de la obra:

- Los esfuerzos de corte del edificio serán resistidos únicamente por las fundaciones directas al manto rocoso.
- La deformación admisible máxima para las fundaciones de la torre fue de 3.00mm
- Los micropilotes de fundación deben quedar empotrados en roca sana.

ANTECEDENTES GEOLOGICOS – GEOTÉCNICOS

Para la exploración del terreno se excavó en puntos despejados y posibles al costado Norte del sitio junto a la ladera del cerro, cinco (5) pozos o calicatas de reconocimiento en los cuales se examinó la estratigrafía del terreno, su humedad y su compacidad y los cuales se profundizaron hasta encontrar el manto rocoso

natural o hasta alcanzar grandes bloques de roca imposibles de extraer a mano. Se ejecutó además cuatro (4) sondajes de hasta 22,05 m del tipo “Standard Penetration Test” ó “SPT”.

En la ladera rocosa al costado Norte del sitio se examinó en forma general la geología del macizo y en las calicatas se observó la estratigrafía general del terreno y se sacó muestras para clasificación del suelo y de la roca encontrada en el fondo de ellos.

En los sondajes el terreno existente sobre la roca maciza del fondo y prolongación del manto de roca del cerro cercano, consistió en capas alternadas de arena limosa, arcilla limosa, arena gruesa y limo arenoso de colores amarillo, pardo, gris verdoso, pardo oscuro y de Nspt o “resistencia al corte” muy variable metro a metro con valores entre 4 a 28 [golpes/30cm] y con un valor medio estimado Nspt de 10 [golpes/30cm], lo cual deja en evidencia de que se trata de estratos de suelos sedimentarios estratificados blandos o de baja compacidad y de muy baja resistencia al corte, no recomendables como suelos o estratos de apoyo para las cimentaciones de este proyecto.

La roca del cerro se trata básicamente de un gneis migmatítico de edad precámbrica resultado de mezcla de esquistos micáceos (*rocas metamórficas*) y magmas de tipo granítico. Roca dura, roca resistente y competente de color gris variando a gris amarillo con tonos naranja claro en superficies expuestas (*o pardo*), con minerales oscuros (*ferromagnesianos*), feldespatos y cuarzo. Fundamentalmente el talud expuesto se puede decir que está constituido por roca medianamente sana con algunos sectores superficiales meteorizados o convertida superficialmente en capas de “maicillo” o roca fragmentada y descompuesta cubiertas por raíces de árboles y vegetación, suelo dentro del cual podrían encontrarse grandes bolones correspondientes a núcleos sanos (*corestones*) y sobre el cual es posible ver superficialmente algunas rocas o bloques sueltos.

Las propiedades básicas medidas en un trozo del macizo se resumen a continuación:

- Peso unitario aparente: $\gamma = 2.70$ [ton/m³]
- Ángulo de fricción efectivo: $\phi = 22,7^\circ$
- Cohesión efectiva: $c = 2,65$ [Kg/cm²]
- Módulo elástico: $E = 396.000$ [Kg/cm²]
- Módulo de Poisson: $\nu = 0,2$
- Resistencia a compresión no confinada de roca intacta: $q_u = 454$ [Kg/cm²]

TIPO DE MICROPILOTES EMPLEADOS

Para el diseño de las fundaciones se estableció el uso de micropilotes auto perforantes Ischebeck Titan 73/53 y Titan 103/78.

Los micropilotes auto perforantes Ischebeck TITAN están constituidos de una barra roscada por laminación en frío como sección de acero portante y un cuerpo de cemento perimetral que transmite las cargas de tracción y/o compresión principalmente por fricción desde dicha barra a través del cuerpo de inyección al suelo.

Los micropilotes se componen de un tubo de acero roscado, empalmado mediante manguitos roscados externos con tope y juntas de estanqueidad centrales y provistos de una boca de perforación de un solo uso – perdida: auto perforación (ver Figura N°2).

