

COMPACTACIÓN DE SUELOS

- Amores Marco
- Andrade Pedro
- Ubilla Gonzalo
- Castro Jonathan
- Tumbaco Víctor
- Torres Rony

COMPACTACION

¿Qué es Compactación?

La compactación de suelos es el proceso artificial por el cual las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos, empleando medios mecánicos, lo cual se traduce en un mejoramiento de sus propiedades ingenieriles.

COMPACTACIÓN DE SUELOS

- ✓ El proceso de compactación implica una rápida reducción de los vacíos, lo que trae como consecuencia una reducción en el volumen de la muestra del suelo.
- ✓ El concepto de grado de compactación es el más empleado en nuestro medio para controlar la compactación de suelo y consiste en relacionar el peso unitario seco del suelo compactado en obra, con el máximo peso unitario seco obtenido en el laboratorio empleando el mismo material.

$$\% \text{ de compactación} = \frac{\gamma_d \text{ en el terreno}}{\gamma_d \text{ máximo de laboratorio}} \times 100$$

COMPACTACION

generalidades

¿Cuál es la Importancia de la Compactación?

La importancia de la compactación de suelos estriba en el aumento de la resistencia y disminución de la capacidad de deformación que se obtiene al someter el suelo a técnicas convenientes, que aumentan el peso específico seco, disminuyendo sus vacíos.

COMPACTACION

generalidades

¿Dónde se aplica mayormente la Compactación?

Por lo general, las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales tales como cortinas de presas de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, bordes de defensas, muelles, pavimentos, etc.

**FACTORES QUE
AFECTAN EL
PROCESO DE
COMPACTACIÓN**

FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE COMPACTACIÓN

- **NATURALEZA DEL SUELO:**

- ✓ El proceso y equipo de compactación a emplear, así como la máxima densidad seca que pueda alcanzarse con un suelo tanto en el laboratorio como en obra, será bien diferente si el suelo a tratar es fino o grueso.



FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE COMPACTACIÓN



• EL MÉTODO DE COMPACTACIÓN:

- ✓ Los métodos de laboratorios empleados para estudiar la compactación de suelos son de cuatro tipos: por impacto, por amasado, por carga estática y por vibración.
- ✓ La finalidad de estos ensayos es correlacionar de algún modo los resultados que se obtiene, con la compactación que en el campo producen los diversos equipos.

