



COSTA FORTUNA

ingeniería de fundaciones

HIDROFRESA

**MURO DIAFRAGMA Y PILOTES
BARRETE EN ROCA**



Costa Fortuna Fundações e Construções

Costa Fortuna Fundações e Construções Ltda opera en el mercado de fundaciones y contenciones, y actúa bajo la filosofía del desarrollo empresarial basado en colaboraciones sólidas, en una buena atención al cliente, en la seriedad y, sobre todo, en el respeto a sus clientes.

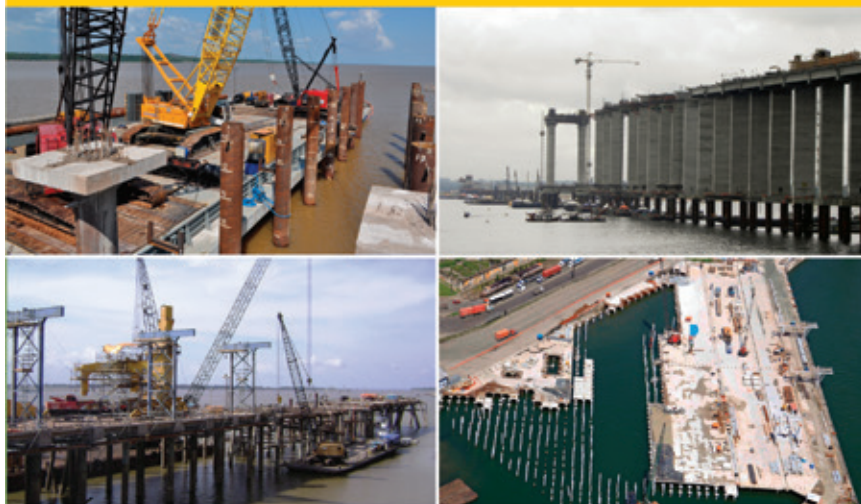
Con un cuadro técnico compuesto por ingenieros y geólogos especializados, **Costa Fortuna** va más allá de una simple prestación de servicios de cimientos y actúa como una verdadera sociedad para sus clientes, buscando siempre las mejores soluciones técnicas para la ejecución de los proyectos.

Utilizando técnicas avanzadas de ingeniería de cimientos, **Costa Fortuna** está preparada para ejecutar servicios de pilotes excavados de gran diámetro, pilotes tipo barrete, pilotes raiz, pilotes de hélice continua, hincado de pilotes metálicos, diafragma de pared, tirantes, geodrenes, jet grouting, columnas de grava, solo grampeado e rebajamiento con pozos profundos, así como servicios para obras fluviales y marítimas como pilotes excavados en lámina de água com camisa metálica perdida, hincado de pilotes de hormigón pre-moldado e mixtas e pilotes excavados engastados en roca con el uso de circulación revertida.

Costa Fortuna actúa en el mercado internacional con su socio **Costa Fortuna de Uruguay** y e buscal de forma continua su expansión en el mercado en el sector de fundaciones e contenciones especiales.



MURO DIAFRAGMA EN ROCA MEDIANTE USO DE HIDROFRESA



FUNDACIONES ESPECIALES EN OBRAS MARÍTIMAS Y FLUVIALES



FUNDACIONES ESPECIALES Y GEOTECNIA

HIDROFRESAS

Muro diafragma en roca

1. INTRODUCCIÓN

En grandes centros urbanos y en áreas industriales, resultan evidentes y abundantes las dificultades de construcción cuando se trata de obras de grande porte. Los proyectos conciben artificios ejecutivos ajustados a lo que hay disponible en el escenario regional. Por ese motivo, a veces se planean y utilizan técnicas que no siempre satisfacen a todos los involucrados en el emprendimiento.

Hidrofresa es una herramienta ahora realista, que está siendo utilizada en proyectos en Brasil y que puede satisfacer la creciente demanda de los servicios de perforaciones profundas con el nivel de satisfacción pretendido. El objetivo principal de este trabajo es la descripción y la aplicación de esta nueva técnica ejecutiva para pilotes barrete y muros diafragma, demostrando así, de la forma más sucinta y

clara posible, la metodología ejecutiva de esta tecnología, así como la presentación del primer y mayor emprendimiento concluido en muro diafragma estructural y pilotes tipo barrete en Brasil.

El objetivo secundario es abrir un foro donde debatir los parámetros y normas hoy utilizadas en Brasil en relación a los posibles avances que pueden obtenerse con esta nueva tecnología.



Imagen 1- Conjuntos de gruas e hidrofresas utilizadas para la construcción de muro diafragma en roca - Salvador - BA

2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA X CONCEPTO DE MURO DIAFRAGMA Y PILOTES BARRETE



Imagen 2 - Obra en São Luiz, MA - Conjunto de hidrofresas Casagrande FD60 y FD30



Imagen 3 - Obra en San Luiz, MA - Conjunto de hidrofresas Casagrande FD60.

