

EL USO DE LA TECNOLOGIA EXPANDER BODY EN FUNDACIONES PROFUNDAS EN SUELOS SEDIMENTARIOS DE SANTA CRUZ, BOLIVIA

Mario A. Terceros Herrera¹,

e-mail: math@incotec.cc

Palabra clave: pilotaje, cimentaciones profundas, inyección de mortero

RESUMEN

El uso de la tecnología Expanders Body tanto en pilotes como en anclajes ya data de al menos 20 años. Esta tecnología, que consiste en el “inflado” de un globo de acero en la punta de un anclaje o un pilote, para crear una sección mayor rodeada de suelo comprimido, facilita la ejecución de las fundaciones ya que además de proveer capacidades portantes elevadas, cuenta con un sistema de control de calidad muy alto, lo que mejora sustancialmente el diseño de las cimentaciones. En este trabajo se presenta una evaluación del uso de este sistema en los últimos 12 años en Bolivia, las mejoras introducidas y la presentación de un caso de los proyectos realizados en Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

¹Mario A. Terceros Herrera, Ing. Consultor, Gerente Técnico de INCOTEC SRL, Profesor de postgrado de la Universidad Privada de Santa Cruz (UPSA)

1. ASPECTOS GENERALES

Los suelos de las tierras bajas del oriente de Bolivia son principalmente suelos aluviales cuaternarios, de origen hídrico. Los dos grandes sistemas sedimentarios pertenecen a la llanura Chaco Beni y a la llanura Amazónica.

Santa Cruz de la Sierra, la ciudad más grande del país, se halla ubicada en el límite sur de la llanura amazónica, el límite norte de la llanura chaqueña y el límite este del sistema andino, a 400 m de altura sobre el nivel del mar.

Desde hace cuarenta años, y debido al desarrollo económico de la región, la ingeniería de cimentaciones empezó a tener una gran importancia, tanto por las malas condiciones de los suelos locales como por el incremento de la magnitud de las obras.

Las características generales de los suelos en la zona urbana son arenas limosas de grano fino a medio, arenas medias limpias, arcillas de plasticidad media y muy eventualmente gravas finas, arenas gruesas o arcillas rígidas. Estos suelos se disponen de forma aleatoria tanto en superficie como en profundidad, formando sedimentos altamente heterogéneos, y en algunos casos presentando diferencias muy marcadas en superficies pequeñas. El nivel freático se presenta a profundidades entre 1 y 6 m. Normalmente los suelos granulares presentan densidades medias a altas a partir de 10 m de profundidad.

Por otro lado, la geotecnia local de campo se basa, sobre todo, en estudios con ensayos SPT y DPM.

2. USO DEL SISTEMA

Debido a que los sistemas tradicionales de fundaciones profundas (pilotes hincados prefabricados en hormigón armado y pilotes vaciados in situ bajo bentonita) no satisfacían a plenitud las necesidades técnicas y económicas de los proyectos, el uso de la tecnología Expander Body, en combinación con las técnicas tradicionales, tuvo una amplia aceptación en el medio. Hasta el momento se han construido fundaciones de al menos 35 proyectos habiéndose instalado más de 3000 elementos de este tipo. Se han utilizado en proyectos tan variados como silos, plantas industriales, edificios de apartamentos y puentes.

Entre los proyectos destacados figuran:

-Condominio Santa Cruz:

Tipo de obra: Edificio de 22 pisos de altura (75 m). Apartamentos

Tipo de pilote: Camisa metálica rellena de hormigón armado, vibrohincados.

Tipo de Expander Body: Soilex EB 815 en la punta (80 cm de diámetro y 1,50 m de longitud).

Sección y longitud de pilote: Cuadrado 20x20 cm, L=12 m.

Suelos tipo: Arenas finas limpias y arenas finas limosas. N SPT máximo: 20

Capacidad portante de diseño por pilote (fuste más EB): 100 ton.

Capacidad calculada a partir de las presiones de inyección (fuste más EB): 100 ton

Presiones máximas de inyección: 24 bares.

-Ampliación Planta Industrial PIL Santa Cruz:

Tipo de obra: Edificio industrial.

Tipo de pilote: Perforado y hormigonado in situ bajo bentonita

Tipo de Expander Body: SB 612 en la punta (60 cm de diámetro y 1,20 m de longitud).

Sección y longitud de pilote: Circular D= 40 cm, L=14 m.

Suelos tipo: Arcillas arenosas y arenas finas limosas. N SPT máximo: 15

Capacidad portante de diseño por pilote (fuste más EB): 70 ton.