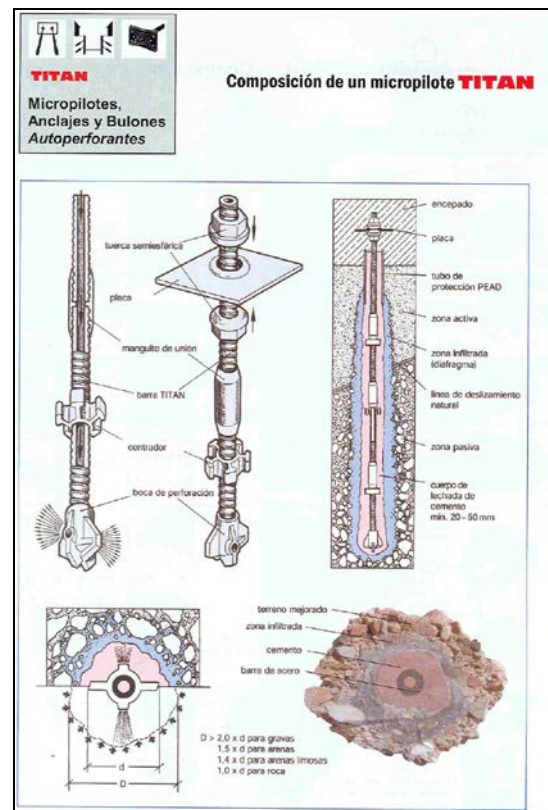


Figura N°2: Micropilotes Ischebeck TITAN.

CAPACIDAD INTERNA DEL MICROPILOTE

Los coeficientes de seguridad para el elemento portante de acero según la DIN 4125 son:

$\eta_{acero} = 1,75$ para el caso de carga 1 según DIN 1054 (cargas constantes y vivas de regular ocurrencia, incluyendo al viento)

$\eta_{acero} = 1,50$ para el caso de carga 2 según DIN 1054 (a parte de las del caso 1, cargas vivas simultáneas pero no de ocurrencia regular y cargas que ocurren sólo durante el período de construcción)

De esta forma la capacidad interna admisible de cada micropilote queda dada por:

$$F_1 = \frac{F_y}{\eta_{acero}}$$

CAPACIDAD Y COMPORTAMIENTO DEL FUSTE DEL MICROPILETE

Para la determinación de la resistencia de fuste del contacto grout-suelo y grout-roca, el diseño de la longitud del bulbo se realiza siguiendo el trabajo realizado por Bustamante (1998), el cual correlaciona los resultados de los sondajes SPT (números de golpes) con la fricción unitaria última disponible para cada tipo de suelo.

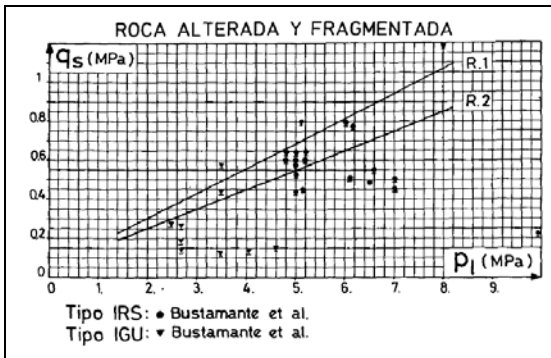


Figura N°3: Fricción unitaria para rocas alteradas

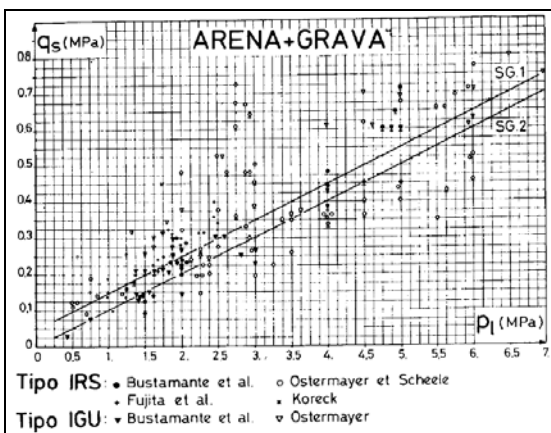


Figura N°4: Fricción unitaria para arena.