Situación Pre-Hidrofresa NBR 6122/2010

Los muros diafragma son elementos estructurales concebidos para la contención de excavaciones importantes que impliquen empujes de tierra, agua y sobrecargas de utilización en estas estructuras. Se construyen en segmentos tangentes para poder crear un muro continuo que ofrecerá un excelente soporte estructural a largo plazo. Los muros diafragma en hormigón armadoldeado in situ son diseñados teniendo en cuenta una limitación de fck de projeto en 20 Mpa y factores de reducción de resistencia altos, 1,9. Los pilotes barrete son elementos o láminas aisladas de muro diafragma diseñados para soportar grandes cargas axiales, horizontales e ímpetu en su parte superior. Así como para las estaciones, son dimensionadas para absorber el 80% de la carga en su atrito lateral, impuestos por su proceso ejecutivo convencional.

Situación Hidrofresa Desarrollo

La técnica ejecutiva de la hidrofresa, debido a sus avanzadas y confiables técnicas de ejecución en la fabricación de estos productos, tales como la introducción de juntas secantes, uso de lodo constantemente limpio y reciclado y alta precisión en las perforaciones, aspiración y limpieza eficaz de la punta central del taladro, entre otros beneficios podrá tal vez suponer grandes avances para tales premisas conceptuales del proyecto, volviéndose más optimistas y audaces. Con esta finalidad se abre un foro de discusión entre diseñadores y ejecutores sobre las mejoras de calidad y consecuentes resultados económicos que pueden obtenerse con esta técnica. La alta calidad obtenida mediante el uso de esta herramienta es real y palpable y será ampliamente debatida en este trabajo, junto con la presentación de un estudio de caso.

3. EQUIPOS QUE COMPONEN UM PROJETO DE EXCAVAÇÃO COM HIDROFRESA

Un proyecto de muro diafragma o pilotes barrete mediante el uso de hidrofresa concibe la misma maquinaria utilizada en los muros diafragmas convencionales, agregando componentes de refuerzo nuevos y cruciales.

Clam Shell

Esta herramienta consiste en un cuerpo robusto con un caparazón metálico con sección transversal rectangular. En la parte inferior tiene una mandíbula de corte con dientes de acero resistentes y capaces de desagregar y retener el sustrato terroso para que se agilicen las excavaciones.

Cuando las mandíbulas están cargadas o llenas de suelo excavado, la clam shell es llevada a la superficie y se descarga el suelo para que la herramienta pueda volver al área que está siendo perforada. En Brasil se utilizan dos tipos: el mecánico y el hidráulico. El mecánico está suspendido por cables de acero y el hidráulico está suspendido y guiado por barras especiales del tipo "kelly bar". Hoy en día se utilizan clam shells mecánicos en punta que alcanzan una alta precisión. Ambas herramientas pueden contener también mecanismos electrónicos.

Hidrofresa

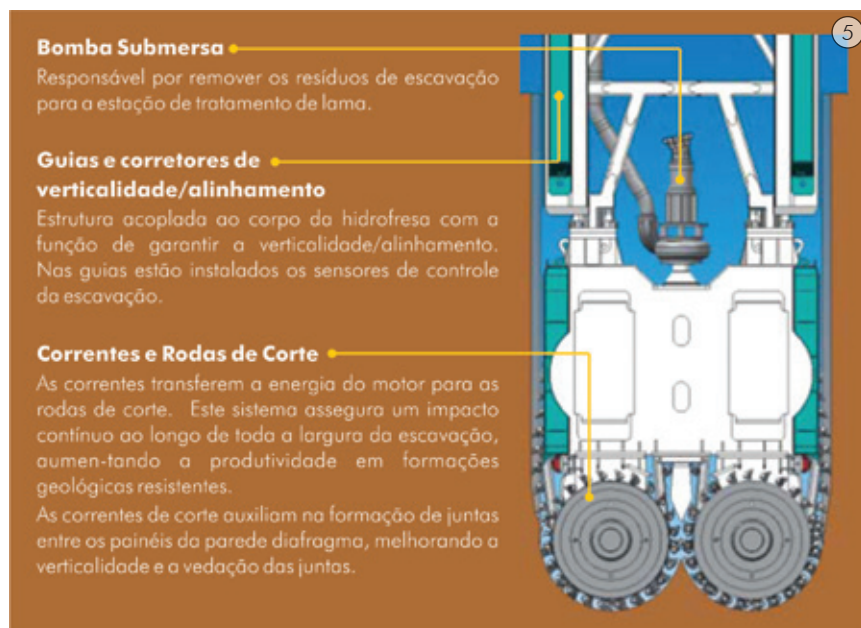
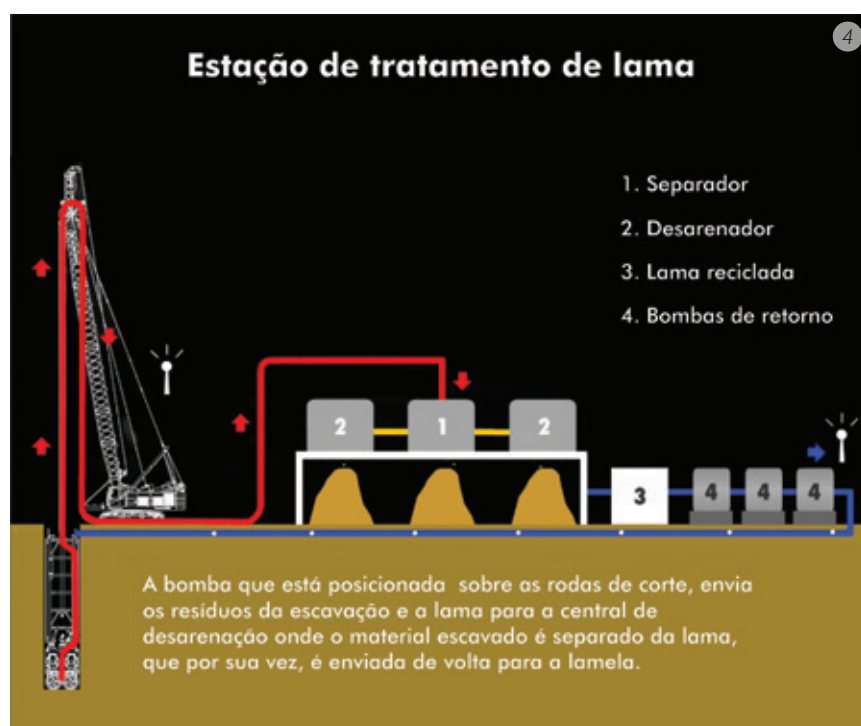
Este equipo consiste en una estructura de acero rígido, dos motores hidráulicos instalados en la parte inferior de la estructura que giran alineados en sentido horizontal y en direcciones opuestas, y una bomba hidráulica de alta capacidad de succión (400 m³/h). La herramienta está montada en una grúa sobre cintas transportadoras de gran porte y un propulsor movido a diesel con la potencia adecuada. También es posible accionarla mediante una unidad hidráulica instalada en la parte delantera de la grúa, proporcionando una mayor

