

**Uso de Soil Nailing para estabilización de obras de interés
histórico. Caso Práctico: Hotel Marriott Cusco**

M. Saucedo¹

¹ Mariano Saucedo Sulzer, Ing. M.Sc.
GERENTE TÉCNICO
Pilotes Terratest Peru SAC
msaucedo@terratest.com.pe

Dado que las edificaciones construidas antes del terremoto de 1650 cayeron en su totalidad luego del evento sísmico (documentos de cabildos), se sabe que este muro ha sido reconstruido varias veces por no tener estabilidad estructural. El muro en un 80% es de piedra, tiene un 15% de adobe y un 5% de otros materiales, entre ellos concreto y ladrillo.



Figura 3. Vista del muro colonial antes de las excavaciones

La capilla pertenece al antiguo convento San Agustín y fue totalmente restaurada. La estructura está compuesta igualmente por muros de piedra y acabados en los ingresos en forma de arco. Esta será en el futuro el imponente lobby de ingreso al hotel.

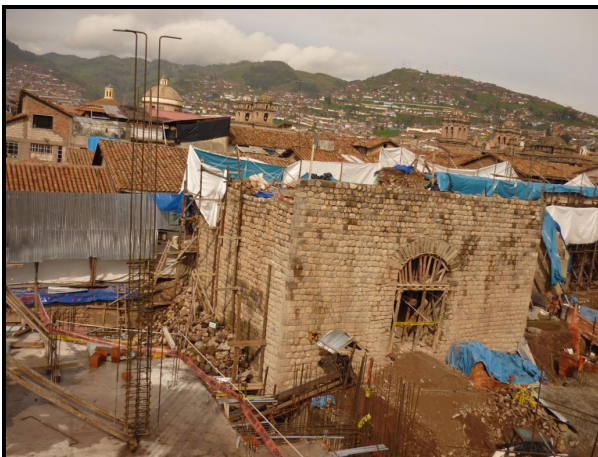


Figura 4. Vista de la capilla colonial antes de las excavaciones

2. TRABAJOS DE ESTABILIZACIÓN

El proyecto consideraba la excavación hasta el nivel -10.60m, lo cual significaba excavar hasta 5m por debajo del nivel de fondo de cimentación de las estructuras de interés histórico. Por este motivo, una vez alcanzado el fondo de las cimentaciones, se reforzaron las mismas con micropilotes dispuestos cada 1m de distancia de tal forma de crear una cortina de elementos resistentes que no permita que los muros se asienten y facilite los trabajos de excavación posteriores.

El suelo está compuesto en todo el terreno por gravas limosas, cuya potencia sobrepasa la profundidad de excavación. El Nivel Freático en las zonas de excavación de interés histórico se encontró a -10.5m, por lo que no fue influyente en el diseño y no fue necesario realizar obras de drenaje.

Como solución para la estabilización se usó una tecnología combinada, compuesta por los micropilotes mencionados líneas arriba y muros de concreto armado reforzados con anclajes pasivos inyectados, cuya técnica se conoce como TERRANAIL.



Figura 5. Método constructivo del TERRANAIL realizado por bataches y en alturas de excavación menores a 2m

El sistema TERRANAIL consta de dos componentes: los anclajes pasivos o pernos y el muro de concreto armado, que contiene todo el suelo transfiriendo parte de la carga a los nails. La diferencia con un muro convencional de Soil

Nailing con Shotcrete, consiste en que el muro de sostenimiento es a la vez, el muro definitivo de la estructura, por lo que se ahorra tiempo, espacio y costos de construcción.

Debido a que el suelo encontrado presentaba suficiente rigidez para sostenerse de forma vertical sin desmoronarse en alturas de hasta 2m, la construcción del muro se realizó por partes, usando el método de construcción por bataches, que

consiste en la apertura intercalada de paños de muro. Una vez reforzada con Nails toda una línea de excavación, se inicia la excavación por partes del siguiente nivel, tal y como se aprecia en la foto de la Figura 5.

