

RECOMENDACIONES TÉCNICAS

MEJORAMIENTO DE SUELO

— Se trata de un método constructivo que busca proteger y mantener firmes las estructuras en diversos eventos. Técnicas que se han implementado en diferentes obras del país para asegurar y mejorar el tratamiento de suelos.

PATRICIA AVARIA R.
PERIODISTA REVISTA BIT

E

L MEJORAMIENTO de suelo consiste en la modificación de una o varias características del suelo a partir de su condición natural. Este puede desarrollarse temporalmente para permitir la construcción de una obra o puede ser una solución permanente que aborda el adecuado comportamiento y/o estabilidad mecánica de una obra. Entre las propiedades o características del terreno que comúnmente se desean mejorar están: la rigidez, resistencia, velocidad

de consolidación, asentamiento sísmico, reducción de hinchamiento, reducción de colapso y permeabilidad, entre otras. En general, el mejoramiento de suelos se realiza a través de una acción física, como la aplicación de una vibración o mediante la inclusión o mezcla en el suelo de otro material.

En el caso de estructuras de cimentación, usualmente los tratamientos de mejora del suelo se enfocan en mejorar la capacidad portante del terreno, de modo que la superficie existente pueda absorber convenientemente las cargas transmitidas por las



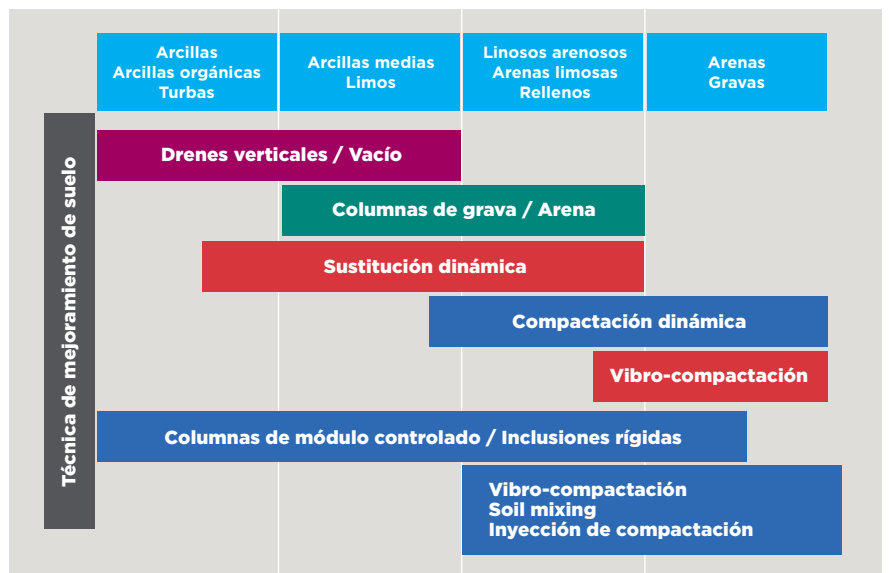


GENTILEZA SOLETANCHE BACHY

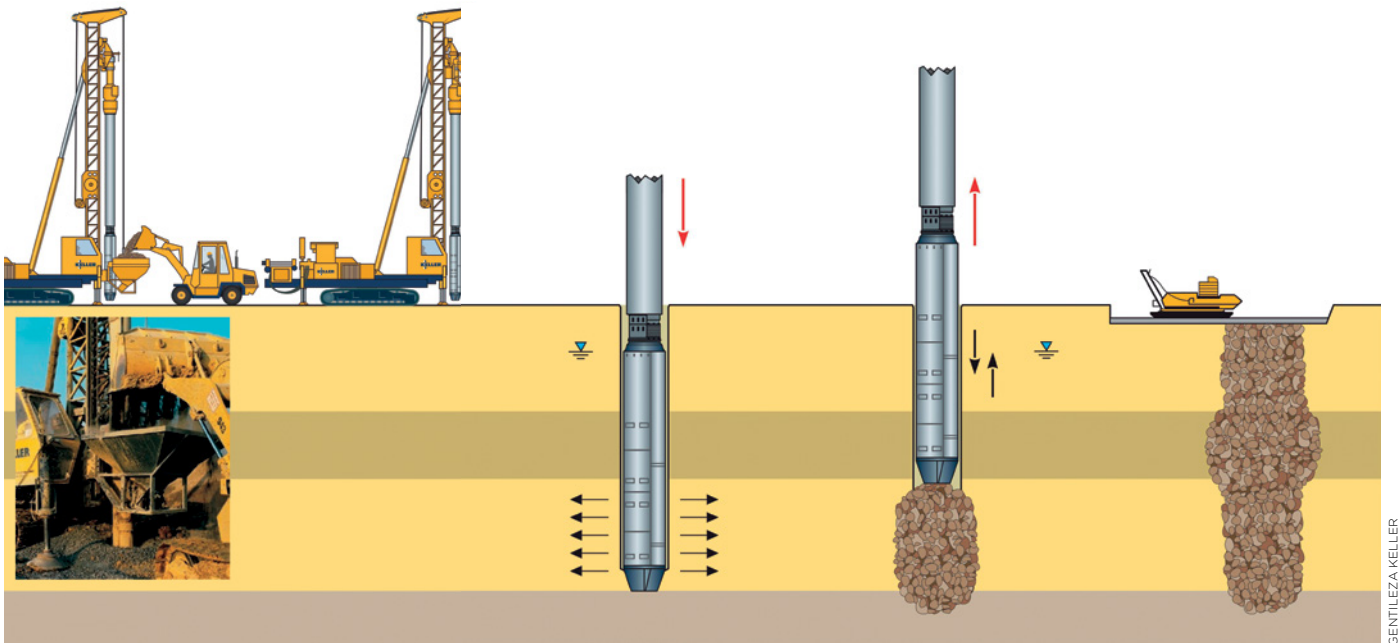
estructuras a través de las fundaciones. El objetivo, muchas veces, también es controlar los asentamientos que se producirán en las estructuras, ya sean asentamientos totales o diferenciales, para mantenerlos dentro de los rangos admisibles para cada tipo de estructura. Otras veces lo que se pretende es reducir la permeabilidad de un suelo o mejorar las condiciones de estabilidad en taludes y excavaciones. Para el caso de Chile, la mitigación del riesgo de licuación o licuefacción de los suelos, fenómeno recurrente asociado a los eventos sísmicos característicos de la zona, es un factor a tener en cuenta a la hora de plantear un tratamiento de mejora del suelo, además de los requerimientos anteriormente citados.