COMPACTACION

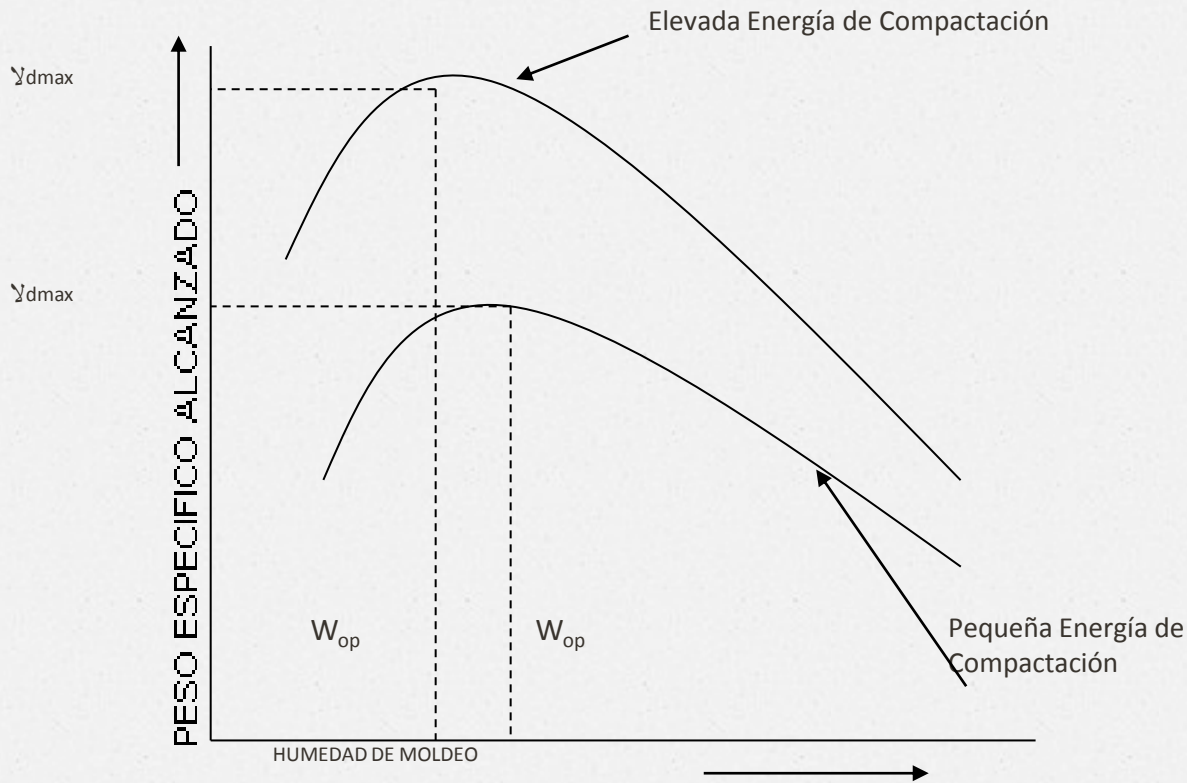
fundamentos

Los fundamentos de la compactación no están perfectamente explicados, sin embargo, se reconoce que el agua juega un papel importante, especialmente en suelos finos. Es así como existe un contenido de humedad óptima para suelos finos, para el cual el proceso de compactación dará un peso máximo de suelo por unidad de volumen, es decir, un peso específico seco máximo.

Para bajos contenidos de humedad, el agua está en forma capilar produciendo compresiones entre las partículas constituyentes del suelo, lo cual tiende a la formación de grumos difícilmente desintegrables que dificultan la compactación.

COMPACTACION

curva de compactación



COMPACTACION

fundamentos

La eficiencia de cualquier equipo de compactación depende de varios factores y para poder analizar la influencia particular de cada uno, se requiere disponer de procedimientos estandarizados que reproduzcan en laboratorio la compactación que se puede obtener in situ con el equipo disponible. De entre todos los factores que influyen en la compactación, podría decirse que dos son los más importantes: el contenido de agua del suelo, antes de iniciarse el proceso de compactación y la energía específica, empleada en dicho proceso. Por energía específica se entiende la energía de compactación la energía de compactación suministrada al suelo por unidad de volumen.

FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE COMPACTACIÓN

- **LA ENERGÍA DE COMPACTACIÓN:**

- ✓ Es aquella energía que se entrega al suelo por unidad de volumen durante el proceso de compactación. Cuando esta se hace por impacto, la expresión mediante la cual se la obtiene es la siguiente:

$$E_c = \frac{W * h * N * n}{V}$$

Donde:

E_c = Energía de compactación

W = Peso del martillo de compactación

h = Altura de caída del martillo de compactación

N = Número de golpes que se aplica a cada una de las capas.

V = Volumen del molde de compactación

n = Número de capas dentro del molde de compactación.