Capacidad calculada a partir de las presiones de inyección (fuste más EB): 85 ton

Presiones máximas de inyección: 18 bares.

-Construcción Hospital Obrero Santa Cruz:

Tipo de obra: Edificio Hospitalario.

Tipo de pilote: Perforado y hormigonado in situ bajo bentonita

Tipo de Expander Body: SB 612 en la punta (60 cm de diámetro y 1,20 m de longitud).

Sección y longitud de pilote: Circular D= 35 cm, L=10.5 m.

Suelos tipo: Arenas arcillosas y arenas finas limosas. N SPT máximo: 25

Capacidad portante de diseño por pilote (fuste más EB): 80 ton.

Capacidad calculada a partir de las presiones de inyección (fuste más EB): 90 ton

Presiones máximas de inyección: 28 bares.

-Condominio Equipterol II:

Tipo de obra: Edificio de 12 pisos de altura (40 m). Apartamentos.

Tipo de pilote: Perforado y hormigonado in situ bajo bentonita

Tipo de Expander Body: SB 612 en la punta (60 cm de diámetro y 1,20 m de longitud).

Sección y longitud de pilote: Circular D= 35 cm, L=10 m.

Suelos tipo: Arenas gruesas y gravas arenosas. N SPT máximo: 35

Capacidad portante de diseño por pilote (fuste más EB): 80 ton.

Capacidad calculada a partir de las presiones de inyección (fuste más EB): 135 ton

Presiones máximas de inyección: 70 bares.

Hasta la fecha no se han reportado asentamientos totales ni diferenciales perjudiciales en ninguna de las obras construidas con este sistema.

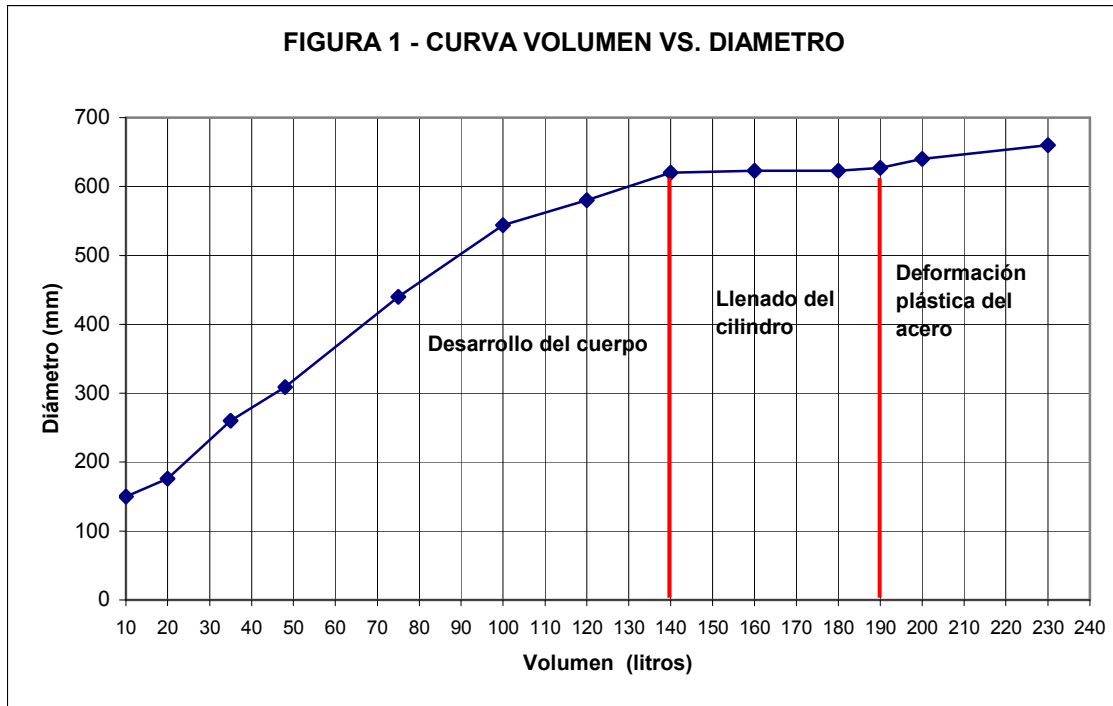
3. MEJORAS INTRODUCIDAS AL SISTEMA ORIGINAL