TÉCNICAS

De acuerdo a los profesionales del sector, académicamente, los primeros intentos rigurosos de clasificación de métodos de mejora los propuso el Profesor James K. Mitchell de la Universidad de Virginia Tech, a finales de la década del 70 e inicios de 1980. Generalmente, las



En Chile se han aplicado ya una gran cantidad de técnicas, siendo las más aplicadas hasta ahora, las columnas de grava, el Jet-Grouting, la Compactación Dinámica y los drenes verticales.



GENTILEZA KELLER

▲ COLUMNAS DE GRAVA

SISTEMA DE VÍA SECA CON ALIMENTACIÓN POR FONDO

- (1) Preparación:** La máquina se posiciona en el punto de trabajo y se estabiliza empleando apoyos hidráulicos garantizando la verticalidad del mástil. Una pala cargadora alimenta la tolva del equipo con grava.
- (2) Carga de Grava:** La tolva se eleva y descarga la grava en la cámara superior. La grava fluye hasta la punta del vibrador ayudada por aire comprimido.
- (3) Penetración:** El vibrador eléctrico desplaza el terreno y es hincado hasta la profundidad de diseño con la ayuda del flujo de aire comprimido, la propia vibración del vibrador y el empuje vertical del equipo TR.
- (4) Compactación:** Una vez alcanzada la profundidad de diseño, el vibrador es extraído lentamente, de modo que la grava que sale por la punta del vibrador ocupa la cavidad generada.
- (5) Acabado:** La columna se conforma de abajo hacia arriba, en etapas sucesivas de vertido de grava y compactación. Una vez concluida la columna se regulariza la superficie y se suele extender una capa o colchón de grava compactada.

empresas especialistas se han basado en el trabajo de Mitchell para proponer u organizar una clasificación. Esta podría establecerse empezando por un enfoque determinado, como puede ser el efecto predominante de mejora; sin embargo, la mayoría de empresas especialistas prefieren hacer una primera clasificación en función de la granulometría característica del terreno.

