

COMPACTACIÓN DE SUELOS PARA PAVIMENTOS

RESISTENCIA A TODA PRUEBA

Sólo la correcta compactación del suelo asegura una pavimentación de calidad. Para lograr un suelo estable que resista todas las exigencias se recomienda contar con una especificación detallada, materiales de calidad y maquinarias adecuadas, óptima humedad del suelo y control de laboratorio y topografía. Aquí los errores más frecuentes y las claves para superarlos.

DANIELA MALDONADO P.
PERIODISTA REVISTA BIT

POR MÁS DE 2.000 AÑOS, la tierra se ha compactado con pesados maderos, con la ayuda de animales y con rodillos. La teoría de la evolución también se aplica en esta faena. Actualmente, se realiza con modernas maquinarias y es reconocida por distintos especialistas como una labor clave. Sin ella no es posible pavimentar. Es más, mal ejecutada ocasiona cuantiosas pérdidas.

Para empezar, una definición de compactación: consiste en un proceso mecánico que aplica una carga para lograr la densificación del suelo natural, constituido por la mezcla de grava, arena, arcillas y limos en proporciones variables. Esto se logra expulsando parte del aire contenido, reduciendo de esta manera los espacios vacíos. El objetivo apunta a lograr masas de suelos resistentes, homogéneos y libres de asentamientos, que aumenten su peso específico seco y soporten diversas cargas. Y hay varios tipos: en ocasiones se utiliza la compactación estática en la cual el peso de la maquinaria comprime las partículas del suelo, sin necesidad de movimientos. Una segunda aplicación se observa en una placa apisonadora que golpea y se separa del suelo a alta velocidad logrando una compactación por impacto, adicionalmente se utilizan vibraciones de alta frecuencia. Finalmente, se puede obtener una compactación por amasado al aplicar al suelo altas presiones distribuidas en áreas más pequeñas.



1



2



3

ERRORES EN LA COMPACTACIÓN DE SUELOS

1 Formación de nidos de piedra, es decir se observan piedras juntas sin material fino alrededor debido a deficiente homogeneización.

2 Exceso de humedad respecto al óptimo que indica el laboratorio.

3 Zona contaminada con material de escombros.

Los métodos empleados dependen de la composición del suelo natural y, en consecuencia, de los materiales de relleno necesarios para una adecuada faena. Por ejemplo, en los materiales granulares que están constituidos por granos redondos o angulares individualizados, con bajo contenido de arcilla, como es el caso de las arenas, los métodos vibratorios resultan más efectivos. En el caso de los terrenos arcillosos, el procedimiento de amasado o por presión puntual (con equipos patas de cabra) es más apropiado, señalan los especialistas.

Se reconoce que el agua juega un rol fundamental en la compactación, existiendo un contenido de humedad óptimo para cada tipo de suelo. También influye la energía de compactación suministrada por unidad de volumen y la uniformidad o distribución granulométrica del material en cualquier punto. Generalmente se envían muestras del

suelo a laboratorio, donde se someten a distintas condiciones de compactación para detectar el método que garantice un proyecto con capacidad para soportar cargas pesadas, que no se hunda y reduzca la penetración de agua. Veamos paso a paso el proceso.

Paso a paso

La faena varía dependiendo del tipo de suelo, del método de compactación y de la maquinaria utilizada. Los pasos fundamentales son los siguientes:

1. Especificaciones: El mandante detalla los requerimientos de la compactación y realiza un contrato con una empresa especializada o con la constructora. Con estos antecedentes se elaboran u obtienen los materiales (ya sea piedras, arenas u otros) dependiendo del tipo de suelo y de los rangos de granulometría y de aceptación.