El sistema de Expander Bodies desarrollado por Soilex (Suecia) consiste en un globo de acero plegado que se despliega en el suelo debido a la inyección de mortero de cemento. Una de sus cabezas permite un movimiento relativo del cuerpo respecto del aro de sujeción hasta un punto tal que se inicia la fuga de mortero, mostrando en el equipo de registro de inyección que se ha llegado al punto de máxima capacidad de inyección del elemento, aún sin necesidad de haber llegado al máximo volumen. Esto se debe al

sistema de plegado del cuerpo que requiere de grandes movimientos relativos para poder desarrollarse completamente, lo que induciría esfuerzos muy elevados en el acero próximo a la cabeza en caso de no poder moverse. Es decir que el sistema no es hermético. La ventaja de este sistema es que resuelve el problema de las tensiones en el acero.

En nuestra experiencia, el hecho de forzar una fuga de mortero presenta, cuando menos, la desventaja de que la compresión final del EB contra el suelo pierde mucho de su resistencia friccional por la recuperación elástica del suelo. Si bien durante el periodo de fraguado del mortero de cemento en el EB las tensiones circundantes se relajarán en diferente proporción según sean las condiciones geotécnicas, toda ventaja obtenida durante la inyección redundará en mayor seguridad para la fundación. En vista de este concepto, los EB producidos en Bolivia bajo el nombre genérico de Steel Balloon (SB) cuentan con un sistema de plegado diferente y son herméticos.

Además, como en el caso anterior, se cuenta con curvas (ver Figura 1) que presentan el diámetro del cuerpo en función del volumen de inyección con las que se puede detener la inyección en etapas previas al volumen máximo, sobre todo cuando se logran presiones de inflado muy elevadas, ya que el diámetro máximo se consigue desarrollar en la sección central del SB con volúmenes de inyección del orden del 60% del volumen máximo (Ver Fotografía 1). A partir de ese volumen, se empieza a desarrollar la forma cilíndrica del SB, proporcionando mayor superficie friccional del elemento contra el suelo. (Ver Fotografía 2)



FOTOGRAFIA 1



En la fotografía anterior se nota que en un volumen de inflado menor al máximo, ya se tiene desarrollado casi el total del diámetro

del SB, produciéndose una sección longitudinal que tiende a un rombo.

FOTOGRAFIA 2



En la fotografía anterior se muestra un SB inflado con un volumen mayor que el nominal, lo que produjo deformaciones plásticas en el acero del cuerpo.

Esta inyección tiene la finalidad de producir un efecto de precarga en la punta del SB además de consolidar el suelo de punta.

La post inyección se realiza a través de una tubería que se coloca dentro de la tubería de inyección principal y llega hasta el fondo del SB.

En la parte exterior del cuerpo se dispone de una válvula simple que permite la salida de mortero y evita el ingreso de suelo o del hormigón durante el proceso de vaciado del pilote.

La post inyección ha demostrado ser eficiente en la reducción de asentamientos

En casos diversos se ha conseguido inyectar, en el suelo de fondo, volúmenes de mortero del orden de 50 litros a presiones del orden de 20 bares, similares a las presiones de inyección del cuerpo. El hecho de conseguir presiones tan elevadas es una constatación de que el suelo que rodea al SB se halla altamente comprimido formando un "tapón" alrededor del SB.

Esta inyección se realiza después de 48 horas de inyectado el cuerpo a fin de garantizar que el mortero inyectado al SB ya cuenta con una resistencia adecuada.

En ensayos recientes se ha realizado esta inyección en un elemento hermético que permite confinar el mortero y produce

Otra mejora fundamental introducida al sistema ha sido la incorporación de un dispositivo que permite la post inyección en el exterior del SB, a través de su punta.

desplazamientos verticales, creando esfuerzos de precarga que han incrementado la capacidad portante del SB en valores del orden de 25% para iguales asentamientos.

Esta última mejora en el sistema permite, sin costos mayores, aumentar la capacidad de carga de cada SB.

4. HISTORIA DE CASOS

4.1.- -Construcción Hospital Obrero Santa Cruz:

Tipo de obra: Edificio Hospitalario.

Tipo de pilote: Perforado y hormigonado in situ bajo bentonita

Tipo de Expander Body: SB EB 612 en la punta (60 cm de diámetro y 1,20 m de longitud).

Sección y longitud de pilote: Circular D= 35 cm, L=10.5 m.

Suelos tipo: Arenas arcillosas y arenas finas limosas. N SPT máximo: 25

Capacidad portante de diseño por pilote (fuste más EB): 80 ton.

