

AVANCES EN LA EJECUCIÓN Y CONTROL DE: JET GROUTING Y COLUMNAS DE GRAVA OFF-SHORE

ENMANUEL CARVAJAL DÍAZ

Ingeniero Civil

Keller Cimentaciones; Director Ingeniería Iberia & Latam

1. Introducción

En los últimos años se han producido avances significativos respecto a varias técnicas de mejora del terreno como son el Jet Grouting y las columnas de grava. En este trabajo se intentan abordar varias de estas mejoras, fundamentalmente correspondientes a los procedimientos de ejecución de cada una de estas técnicas.

En particular se presentan varias avances o desarrollos relevantes relacionados al sistema de ejecución y control de la técnicas Jet Grouting, así como a la ejecución de obras marítimas de columnas de grava (sistemas offshore). Asimismo, se incluyen unos breves ejemplos prácticos sobre los avances descritos.

2. Descripción general Jet Grouting.

El Jet Grouting es un tratamiento de mejora de suelos que consiste en la conformación de columnas o pseudocolumnas de suelo-cemento. El material resultante es denominado Soilcrete®, y posee una características geomecánicas similares a las de un mortero o incluso hormigón pobre.

La conformación de las columnas o pseudocolumnas de suelo cemento se consigue mediante la acción conjunta de un medio erosivo (aire, agua o lechada), que aplicado como un chorro (Jet) erosiona y mezcla el terreno mediante la combinación de un movimiento de rotación y de ascenso de los útiles de perforación. Figura 1.

Jet Grouting – Soilcrete® de Keller se puede ejecutar tanto vertical como inclinado, y con diversos diámetros, los cuales dependen básicamente de la naturaleza del terreno, del método de ejecución adoptado y de los parámetros de ejecución, fundamentalmente presión, caudal de inyección, y velocidades de rotación y ascenso de los varillajes.

Existen diversos sistemas o métodos de ejecución del Jet Grouting – Soilcrete® de Keller, en función de los tipos de fluido aplicados (Figura 2).

El Jet Grouting – Soilcrete® se puede emplear para generar columnas aisladas, alineaciones de columnas (Paneles) e incluso tratamientos masivos del suelo. También se pueden ejecutar columnas completas, de sección aproximadamente circular, o configuraciones diferentes con $\frac{1}{2}$ de columna, $\frac{1}{4}$ de columna o incluso con geometrías tipo lamelar (“pajarita o corbatín”). Figura 3.

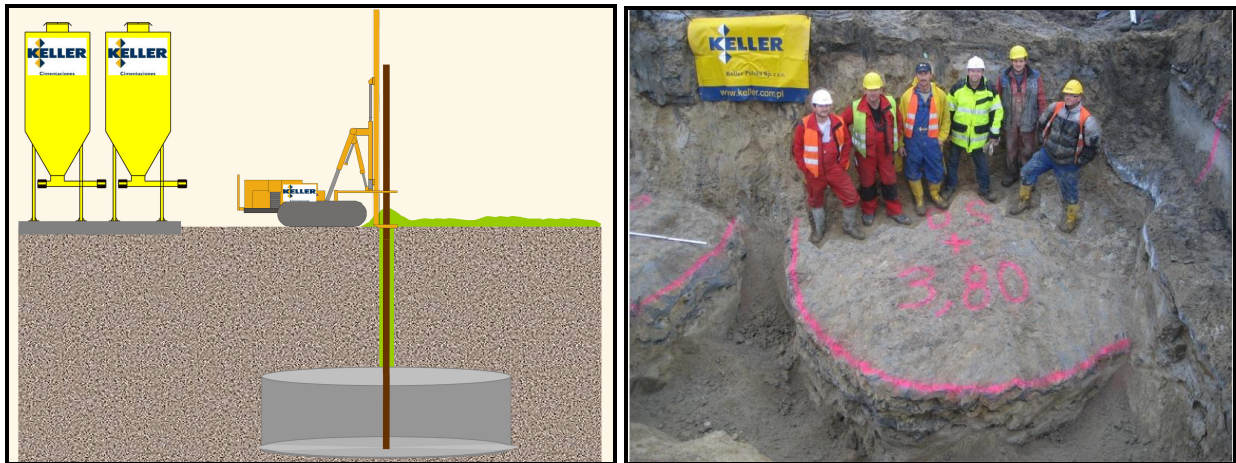


Figura 1. Procedimiento de ejecución y ejemplo de columna de Jegrouting o suelo-cemento (Soilcrete®).

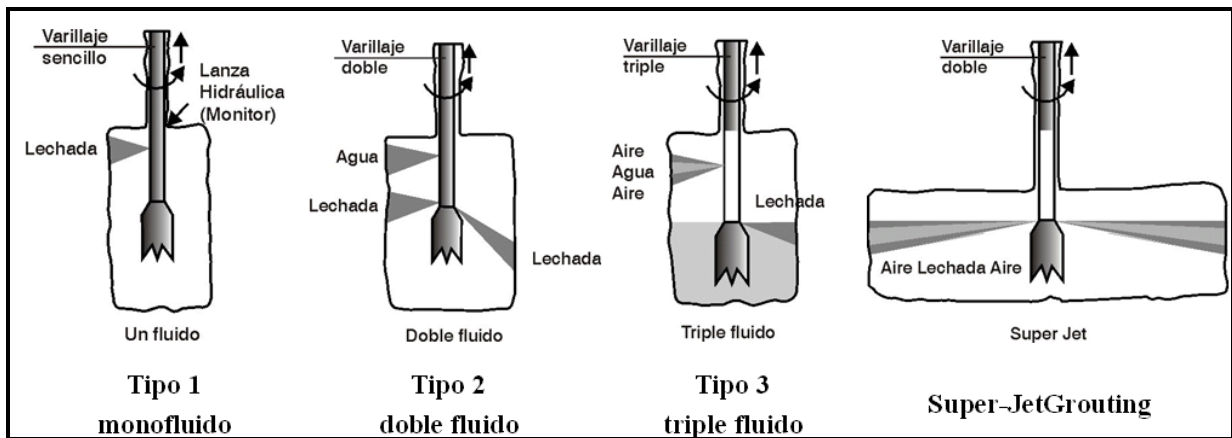


Figura 2. Tipos o sistemas de Jet Grouting.

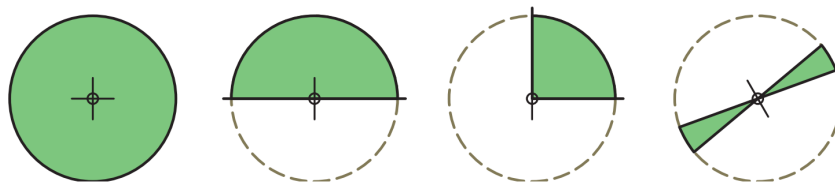


Figura 3. Geometrías habituales Jet Grouting – Soilcrete®.

Por otra parte, el Jet Grouting – Soilcrete® puede utilizarse para múltiples fines, como recalces y restauración de cimientos, protecciones en túneles, en paraguas al avance de túneles, como contenciones, como barreras de impermeabilización, etc. Figura 4.