2. Saneamiento: Se efectúa el escarpe o

SISTEMAS DE DRENAJE



- ZANJAS DE INFILTRACIÓN
- POZOS ABSORBENTES
- ESTANQUES DE ACUMULACIÓN
- 90% DE POROSIDAD
- 38 ton/m² DE RESISTENCIA
- 300 m³ POR CAMIÓN
- DRENAJE SOBRE LOSAS DE HORMIGÓN
- REDUCCIÓN DE PATIOS DUROS
- PAVIMENTOS VERDES



www.sistemasgeotecnicos.cl

MUROS DE CONTENCIÓN



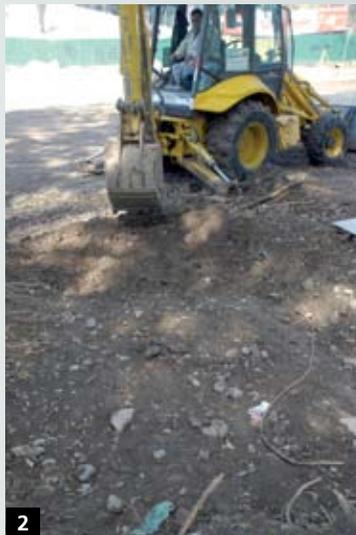
- MUROS TEM O MSE ANTISISMICOS
- SISTEMA PREFABRICADO
- NO UTILIZA ACERO
- TERMINACIÓN ESTÉTICA
- BLOQUES DE COLORES
- RAMPAS DE ACCESO
- ESTRIBOS DE PUENTES

EMIN
SISTEMAS
GEOTECNICOS S.A.

www.sistemasgeotecnicos.cl - geoemin@emin.cl
Fono (56-2) 299 8001 - Fax (56-2) 206 6468



1



2



3



4



5



6

SECUENCIA COMPACTACIÓN DE SUELO EN FUTURO ESTACIONAMIENTO

1. **SANEAMIENTO.** Excavación en el suelo natural. En esta etapa se busca el sello de fundación previamente determinado por el proyectista. Es importante tener precaución con las cañerías de agua y gas.
2. **PREPARACIÓN DEL SELLO.** En esta obra se utiliza una retroexcavadora y un rodillo de 7 toneladas estático autopulsado.



7



8

3. **COMPACTACIÓN DEL SELLO.** Se realizan como mínimo cuatro ciclos o pasadas de rodillo por el mismo punto, hasta observar que la compactación requerida ha sido alcanzada.
4. **ACOPIO** de material de base estabilizada.
5. **RELLENOS.** La base se esparce por capas. Es importante que quede homogéneo.
6. **CHEQUEOS.** Se utiliza una lienza que muestra hasta qué nivel se debe compactar. Esto se verifica con la topografía.
7. **COMPACTACIÓN DE LAS CAPAS** de base estabilizada. También se deberán efectuar cuatro ciclos como mínimo por cada capa.
8. **CONTROL.** Antes de pasar a cada etapa, se debe ir controlando la topografía y la densidad. Ésta última se mide en esta obra a través de un densímetro nuclear.

retiro del terreno no apto para compactar. En esta etapa se realizan las excavaciones en el suelo natural que sean necesarias para evacuar el agua. El objetivo es llegar al sello de fundación, previamente determinado por un mecánico de suelo.

3. Preparación del sello y compactación del suelo natural: Se intenta homogeneizar el suelo natural. Con ayuda de alguna maquinaria se compacta realizando de 4 a 6 pasadas por la misma franja, hasta observar un suelo parejo.

4. Rellenos: Con el material base, previamente transportado a la obra, se efectúan los rellenos en capas cuyo espesor depende del tipo de equipo y del material empleado. Por ejemplo si se utilizan rodillos vibratorios o neumáticos las capas irán de 10 a 20 centímetros. Este proceso se repite hasta lograr el nivel de subrasante indicado en el proyecto.

5. Chequeos: Se deberá comprobar que cada capa de relleno tenga la compactación especificada. Se determinará la densidad seca en obra, ya sea por el método denominado cono de arena o por un densímetro nuclear (ver recuadro ¿Cómo reconocer compactaciones correctas?). También se verificará, con ensayos de laboratorio, que el material empleado cumple con los requisitos originales.