versatilidad en su utilización.

Los motores hidráulicos accionan las herramientas de corte giratorias en la extremidad inferior de la herramienta con la ayuda del movimiento de las corrientes a muy alta velocidad. Las herramientas de corte, así como las corrientes, están dotadas de extremidades de corte (bits o puntas de tungstenio o vídea) capaces de desagregar

y escarificar materiales de alta resistencia, terrosos o rocosos. Estas extremidades de corte pueden ser sustituidas de acuerdo con el material que va a ser excavado y las demandas del proyecto.

El suelo y la roca son triturados por las ruedas de corte y las corrientes, quedan suspendidos en el fluido estabilizante de la



Imágenes 4 y 5 - Detalles de la circulación del lodo y del cuerpo de la hidrofresa



6



7



8



9

Imágenes 6 y 7 - Conjuntos de clam shell mecánicos e hidráulicos de alta precisión, Imágenes 8 y 9 - Conjuntos de hidrofresas Casagrande FD60 acopladas a grúas de alta potencia.

perforación y son inmediatamente y continuamente direccionados hacia el orificio central de la maquinaria, donde son aspirados a gran velocidad por la bomba hidráulica.

Al contrario de las metodologías convencionales, esta herramienta será retirada del orificio únicamente cuando se haya obtenido la cuota de punta estipulada para el proyecto. Esto se debe a su principio de funcionamiento, conocido como circulación reversa. Para ello se utiliza la maquinaria convencional, clam shell, que realiza la perforación inicial previa a la excavación con hidrofresa. Esta perforación es necesaria, debido a que mejora la condición de submersión de la herramienta principal para el funcionamiento de la circulación reversa.

Los residuos de la excavación que quedaron suspendidos en el fluido estabilizante son transportados a la central de tratamiento de fluidos. En esta fase, dichos residuos son

separados del fluido estabilizante, que a su vez, es devuelto al agujero tras haber sido limpiado y reciclado por el conjunto de bombas y se inicia un nuevo ciclo.

Central de tratamiento de fluidos

La central de tratamiento de fluidos está dotada de un desarenador de alta capacidad de caudal. Dicho caudal es compatible con la bomba de la hidrofresa para obtener una circulación continua de fluidos. Las cajas del reservatorio de fluidos tienen las dimensiones apropiadas para poder atender a la demanda de las excavaciones de la obra con una "sobre-reserva" del 50% del volumen teórico de los agujeros en excavación, bombas, pulmones y tuberías semi-rígidas para circulación de fluido también componen esta central.

La estación de tratamiento utilizada en la técnica de la Hidrofresa es similar a la utilizada en el tratamiento de residuos y desarenados de canales y ríos.

Cuenta con diversas etapas de separación de residuos en suspensión en el fluido estabilizante hasta reciclarlo completamente y esté apto para su uso. En primer lugar, se vuelca el material excavado en una caja de amortiguación cinética y cae en una criba de malla gruesa con una pendiente negativa al flujo y vibratoria de separación de material de granulometría gruesa como piedras de hasta 5cm de diámetro a gravilla (brita 0).

El material pasado a esta criba (fluido estabilizante + suelo (arenas, sedimentos y arcillas) es transferido al primer tanque de decantación por gravedad y localizado justo debajo de la criba más gruesa.

Con la ayuda de la bomba de circulación interna, el material introducido en este tanque es lanzado directamente al ciclón desarenador principal de la estación de tratamiento. Con la ayuda de la fuerza centrífuga, en este ciclo las partículas de arenas



10



11



12

Imágenes 10, 11 y 12 - Vistas de una central de tratamiento para dos proyectos de servicio concomitantes.



Imágenes 13 y 14 - Material rocoso separado del fluido por la primera etapa del proceso de limpieza.

Imágenes 15, 16, 17 y 18 - Ciclón desarenador primario y material mediano de descarte, conjunto de ciclones secundarios y material de descarte fino.