De esta manera se estableció la siguientes fricciones unitarias para el terreno de fundación de los micropilotes:

- Arena: $q_{s-a} = 10$ [ton/m²]
- Roca: $q_{s-r} = 150$ [ton/m²]

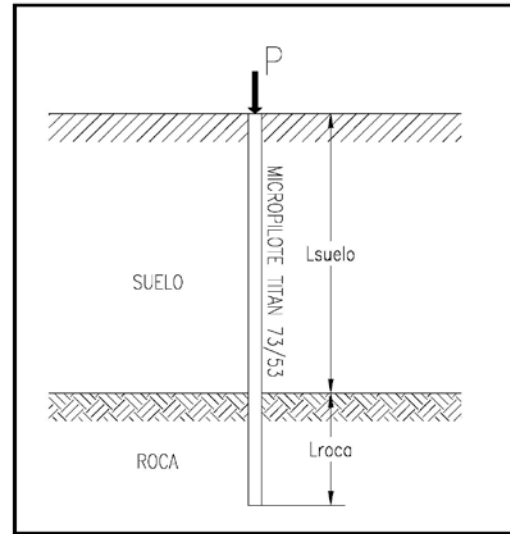


Figura N°5: Disposición de los micropilotes

Finalmente la capacidad de bulbo del micropilote queda dada por:

$$F_2 = \frac{L \cdot \pi \cdot \alpha \cdot \phi_{bit}}{\eta_q}$$

ENSAYOS DE INVESTIGACIÓN

Luego para poder determinar la deformabilidad del sistema de micropilote perforado, se realizaron dos ensayos a compresión sobre micropilotes TITAN 73/53 con las siguientes longitudes (ver Figura N°5):

- ENS-01: $L_{suelo} = 4.0m$ $L_{roca} = 2.5m$
- ENS-02: $L_{suelo} = 14.0m$ $L_{roca} = 1.0m$

Los ensayos se realizaron en el terreno a ser utilizados sobre micropilotes especialmente ejecutados para este fin.

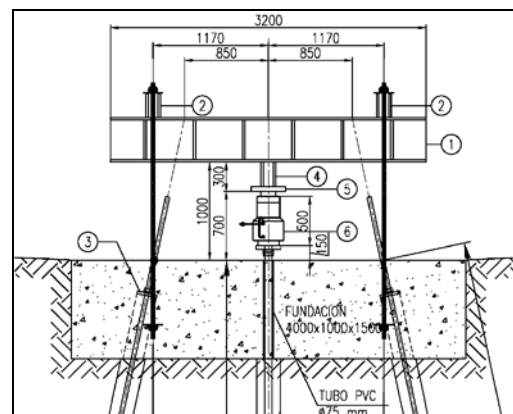


Figura N°6: Estructura de reacción ensayo

En la Figura N°6 y en la Figura N°7 se muestra en forma esquemática la estructura utilizada para la realización de la prueba de carga. En la Figura N°8 y N°9 se muestran fotografías del montaje en obra.

La estructura de reacción del ensayo consistió en un sistema de vigas ancladas a una loseta de hormigón. Esta loseta se diseñó enterrada 1,00m en el terreno y se fijó al terreno mediante dos micropilotes autopercutores TITAN 40/16.