6. Terminaciones: La terminación superficial deberá ser totalmente uniforme,

además de contar con las tolerancias solicitadas. Esta etapa es fundamental para lograr un buen comportamiento de los pavimentos. Si la base no queda plana provocará variaciones en el espesor del pavimento, generando empotramientos que impidan el movimiento por cambio de volumen, provocando fisuras. Los especialistas reconocen los principales errores que provocan ésta y otras graves consecuencias.

Los errores

a. Materiales: En ocasiones las especificaciones de los materiales que se utilizarán en un relleno a compactar, no son detalladas, dejando un espacio para que la base granular contenga una amplia variedad de soluciones y propiedades físicas. Se reconoce que por lo general se emplea el material más económico, una decisión que provoca nefastas consecuencias al adquirir soluciones no homogéneas provenientes de empréstitos o acopios no uniformes.

b. Maquinarias: Por desconocimiento o falta de presupuesto se utilizan equipos inadecuados para el tipo de suelo (ver recuadro Maquinarias para compactar).

c. Humedades: No se cumple con el rango de humedades de trabajo, ya sea por exceso o escasez.

d. Condiciones del suelo: En algunas

¿CÓMO RECONOCER COMPACTACIONES CORRECTAS?

Los especialistas explican que existen dos formas de corroborar que una compactación está correcta. La primera es la inspección visual que se efectúa al observar el comportamiento del material mientras se están realizando las últimas pasadas por capa. La compactación será la adecuada si resiste sin deformaciones el peso de las maquinarias, por ejemplo al circular equipos cargados éstos no se hundan ni deforman la superficie dejando surcos de los neumáticos. También será una buena señal si se observa humedad uniforme, una distribución homogénea del material y no hay nidos de piedras ni presencia de partículas extrañas. El segundo reconocimiento se efectúa mediante ensayos de terreno que determinarán la densidad del suelo para luego comparar este dato con el valor de densidad máxima obtenida en el laboratorio. Los métodos utilizados para realizar esta comparación son dos, el método de cono de arena (que se encuentra dentro de los sistemas destructivos ya que se debe excavar 15 cm para tomar muestras) y el densímetro nuclear (que es el más utilizado ya que permite la obtención de la densidad y humedad del suelo directamente en campo mediante la utilización de radiación gamma proveniente de un elemento radioactivo que se encuentra dentro del aparato de medición). En ocasiones también se usan placas de carga para verificar la uniformidad del proceso constructivo y de las capas que componen la estructura.



15 años
al servicio de la construcción



- ✓ Cobertura de la III a la VIII Región
- ✓ Proyectos especiales en todo el territorio nacional
- ✓ Bombas Plumas con alcance de hasta 47 mts.
- ✓ Torres de distribución con alcance de hasta 32 mts.
- ✓ Bombas estacionarias con capacidad de hasta 300 mts. verticales

ZACH BOMBAS DE HORMIGÓN

La Estera 687

Loteo Industrial Valle Grande - Lampa

Fono: (56 2) 747 1820 - Fax: (56 2) 747 1821

Mail: hzach@hzach.cl

www.hzach.cl



Control de densidad en terreno por medio del método del cono de arena. A la derecha, densímetro nuclear.



oportunidades no se realizan los ensayos y no se tiene el conocimiento del comportamiento del suelo donde se comenzará a trabajar, por lo que no son tratados adecuadamente. Esto ocurre especialmente en terrenos arcillosos expansibles, que se reemplazan con material granular estabilizado y bien graduado. En el caso de la ceniza volcánica hay que seguir metodologías específicas para lograr un buen comportamiento. Caer en este error provoca gastos innecesarios por la falta de una asesoría a tiempo.

e. Controles: No se realizan los controles por capas. Éstos son importantes ya que de-

terminan mediante ensayos, si se está cumpliendo con las especificaciones. En algunas ocasiones se realizan los controles de las canchas sin tener claro los resultados de los ensayos o las muestras, demorando el proceso y propiciando errores en la interpretación.

f. Compactación deficiente: Cuando la compactación la realiza personal con escasa especialización, se cae en distintos errores en el proceso. Por ejemplo, se realiza un insuficiente número de pasadas sobre una misma franja, se tiene un excesivo espesor en las capas a compactar, se aplica demasiada velocidad o se trabaja en una zona con-

taminada con escombros. Para evitar estas situaciones, los especialistas entregan distintas sugerencias.