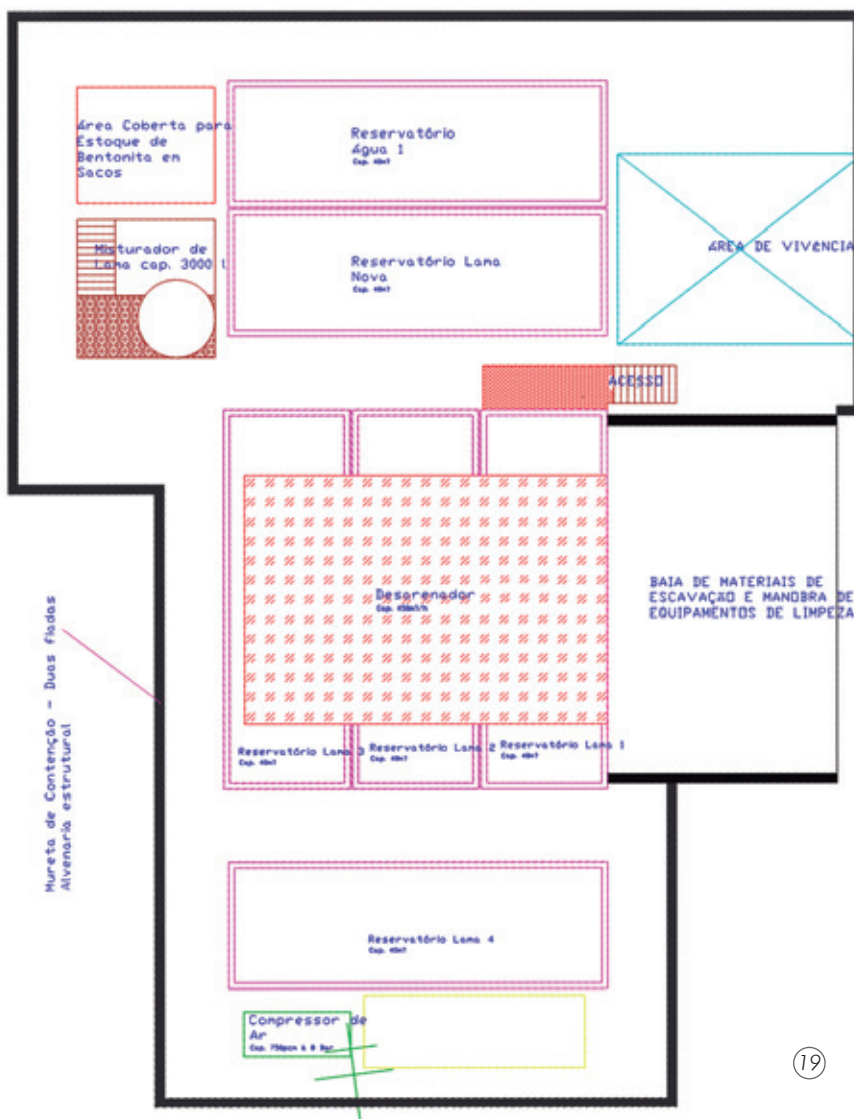


Imagen 19 - Planta de la central de tratamiento de lodo bentonítico

más pesadas (arenas gruesas y medianas) son separadas del fluido estabilizante, que a su vez es transferido a un nuevo tanque de decantación.

Los residuos de este proceso son vertidos en una segunda tanda de cribas vibratorias e descartados de forma análoga a la anterior.

El fluido estabilizante, junto con la arena fina, sedimentos y arcillas introducidos en el segundo tanque de decantación, es enviado, tras haber sido succionado de nuevo, al grupo de ciclones secundarios.

En esta fase toda la arena sobrante, las arcillas y los sedimentos incorporados al fluido son separados y descartados.

El fluido estabilizante sobrante, totalmente reciclado y libre de impurezas, es continuamente bombeado a la perforación que está siendo ejecutada.

El material de desecho, tanto suelo como roca, es rechazado por la central de tratamiento mediante las rampas de descarte. Este material puede ser echado tanto al suelo para su posterior recogida por retro-excavadoras pequeñas y camiones basculantes, como directamente a los camiones basculantes.

Instrumentación y control electrónico

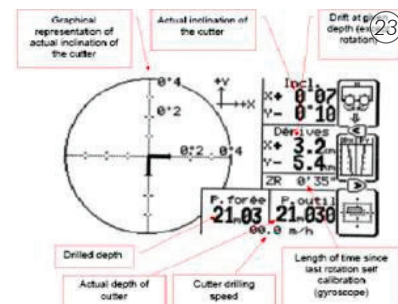
En adición a las herramientas descritas, la hidrofresa cuenta con un sistema completo de instrumentación informativa a bordo. Los sensores electrónicos incorporados al cuerpo de la herramienta registran toda la información pertinente a la

excavación que está siendo ejecutada:

- **El torque y la velocidad de progreso: Con este registro es posible identificar, en base** a los sondeos existentes, la naturaleza y dureza del material atravesado en tiempo real. Gracias a ello, es posible re-evaluar la paralización

o la continuidad de las perforaciones, a medida que se vayan colocando los pilotes y las láminas.

- **Registro y Control de Verticalidad:** se utiliza el sistema TARALOG® de la marca Jean Lutz, una herramienta muy valiosa en muros diafragma y estacillas. Gracias a esta tecnología, es posible evaluar, controlar y corregir posibles desplomes o pérdidas de verticalidad de la excavación en tiempo real.