COMPACTACION

tipos de suelos

- o **Suelos Cohesivos:** son suelos arcillosos y limosos o sea material de grano muy fino, y la compactación se produce por la reorientación y por la distorsión de los granos y sus capas absorbidas. Esto se logra por una fuerza que sea lo suficientemente grande para vencer la resistencia de cohesión por las fuerzas entre las partículas.
- o **Suelos No Cohesivos:** (granular)son suelos compuestos de rocas, piedras, gravas, y arenas, o sea suelos de granos gruesos. En el caso de suelos granulares el proceso de compactación más adecuado resulta el de la vibración, pero debe tenerse en cuenta, como ya se sabe, que el comportamiento de los suelos gruesos depende mucho de la granulometría. Se requiere una fuerza moderada aplicada en una amplia área, o choque y vibración. La compactación eficiente en los suelos cohesivos requiere presiones mas altas para los suelos secos que para los húmedos, pero el tamaño del área cargada no es crítico. La eficiencia se mejora aumentando la presión durante la compactación a medida que el peso específico y la resistencia aumenta.
- o **Suelos Mixtos:** en la naturaleza la mayoría de los suelos están compuestos por una íntima mezcla de partículas de muchísimos tamaños.

FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE COMPACTACIÓN

- **CONTENIDO DE AGUA DEL SUELO:**

- ✓ Estudios realizados por Proctor tuvieron como conclusión el hecho de que, al compactar un suelo con la misma energía de compactación y diferentes contenidos de agua, la densidad seca que se obtenía aumentaba a medida que se incrementaba la cantidad de agua, hasta cierto punto en el cual las densidades secas comenzaban a decrecer. A este punto en el que se halla la densidad máxima corresponde una humedad, que proctor denominó como óptima de compactación.

FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE COMPACTACIÓN

Otros factores que afectan el proceso de compactación y que en determinado momento pueden ser importantes, son la temperatura, el contenido natural de agua del suelo, la recompactación del mismo, etc.

COMPACTACION

objetivos

- o Debe tener suficiente resistencia para soportar con seguridad su propio peso y el de la estructura o las cargas de las ruedas.
- o No debe asentarse o deformarse tanto, por efecto de la carga, que se dañe el suelo o la estructura que soporta.
- o No debe ni retraerse ni expanderse excesivamente
- o Debe conservar siempre su resistencia e imcompresibilidad
- o Debe tener la permeabilidad apropiada o las características de drenaje para su función.

COMPACTACION

beneficios

- o **Aumenta la capacidad para soportar cargas:** Los vacíos producen debilidad del suelo e incapacidad para soportar cargas pesadas. Estando apretadas todas las partículas, el suelo puede soportar cargas mayores debido a que las partículas mismas que soportan mejor.
- o **Impide el hundimiento del suelo:** Si la estructura se construye en el suelo sin afirmar o afirmado con desigualdad, el suelo se hunde dando lugar a que la estructura se deforme (asentamientos diferenciales). Donde el hundimiento es mas profundo en un lado o en una esquina, por lo que se producen grietas o un derrumbe total.
- o **Reduce el escurrimiento del agua:** Un suelo compactado reduce la penetración de agua. El agua fluye y el drenaje puede entonces regularse.
- o **Reduce el esponjamiento y la contracción del suelo:** Si hay vacíos, el agua puede penetrar en el suelo y llenar estos vacíos. El resultado seria el esponjamiento del suelo durante la estación de lluvias y la contracción del mismo durante la estación seca.
- o **Impide los daños de las heladas:** El agua se expande y aumenta el volumen al congelarse. Esta acción a menudo causa que el pavimento se hinche, y a la vez, las paredes y losas del piso se agrieten. La compactación reduce estas cavidades de agua en el suelo.

**COMPACTACIÓN
DE SUELOS
EN EL
LABORATORIO**

COMPACTACIÓN DE SUELOS EN EL LABORATORIO

En el laboratorio se realizan ensayos de compactación con los materiales que van a emplearse en la construcción, determinando la máxima densidad que puede obtenerse prácticamente.

Las densidades de laboratorio deben fijarse tomando como base el método de ensayo AASHTO T 180.



**CRITERIOS
DE
COMPACTACIÓN**

CRITERIOS DE COMPACTACIÓN

✓ En la construcción de estructuras de pavimento asfáltico se recomienda los siguientes criterios de compactación:

1. Terrenos coherentes, 95% de la densidad AASHTO modificada (T 180, método D), como mínimo, en los 30 cm superiores de relleno, y en el resto 90% como mínimo.
2. Terrenos no coherentes, 100% de la densidad AASHTO modificada (T 180 método D), como mínimo, en los 30 cm superiores, y 95 % como mínimo en el resto del relleno.