La mejora del suelo puede venir dada por una compactación o densificación del terreno de origen estático, tal como se consigue con las técnicas de Precarga, Precarga con Drenes y Compactación Estática Horizontal (Compaction Grouting); o mediante una compactación de origen dinámico o vibratorio, sea mediante Compactación Dinámica convencional o de Impacto Rápido (RIC) o mediante Vibro Compactación con aplicación en profundidad. De estas técnicas, habría experiencia contrastada en Chile con las Precargas con Drenes generalmente en terraplenes de obras lineales y con la compactación diná-

mica en alguna obra portuaria y de edificación que requirieron tratamiento de suelos.

Por otro lado, la mejora de suelos puede venir dada por la aplicación de algún tipo de refuerzo que, en general, suele conseguirse añadiendo grava, cemento o algún otro producto químico como los silicatos, según la técnica aplicada. Un caso extremo sería el Soil Nailing, muy aplicado y conocido en Chile, que si bien es un sistema de contención, que también se cataloga como mejoramiento de suelos. También un caso límite serían los micropilotes entendidos como mejora de suelos, aunque actualmente las metodologías de diseño de micropilotes en general consideran estos elementos como anclajes, en vez de mejoras de suelos, como en la concepción original de las primeras aplicaciones en Italia a mediados del siglo XX.

Volviendo a las mejoras más habituales, estas se basan en reforzar el suelo incorporando un material, de características conocidas y controladas, como son la grava, el cemento, hormigón, mortero, cal, etcétera.

Además, hay que considerar que durante la incorporación del material, dependiendo de la técnica, se puede producir un desplazamiento del terreno, el cual suele tener un efecto favorable en la mejora de las características geotécnicas. Así, por ejemplo, la Vibro Sustitución

o Columnas de Grava corresponde a una técnica de refuerzo mediante la incorporación de grava, densificación por vibración profunda y desplazamiento del terreno. También se pueden encontrar las Columnas de Concreto Vibrado (VCC) y las Inclusiones Rígidas (RI) con desplazamiento tipo Columnas de Módulo Controlado (CMC). Ambas técnicas incorporan concreto o mortero en el terreno además de aplicar desplazamiento y hay que ser cuidadosos en su análisis ya que no deben confundirse con los pilotes. El caso extremo de aportación de material y desplazamiento serían las Inyecciones de Fracturación, que incorporan cemento o lechadas de cemento u otros productos químicos, y que rompen la estructura interna del suelo mejorando determinados parámetros geotécnicos.

Respecto del último grupo de técnicas de mejoramiento de suelos señaladas, están aquellas que introducen un refuerzo en el suelo por incorporación de algún material pero sin efecto desplazamiento. Destacan las mezclas de suelo-cemento (Deep Soil Mixing) y las Inyecciones de Permeación, que son muy conocidas en Chile en los proyectos hidráulicos y represas para reducir la permeabilidad de los suelos. También es destacable que ya existe cierta experiencia en Chile con el Jet Grouting, técnica muy versátil tanto para la mejora de suelos para la fun-

dación de estructuras como para la generación de barreras impermeabilizantes.

PROCESO

Todo proyecto de ingeniería debe contar con un estudio de Mecánica de Suelos, el cual debe ser ejecutado con prospecciones del terreno y ensayos, de laboratorio y/o terreno, que permitan establecer un modelo estratigráfico, incluyendo una caracterización geotécnica que identifique las propiedades mecánicas y, de ser necesario, hidrogeológicas. Sobre este marco geotécnico se interactúa con la obra de ingeniería y se deducen los potenciales problemas que podrían existir, tanto constructivos como de operación en el tiempo, con lo que se evalúan las diferentes alternativas de solución, entre las que destaca el mejoramiento de suelos. Una vez establecida la solución óptima para las condiciones particulares de la obra y