Imágenes 20,21,22 y 23. Pantalla táctil multifuncional, cabina de operación, pantalla de control multifuncional y registro de perforación "en tiempo real".

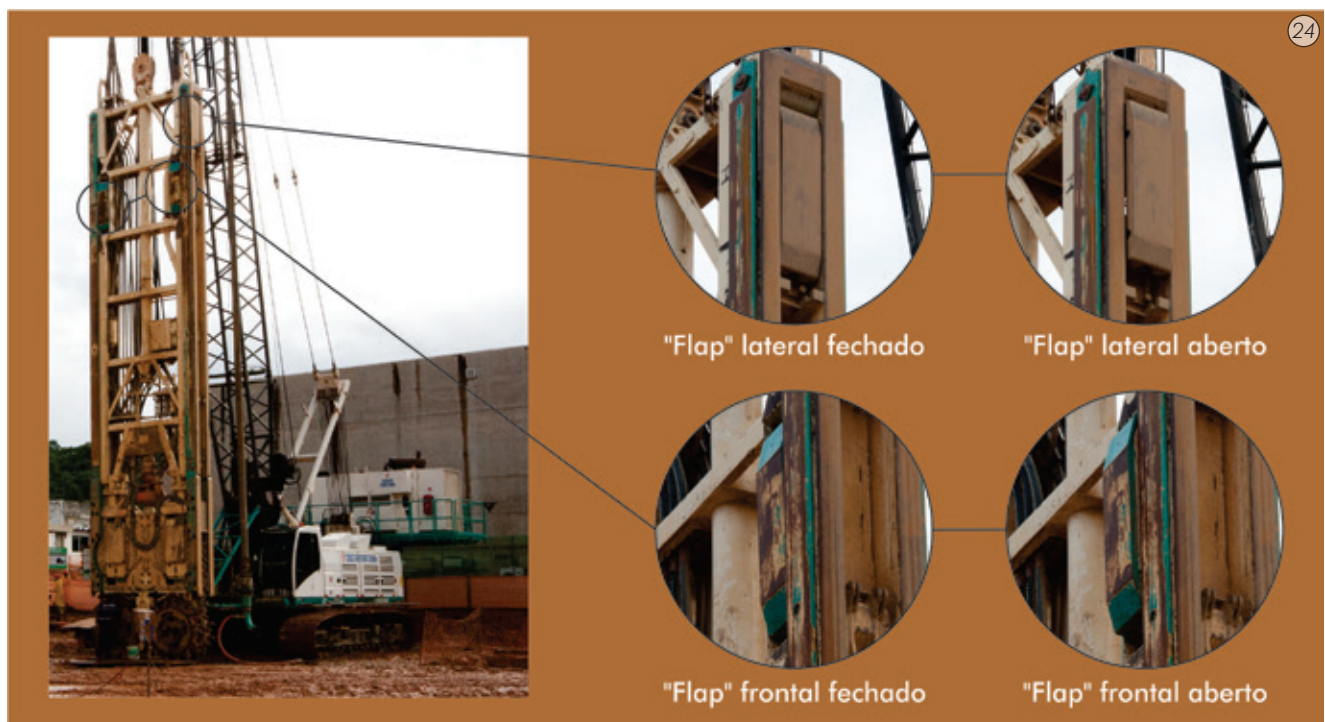


Imagen 24 - detalle del dispositivo hidráulico - "flaps"

Avances metodológicos

Otro grande diferencial al usar esta maquinaria para el proyecto, en comparación con lo existente hoy en Brasil, es la confección de juntas secantes sin la necesidad de instalar placas juntas totales entre los paneles o láminas adyacentes. De esta forma, el hormigón de la lámina adyacente es escarificado, dando como resultado una superficie rugosa que proporciona una excelente calidad cuando ésta es colocada entre el cemento fresco y el ya endurecido entre los paneles, minimizando así la posibilidad de filtrarse agua entre las juntas, y mejorando el desempeño estructural de la

contención, ya que al escarificar el hormigón se elimina todo residuo que pudiese quedar adherido a la junta.

Además de eso, las hidrofresas italianas utilizadas en Brasil, cuentan con otro diferencial para la confección de las juntas. Se trata de la confección de un rail longitudinal de hormigón escarificado a los paneles adyacentes prefabricados, obtenido a causa del alejamiento longitudinal de las corrientes de corte. En el cuerpo de la herramienta se instalan también unas piezas especiales tipo "guías-espaciadoras" que se deslizan a lo largo de los raíles recientemente

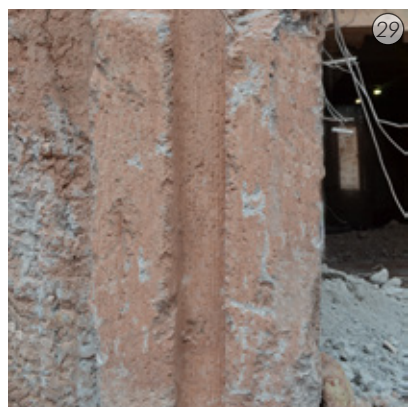
creados por la extremidad de corte de la herramienta.

Las armazones de paneles pueden ser proyectadas para que queden a menor distancia de la faz de excavación, 15cm en vez de los típicos 30cm, proporcionando así un mejor desempeño estructural a todos los elementos.