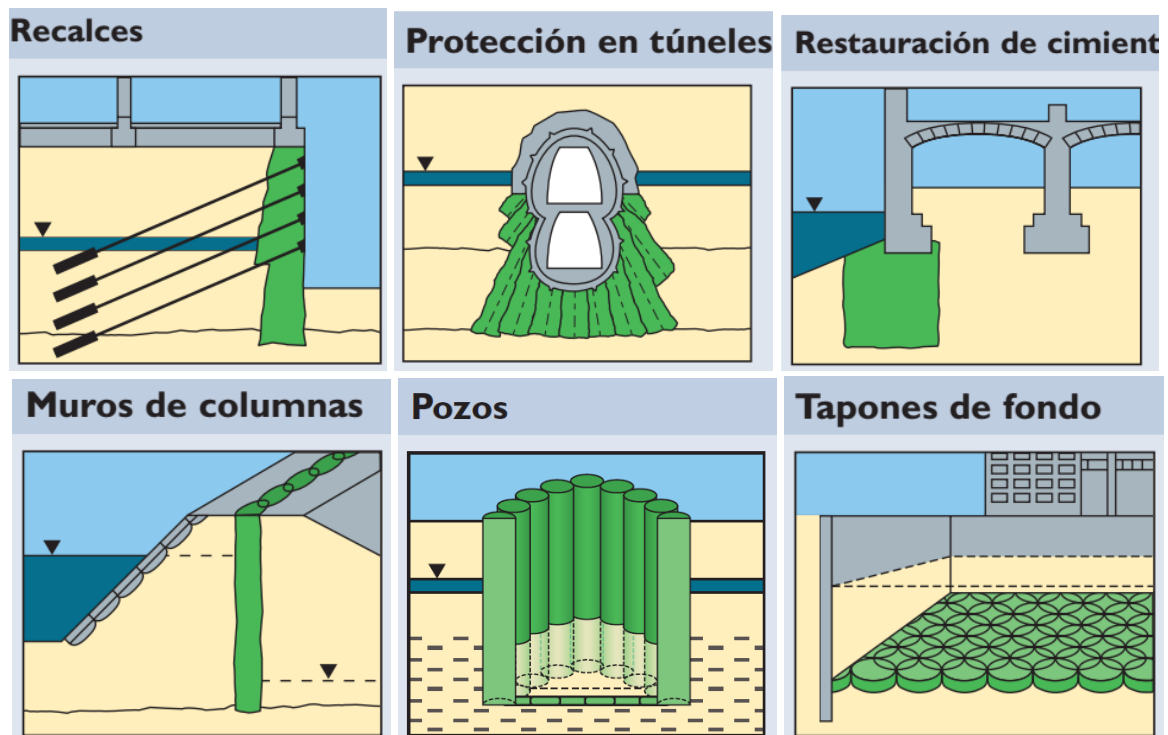


Figura 4. Ejemplos de aplicación del Jet Grouting – Soilcrete® de Keller.

2.1. Componentes del sistema Jet Grouting convencional.

En el esquema ilustrativo de la Figura 5 se muestran los distintos componentes que conforman uno de los sistemas de ejecución del Jet Grouting.

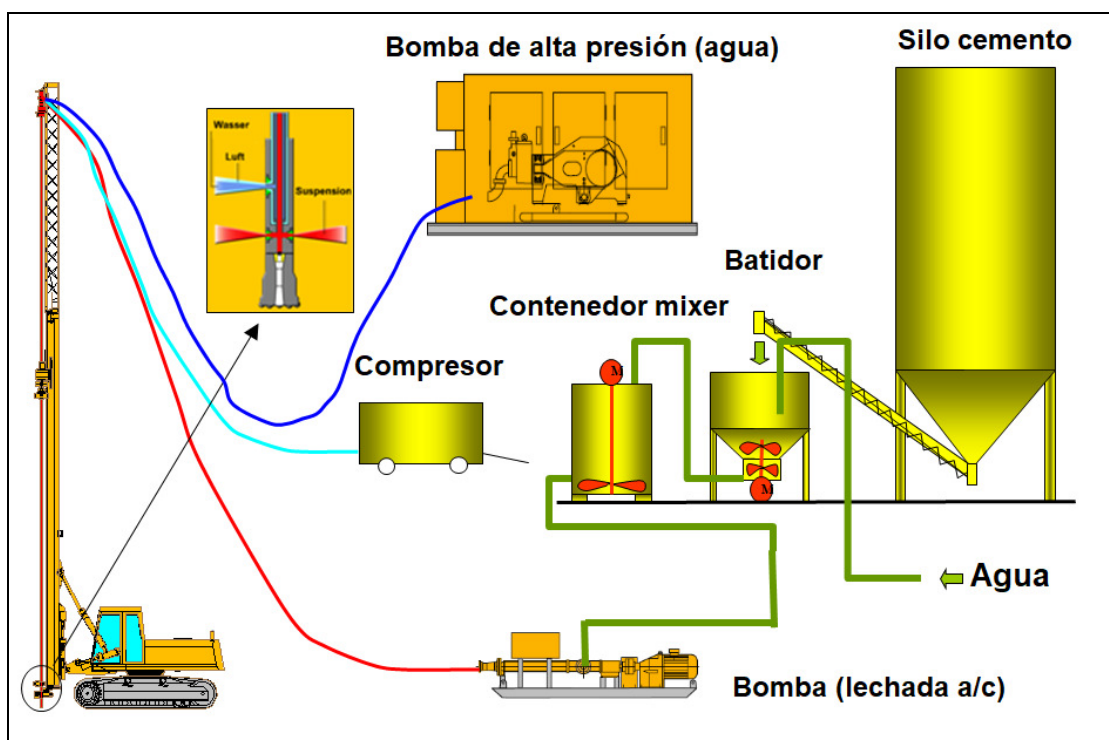


Figura 5. Esquema con los componentes del sistema de Jet Grouting.

A continuación se incluye una breve descripción de los equipos y componentes utilizados:

- Equipo base: carro perforador capaz de ejecutar el tratamiento en las profundidades previstas y con los fluidos previstos (aire, agua, etc.).
- Fabricación de lechada de inyección: plantas automáticas, especialmente diseñadas para fabricar una mezcla o lechada, con proporciones programables y con una producción suficiente para ejecutar la inyección de columnas de Jet Grouting sin que se interrumpa el proceso de ejecución. Además las plantas vienen dotadas de un “registro continuo informatizado” que permita el control y el almacenamiento de la fabricación. Según se muestra en la Figura 5, esta parte del sistema consiste en una planta conformada por (i) silos de cemento, (ii) batidor y (iii) mezclador
- Bomba de impulsión de lechada y/o agua: bombas capaces de alcanzar caudales entre 200 y 400 Litros/minuto y presión continua entre 200 y 450 bares.
- Equipo de monitorización: registradores automáticos de los parámetros de ejecución de Jet Grouting. Estos registros pueden descargarse en formato digital para facilitar su archivo, análisis y manejo estadístico.
- Monitor: consiste en la pieza situada en la parte más baja del varillaje, dotada de varias toberas que se comunican con los conductos de varillaje encargados de canalizar los fluidos de inyección, y de este modo asegurar la aplicación de energía de erosión al terreno, así como la inyección de lechada que forma el suelo-cemento con el terreno erosionado.
- Otros componentes auxiliares:
 - o Consumibles: toberas, sartas, mangueras, etc..
 - o Equipos de medida: manómetros, sensores de profundidad, etc.
 - o Compresores de aire de hasta 12-14 bares de capacidad de presión.
 - o Silos, o en su defecto, bombonas de regulación.
 - o Bombas de lodos,
 - o Tanques de agua o depósitos tipo Sistema Arco.
 - o Depósitos de combustible

En cuanto a la zona de montaje del sistema, las siguientes características son habituales:

- El área de montaje se emplaza junto a la zona donde se realizan los tratamientos, o zona de pruebas, considerando la posibilidad de distancias mayores de 100 m, entre la zona de bombeo y el punto específico de tratamiento donde se sitúa la máquina base (Carro perforador).
- Tamaño suficiente para albergar los equipos que se detallan a continuación. Para ello suele requerirse una superficie mínima de montaje de cerca de 150 m², según se muestra en la Figura 6. En algunas ocasiones esta superficie podría alcanzar los 500 m², aproximadamente.