CRITERIOS DE COMPACTACIÓN

3. Base, subbase y terreno mejorado, 100 % de la densidad AASHTO modificada (T 180, método D), como mínimo. La carga de compactación y la presión de contacto deben ser las más elevadas que el material compactado pueda soportar sin desplazamiento.



**EQUIPO
DE
COMPACTACIÓN**

COMPACTACIÓN POR AMASADO

- ✓ Producen este tipo de compactación aquellos equipos que concentran todo su peso sobre la pequeña superficie de un conjunto de patas de forma variada, ejerciendo elevadas presiones en los puntos en que dichas patas penetran en el suelo.
- ✓ El rodillo llamado pata de cabra es el dispositivo de campo más popular que produce este tipo de compactación.



COMPACTACIÓN POR AMASADO

- ✓ De acuerdo a las especificaciones del MOP – 001 – F – 2002, los rodillos tendrán un diámetro no menor de 1.5 m y una longitud no inferior a 1.40 m medidos en la superficie.
- ✓ El peso sin lastre del rodillo ejercer una presión de 15 a 55 kg/cm² en la zona de contacto del suelo con las patas de cabra, y con lastre deberá ejercer una presión de 30 a 120 kg/cm².
- ✓ Los suelos más recomendados para compactar con el rodillo pata de cabra, son los suelos cohesivos, que se compactan en capas cuyo espesor no supere en más de 5 cm de la longitud de las patas.

COMPACTACIÓN POR AMASADO

✓ En la actualidad se han desarrollado otros tipos de compactadores que pueden considerarse como variantes de la pata de cabra, que son:

- **El Rodillo de Rejillas**: Se ha empleado en materiales que requieren disgregación, sobre suelos como arcillas homogéneas o mezclas de arenas, limos y arcillas, con abundancia de finos.
- **El Rodillo Segmentado**: Se ha usado de modo preferente en materiales que requieren disgregación, pero hoy en día su uso se ha extendido a otros tipos de suelo, entre los que están los limos y las arcillas no muy plásticas.

COMPACTACIÓN POR AMASADO

RODILLOS PATA DE CABRA

VENTAJAS

- El proceso de amasado mezcla el suelo con el agua en mejor forma que otros compactadores.
- Rompe los pedazos o “grumos” de suelo a roca blanda.
- Produce muy buena unión entre capas.

DESVENTAJAS

- Deja la superficie muy rugosa y desigual susceptible a empozamiento del agua lluvia.
- Compacta capas más delgadas que otros compactadores.
- La efectividad disminuye cuando los suelos poseen partículas grandes bloques o cantos.
- Los rodillos pata de cabra autopropulsados a veces producen rotura o laminación del relleno.

COMPACTACIÓN POR PRESIÓN

- **RODILLOS LISOS:**



- ✓ Pueden ser remolcados o autopropulsados. El peso de los rodillos remolcados varía de 14 a 20 Ton, los rodillos autopropulsados se fabrican con pesos que oscilan entre 3 y 13 Ton; según las especificaciones MOP – 001 – F – 2002, los rodillos lisos de tres ruedas deberán tener un peso entre 10 y 12 Ton, y los tándem entre 8 y 10 Ton.

COMPACTACIÓN POR PRESIÓN

- **RODILLOS LISOS:**

- ✓ Se emplean en la compactación de materiales como: grava, arenas, piedra triturada y otros materiales donde se requiere una acción de trituración.
- ✓ El espesor de la capa compactada depende del peso del compactador y del objeto de la obra, pero en general, varía desde unos 15 cm para cimientos, hasta 45 cm para bases de terraplenes. Solo permite compactar capas delgadas (< 20 cm) de material granular y no se obtiene densidades altas.