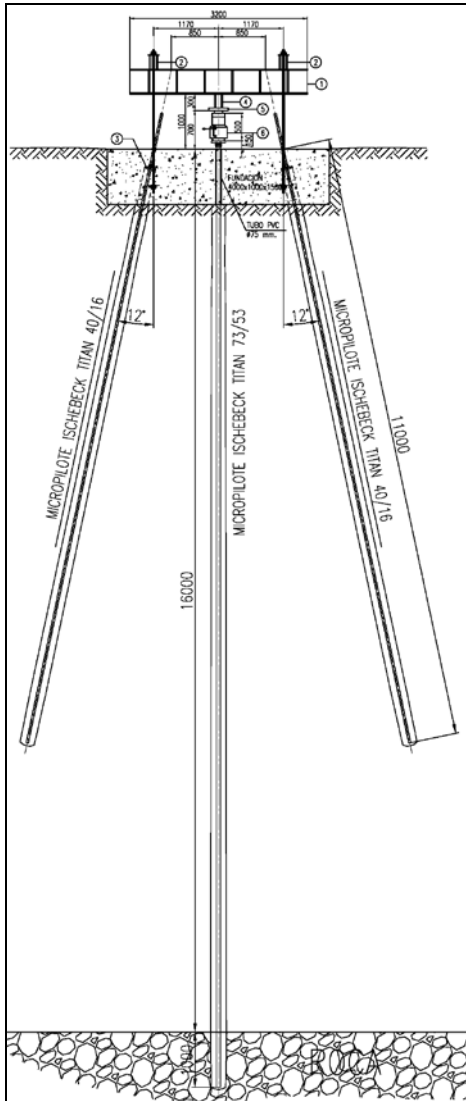


Figura N°7: Estructura de reacción ensayo a compresión

El micropilote de prueba es aislado de la loseta mediante una pasada por un tubo de pvc.

La prueba se realizó a carga controlada hasta una carga de prueba de 70 ton. La relación de carga-deformación obtenida en los ensayos se muestra en la Figura N° 10 y se resume a continuación:

TIPO	L _{suelo} [m]	L _{roca} [m]	RIGIDEZ [KN / m]
TITAN 73/53	4,00	2,50	77.170
TITAN 73/53	14,00	1,00	53.310

Las conclusiones más importantes que se obtuvieron de este ensayo se detallan a continuación:

- Se confirma la ausencia del fenómeno de pandeo en los micropilotes
- Se asegura una capacidad de carga superior a 70ton.
- Se obtienen las propiedades de deformabilidad del sistema de fundación para el diseño mediante restricción de deformaciones.



Figura N°8: Estructura de reacción ensayo a compresión

RIGIDEZ DE MICROPILOTES

Dado que el manto rocoso del proyecto varía abruptamente, el diseño de los micropilotes contempla el uso de diversos largos de desarrollo en el estrato arenoso.



Figura N°9: Estructura de reacción ensayo a compresión

Por esto se hizo necesario analizar, a partir de los resultados experimentales, el cambio de la rigidez de los micropilotes en relación con su L_{suelo} .

Los análisis realizados se resumen en la figura N°11, en la cual se simularon los ensayos realizados mediante barras de micropilotes conectados al suelo mediante resortes de comportamiento elastoplásticos.

A continuación se resumen las rigideces obtenidas para la interacción bulbo-suelo y bulbo-roca para el micropilote TITAN 73/53:

TIPO	Modulo Elástico [KN / m ²]
Bulbo-suelo	5.250
Bulbo-roca	63.000

Con estas propiedades se definió el diseño a adoptar considerando la exigencia de deformación admisible menor o igual a 3,00mm.