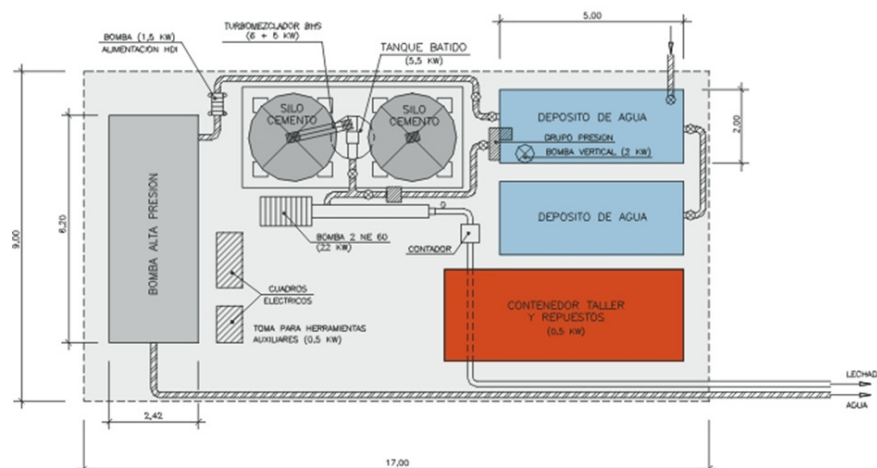


Figura 6. Esquema zona de montaje para el sistema de Jet Grouting.

2.2. Avances del sistema Jet Grouting.

Considerando los equipos o componentes descritos en el apartado anterior como base de referencia, a continuación se describen algunas de los avances tecnológicos más significativos en la ejecución de la técnica Jetgrouting.

2.2.1. Equipos Base (carros perforadores)

En la última generación de equipos de ejecución de Jet Grouting se han podido desarrollar maquinarias capaces de alcanzar profundidades de más de 60 m. En estos equipos es posible emplear una maniobra o sistema de varillaje único de aprox. 40 m de longitud; y para mayores profundidades es posible añadir tramos de varillas de 10 m de longitud. Este desarrollo permite evitar la ralentización habitual de los procesos de perforación e inyección a partir de la instalación sucesiva de tramos de varillas de poca longitud (habitualmente 2 a 5 m, aprox.) hasta alcanzar la profundidad objetivo.

Estos nuevos equipos vienen adaptados a la nueva Normativa Europea de Seguridad para maquinaria de este tipo, incluyendo jaulas de protección en la zona de trabajo manual cercana a la posición de la cabeza de rotación; además cuentan con doble sistema de mordazas y centradores de varillajes. En general, se trata de flotas de vehículos sobre orugas, con un peso total en operación de entre 20 y 46 toneladas, potencia de trabajo de entre 80 y 160 kW, y capacidad de la cabeza de rotación de hasta unos 80 kN-m, aproximadamente.

Es importante resaltar la dotación de sistemas de monitorización que permiten de registro de parámetros automatizado y continuo de todas las máquinas.

En la Figura 7 se muestran dos fotografías de este tipo de maquinaria de altas prestaciones.



Figura 7. Maquinaria base para la ejecución de Jet Grouting hasta grandes profundidades (60 a 70 m, aprox.), proyecto Keller Barcelona.

Otro avance importante en el desarrollo de las maquinarias base, para perforación e inyección, consiste en la obtención de máquinas especialmente pequeñas, capaces de facilitar la ejecución de trabajos en zonas de muy reducidas dimensiones, y con accesos muy complicados.

En la Figura 8 se muestra este tipo de maquinaria pequeña, con dimensiones de 3,2 m x 1,6 x 0,7 m, lo cual permite trabajar bajo gálibos mínimos de hasta 2,25 m, aproximadamente. Esta maquinaria, al igual que la descrita con anterioridad, cuenta con orugas y un sistema de monitorización completo para el registro continuo de parámetros.



Figura 8. Maquinaria base para la ejecución de Jetgrouting en zonas de pequeño gálibo (2,25 m, aprox.).

2.2.2. Plantas y Bombas

La última generación de bombas de alta capacidad se ha desarrollado para contar con una capacidad suficientemente como para producir el flujo y la presión requeridos durante la ejecución de los tipos de Jet Grouting más exigentes, para la formación de columnas de gran diámetro (4 a 6 m). Con este propósito, el desarrollo de las nuevas bombas de la línea Tecniwell tienen en cuenta la distancia máxima entre la bomba y la plataforma de trabajo donde se sitúan los puntos específicos de tratamiento, considerando además la pérdida de carga a lo largo de las mangueras. Sin embargo, para algunos casos adversos, es necesario contemplar una bomba de refuerzo en el lado de succión, para re-impulsar los flujos inyectados y alcanzar mayores longitudes de impulsión.



Figura 9. Instalaciones de las bombas y plantas en estructuras tipo contenedor.



Figura 10. Disposición de planta y bombas del sistema de ejecución de Jet Grouting, en un espacio reducido en zona urbana en Barcelona.

En las Figuras 9 y 10 se muestran varias fotografías correspondientes a la puesta en obra del montaje completo de bombas y plantas de producción de lechada. En esta Figura puede notarse la protección del sistema a partir de estructuras metálicas y compactas tipo contenedor, que además poseen una configuración especial para reducir el ruido (en términos de decibelios) en entornos urbanos. Asimismo, se muestra el panel donde pueden observarse los parámetros de ejecución, registrados a partir del sistema informático de monitorización, y puede notarse la disposición de todos los componentes en un espacio reducido con el que se logra acceder a zonas urbanas o con poco espacio disponible.

Las últimas bombas de altas prestaciones, tipo Tecniwell, tienen la capacidad de producir flujos de inyección de entre 30 y 80 m³/hora, aproximadamente (Figura 11); y por otro lado tienen la capacidad de producir un caudal efectivo de inyección superior a los 600 litros/minuto, el cual es considerablemente superior a los caudales de inyección convencionales de entre 200 y 400 litros/minuto habitualmente utilizado para la ejecución de Jet Grouting. Esta capacidad de inyección supone una importante mejora en la capacidad del sistema para producir columnas de Jet Grouting con mayores diámetros, mayor homogeneidad y resistencia, y posibilidad de alcanzar grandes profundidades (superiores a 50 m) sin que ello suponga pérdidas considerables de calidad o productividad.



Figura 11. Panel de monitorización de las plantas de producción.

2.2.3. Varillajes y monitores

El desarrollo de nuevos varillajes con mayor sección, conlleva mayores propiedades mecánicas y capacidad estructural, que permite una importante mejora en las desviaciones esperadas a grandes profundidades (mayores de 50 m). En general se trata de varillajes con diámetro de 114,3 mm, dotados de doble y tripe sistema de conductos para la inyección de varios fluidos de inyección y perforación.



Figura 12: Detalle de conductos internos del varillaje de Super Jet Grouting.

Los monitores también han experimentados una importante mejora. Básicamente, los nuevos monitores poseen una configuración geométrica que los dota de mayor eficiencia energética, logrando reducir las pérdidas de carga considerablemente.

Es importante resaltar que el avance en el desarrollo de los monitores consiste en una tarea relacionada con la necesidad de conformar una base de datos sobre el desempeño de cada tipo de monitor (uno o varios tipos de fluidos de inyección: agua, aire y lechada), de acuerdo a los tipos de terrenos tratados. Un aspecto importante de este desarrollo consiste en la consecución de grandes diámetros y configuraciones geométricas especiales en las toberas por donde salen los flujos, de modo que el jet resultante alcance capacidades de erosión más elevadas y focalizadas.

Los avances del sistema de varillajes, monitores y toberas, han requerido un enfoque múltiple que incluye el estudio teórico a partir de modelamiento numérico, la realización de ensayos de laboratorio y pruebas de campo donde se ponen en práctica los prototipos alcanzados. En la Figura 13, a modo de ejemplo, se muestra la salida de un análisis numérico del funcionamiento correspondiente a un modelo de monitor, así como la comprobación de las huellas dejadas por el jet a ciertas distancias radiales a las que se mide el nivel de focalización o concentración de la energía de erosión alcanzada.

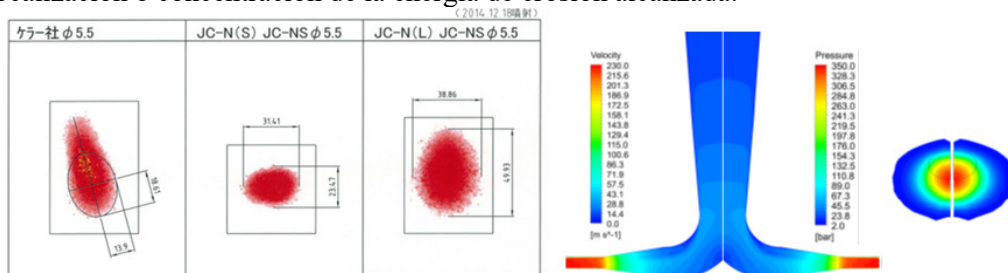


Figura 13: Ejemplo de monitores estudiados.