BRIGGS USA
THE PREMIUM BATH COLLECTION

DISEÑO Y VANGUARDIA PARA SU BAÑO

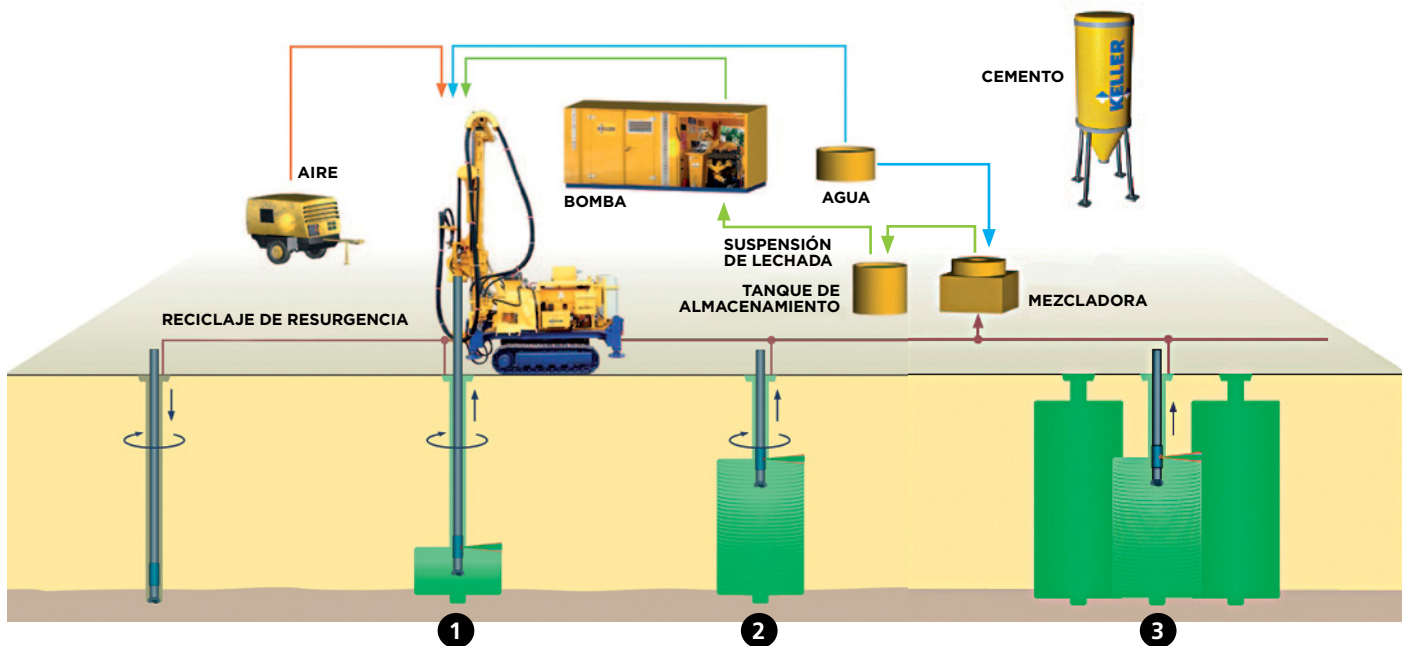
Fanaloza
LÍNEA EN BAÑO POR EXCELENCIA

Fanaloza S.A.
Presidente Eduardo Frei Montalva km 19,5
Colina - Santiago, Chile
Teléfono: (+562) 2351 5700
Email: ventas@fanaloza.cl

INODORO MALLORCA

MONOMANDO NEW ADRIA

BIDÉ VALENCIA



▲ PROCESO EJECUCIÓN DEL JET GROUTING

- (1) Perforación:** Varillajes de perforación equipados con toberas y bits de perforación se emplean para perforar hasta alcanzar la profundidad de diseño.
- (2) Inyección:** El proceso de disgregación del terreno aplicando chorros de fluidos a alta presión se realiza en sentido ascendente. El exceso de mezcla de agua y cemento se expulsa al exterior por el espacio anular entre el varillaje de perforación y la pared del taladro generado. Durante esta fase los parámetros de producción preseleccionados (caudal, presión, etc.) son monitoreados constantemente en tiempo real.
- (3) Mezcla:** Para todos los tipos de Jet Grouting la lechada de cemento se inyecta simultáneamente con el proceso de erosión del suelo.

terreno, es altamente recomendable desarrollar un sistema de monitoreo que permita verificar las hipótesis de cálculo y el resultado del comportamiento.

Otro paso común a todas las técnicas de tratamiento es la ejecución de una cancha de prueba. Esta consiste en aplicar el mejoramiento de suelos a una pequeña porción del terreno, para verificar los parámetros del diseño y corroborar el mejoramiento logrado. Luego de analizar los resultados de la cancha de pruebas, se hacen los ajustes necesarios al diseño para posteriormente aplicar el mejoramiento en forma masiva.