COMPACTACIÓN POR PRESIÓN

- **RODILLOS NEUMÁTICOS:**
 - ✓ Tienen ruedas de caucho en vez de ruedas o rodillos de acero, generalmente poseen dos ejes tándem, con tres o cuatro ruedas en el eje delantero y cuatro o cinco en el eje trasero. Las ruedas se mueven independientemente hacia arriba y hacia abajo.



COMPACTACIÓN POR PRESIÓN

- **RODILLOS NEUMÁTICOS:**

- ✓ La acción compactadora de este tipo de rodillos, se debe a la presión que las llantas transmiten sobre la capa de suelo, aunque también producen cierto amasado que causa deformaciones al suelo por acción del labrado de las llantas.
- ✓ De acuerdo a las especificaciones del MOP – 001 – F – 2002, los rodillos neumáticos serán de llantas lisas y tendrán una carga por rueda como mínimo de 1000 Kg, para carpetas de 5 cm de espesor compactado y una presión de inflado de 6 Kg/cm².

COMPACTACIÓN POR PRESIÓN

- **RODILLOS NEUMÁTICOS:**

- ✓ La acción compactadora de este tipo de rodillos, se debe a la presión que las llantas transmiten sobre la capa de suelo, aunque también producen cierto amasado que causa deformaciones al suelo por acción del labrado de las llantas.
- ✓ De acuerdo a las especificaciones del MOP – 001 – F – 2002, los rodillos neumáticos serán de llantas lisas y tendrán una carga por rueda como mínimo de 1000 Kg, para carpetas de 5 cm de espesor compactado y una presión de inflado de 6 Kg/cm².

SUPERFICIES Y PRESIONES DE CONTACTO PARA DIVERSAS PRESIONES DE INFLADO Y CARGAS POR RUEDA

Carga por rueda (Kg)	Presión de inflado (Kg/cm ²)	Superficie de contacto				Presión de contacto (Kg/cm ²)
		Asiento (cm)	Longitud (cm)	Anchura (cm)	Superficie (cm ²)	
907.1	2.81	1.98	21.16	16.08	269	3.39
907.1	4.22	1.72	18.81	14.70	233	3.89
907.1	5.63	1.47	18.72	13.66	203	4.48
907.1	7.03	1.32	17.55	12.98	183	4.96
907.1	8.44	1.27	17.22	12.59	169	5.35
1587.5	2.81	3.15	26.54	20.21	432	3.68
1587.5	4.22	2.57	24.23	18.29	359	4.42
1587.5	5.63	2.16	22.45	16.84	308	5.15
1587.5	7.03	1.96	21.54	16.18	281	5.62
1587.5	8.44	1.88	20.83	15.60	259	6.17
2267.9	2.81	4.45	31.12	22.91	583	3.97
2267.9	4.22	3.40	27.89	21.18	476	4.77
2267.9	5.63	2.79	25.88	20.22	413	5.48
2267.9	7.03	2.54	24.71	18.47	369	6.15
2267.9	8.44	2.39	23.90	17.88	347	6.54
2721.5	2.81	5.23	33.99	23.62	690	3.94
2721.5	4.22	4.01	30.28	22.56	554	4.91
2721.5	5.63	3.25	27.91	21.18	477	5.70
2721.5	7.03	2.87	26.39	19.96	421	6.45
2721.5	8.44	2.72	25.25	19.00	392	6.94

COMPACTACIÓN POR PRESIÓN

RODILLOS NEUMÁTICOS

VENTAJAS

- Compacta a mayores espesores que el pata de cabra.
- Produce una superficie relativamente lisa resistente a la lluvia.
- Permite compactar suelos con partículas grandes cuando el pata de cabra no puede hacerlo.
- Las áreas húmedas de rellenos se detectan observando el sucio de las llantas.
- Se le puede utilizar para compactar pavimentos asfálticos.