En este proceso de estudio y experimentación para el desarrollo de monitores de mayores prestaciones, han surgido variaciones especiales de los tipos habituales de monitor. Este es el caso del monitor denominado tipo DX, en donde los chorros de jet se sitúan en un solo lado del varillaje, y las toberas se orientan con cierta inclinación para que se produzca una intersección de los chorros de jet a una distancia radial determinada.

Con este sistema de monitores es posible asegurar la consecución de diámetros muy homogéneos en toda la profundidad de un determinado terreno. En la Figura 14 se muestra el esquema de los monitores convencionales con toberas a uno y dos lados del varillaje, así como un ejemplo de puesta en obra de un monitor especial tipo DX, con inclinación en las toberas y por consiguiente la intersección de los chorros de jet a una determinada distancia radial.



Figura 14: Ejemplo de monitores convencionales y monitores especiales tipo DX.

2.2.4. Sistemas de control

En los últimos años se han producido importantes avances en los sistemas de control de jetgrouting, para la comprobación de los distintos elementos del diseño y ejecución.

Verticalidad de las columnas

Un parámetro fundamental o crítico a controlar en obras, fundamentalmente para obras con un marcado carácter de impermeabilidad como son las barreras hidráulicas, es la verticalidad de las columnas durante la ejecución del tratamiento de Jet Grouting.

El control de la desviación de las columnas de Jet Grouting resulta fundamental para garantizar el solape entre columnas y conocer de forma exacta aquellas zonas en las que es necesario reforzar el tratamiento para asegurar los solapes de diseño.

Para controlar la verticalidad de las columnas, se ha desarrollado el empleo del Sistema INCLIJET® frente al empleo de otros sistemas más antiguos, como Sistema Tigor.

El Sistema INCLIJET® consiste en el empleo de una sonda de medición de desviación que al igual que el Sistema Tigor está equipada con un acelerómetro. La diferencia fundamental es que esta sonda se introduce por el espacio interior de las varillas de perforación una vez finalizada la perforación hasta la cota requerida. (Figura 15).

La lectura se realiza a través de una central de lectura externa conectada a la sonda mediante un cable. La descarga de resultados es siempre anterior a la formación de la columna por lo que es posible ajustar los parámetros de ejecución para mitigar posibles desviaciones en la perforación.



Figura 15: Control de verticalidad mediante Sistema INCLIJET®.

En una comparación rápida entre ambos sistemas podemos destacar los siguientes puntos:

Tabla 1: Comparación Sistemas Tigor e INCLIJET®.

| | Tigor | INCLIJET® |
|--|--|--|
| Principio de medición | Inclinómetro. | Inclinómetro. |
| Obtención de datos | Sensor interno. | Central externa de lectura. |
| Toma de datos | Durante la perforación (en paradas programadas). | Una vez finalizada la perforación. |
| Transmisión de datos y descarga de datos | A través de cable conectado a central externa. Al extraer el varillaje de perforación, normalmente una vez finalizada la formación de la columna. | Transmisión directa a central externa. Siempre antes de la inyección de la columna. |

En la Figura 16 se muestra un ejemplo de la salida de resultados del sistema INCLIJET®.

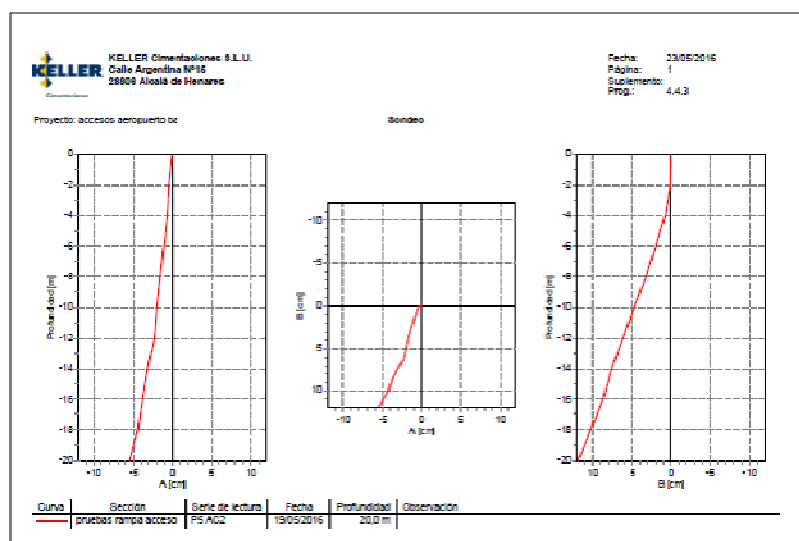


Figura 16: Resultados de verticalidad empleando el Sistema INCLIJET®

Control diámetro de columnas

El mayor avance en el control de diámetros de Jet Grouting, corresponde al desarrollo del sistema ACI® (Acoustic Column Inspector), para el control acústico del diámetro.

En la fase de diseño y particularmente durante la ejecución de los correspondientes campos de pruebas es posible realizar un control del diámetro de las columnas de Jet Grouting a través del sistema ACI (Acoustic Column Inspector – Inspector Acústico de Columnas). Este sistema precisa de perforaciones auxiliares que alcancen la profundidad de ejecución de la columna.

La información recogida deberá estar disponible en tiempo real caso sea necesario variar los parámetros de ejecución del jet grouting, por ejemplo, para ajustar el tratamiento a posibles cambios de las condiciones del terreno.

Mediante el sistema ACI® es posible medir y controlar el diámetro de columna con gran precisión y en tiempo real, es decir durante la ejecución de la propia columna de prueba, pudiendo variar y optimizar los parámetros a la realidad del perfil del terreno.

Es fundamental que el uso del sistema ACI® pueda llevarse a cabo por una empresa especialista y con experiencia en la aplicación de dicho sistema.

Los elementos fundamentales y funcionamiento del sistema ACI®, se muestran en la Figura 17, y son:

- Tubos sónicos.
- Sensores sónicos.
- ACI Box de control y registro de parámetros.
- Sistema de audífonos.

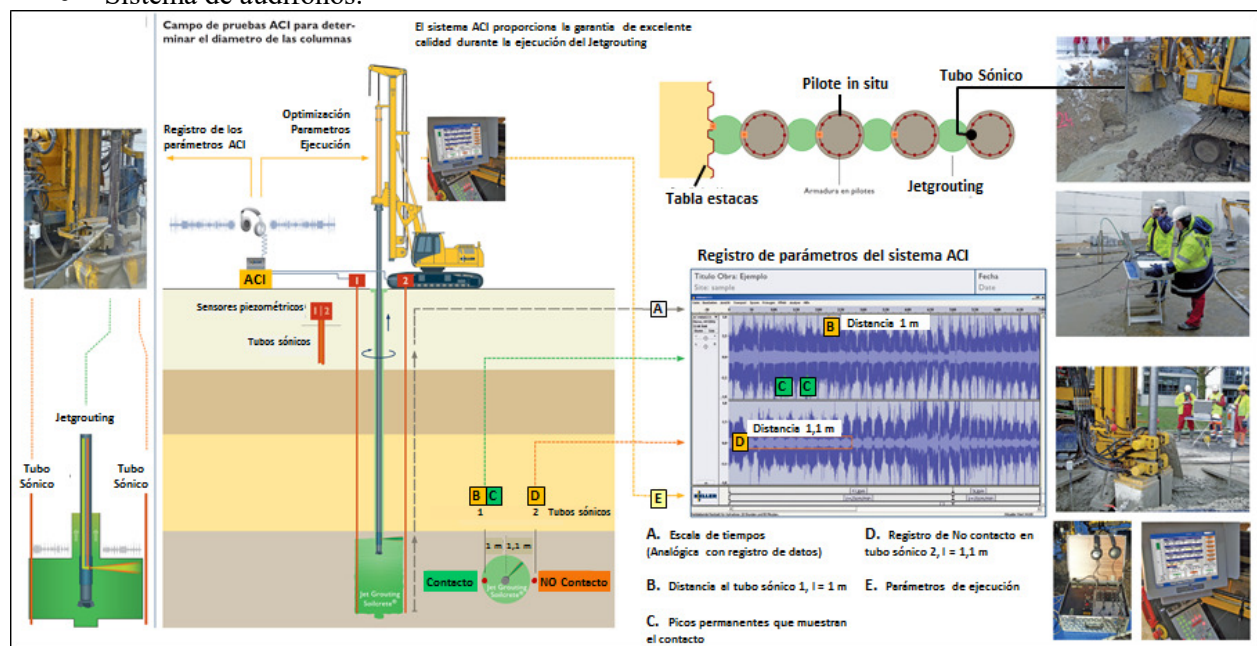


Figura 17: Esquema general y elementos del Sistema ACI®.