3. DETALLE DE LOS ELEMENTOS EMPLEADOS

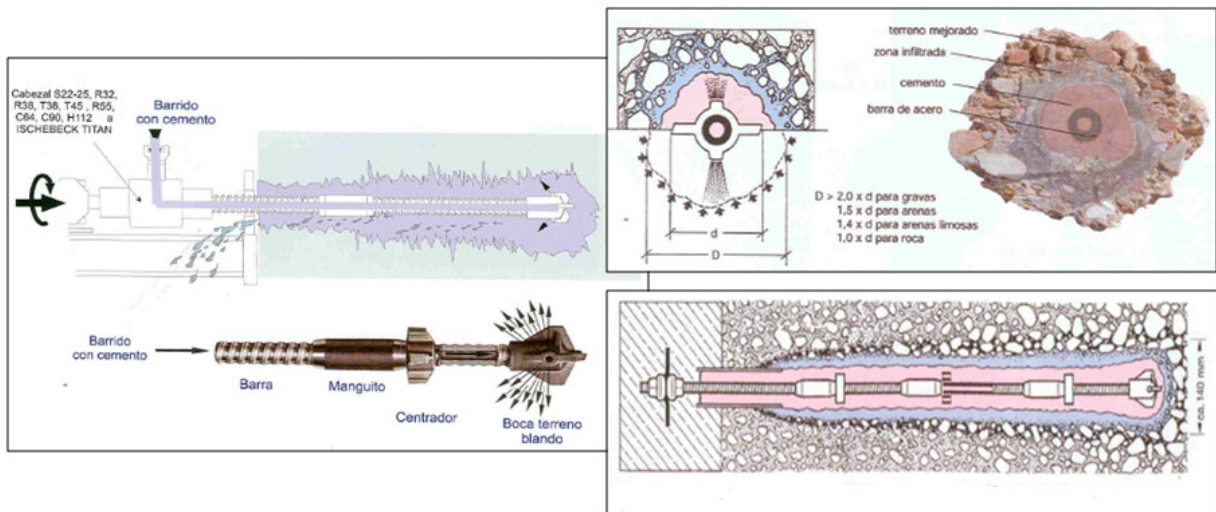


Figura 6. Detalle constructivo de los anclajes pasivos del tipo TITAN autopercutores

Para el proyecto se consideraron nails y micropilotes del tipo TITAN 40/16 de la firma Ischebeck, los cuales tienen la característica de ser autopercutores, siendo la armadura misma del anclaje la barra de perforación e inyección. Esta es una característica fundamental, que asociada a la alta calidad de los elementos componentes del sistema (barras, acoples, bits, etc.) resulta en una solución de alta velocidad en terreno.

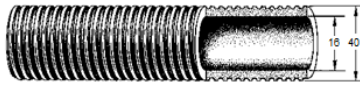
Los anclajes TITAN están compuestos por barras huecas con rosca externa continua en toda su longitud. La longitud de fabricación de estas barras es de 3.0 metros, y se empalman mediante manguitos roscados, siendo siempre posible empalmar barras hasta alcanzar

las longitudes totales deseadas, cortándose las barras en caso de ser necesario.

La perforación con barras TITAN puede ser rotativa pura o por rotoperCUSión en cabeza, eligiéndose la broca de perforación según las condiciones del terreno. Como la lechada de cemento cumple la función de fluido de perforación, se inyecta durante todo momento mientras se perfora, retornando gran parte de la suspensión por el espacio anular que queda entre la barra y suelo.