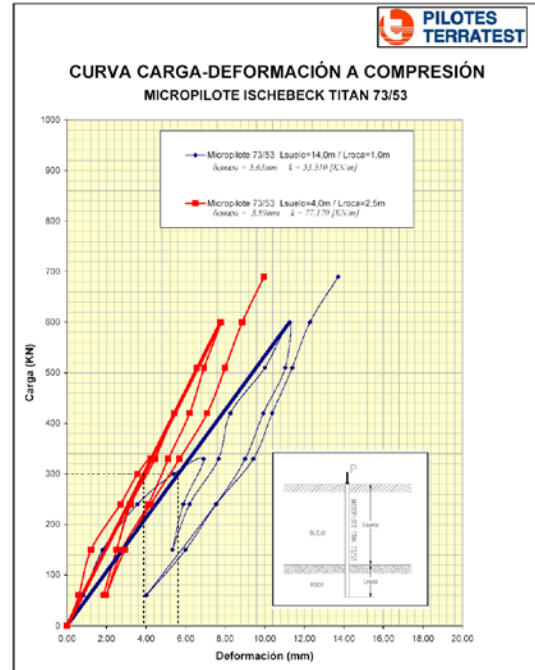


Figura N°10: Comportamiento Carga-deformación

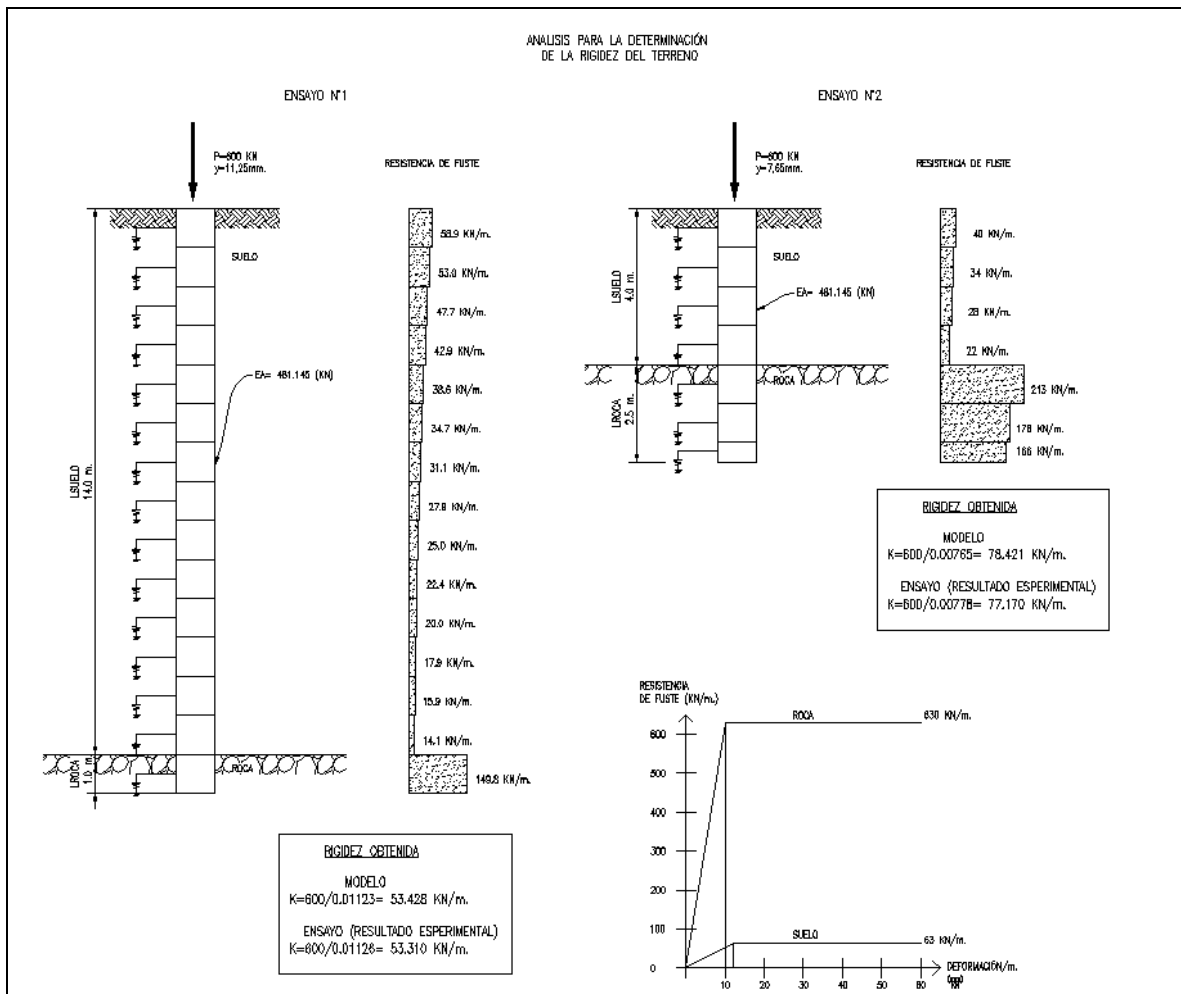


Figura N°11: Comportamiento Carga-deformación

DISEÑO DE LOS MICROPILOTES DE FUNDACIÓN

Siguiendo el mismo análisis realizado para determinar las rigideces de interacción del bulbo, se procedió a analizar la deformabilidad de los micropilotes en función de L_{suelo} considerando fijo $L_{\text{toca}} = 1,00\text{m}$. Los resultados de estos análisis se pueden observar gráficamente en la Figura N°12 y Figura N°13.

En resumen, para el diseño se adoptaron las siguientes rigideces y cargas admisibles para la deformación de 3,00mm.