DESVENTAJAS

- Se requiere escarificar entre capas.
- No rompe los terrones de suelos (el pata de cabra si).

COMPACTACIÓN POR IMPACTO

- ✓ Implica la aplicación repetida de esfuerzos de corta duración a intervalos de tiempo pequeños. Entre estos tipos de equipos, se encuentran todos los pisones, así como algunos rodillos, similares a los de pata de cabra, llamados tãmpers por lo que producen el efecto de impacto a medida que compactan.



COMPACTACIÓN POR IMPACTO

- ✓ Los mejores resultados compactando con estos equipos se han obtenido en suelos finos con abundante guijarros, así como en suelos finos residuales con fragmentos de rocas parcialmente intemperizados.



COMPACTACIÓN POR VIBRACIÓN

- ✓ Las compactadoras vibratorias proporcionan la fuerza compactadora mediante una combinación del peso y la vibración de sus rodillos (tambores) de acero.
- ✓ Las compactadoras usadas para concreto asfáltico son automotrices y varían en peso desde 7 hasta 17 Ton.

COMPACTADOR VIBRATORIO
DE TAMBOR SENCILLO



COMPACTADOR VIBRATORIO
DE TAMBOR DOBLE



COMPACTACIÓN POR VIBRACIÓN

- ✓ Los tambores de las compactadoras vibratorias varían en diámetros desde 0.9 hasta 1.5 m, y en ancho desde 1.2 hasta 2.4 m. Sus pesos estáticos, en términos del ancho del tambor varían generalmente entre 29 y 32 kg /cm.
- ✓ La frecuencia de vibración de los tambores usados para la compactación se encuentra generalmente entre 2000 y 3000 vibraciones por minuto (vpm), dependiendo del modelo y el fabricante.

COMPACTACIÓN POR VIBRACIÓN

COMPACTADORES VIBRATORIOS

VENTAJAS

- Se obtienen densidades mayores en suelos granulares que con el compactador de neumáticos.
- Puede compactar rellenos limpios saturados.

DESVENTAJAS

- Puede romper las gravas y deteriorar la calidad del material.
- Puede crear laminación y capas de finos
- Requiere escarificar entre capas

MÉTODOS DE COMPACTACIÓN COMBINADOS

- ✓ Uno de los dispositivos más empleados es el rodillo liso con una unidad de vibración acoplada, siendo su eficiencia máxima en suelos granulares.
- ✓ También se acoplan unidades de vibración a rodillos neumáticos, los cuales encuentran su mejor aplicación en suelos arenosos bien gradados, arenas limosas e incluso arcillosas.
- ✓ El rodillo pata de cabra con aditamento de vibración es empleado en la compactación de suelos arcillosos en capas un poco mayores a las normales.

MÉTODOS DE COMPACTACIÓN COMBINADOS

MATERIALES	TIPO DE MAQUINARIA DE COMPACTACIÓN
Terraplenes y terrenos naturales de grano fino	Rodillo de pata de cabra Rodillo de llantas de acero segmentada Rodillos neumáticos con ruedas oscilantes Rodillos vibratorios con llantas metálicas
Capas granulares de base, subbase y terreno mejorado	Rodillos de neumáticos Compactadores vibratorios Rodillos neumáticos de ruedas oscilantes Rodillos de llanta metálica segmentada
Capas de base y otros tipos de áridos gruesos.	Compactadores vibratorios de zapatas Compactadores vibradores de rodillo y llantas metálicas Compactadores de llanta metálica Compactador de neumáticos
Capas asfálticas de base mezcladas in situ	Apisonadoras de neumáticos Apisonadoras de llanta metálica Apisonadora de llanta metálica segmentada
Capas de base, intermedias o de superficies mezcladas en instalación mezcladora.	Apisonado inicial Apisonadoras de llanta metálica (tipo tándem 2 ejes) Apisonado intermedio Apisonadoras de neumáticos (autopropulsados) Rodillos tándem de 2 y 3 ejes. Apisonado final