De esta forma, los proyectos en muros diafragma en los que se utilizará la hidrofresa contarán únicamente con paneles de apertura y cierre (primarios y secundarios), eliminando así los paneles secuenciales utilizados en las metodologías convencionales.



Imágenes 25, 26 y 27. Detalle de las corrientes alargadas y guías.



Imágenes 28 y 29. Detalle de las juntas secantes planas y dotadas de una regleta.

Especificaciones técnicas de las hidrofresas

		FD 30	FD 60
Profundidad de la excavación	m	50	125
Apertura del panel	mm	2500	3130
Espesor del panel	mm	600 ÷ 1000	700 ÷ 1200
Torque de las ruedas de corte	kNm	2 X 36	2 X 67
Rotaciones de la rueda de corte	rpm	0 ÷ 27	0 ÷ 31
Velocidad de la rueda de corte	m/sec	1,8	2,5
Altura manométrica máxima de la bomba de succión	m	28	40
Máximo escape de la bomba de succión	m ³ /h	400	450
Peso	t	25	33

4. ESTUDIO DE CASO - Primera obra de muro diafragma estructural mediante el uso de Hidrofresa en Brasil

Es de conocimiento general que el mercado de la construcción está en constante evolución, concentrándose cada día más en proyectos de obras urbanas, industriales y de infraestructura de porte siempre crecientes y dinámicas, que requieren la ejecución de obras subterráneas más profundas, y excavadas, en la mayoría de los casos, en suelos de alta resistencia y rocas.

Costa Fortuna, con el objetivo de cumplir con estas exigencias, fue la primera empresa brasileña en introducir las hidrofresas en nuestro mercado, la primera a finales del 2009 y las otras dos a lo largo del 2010.

Hidrofresa es un equipo que permite la excavación profunda de suelos de alta resistencia y rocas, consiste en una estructura de acero rígido, dos motores hidráulicos instalados en la parte inferior de la estructura y una bomba hidráulica de alta capacidad de succión. Este equipo está montado en una grúa sobre cintas transportadoras de gran porte y trae, en la parte inferior, el mecanismo de corte de la herramienta, constituido por corrientes que transfieren la energía propulsada por el motor a las ruedas de corte, ambas dotadas puntas de tungstenio o vídea, capaces de desagregar y escarificar materiales de alta

resistencia. El suelo y la roca son desagregados del macizo mediante las ruedas de corte.

Los residuos de la excavación quedan flotando en el fluido estabilizante y son aspirados a gran velocidad y de forma continua por la bomba hidráulica de succión y transportados a la central de tratamiento de fluidos. En esta fase, se eliminan los residuos existentes en los fluidos, y éstos últimos son devueltos al agujero de perforación limpios y reciclados.

Las hidrofresas cuentan con un sistema completo de instrumentación electrónica



Imagen 30 - Vista del conjunto de hidrofresa y armaduras en "T" introducido 35m dentro del agujero.



31

Imagen 31 - Vista de la Central de tratamiento de fluidos completa para dar soporte de forma simultánea a dos frentes de servicio en São Luiz - MA.

informativa a bordo, constituido por sensores eléctricos incorporados al cuerpo de la herramienta que registran todas las informaciones relativas a la excavación, tales como: torque, velocidad, progreso y, sobre todo, el control de verticalidad, utilizándose para ello el sistema TARALOG de Jean Luz que permite evaluar, controlar y corregir, en tiempo real, posibles desvíos o pérdidas de verticalidad en la excavación.

Las hidrofresas utilizadas por Costa Fortuna y fabricadas por Casagrande, importante empresa Italiana que fabrica maquinaria para servicios de geotecnia y fundaciones, poseen, a diferencia

de sus competidores, dispositivos hidráulicos adicionales (pistones suplementarios, con esquís o flaps) incorporados al cuerpo de la herramienta en dirección X e Y y que, una vez detectado el desvío del taladro (precisión de 0,1 grado) son accionados y funcionan como puntales de la herramienta para retomar la verticalidad necesaria. Aparte de esto, es posible ajustar la velocidad de rotación de los motores, controlándolos de forma individual, y siendo así posible retomar o alcanzar la verticalidad deseada con una mayor rapidez.

Otro gran diferencial de este equipo, en comparación con los clam shells mecánicos e

hidráulicos, es la posibilidad de confección de juntas secantes que sustituyen entre láminas de diafragma evitando la instalación de placas juntas.

De esta forma el cemento de los paneles adyacentes es escarificado, obteniendo así una superficie rugosa que proporciona una gran calidad a las juntas cuando éstas son colocadas entre el hormigón fresco y el ya endurecido, que sumado a la alta precisión de corte del equipo,