Los tubos sónicos se colocan de forma radial a diferentes distancias desde el eje de la columna para comprobar el alcance del jet. Estos son tubos metálicos preparados para tal fin, que se instalan en paralelo al eje de la columna y en toda la profundidad prevista para la formación del jet grouting.

Los sensores que se conectan a los tubos sónicos registran la magnitud de la señal correspondiente al contacto o proximidad del jet respecto a los tubos sónicos. Mediante dispositivos inalámbricos se envían las señales a la caja ACI Box donde se registra y procesa toda la información. Gracias a la rapidez del

flujo continuo de información es posible interpretar, en tiempo real, cómo influyen los parámetros de ejecución a los diámetros realmente obtenidos.

El sistema acústico ACI posibilita la comprobación de los diámetros de columnas de Jet Grouting de forma precisa, rápida y continua, en toda la profundidad del tratamiento, y a partir de un análisis y ajuste continuo de los parámetros de ejecución y su influencia en los resultados obtenidos en las columnas. El sistema ACI es un método de “evaluación no destructivo” con enormes ventajas, ya que evita el procedimiento convencional de realizar y excavar varias columnas de prueba para comprobar los diámetros alcanzados en cada capa o tipo de suelo, lo cual supone una optimización económica y de plazos.

El sistema ACI es especialmente favorable en los casos donde se requiere realizar columnas de Jet Grouting de pruebas localizadas en zonas donde no pueden ser excavadas debido a su gran profundidad o situación de espacios limitados, así como en los casos de suelos estratificados.

Asimismo, representa ventajas muy importantes frente a otros sistemas de control, ampliamente contrastados mediante los satisfactorios resultados de más de 350 proyectos y más de 1.000 columnas de prueba realizados por el Grupo Keller en los últimos 5 años.

2.2.5. Aplicación práctica

Con el objetivo de presentar un ejemplo de aplicación práctica de los avances comentados en los apartados anteriores, en la Figura 18 se muestra una planta y sección tipo correspondiente a un tratamiento de Jetgrouting con columnas de diámetros entre 0,8 y 1,5 m, realizadas a profundidades de hasta 55 m aproximadamente, y con resultados óptimos de desviación vertical inferiores a 1%.

Estos resultados se han podido comprobar en campos de prueba y posteriormente han podido obtenerse durante la ejecución de la obra, gracias a los avances tecnológicos comentados: (i) equipos capaces de alcanzar grandes profundidades, (ii) varillajes robustos que permiten controlar mejor la verticalidad, (iii) sistemas de monitores más eficientes, (iv) comprobación de verticalidad con sistema INCLIJET®, (v) comprobación de diámetros a grandes profundidades (50 m) con sistema ACI®, (vi) monitorización automatizada de todo el sistema de ejecución.

Actualmente existen otros ejemplos de obras similares en donde los diámetros pueden alcanzar entre 2 y 5 m, junto a resistencias a compresión simple superiores a los 3 a 4 MPa.

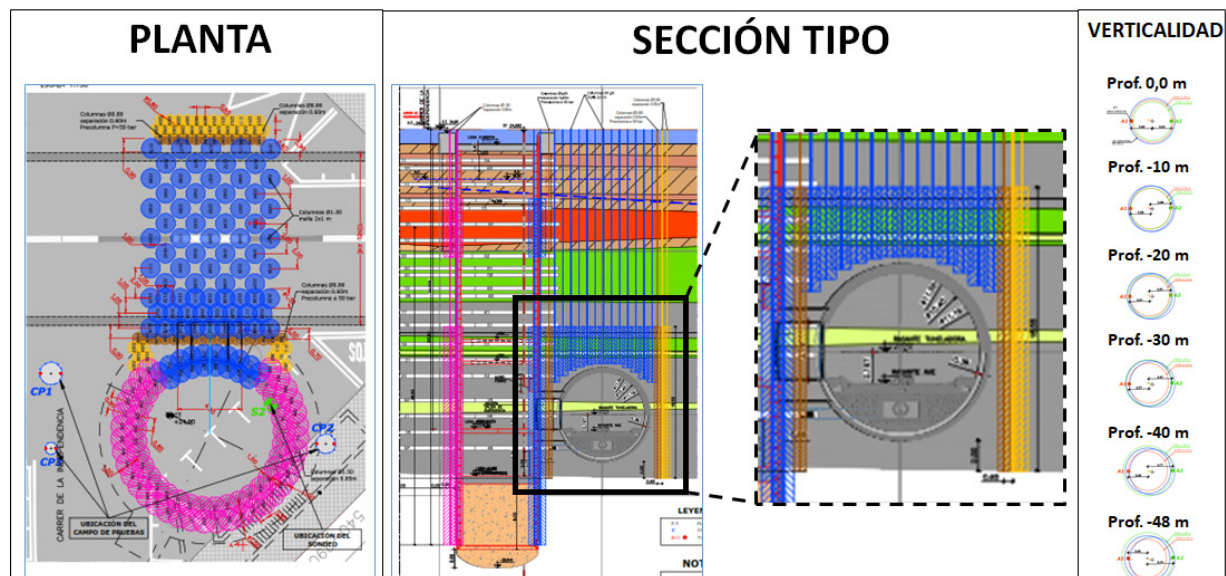


Figura 18: Planta y sección tipo de la obra; y esquema de evolución de la verticalidad con la profundidad.

3. Descripción columnas de grava off-shore.

Antes de describir los avances en la ejecución offshore de columnas de grava, es importante abordar algunos de los métodos convencionales.

Posiblemente el método más antiguo, consiste en la colocación de un colchón o lecho de grava en el fondo marino, que posteriormente, y mediante el uso de vibradores en vía húmeda y sin descarga interna de grava, se atravesaba con todo el varillaje de modo que la grava pudiera caer en la cavidad generada durante el avance del vibrador en profundidad. En la Figura 19a se muestra un esquema de este método.

Uno de los métodos más utilizados, y que representó un importante avance en su momento, consiste en la “alimentación de grava de forma mecánica” o utilización del Hopper Method. En este caso es habitualmente necesario el uso de dos barcasas; una para la grúa con el vibrador colgado de una grúa auxiliar, y la segunda con el acopio de grava y una excavadora de brazo extensible que alimenta la tolva en lo alto del vibrador.

Entre la tolva y el vibrador se puede ver una cámara de doble compartimento donde una mezcla de aire comprimido y grava es usada para transportar la grava hasta la punta del vibrador. Posteriormente la grava se compacta de la manera habitual subiendo y bajando el vibrador. Éste método viene ilustrado en la Figura 19b.