A continuación se exponen las características principales de las barras TITAN 40/16.

| Tipo de barra | TITAN 40/16 |
|---|-------------|
| Diámetro exterior - interior nominal [mm] | 40 – 16 |
| Carga de fluencia característica [kN] | 465 |
| Area de la sección [mm ²] | 879 |
| Momento de Inercia [cm ⁴] | 8,98 |
| Peso [kg/ml] | 6,9 |



4. PROCESO CONSTRUCTIVO

La solución constructiva adoptada consistió en la ejecución mixta de una hilera de micropilotes que atravesase los cimientos de piedra de las estructuras coloniales y nails para sostener los empujes laterales. Los micropilotes se ejecutaron con una ligera inclinación y se perforaron desde la parte alta de las cimentaciones, de tal forma de obtener un elemento de soporte vertical que pase por el centro de la base de las cimentaciones, con lo que se consiguió dar la estabilidad vertical necesaria a las estructuras de piedra y se controló la magnitud de los asentamientos debidos a la excavación.

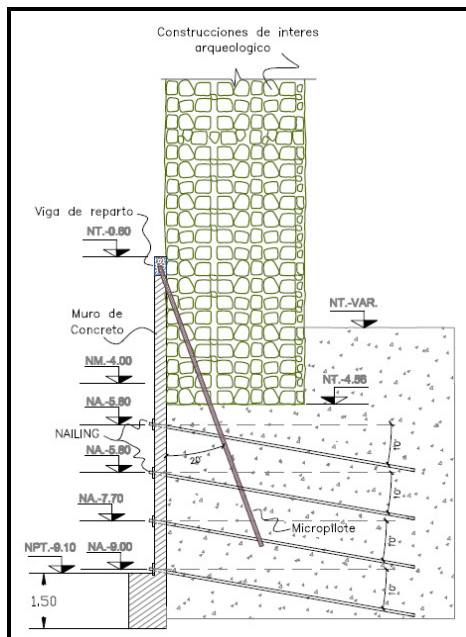


Figura 7. Esquema de los elementos de sostenimiento

Posteriormente, una vez asegurada la estabilidad vertical de los muros, se procedió con las

excavaciones, cuyos niveles quedaron definidos por el nivel de perforación de los nails. Tanto los nails como los micropilotes se colocaron con un distanciamiento de 1m, dejando una estructura “atada” en la base y permitiendo realizar la excavación de forma segura, siguiendo el procedimiento de ejecución típico del Soil Nailing como se describe en la Figura 8.

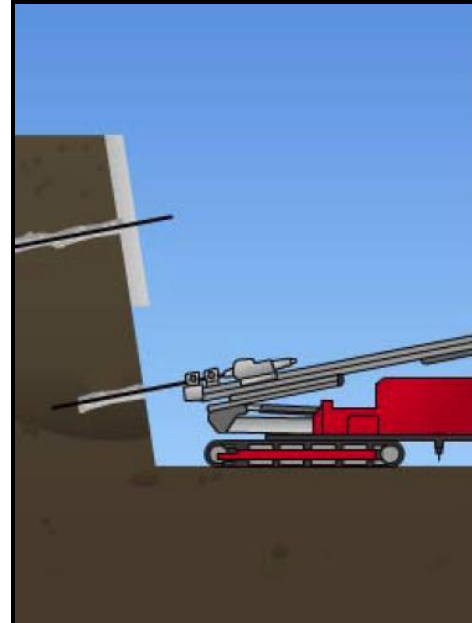


Figura 8. Esquema de ejecución del Soil Nailing

Este procedimiento consiste en la ejecución por fases de la excavación, dejando siempre el nivel superior debidamente asegurado con los pernos antes de continuar con la siguiente fase de excavación. Los Nails pueden ser perforados sobre terreno una banqueta, o bien, construyendo inicialmente los muros y dejando un pase adecuado para posteriormente perforar los nails a través del muro. En este proyecto se empleó esta última opción, debido a que el suelo era susceptible a perder estabilidad con la presencia de agua, por ejemplo por una fuerte lluvia, cuya probabilidad es alta en la zona.