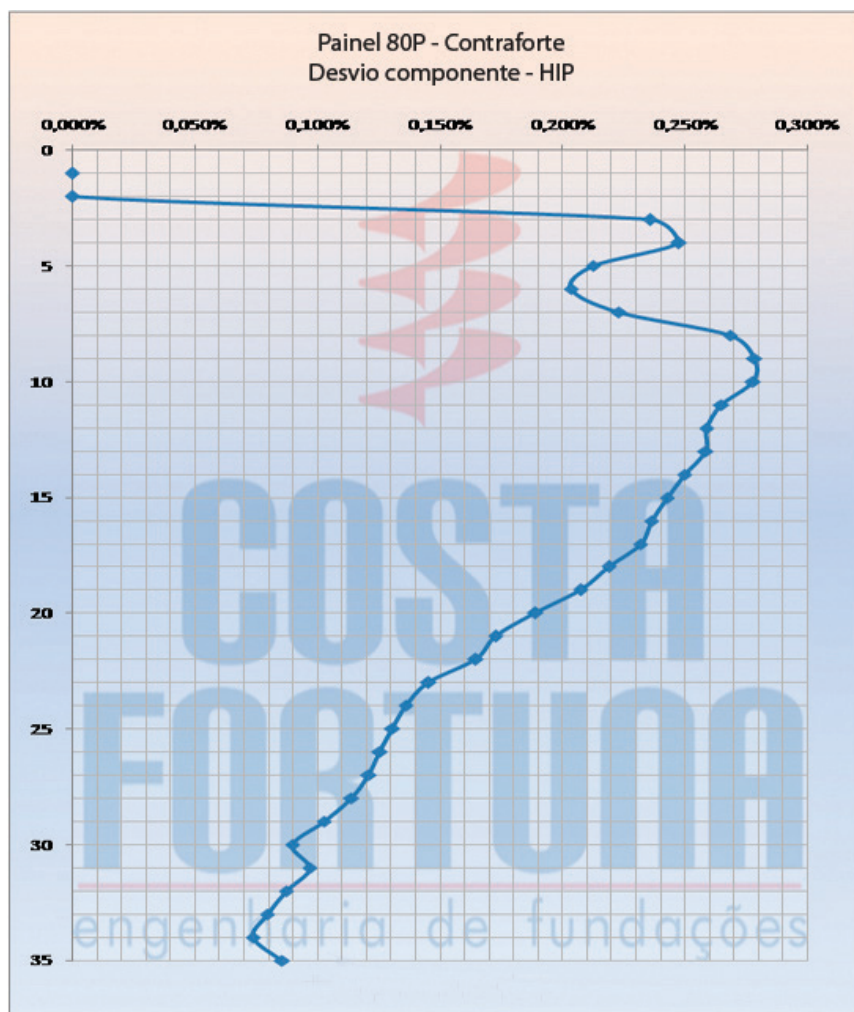
32



33

Imágenes 32 e 33 - Pantallas de la cabina de control de la grúa mediante control y registro electrónico de las perforaciones, y eficiencia del sistema en "real time".

Presentación de un caso específico de contenciones con muro diafragma utilizando hidrofresa.



Representación gráfica del desvío en el panel 80P en función de la profundidad.

Para la ampliación de las obras "Onshore" del terminal marítimo de Ponta da Madeira en São Luís do Maranhão, los cuatro nuevos viradores de vagones previstos fueron inicialmente proyectados adoptando una solución para contención de las excavaciones ya utilizada en la construcción de las estructuras anteriores, consistiendo en la utilización de pilotes excavados de gran diámetro y un muro interno moldeado in situ, cuya fabricación, aparte de ser lenta, tampoco daba garantía de verticalidad ni estanqueidad.

Para superar estas limitaciones, **Costa Fortuna** elaboró, junto con la ingeniería del cliente, diseñador y consultor, una solución alternativa que preveía la ejecución de un muro diafragma de 1,00m de espesor y 43m de profundidad, con contrafuertes y un espacio libre de 24,5m, para la contención de los volcadores y de las galerías de transporte de minério: los apoyos intermediarios, donde serán descargados los trenes



Imagen 34 - Grúa sobre las esteras hidráulicas con capacidad de 120 ton e hidrofresa Casagrande FD60.



Imagen 35 - Izamiento de armadura con 43m de extensión y peso de 43tf verticalizada y lista para introducción en el agujero.

con minerio fueron colocados en pilotes barrete en cruz, con 51m de longitud.

La adopción de esta solución utilizando los clams Shell convencionales no sería posible debido a las características del subsuelo, representado por horizontes de arcillas duras intercaladas con formaciones rocosas, constituidas por argilitos muy duros y siltitos compactos.

Gracias a la disponibilidad de Costa Fortuna para proporcionar tres equipos de hidrofresa para la obra, es posible ejecutar con

éxito el primer muro diafragma estructural con contrafuertes excavado en roca en Brasil.

Debido a la fiabilidad del proceso y del riguroso control de verticalidad realizado, fue posible montar las jaulas en un único elemento en T con 43m de extensión y un peso de 43tf, con una tasa media de acero de 180kg/m³, cuya posición en el agujero se consiguió utilizando simultáneamente dos grúas: una de 250tf y otro de 110tf.

Para la concretización de las láminas en T se utilizaron dos

tubos tipo "premiere", llegando a colocarse, en cada lámina y en el plazo de 5hs., un volumen de hasta 235 m³ de hormigón con fck, a los 28 días de los "innovadores" 30 Mpa.

Todas las excavaciones de las láminas fueron totalmente monitoradas de forma electrónica para comprobar la verticalidad y plomo en los ejes longitudinales, transversales y en giro de las herramientas, durante el avance en las camadas de argilitos; estos datos aparecen representados en el registro de salida del software utilizado y en los gráficos de análisis de los resultados de excentricidad a cada metro de excavación.