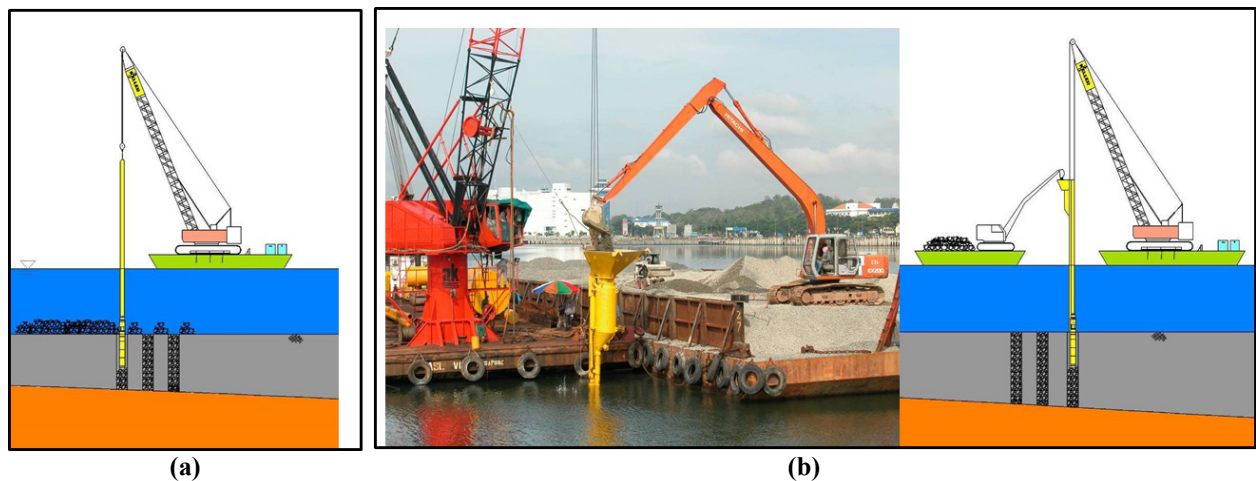


Figura 19: Sistemas convencionales de ejecución de columnas de grava en el mar (offshore): (a) método de colchón de grava en lecho marino, (b) método de alimentación de grava en forma mecánica.

El desarrollo tecnológico más reciente de equipos especiales para columnas de grava ha permitido el tratamiento de grandes profundidades de suelo blando, tanto en obras marítimas como en tierra.

En la Figura 20a se muestra un sistema de ejecución que representa una nueva generación de desarrollo. Se trata del “sistema alpha hidráulico”, constituido por un circuito para impulsar la grava por bombeo, hasta una cámara de descarga conectada al tubo alimentador por donde discurre la grava hasta su vertido final en el suelo por la parte inferior del vibrador.

La Figura 20b muestra el “sistema alpha mecánico”, donde la grava es depositada por una pala cargadora directamente en la tolva del equipo. Tras rellenar la tolva con grava, ésta se eleva mediante cables de acero hasta la parte superior del tubo de alimentación, desde donde se vierte hasta salir por la parte inferior del vibrador.

En ambos sistemas alpha (hidráulico y mecánico), todo el varillaje compuesto por la tolva, el tubo de alimentación y el vibrador, suele acoplarse al brazo una grúa, para permitir la ejecución de tratamientos a profundidades de hasta 60 m, aproximadamente.

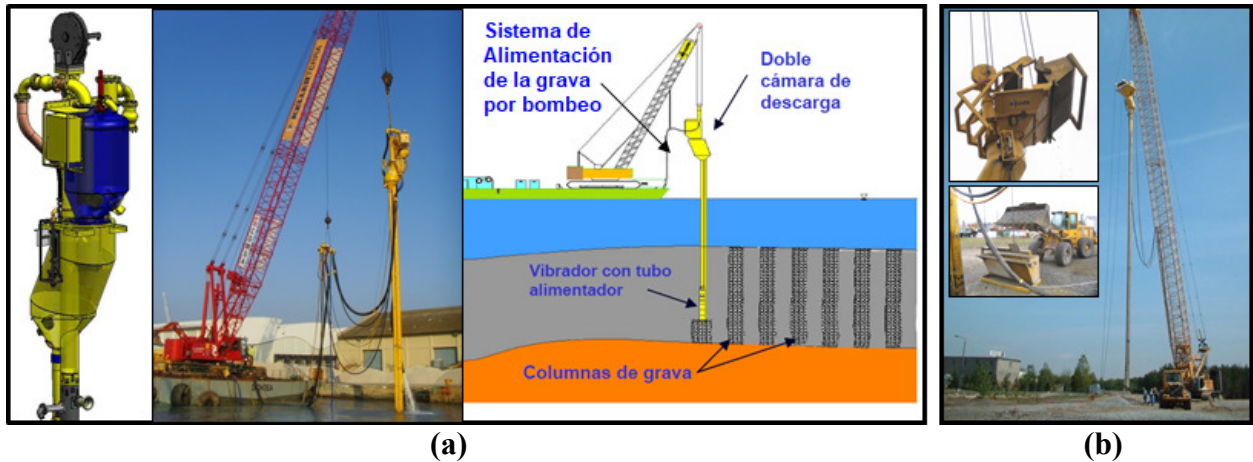


Figura 20. Sistemas S-Alpha: (a) hidráulico y, (b) mecánico.

3.1. Nuevo sistema S-Alpha Dive.

Como parte del desarrollo continuo de la nueva generación de equipos de columnas de grava offshore, se ha alcanzado unas importantes mejoras sobre el sistema Alpha hidráulico.

En la Figura 21 se muestra el nuevo sistema “S-Alpha hidráulico Dive”, el cual consiste en un sistema capaz de sumergirse en el mar hasta una profundidad máxima de unos 25 m aproximadamente, permitiendo reducir el peso efectivo de todo el sistema y así facilitar la ejecución de tratamientos más profundos de columnas de grava con alimentación en punta (por vía seca), de hasta aproximadamente 70 m de profundidad, mejorando notablemente las condiciones de ejecución de todo el sistema. La posibilidad de sumergir el sistema también facilita la optimización de la capacidad requerida por las grúas e incrementa la productividad.

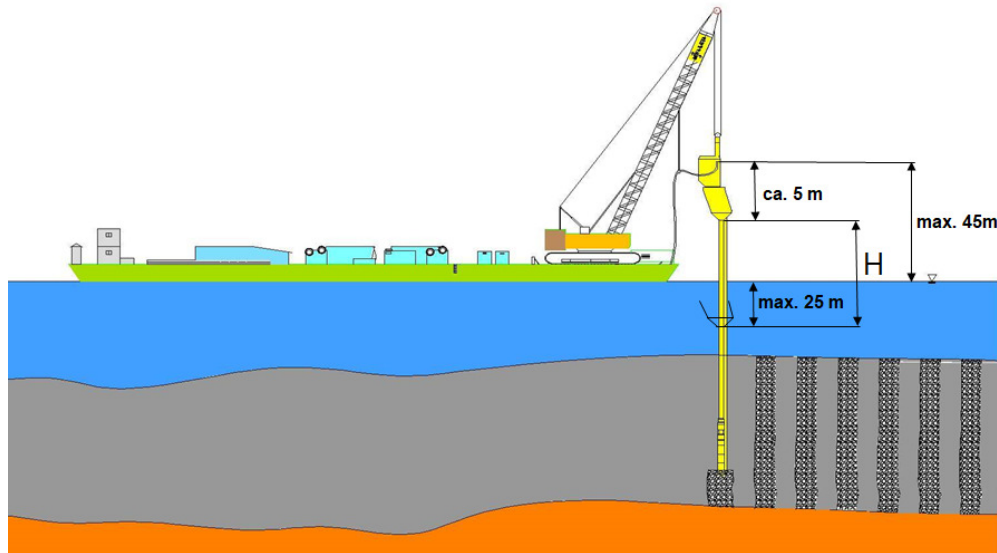


Figura 21: Nuevo sistemas S-Alpha Dive para columnas de grava en el mar (offshore).

Uno de los aspectos más importantes del sistema “S-Alpha hidráulico Dive” consiste en la obtención de una integración compacta de todos los componentes del sistema de alimentación e impulsión de la grava hasta el vibrador.

Como puede observarse en la Figura 22, en una sola estructura tipo contenedor de aproximadamente 12 m de longitud, donde se sitúan las bombas de impulsión de la grava, la tolva de acumulación y dosificación de los volúmenes de grava aportadas al vibrador, así como una sala de control donde se encuentran los paneles que muestran los parámetros de más importantes del sistema de alimentación. Adicionalmente, se

considera otro contenedor de menor longitud donde se colocan compresores, bombas auxiliares y un generador.