Debido al escaso espacio existente para la ejecución de los trabajos de excavación, no se podía utilizar un equipo de perforación convencional, por lo que se decidió por el uso de una máquina perforadora portátil con martillo hidráulico de rotopercusión, con la que se puede acceder a cualquier espacio reducido. La misma presenta a su vez una fácil movilidad para desplazarse

entre un punto y otro dentro de la obra (Véase la Figura 9).



Figura 9. Perforación de los Nails en espacio reducido utilizando una máquina perforadora portátil del tipo Morath

El esquema de distribución de nails y micropilotes puede ser apreciado en la Figura 10.

5. DISEÑO

Para el diseño del muro de Soil Nailing se empleó la metodología ampliamente desarrollada y estudiada en Alemania en obras a escala natural, que considera a la estructura de Soil Nailing como una estructura de refuerzo monolítica que se comporta como un muro de gravedad que recibe el empuje del suelo en la parte

posterior y hace que los nails trabajen de forma conjunta, produciendo una deformación uniforme que ha sido medida entre 1 y 3 por mil de la altura.

Para el diseño de una estructura de Soil Nailing se deben verificar 2 estados límites:

- El estado límite último de falla del elemento o de sus partes, y
- El estado límite de serviciabilidad.

En el estado límite último se verifica que el cuerpo armado no falle por:

- a) Deslizamiento
- b) Vuelco
- c) Falla por rotura del suelo en la base
- d) Falla global del talud – (nótese que en este tipo de falla, los planos NO tocan los nails!)
- e) Falla interna del cuerpo armado (rotura de nails)