Las recomendaciones

1. Materiales: Es muy importante conocer las propiedades de los materiales que se emplearán (granulometría, densidad máxima, porcentaje de humedad óptima y plasticidad de los finos). Esto ayudará a elegir el tipo de rodillo. Los materiales deben cumplir con el 100% de lo exigido y con los requerimientos particulares de los equipos de compactación. Para elegir el más adecuado es fundamental considerar las condiciones climáticas.

Adicionalmente, se debe mantener este material y las capas de apoyo, limpias y protegidas de posibles contaminaciones y alteraciones.

2. Sello de fundación: Antes de colocar los rellenos, asegurarse de disponer de una buena base o capa de apoyo. Si no se contara con ella, es indispensable preparar el terreno.

3. Humedad: Es clave realizar el proceso de compactación con una humedad del suelo lo más cercana a la óptima, previamente obtenida en algún laboratorio mediante el ensayo denominado Proctor. Si existe insuficiente humedad se sugiere aplicar dosificadamente agua. Si la humedad es excesiva, se realizará una escarificación y un secado previo a la compactación de la superficie.

4. Pasadas: Tener en cuenta que en las primeras pasadas de los equipos sobre el material, la compactación crece muy rápidamente, sin embargo, cuando el equipo ha pasado varias veces, el efecto de una pasada posterior disminuye, llegando a un momento en que ya no se compensa que el equipo pase más veces. Dependiendo del caso, los especialistas

MAQUINARIAS PARA COMPACTAR

Las máquinas compactadoras se clasifican según sus diferentes principios de trabajo:

1. POR PRESIÓN ESTÁTICA: Trabajan fundamentalmente mediante una elevada presión estática que debido a la fricción interna de los suelos, tienen un efecto de compactación limitado, sobre todo en terrenos granulares donde un aumento de la presión normal repercute en el aumento de las fuerzas de fricción internas. En este grupo se encuentran las apisonadoras de rodillos lisos, los rodillos de patas de cabra y las compactadoras con ruedas neumáticas.

2. POR IMPACTO: Operan según el principio de que un cuerpo que choca contra una superficie, produce una onda de presión que se propaga hasta una mayor profundidad de acción que una presión estática, comunicando a su vez a las partículas, una energía oscilatoria que produce un movimiento de las mismas. Dentro de esta clasificación se encuentran las placas de caída libre y los pisonés de explosión.

3. POR VIBRACIÓN: Trabajan mediante una rápida sucesión de impactos contra la superficie del terreno, propagando hacia abajo trenes de ondas de presión que producen en las partículas movimientos oscilatorios, eliminando la fricción interna de las mismas que se acoplan entre sí fácilmente y alcanzan densidades elevadas. Es un efecto de ordenación ya que los granos más pequeños rellenan los huecos que quedan entre los mayores. En este grupo encontramos las placas vibrantes y los rodillos vibratorios.





Sólo la correcta compactación del suelo asegurará una pavimentación de calidad. **Para esto, resulta fundamental contar con materiales y maquinarias adecuadas.**

señalan que el número de pasadas óptimo en promedio fluctúa entre 5 y 10.

5. Homogeneidad: Para lograr compactaciones que no traigan problemas posteriores en la pavimentación es fundamental que todo se realice de manera uniforme. Para esto, el material será homogéneo, es decir, la humedad y el número de pasadas será similar en todo el terreno y las capas tendrán las mismas medidas.

6. Equipos: La elección del equipo de compactación más adecuado dependerá de diversos factores. Influye el tipo de suelo, el tamaño e importancia de la obra, las especificaciones de compactación, el tiempo disponible para ejecutar el trabajo, y el presupuesto. Los rodillos lisos se utilizan en gravas y arenas mecánicamente estables; los rodillos neumáticos son útiles en arenas uniformes y suelos cohesivos; los "patas de cabra" se usan en suelos finos con humedades entre 7 y 20% por debajo del límite plástico y finalmente los vibratorios se aplican especialmente en suelos granulares.