De esta forma, los desvíos representados en el gráfico hacen siempre referencia a la profundidad correspondiente al panel; en estos casos, es evidente la eficacia del sistema de corrección o retomada

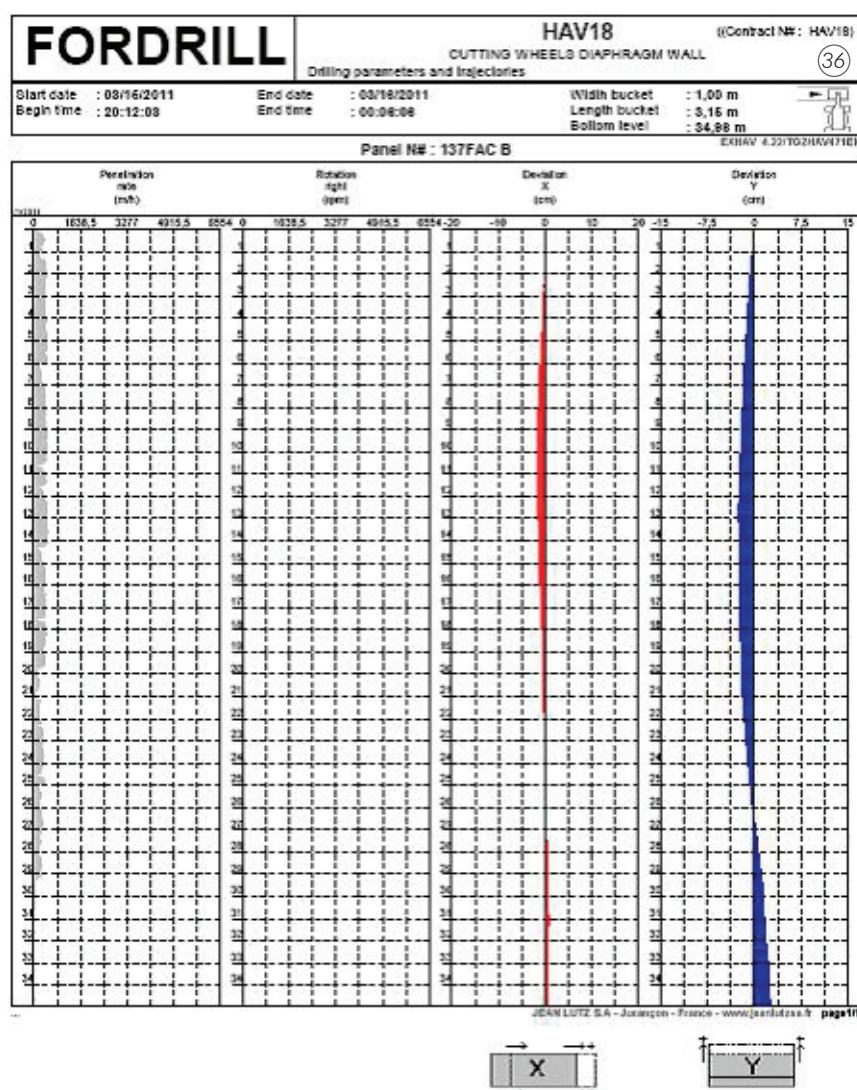


Imagem 36 - Informe gráfico de verticalidad con uso de equipos "real time".

Imagem 37 - Detalle de la guía metálica de la hidrofresa que proporciona un mayor nivel de arrimo para centralizar y guiar la herramienta.



Médias dos Desvios Percentuais da Obra Global			
Desvios	Escavação		Média Global
	Face	Contraforte	
Máximos	0,212%	0,217%	0,214%
Mínimos	0,031%	0,036%	0,033%
Médios	0,091%	0,102%	0,096%

vertical, proporcionado por la hidrofresa, mediante la operación de manipulación de la rotación de los motores hidráulicos, así como el uso de los "flaps" laterales del arrimo del cuerpo de la herramienta, posibilitando la inversión del desvío de la herramienta y garantizando una media de desvíos porcentualmente baja, conforme se demuestra en la tabla a continuación:

En conclusión, la precisión media de la obra fue superior a 0,1%, o sea, a cada metro de excavación, la herramienta desviaba 1,0mm, resultado muy expresivo que consagra la utilización de este equipo, abriendo horizontes de

aplicación impensables hasta hace algunos años.

En total fueron realizados 30.000m² de muro diafragma y pilotes barrete, alcanzando así metas de producción muy elevadas y constantes, rondando los 5.600m² por mes con dos equipos operando.

A día de hoy la obra ya está totalmente excavada y en plena actividad hasta la cuota de profundidad a -29,50, con un espacio libre de 24,55m, mostrando un gran desempeño estructural, lo que confirma los grandes avances en la calidad de los muros diafragma

con hidrofresa, cuya utilización proporciona una alta precisión de verticalidad y plomo de las perforaciones, menores consumos de hormigón, juntas secantes con mejor estanqueidad y una excelente limpieza en el fondo de las excavaciones.

Esta última condición propicia mejores garantías de contacto entre el hormigón y el sustrato natural no deformado, ofreciendo la posibilidad de pensar en proyectar pilotes barretes o láminas con capacidad de absorber de carga superior al 20% (veinte por ciento)



Imagen 38, 39 y 40 - Fotos del fin de las excavaciones y exposición de muros diafragma y barretes, en plena actividad estructural.