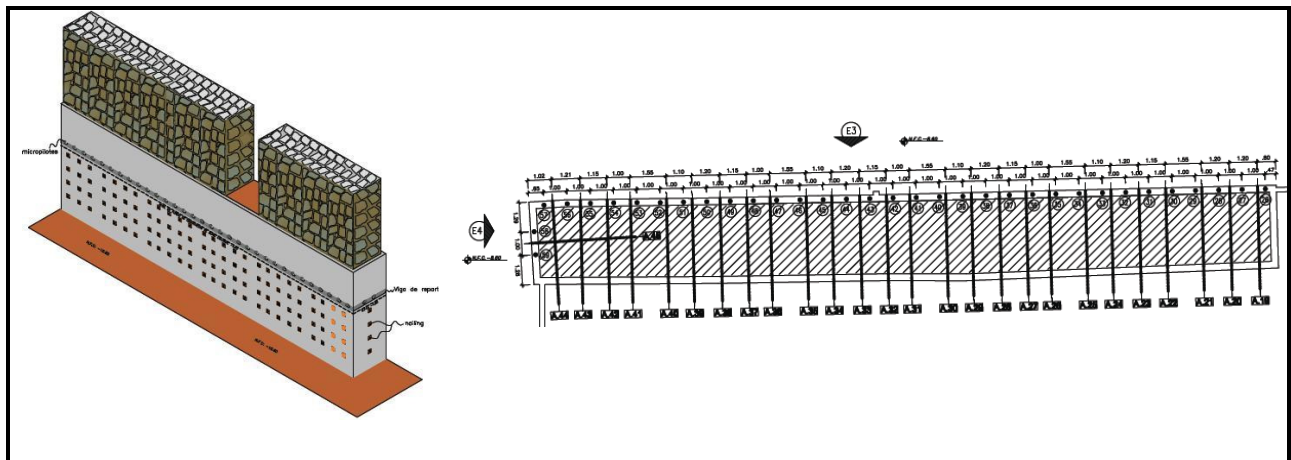


Figura 10. Esquema de distribución de nails y micropilotes

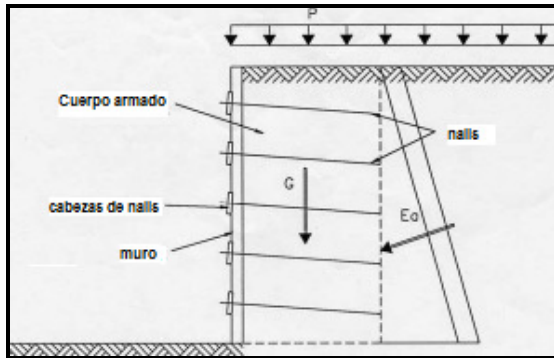


Figura 11. Idealización del cuerpo de tierra armado con soil nailing

Las verificaciones de estabilidad se realizaron mediante el software de origen alemán especializado en diseños de soil nailing GGU-STABILITY, donde se obtuvieron en todos los casos, factores de seguridad adecuados para todos los estados constructivos. La estabilidad se calculó considerando el aporte adicional debido a la presencia de los micropilotes que cortan el potencial plano de falla. El proyecto se diseñó considerando el máximo sismo para la zona de estudio con un coeficiente sísmico $kh=ah/g=0.20$.

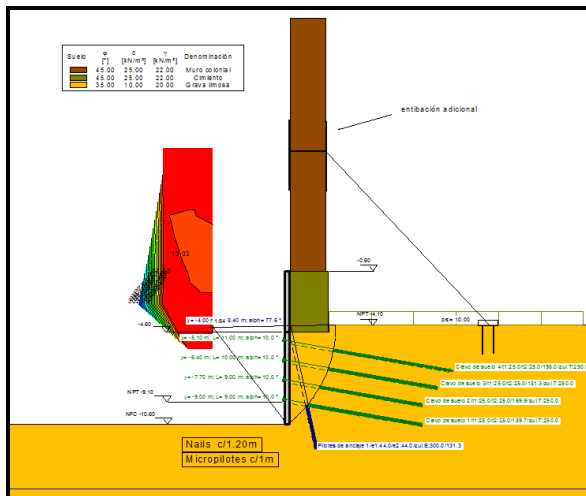


Figura 12. Verificaciones de estabilidad mediante el programa GGU-STABILITY

La estabilidad al vuelco del muro colonial fue asegurada mediante una estructura de entibación mediante cables tensores.

6. CONCLUSIONES

La solución de estabilización adoptada para el proyecto del nuevo hotel Marriott en la ciudad de Cusco, demostró ser adecuada, ya que los muros no sufrieron ninguna rajadura ni asentamientos durante los trabajos de excavación.



Figura 13. Acabado definitivo de la estructura de TERRANAIL por debajo de las estructuras coloniales

Los trabajos de estabilización se realizaron en tiempos record, debido a la gran movilidad de la máquina empleada para las perforaciones.

Finalmente, quedó demostrado que la tecnología TERRANAIL es eficaz y segura, permitiendo la

construcción de sótanos de estructuras sin muros de la estructura, ahorrando tiempo, espacio y desestabilizar el terreno colindante y empleando los sobretodo costos de construcción. mismos muros de contención como los posteriores

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ground Improvement, Ground Reinforcement, Ground Treatment, Developments -Geotechnical special publication N° 69. V.R. Schaefer et al - ASCE (1997)
- [2] Aprobación del Sistema de Soil-Nailing Preussag por el Instituto Técnico de la Construcción de Berlín. Nro. de permiso Z-20.1-105 (1988)
- [3] G. Gässler: Soil Nailing - Theoretical basis and practical design. International Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement. Fukuoka - Japón (1988)
- [4] Schlosser F.: Behavior and design of soil nailing – Symposium on recent developments in ground improvement techniques – Bangkok (1983).
- [5] Bustamante M.: “Un método para el cálculo de los anclajes y de los micropilotes inyectados”, Boletín de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones N° 81-82 – (1986).
- [6] Empfehlungen des Arbeitskreises “Baugruben” (EAB)
Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau - Arbeitskreis Baugruben – (1988).
- [7] DIN 4084 (new) Subsoil; Calculations of terrain rupture and slope rupture
- [8] Implementation manual FHWA-SA-97-070 Micropile design and construction guidelines. US Department of transportation. (2000).