TIPO DE MICROPILOTE	RIGIDEZ [Ton / m]	CARGA ADMISIBLE [Ton]
73/53	5000	15
103/78	8500	25.5

Luego, para la definición de las cargas de sollicitación a las que está expuesta la fundación de la torre, se realizaron una serie de modelaciones mediante el software de diseño SAFE® V8.0.6.

Para el análisis y diseño de las fundaciones se aplicaron las sollicitaciones y combinaciones de carga entregadas por la Consultora Dahdal-Cuadra responsables del cálculo estructural del

edificio. El calculista entregó las cargas que la superestructura transmite al sistema de fundación.

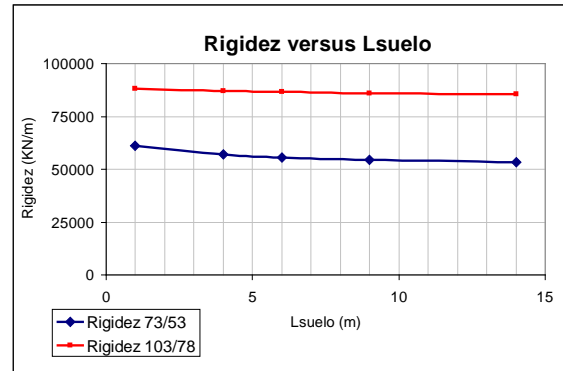


Figura N°13: Rigidez de micropilotes

Todo el desarrollo se basa en las sollicitaciones M (momento), N (carga axial en dirección de la fuerza de gravedad) y Q (corte) para los estados de carga de peso propio (PP), sobrecarga (SC), sismo en dirección x (SX) y sismo en dirección y (SY), definidas para los muros que quedan dentro de la losa de fundación.

En las modelaciones se incorporó el efecto de los micropilotes mediante elementos de resortes con las rigideces mencionadas y se verificó que no se produzcan deformaciones mayores a las especificadas.