Con estos parámetros será posible hacer un diseño adecuado del mejoramiento para lograr la capacidad de carga requerida, reducir el potencial de licuefacción y/o minimizar los asentamientos totales y diferenciales.

Finalmente, es necesario controlar la eficiencia del mejoramiento mediante la realización de ensayos acordes con la técnica empleada y los criterios de aceptación del proyecto.

RECOMENDACIONES

La principal recomendación es preocuparse por la realización de un estudio de suelos completo, no se debe escatimar costos en este aspecto. Una adecuada determinación de los parámetros geotécnicos prevaecientes permitirá un



adecuado diseño de la solución y evitará serias consecuencias en términos de seguridad y costos. También, se debe analizar diferentes opciones de mejoramiento y seleccionar la que se ajuste mejor a las condiciones particulares del proyecto.

Por otro lado, expertos del rubro indican que es fundamental también conocer las características y limitaciones de la estructura a cimentar. Básicamente hay que conocer la geometría, tipo de cargas transmitidas y asientos admisibles. En caso que el tratamiento tenga por objeto generar una barrera impermeable o reductora de la permeabilidad, es necesario un correcto conocimiento de las condiciones hidrogeológicas del sitio.

Un aspecto de mucha importancia será el conocimiento de los posibles estados de cargas o acciones que puedan afectar a las estructuras durante su vida útil. En este sentido, y especialmente en Chile, es esencial conocer las características del sismo con el cual deben diseñarse las estructuras, así como otras situaciones como la posible licuación de suelos. Asimismo, es importante conocer otras acciones como pueden ser el viento, oleaje, zonas de inundación, entre otras.

Adicionalmente es muy importante conocer la historia del sitio; es decir, si se han realizado movimientos de tierra previos, excavaciones o rellenos. Si la zona ya fue sometida a cargas anteriormente o ya hubo estructuras previamente fundadas en ese emplazamiento y cómo estaban fundadas.

Posteriormente, hay que realizar un análisis comparativo, esto es, evaluar qué opciones de mejoramiento de suelos son más equilibradas y ventajosas desde el punto de vista técnico y económico y compararlas con soluciones tradicionales de cimentación profunda. Este análisis debe extenderse al conjunto de toda la estructura, ya que la introducción de los mejoramientos de suelos puede tener un efecto favorable también en el diseño estructural, consiguiéndose optimizaciones en otros elementos como losas de fundación, zapatas y muros.



Una adecuada determinación de los parámetros geotécnicos prevalecientes permitirá un adecuado diseño de la solución y evitará serias consecuencias en términos de seguridad y costos.

Látex Súper Cubridor y Esmalte al Agua



**Súper poder cubriente
Presente en las obras
más importantes del
país.**



TAJAMAR



www.pinturastajamar.cl

- Marcelo Zelada, gerente de Desarrollo de Soletanche Bachy.
- Manuel Pinilla, gerente general de Keller Cimentaciones Chile SpA.
- Ramón Verdugo, ingeniero geotécnico Senior de CMGI Ltda.



GENTILEZA DE SOLETANCHE BACHY

ERRORES

Según explican los profesionales consultados, el principal error en esta materia, se da cuando se ha hecho un insuficiente estudio geotécnico que no permite establecer adecuadamente las características del terreno. La solución es tener conciencia de esto y siempre realizar un estudio geotécnico que permita “conocer” el terreno.

Otro error se relaciona con el confundir el mejoramiento del suelo con la fundación. Las fundaciones son profundas o superficiales. Las cimentaciones profundas básicamente están hechas con pilotes excavados, pilotes hincados, micropilotes, etcétera y tienen por objetivo sortear las capas blandas, o con potencial de licuefacción, hasta alcanzar una capa firme donde apoyar la estructura. De hecho, el empotramiento de los pilotes en un estrato competente es un concepto simple y fácilmente entendible dentro de la técnica. Sin embargo, cuando se recurre a un mejoramiento de suelos, una vez realizada la mejora, la fundación sigue siendo superficial, esto es, se hará una losa o una zapata, pero no deja de ser una fundación superficial. Otra situación diferente es la profundidad hasta la que es necesario extender el tratamiento para mejorar aquellas capas que no tienen inicialmente propiedades suficientes para absorber las cargas transmitidas por losas y zapatas, pero una vez realizada la mejora de suelos, las comprobaciones a realizar son las habituales