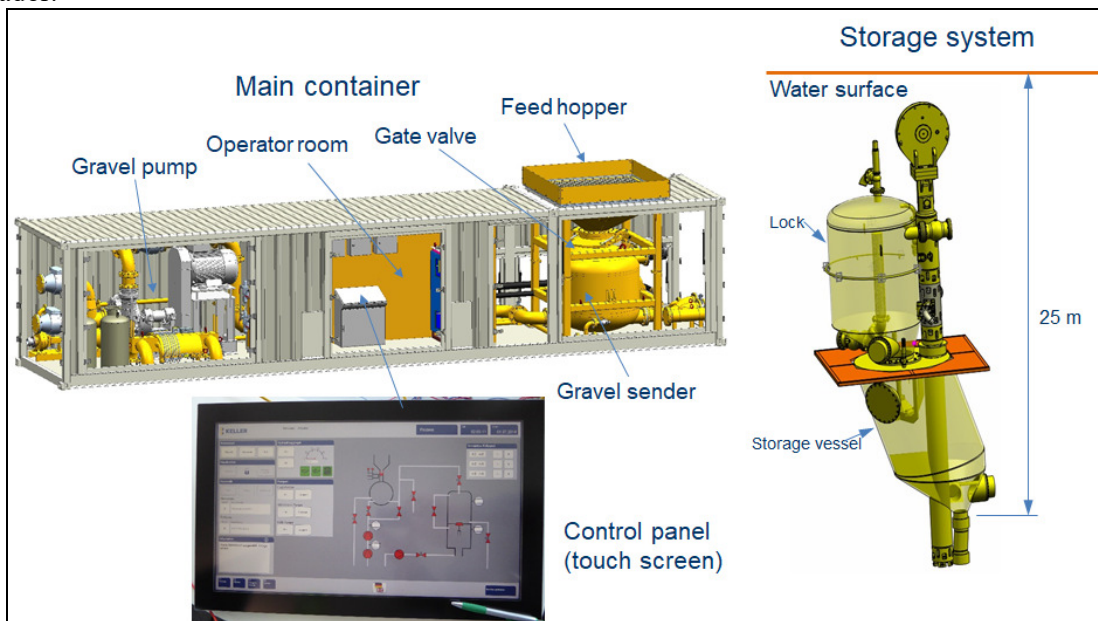


Figura 22: Nuevo sistemas S-Alpha Dive para columnas de grava en el mar (offshore).

El hecho de poder reducir el espacio y peso de toda la infraestructura necesaria, permite que el sistema requiera de barcasas o pontonas de reducidas dimensiones.

En el procedimiento de ejecución mediante este nuevo sistema, es necesario el empleo de una grúa auxiliar que transporte la grava desde su sitio de acopio general hasta la tolva situada en el contenedor principal. En algunos casos el acopio y la grúa auxiliar pueden estar en el lado tierra, y cuando los tratamientos se sitúan mar adentro, dicho acopio debe ser situado o bien en la barcaza principal o en una barcaza auxiliar.

3.1.1 Aplicación práctica del nuevo sistema S-Alpha Dive.

Con el objetivo de ilustrar el uso del nuevo sistema S-Alpha Dive, en la Figura 23 se muestra una vista en planta y sección tipo de un tratamiento mediante columnas de grava offshore, para la cimentación de un estribo correspondiente al puente de San Ignacio, a construirse sobre la ría de Bilbao (España).

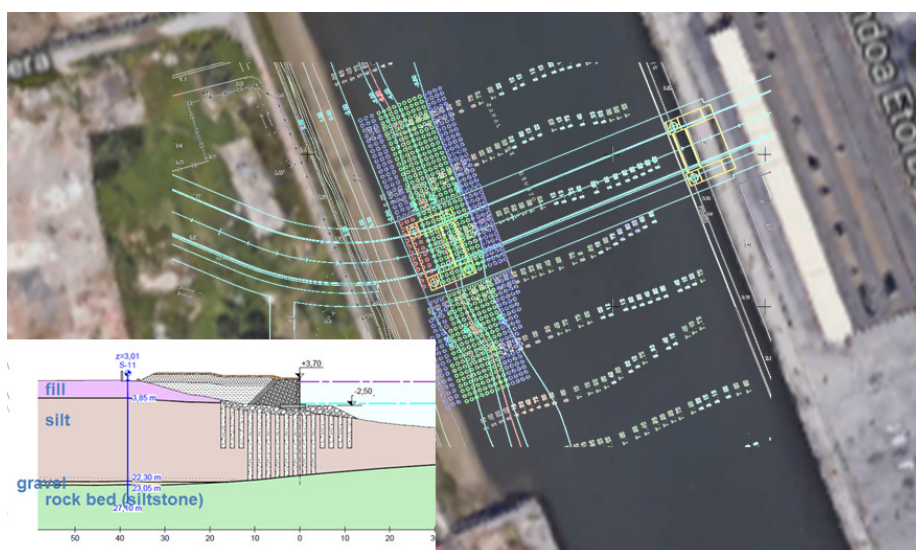


Figura 23: Planta y sección del tratamiento.

La Figura 24 muestra tanto el contenedor principal como una vista en planta de la barcaza empleada para la ejecución de la obra, que en este caso ocupaba una superficie de aproximadamente 470 m².

En las Figuras 25 y 26 se muestran fotografías del entorno de la obra, donde puede verse la grúa auxiliar situada próxima al acopio general de grava, en el lado tierra, y se observa la operación de transporte de grava hasta la tolva principal del sistema situada en el contenedor.

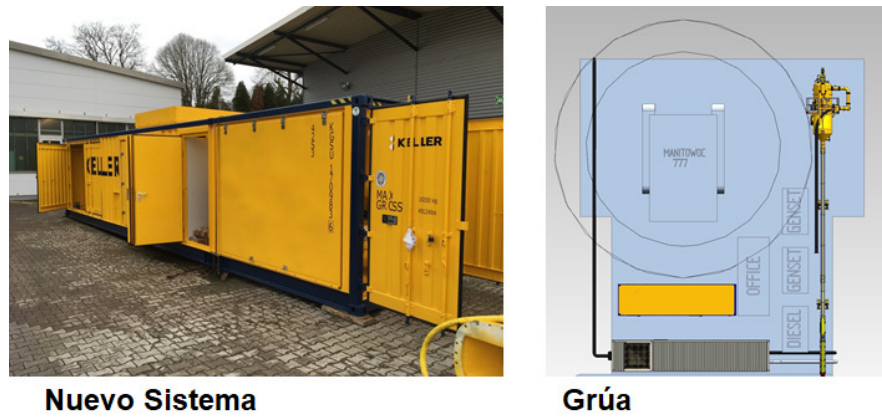


Figura 24: Contenedor principal del sistema y vista en planta de la barcaza.



Figura 25: Fotografía aérea del entorno de la obra.



Figura 26: Fotografía aérea del entorno de la obra.

Es importante indicar que con este nuevo sistema se consigue un flujo o alimentación de la grava más continuo que el obtenido mediante los métodos convencionales, debido al sistema de impulsión continua localizado en el contenedor principal, el cual se emplaza a pocos metros de la grúa principal que sostiene al sistema de tubos conectados al vibrador.

En la Figura 27a se muestra un registro tipo de la ejecución de columnas de grava offshore mediante sistemas convencionales. En este caso, puede observarse que el equipo vibrador desciende hasta la profundidad deseada, y a continuación en fases sucesivas va incorporando grava y compactándola, para lo que debe esperar unos lapsos de tiempo determinados al finalizar cada fase de compactación de grava correspondiente al volumen de aportación en cada fase.

En la Figura 27b, se muestra este procedimiento mediante el uso del nuevo sistema “S-Alpha Dive”. Puede observarse que la fase de penetración del equipo en el terreno es similar, pero en la fase de alimentación de la grava y su compactación con el vibrador se obtiene un proceso continuo. Estas mejoras suponen un importante incremento de productividad, y por tanto reducciones de plazos de ejecución.