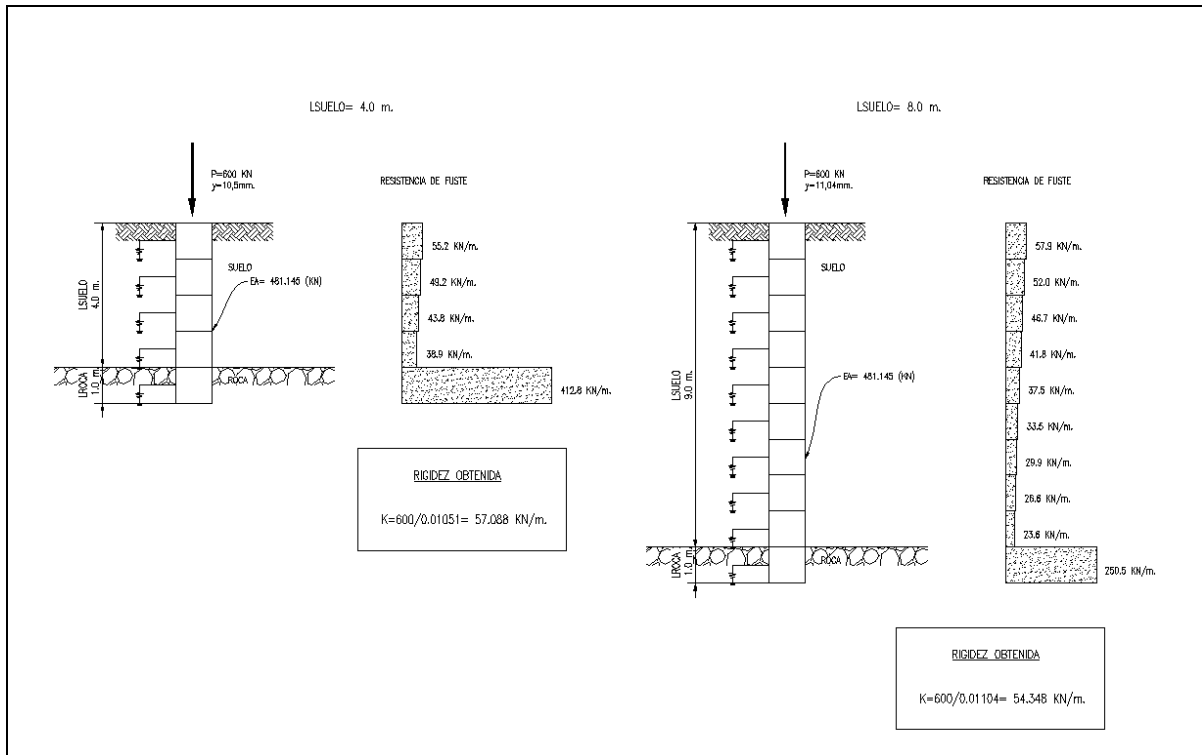


Figura N°12: Comportamiento Carga-deformación

En la Figura N°14 se mostrará una salida gráfica del modelo y en la Figura N°15 se muestra la distribución final en planta de los micropilotes del proyecto.

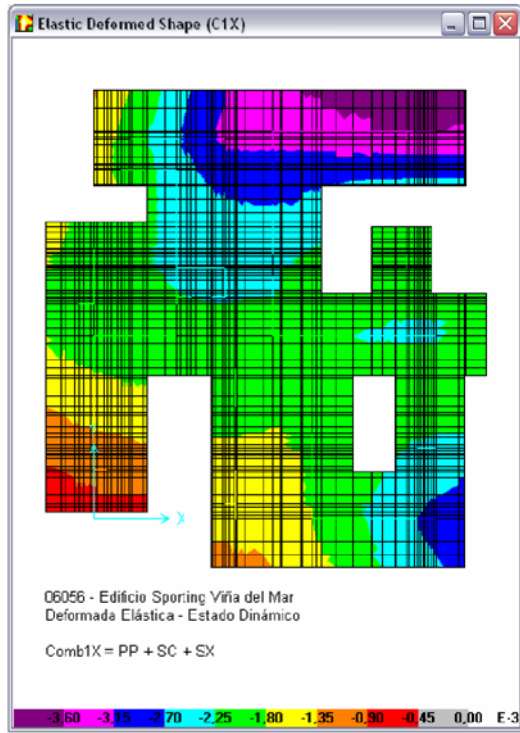


Figura N°14: Modelación mediante SAFE ®

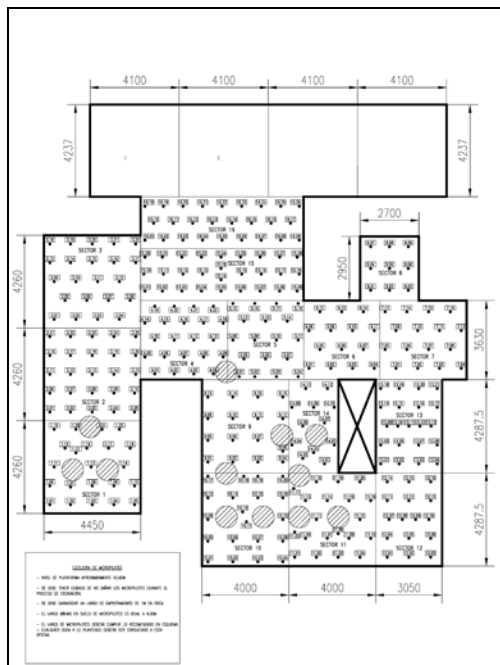


Figura N°15: Distribución final de los micropilotes

En la Figura N°16 se muestra el proceso de ejecución de los micropilotes, mientras que en la Figura N°17 se entrega una vista de los micropilotes ya instalados.

Además se entrega en la Figura N°18 una fotografía que muestra el tamaño del bulbo real instalado en obra.



Figura N°16: Ejecución de los micropilotes



Figura N°17: Distribución final de los micropilotes



Figura N°15: Detalle del bulbo en los micropilotes

REFERENCIAS

- [1] **Ischebeck Titan:** Folleto sobre anclajes y micropilotes inyectados.
- [2] **Bustamante, M.:** “Un método para el cálculo de anclajes y micropilotes” Soc. Española de Mec. Suelo y Cimentaciones.
- [3] **DIN 4128:** Small diameter injection piles (cast-in-place concrete piles and composite piles). Construction procedure, design and permissible loading.