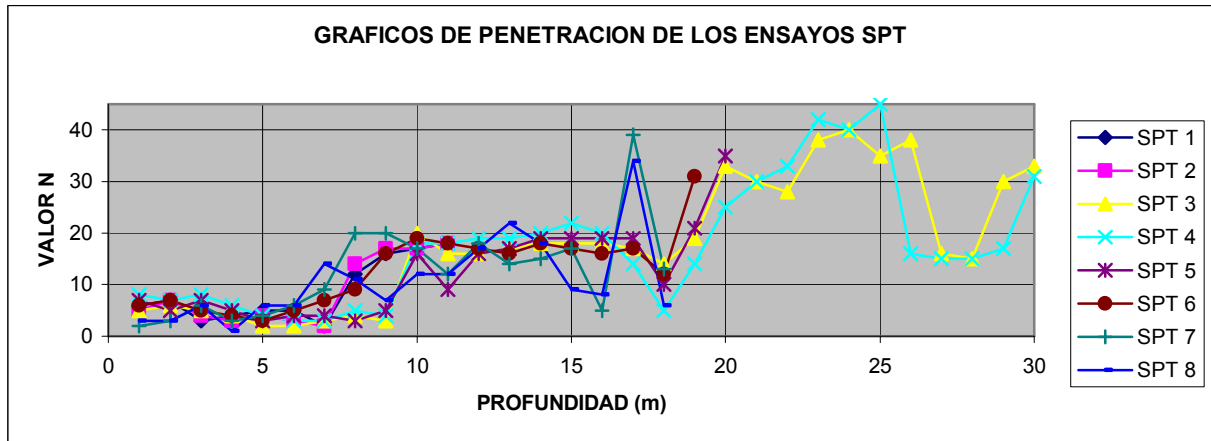
Capacidad calculada a partir de las presiones de inyección (fuste más EB): 90 ton

Presiones máximas de inyección: 28 bares.

La geotecnia de campo consistió en la realización de ocho sondeos con ensayos SPT y dos sondeos con ensayos DPM

Los resultados de los valores N se consignan en el cuadro siguiente

Profundidad	SPT 1	SPT 2	SPT 3	SPT 4	SPT 5	SPT 6	SPT 7	SPT 8
1	6	5	5	8	7	6	2	3
2	7	7	6	7	5	7	3	3
3	3	4	5	8	7	5	6	6
4	4	3	4	6	5	4	3	1
5	5	4	2	4	3	3	4	6
6	5	3	2	3	4	5	6	6
7	2	2	3	3	4	7	9	14
8	12	14	4	5	3	9	20	11
9	16	17	3	4	5	16	20	7
10	17	17	20	18	16	19	17	12
11	18	18	16	18	9	18	12	12
12			16	19	16	17	18	17
13			17	19	17	16	14	22
14			18	20	19	18	15	18
15			18	22	19	17	17	9
16			18	20	19	16	5	8
17			17	14	19	17	39	34
18			14	5	10	12	13	6
19			19	14	21	31		
20			33	25	35			
21			40	30				
22			48	33				
23			38	42				
24			40	40				
25			45	45				
26			38	16				
27			16	15				
28			15	15				
29			30	17				
30			33	31				



La mayoría de los suelos son SM y SC. Los pilotes se apoyaron, en su mayoría a 15.50 m de profundidad y debido a la existencia de un sótano más la altura del cabezal, la longitud útil media fue de 10.50 m por pilote. Los pilotes del cabezal de ascensores se apoyaron a 20 m de profundidad y considerando la altura del cabezal y su cota de apoyo, los pilotes tuvieron una longitud útil de 12,00 m. El edificio consiste de un bloque central de 9 niveles de altura, con luces de hasta 8.00 m entre columnas y un bloque lateral de 5 niveles con luces de hasta 6.00 m entre columnas.

La superficie sobre la que se apoya el edificio es de 3000 m². La columna más cargada apoyada sobre SB transfiere cargas de 2500 ton (zona ascensores) y la menos cargada apoyada sobre pilotes con SB, 140 ton.

Todos los pilotes fueron perforados y vaciados in situ bajo bentonita, de 35 cm de diámetro. Se instalaron 855 pilotes de los cuales 501 tuvieron adosado un Expander Body SB612 en la punta. Es decir un elemento que al inflarse tiene 600 mm de diámetro nominal y 1,20 m de longitud.