En ambos casos, los parámetros de ejecución se registran de forma continua y automática a partir de los sistemas de monitorización. Asimismo, en ambos casos se emplean sistema de posicionamiento GPS con el objetivo de conocer la posición de cada punto de tratamiento con la mayor precisión posible.

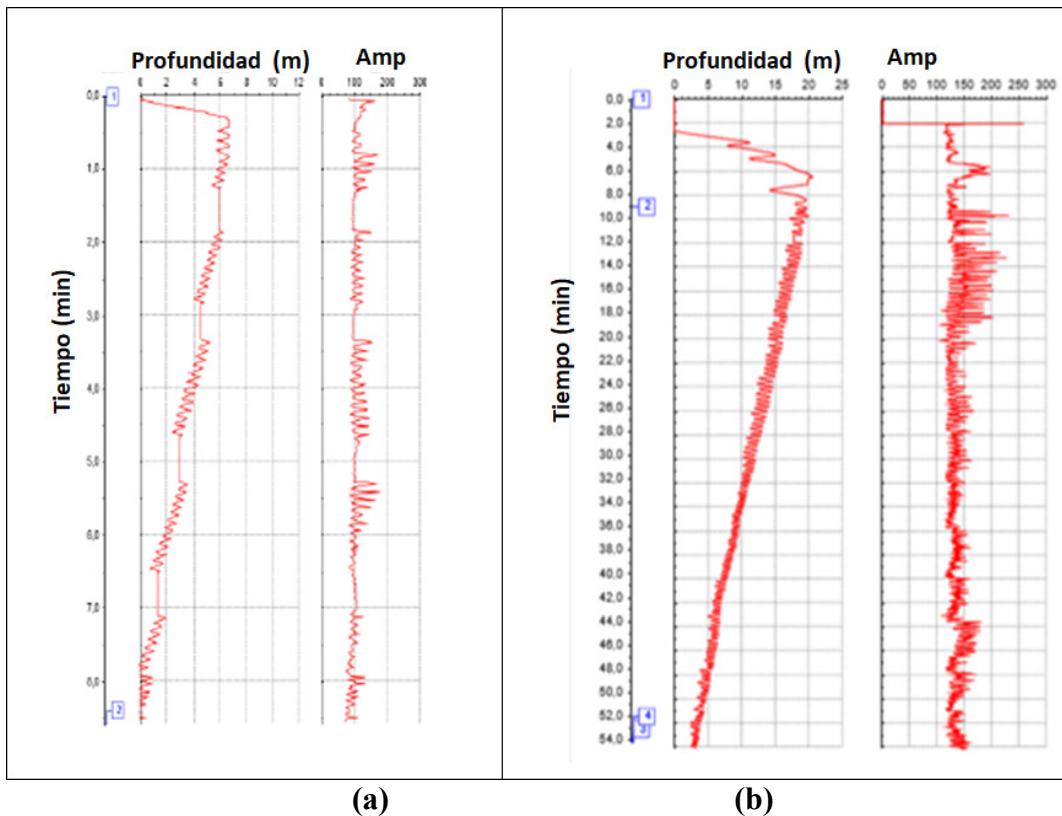


Figura 77: Registro de parámetros: (a) sistema S-Alpha convencional, (b) sistema S-Alpha Dive.

4. CONCLUSIONES

A modo de resumen pueden resaltarse las siguientes valoraciones finales:

- Se han presentado avances significativos en las tecnologías de ejecución y control de tratamientos de Jet Grouting y columna de grava offshore, que permiten notables aumentos de productividad, control de calidad y reducción de plazos.
- Para la ejecución de tratamientos mediante la técnica de Jetgrouting se cuenta con equipos capaces de alcanzar profundidades de más de 50 m. Gracias a un varillaje más robusto, es posible obtener desviaciones muy reducidas, incluso menores al 1%. Estas desviaciones pueden ser medidas y controladas con mucha precisión y rapidez gracias al sistema inclinométrico INCLIJET®.
- El desarrollo de las potentes bombas con caudales de inyección superiores a 600 lts/min, junto al avance de los nuevos monitores ha podido incrementar la eficiencia del proceso de erosión e inyección, aumentando la efectividad del sistema para obtener columnas de mayores diámetros y mayores calidades.
- El sistema acústico ACI® permite comprobar los diámetros de columnas de Jet Grouting a partir de un análisis y ajuste continuo de los parámetros de ejecución y su influencia en los resultados obtenidos en las columnas.
- El sistema ACI es un método de “evaluación no destructivo” con enormes ventajas, ya que evita el procedimiento convencional de realizar y excavar varias columnas de prueba para comprobar los diámetros alcanzados en cada capa o tipo de suelo, lo cual supone una optimización económica y de plazos. Este sistema es especialmente favorable en los casos donde se requiere realizar columnas de Jet Grouting de pruebas localizadas en zonas donde no pueden ser

excavadas debido a su gran profundidad o situación de espacios limitados, así como en los casos de suelos estratificados.

- La ejecución de columnas de grava offshore ha evolucionado hacia un sistema denominado S-Alpha hidráulico Dive” que es capaz de sumergirse en el mar, alcanzando mayores profundidades (hasta 70 m, aprox), y la optimización del espacio ocupado por la infraestructura necesaria, así como la optimización de la capacidad requerida por las grúas auxiliares. Asimismo, mediante este nuevo sistema se obtiene una alimentación continua de la grava que mejora los plazos de ejecución.
- Estos sistemas pueden aplicarse tanto en obras marítimas como en tierra, y cuentan con la última tecnología en vía seca y descarga en punta (Bottom-feed system), con sistemas informáticos de adquisición y procesamiento de datos de cada columna, registrando en tiempo real la duración de ejecución, la profundidad, el consumo de grava y la intensidad de energía consumida para el control de compactación de la grava.

Bibliografía

Arroyo, M., Gens, A., Croce, P., Modoni, G. (2007). Infor-mes Sobre Tratamientos de Jet Grouting. ADIF LAV Madrid-Barcelona-Francia. Report UPC University.

Croce, M., Flora, A., Modoni, G. (2014). Jet Grouting Tech-nology, Design and Control, pp. 60-61, pp. 238.

EN 12716 (2001). Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Jet Grouting.

Frappin, P., Morey, J. (2001). Jet grouting column diameter measurement using the electric cylinder method. Travaux: Sols et fondations, pp. 55-60.

Getec, M., (2004). Messchirm Anleitungen. Keller Grund-bau Report.

Kirsch F. (2006). “Vibro stone column installation and its effect on ground improvement”. In Proceedings of Numerical Modelling of Construction Processes in Geotechnical Engineering for Urban Environment, Bochum, Germany, 23-24 March 2006. Taylor and Francis, London: 115-124.

Kirsch K. y Kirsch F. (2010). “Ground Improvement by Deep Vibratory Methods.” Spon Press.

Massarsch K. (1991). “Deep Soil compaction Using Vibratory Probes in Deep Foundation Improvement”. STP1089 ASTM.

Meinhard, K. Lackner, R. Mang, H., Adam, D. (2007). Thermisches Berechnungsmodell zur Reichweitenermittlung von DSV-Säulen. ÖIAV Viena, pp. 535-546.

Priebe H. (1995). “Design of vibro replacement”. Ground Engineering 28(10): 31-31.

Tamura, M., Futaki, M., Abe, A. (1996). Use of non-destructive method for evaluation of reclaimed soil column. In Proceedings 2nd International Conference of Ground Im-provement Geosystems, vol 1.Tokio. pp. 659-669.

Wehr, W.J. y Bergmann, B. (2009). Vibro Replacement for Large Depths with the Alpha-S Lock System. Technical Report 12-56 E. Publicación Keller.

Zapico, F., Armijo, G. (2014). Diseño de tratamientos con jet grouting en función de las energías específicas de perforación e inyección. Máster en Mecánica de Suelos e Ingeniería Geo-técnica, CEDEX. (1) Apellidos, Inicial del autor. (Fecha de publicación). Título (edición). Lugar de publicación: Casa editora.