El mejoramiento de suelos consiste en un conjunto de procedimientos que pueden ser aplicados a un suelo con bajas propiedades mecánicas, con el fin de mejorar sus características originales y hacerlos aptos y seguros.

de fundaciones superficiales. También, los expertos indican que hay que señalar que el concepto de “empotramiento en estrato competente” no tiene sentido para el mejoramiento de suelos ya que el mecanismo de trabajo es otro y, en general, es suficiente con extender los tratamientos hasta alcanzar estratos con resistencias medias, mucho más bajas en términos comparativos que las resistencias necesarias para empotrar convenientemente un pilote.

De este modo, es frecuente que a veces se confunda un tratamiento de mejora de suelos con Jet Grouting, Deep Soil Mixing o Inclusiones Rígidas con un Pilotaje; o un tratamiento de mejora con Columnas de Grava con Pilotes. De hecho, hay ingenieros que se refieren a las columnas de grava como pilotes de grava, cuando los mecanismos de trabajo y transferencia de cargas entre un pilote y una columna de grava serían radicalmente distintos.

Por ejemplo, una técnica ancestral como es la instalación de elementos de madera hincados en el terreno, generalmente troncos de eucalipto, es un claro contraste entre una cimentación profunda tipo pilote y una mejora del terreno. De forma simplificada, si se conectan los pilotes de eucalipto a la losa o encepado de la estructura, estos actuarán como una cimentación profunda, transfiriendo las cargas a un estrato competente; pero si se coloca una capa de transición granular, según los criterios de diseño de las inclusiones rígidas, estos elementos hincados actuarán como una mejora de suelos, y las metodologías de diseño clásico de pilotes no se pueden aplicar, ya que los mecanismos de transferencia de carga son diferentes. ■

Build on us

La oferta geotécnica más completa en beneficio de sus proyectos

Excavaciones profundas llave en mano
Fundaciones profundas
Sondajes de exploración
Mejoramiento de suelos
Cortinas de impermeabilización
Entibaciones y estabilización de taludes
Asesoría e ingeniería geotécnica
Túneles y excavaciones subterráneas





Aumentar la productividad en obras es proyectar con Knauf.

SUPERIOR A LO QUE CONOCE, MEJOR DE LO QUE SE IMAGINA

Knauf MP75 es un yeso proyectable de alto rendimiento para la proyección a máquina. Ofrece en tiempo record con menos esfuerzo acabados impecables en una sola capa.

Con gran éxito varias constructoras incorporaron el yeso Knauf MP75. Sus obras nos avalan. Comprueba la calidad y efectividad. Pide una demostración en su obra.

PROYECTAR CON YESOS KNAUF MARCA LA DIFERENCIA:

- Yeso de alta pureza y calidad.
- Excelente plasticidad, mejor trabajabilidad y menos esfuerzo para reglear.
- Mayor tiempo útil de trabajo.
- 3 veces más rápido, hasta 150 m² por jornada.
- Mayor productividad.
- Acabados impecables, lisos y espejados.
- Excelente adhesión a toda superficie.
- Mínimo desperdicio del material y más limpieza en obra.



Escanea el código QR y mira el video Yesos Knauf, o búscanos en YouTube como Knauf Chile



YESOS **KNAUF**

INTELIGENCIA EN REVOQUES Y ENLUCIDOS

CAMIONES VOLVO PREPARADOS PARA GRANDES COSAS



VM 32 TON
330 CV
TOLVA 14 M³



VM MIXER
8X4 270 CV
8 M³



VM GRÚA 8X4
330 CV
Grúas de alto tonelaje.



FMX 8X4
500 CV
TOLVA 20 M³



FMX 6X4
460 CV
15 M³



FMX MIXER 8X4
370 CV
8 M³

Consulta por
nuestras alternativas de financiamiento

Volvo Financial Services

ENCUÉNTRALOS EN NUESTRAS SUCURSALES

- Iquique
- Calama
- Antofagasta
- Copiapó
- Santiago
- Talca
- Concepción
- Los Ángeles
- Temuco
- Puerto Montt

Cotiza llamando al

2 2299 1100

www.camionesvolvo.cl

Fotos referenciales. Consulta por aplicaciones y equipamientos disponible según cada modelo Volvo.



Volvo Trucks. Driving Progress