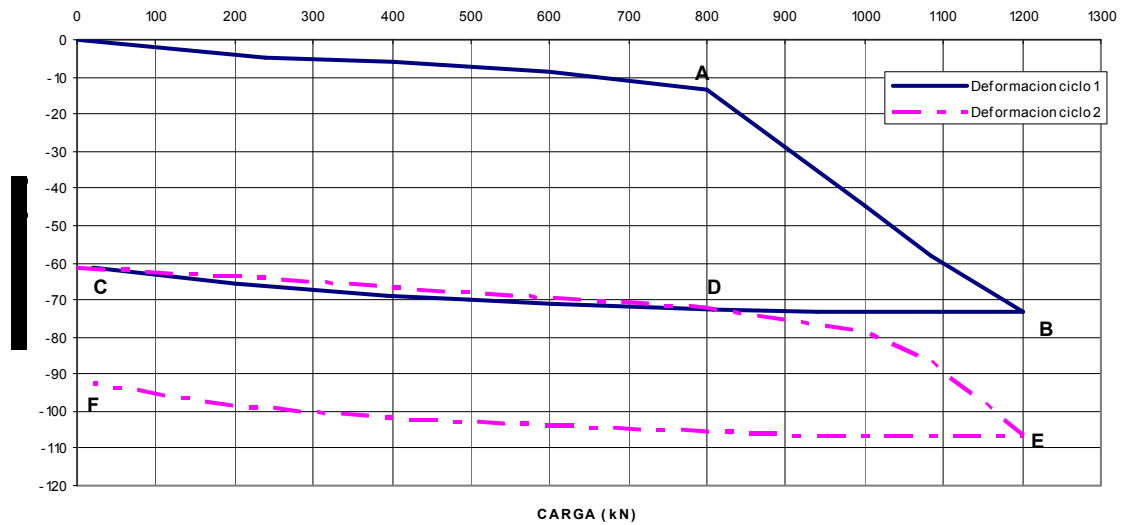
Las presiones típicas rondaron los 22 bares, con máximos de 34 bares en el sector norte del terreno y mínimos de 16 bares en el sector sur oeste del terreno.

Si bien los sondeos muestran una cierta homogeneidad, durante la instalación e inyección de los SB se constató que en el terreno existen dos zonas diferenciadas desde el punto de vista de la resistencia del suelo. El sector norte del edificio presentó presiones de inyección más elevadas en un 20% (en promedio) respecto de las inyecciones del sector sur.

Se realizó un ensayo de carga estática sobre el pilote 434. Este pilote fue inyectado con 160 litros de mortero y se obtuvo una presión máxima de 27.50 bares. Se le aplicó una post inyección de 50 litros a una presión máxima de 20 bares. Se adjuntan los gráficos tanto de la inyección como de la post inyección (Ver Figura 2).

El ensayo se realizó con una disposición en cruz, reaccionando sobre cuatro pilotes. El ensayo constó de un ciclo de carga y descarga más un segundo ciclo de carga y descarga. Las cargas se llevaron hasta 1200 kN.

FIGURA 2 - ENSAYO DE CARGA SOBRE PILOTE CON EXPANDER BODY



El proyecto original contemplaba la ejecución de pilotes de gran diámetro para las columnas principales (1,20 m de diámetro y 25 m de longitud) y pilotes de 60 cm de diámetro y 15 m de longitud para el resto de las columnas. En el rediseño se optó por estandarizar todos los pilotes a 35 cm de diámetro y 10.50 m de longitud útil, adosándoles SB 612 en aquellas columnas cuyas cargas lo requería. La distribución típica ha sido cabezales con 2, 3 y 4 pilotes comunes (sin SB) y cabezales de 3, 4, 5 y 6 pilotes con SB. El cabezal de los ascensores cuenta con 30 pilotes con SB 612, para una carga nominal de 2350 ton. El cambio de proyecto significó una economía en las fundaciones del orden del 45% .

La velocidad de ejecución estuvo dentro del plazo previsto y se instalaron los 855 pilotes en tres meses de ejecución. Las tareas de inyección son de alta productividad y en una jornada típica, de cuatro horas de trabajo, se inyectaban alrededor de 40 piezas.

Con la finalidad de constatar los efectos de la compresión que se produce en el suelo circundante a los SB, se realizó un par de ensayos DPM entre dos SB. El primero se hizo una vez instalados los pilotes y antes de la inyección. El segundo ensayo se hizo, a 10 cm del primero, el día siguiente de la inyección de los SB.

5.- CONCLUSIONES

El uso de la tecnología Expander Body en los suelos sedimentarios del oriente de Bolivia ha mostrado ser una solución que presenta, cuando menos, las ventajas de plazos de ejecución