7. Control: Para todas las obras se sugiere disponer de un buen control de laboratorio y topografía. Para esto se identificará la densidad máxima y la humedad óptima del suelo a compactar, con los ensayos relacionados (Proctor estándar o Proctor modificado), y el valor de control exigido (especificaciones técnicas). Los controles se efectuarán tomando densida-

des en terreno de modo de evaluar el porcentaje de compactación. Se recomienda llevar procedimientos escritos y supervisados, para analizar continuamente los procesos constructivos. Se sugiere efectuar canchas de prueba para lograr el método más apropiado.

8. Tipos de suelo: Los especialistas entregan sus recomendaciones dependiendo el tipo de suelo:

A. SUELOS ARCILLOSOS: Utilizar materiales granulares con bajo contenido de finos. Esto permitirá el escurrimiento de las aguas. La presencia de éstas y alto contenido de finos genera pozos de bombeo y escalonamiento de losas.

B. SUELOS GRANULARES: Se compactan mejor por vibración, ya que ésta reduce las fuerzas de fricción dejando que las partículas caigan libremente por su propio peso.

C. SUELOS COHESIVOS: Se sugiere utilizar los sistemas de impacto y amasado. La tendencia de este tipo de suelos es a combinarse, formando laminaciones continuas con espacios de aire entre ellas, impidiendo que con la vibración, caigan partículas en los vacíos. La fuerza de impacto produce un esfuerzo de cizalle que junta las laminaciones oprimiendo las bolsas de aire hacia la superficie.

Siguiendo estas recomendaciones y reconociendo que el proceso de compactación es importante dentro de la ingeniería de la obra, se lograrán suelos resistentes a toda prueba. ■

COLABORADORES

- Óscar Jara, Gerente de Operaciones y César Díaz, Coordinador de Calidad, Laboratorio Inspelab Ltda
- Renato Vargas, Ingeniero Jefe Área Educación, Capacitación y Certificación, ICH
- Jorge Fuentes, Ingeniero Visitador Obras Viales, Constructora BCF S.A.
- Óscar Plaza, Gerente Tecnología, Calidad y Comunicación, Bitumix
- Valezka Barahona, Constructor Civil-Jefe de Sección y Ramón Lobos, Ingeniero Civil-Gerente de Área, Área Ingeniería Geotécnica, DICTUC.
- David Romero, Jefe de Obra, Constructora Pehuenche

ARTÍCULOS RELACIONADOS

- "Aplicaciones que hacen la diferencia. Compactación de asfalto en estacionamientos". Revista BIT N° 58, Enero 2008, pág. 108
- "Asfalto en estacionamientos. Aplicación bajo ruedas". Revista BIT N° 54, Noviembre 2007, pág. 54.

EN SÍNTESIS

Los especialistas señalan que sólo con una correcta compactación del suelo se efectuará una pavimentación de calidad. Para lograr un suelo resistente, homogéneo y libre de asentamientos que soporte diversas cargas, se recomienda contar con una especificación detallada, materiales y maquinarias adecuadas, una humedad del suelo óptima y que todo se realice de manera uniforme. Para comprobar que la compactación se realizó correctamente se deberá efectuar una inspección visual y ensayos en terreno.

BIT 69 NOVIEMBRE 2009 ■ 37

Mezclas y Pavimentos Asfálticos

Mezclas asfálticas tradicionales:

Mezclas 3/4" , Mezclas 1/2"
Binder Asfáltico, Base Asfáltica
Mezclas asfálticas modificadas.

Servicios de instalación y otros:

Suministro y colocación de asfaltos
Fresado de pavimento asfáltico
Riego de imprimación
Riego de liga

Fono 2841251
E-mail: ventas@quilin.cl

www.quilin.cl
Departamental 8250, Peñalolén

Fono 2983208
E-mail: pavimentos@quilin.cl