

Consideraciones básicas sobre compactación de suelos

Fernando Verbal H.

Ingeniero Civil U.C. de Ch, SOCIETEC Ltda. Inspección y control de calidad. Casilla 16195, Correo 9, Santiago, Chile.

RESUMEN: la consideración de la capacidad de soporte y de la deformabilidad del suelo es un aspecto vital para la realización adecuada de muchos proyectos de construcción e ingeniería civil que comprendan movimiento de tierras. Es por ello que el trabajo de selección del material que formará el relleno y el procedimiento de compactación empleado tienen una influencia decisiva en la seguridad, calidad y duración de la obra, sin que ello represente una parte importante en su costo total. El presente artículo tiene por finalidad entregar una recopilación general de aspectos básicos que deben tenerse presente en el momento de diseñar, construir o inspeccionar una obra que incluya compactación de rellenos de tierra, permitiendo tomar decisiones acertadas cuando, como ocurre normalmente, se presenten variaciones de algunos parámetros que afecten su calidad.

I. INTRODUCCION

Si bien las obras que implican movimiento de tierras son conocidas desde la antigüedad, no se hacían esfuerzos especiales para compactar los terraplenes viales o bases de fundaciones estructurales. El empleo de rebaños de ganado, uso frecuente de la vía y compactación hidráulica por riego o lluvia, recién empieza a ser sustituido en el siglo XVIII con la aparición de rodillos tirados por caballos o bueyes.

La aparición de apisonadoras con rodillo liso de acero, propulsadas a vapor a mediados del siglo XIX y con motor de combustión interna luego, permiten iniciar los procesos de compactación controlada. En 1905 aparecen los primeros rodillos pata de cabra, aún tirados por caballos o muías, y en la década del 30 se inicia la compactación vibratoria de suelos para la construcción de las grandes autopistas alemanas.

Paralelamente, el alto desarrollo que se logra a mediados de este siglo en el conocimiento del suelo, permite ahora, diseñar obras que empleen movimiento de tierras bajo claras especificaciones sobre los materiales a usar y procedimientos a seguir, para obtener la compactación que asegure las condiciones de soporte deseadas.

1.1 Materiales

Sí nos circunscribimos a las obras de relleno con fines viales y estructurales, el especialista elegirá una mezcla de materiales que le dé garantías de estabilidad y deformabilidad para soportar sin problemas la estructura que deba fundarse sobre él. Luego, estudiará en laboratorio la combinación necesaria de materiales existentes en las zonas de empréstito a utilizar para la obra, a fin de lograr esa mezcla. Por último, el grado de cumplimiento en terreno de la especificación técnica dependerá fundamentalmente de la inspección asignada a la obra.

Cuando se trata de una obra vial, el especialista basa la especificación de los rellenos en las recomendaciones de instituciones tales como: AASHTO (American Association State Highway and Transportation Officials), ASTM (American Society for Testing and Materials), Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad, etc.; mientras que la especificación de rellenos estructurales se basa fundamentalmente en la experiencia del especialista.

Respecto a los materiales a usar, en términos generales se puede indicar:

- Los rellenos estructurales se prefieren en base a materiales granulares, ya que la arena y la grava tienen excelentes propiedades de capacidad de carga, entre otras características. Si bien las partículas no tienen cohesión entre sí para formar una estructura estable, ello no tiene trascendencia cuando quedan confinados.
- Los rellenos viales se prefieren en base a mezclas de grava, arena y arcilla (estabilizado), con buenas propiedades de capacidad de carga, compactable satisfactoriamente y estable ya sea que esté seco o mojado.

Con el fin de tener una orientación inicial rápida en terreno, es aconsejable hacer una clasificación preliminar de los suelos existentes; de todas maneras los suelos deben cumplir las especificaciones, para ello se deben realizar los ensayos correspondientes en laboratorios. Los siguientes dos procedimientos pueden significar una buena ayuda para el constructor:

- a) Una muestra de suelo se coloca en un vaso de agua. Se agita y se deja reposar durante 90 segundos. Si el agua se aclara, el material es muy granular, con poco o ningún material plástico o fino. Si el agua se mantiene fangosa o nublada, existe un elevado porcentaje de suelo fino.
- b) Una muestra de suelo se moldea con la mano en forma de "puro" alargado de unos 3 mm de diámetro. Si se logra sin dificultad, el suelo es generalmente plástico y habrá que tener cuidado al compactarlo. Si no se logra moldearlo, el suelo es menos plástico y por tanto es más apropiado para la compactación.

1.2 Equipos de compactación

Los equipos de compactación realizan su trabajo de cuatro formas principales o combinaciones de ellas (Figura N°1):

- por peso estático
- por amasamiento
- por impacto
- por vibración

A continuación, se describen algunas características de estos equipos:

1. Por peso estático: son compactadores con rodillos lisos de acero, de baja velocidad de desplazamiento, generalmente autopropulsados, y no recomendados para operar sobre pendientes elevadas. Corresponden a la primera generación de compactadores y actualmente, con ellos se logran los mejores resultados sobre suelos granulares gruesos.

Por amasamiento: son compactadores por peso estático provistos de llantas neumáticas o rodillos pata de cabra. El vehículo en sí es un recipiente para lastres, sólidos o líquidos, lo que da el peso de compactación. Los de llantas neumáticas disponen de dos ejes en tándem con cuatro a nueve ruedas cada uno. Son de control más riguroso, porque la presión sobre el suelo depende: del peso del vehículo, de la presión de aire de las llantas, del tamaño de ellas y del tipo de suspensión de las ruedas. Las desventajas de este tipo de equipo es su mala flotación en materiales sueltos, deslizamiento de las unidades autopropulsadas en suelos muy húmedos, profundidad máxima de compactación efectiva de 15 cm y densidad deseada sólo en las capas superiores. Los compactadores con rodillos pata de cabra se emplean en densificar suelos cohesivos del tipo arcillas limosas. Se deben aplicar a espesores de 25 cm a 30 cm, sin importar que eventualmente hagan "puente" (el rodillo hace contacto sólo parcial con el suelo), ya que este efecto cesa después de algunas pasadas.

2. Por impacto: son unidades que logran compactar por medio de una acción de saltos sobre el suelo. Su sistema motriz tiene una frecuencia muy baja y una amplitud muy alta, con lo que el golpe dado al suelo es varias veces mayor que su peso. Estos equipos suelen ser apisonadores manuales que se utilizan en zonas pequeñas o espacios restringidos, sobre cualquier suelo (incluso cohesivos) que tengan su humedad cercana al óptimo.
3. Por vibración: el compactador vibratorio funciona impartiendo una fuerza dinámica al suelo por medio de una serie de impactos rápidos. Su éxito está en la capacidad de

compactar una amplia variedad de suelos, de mayor profundidad y en menor tiempo que los métodos estáticos. Pueden ser de rodillo, en que la vibración se imparte al suelo mediante un tambor de acero liso o pata de cabra, o de placas, que es la versión manual para trabajar en fondos de zanjas, espacios reducidos y cuestas.

1.3 Compactación

La compactación produce al suelo una densificación que mejora notablemente su resistencia al corte y sus condiciones de soporte, disminuyendo ostensiblemente los asentamientos totales o diferenciales, disminuye su permeabilidad y sus granos quedan menos expuestos a la memorización. En todo caso, no hay método de compactación igualmente adecuado para todo tipo de suelos.

Para suelos granulares, la compactación por vibración es la más eficaz y económica. La vibración permite que las partículas de suelo se rearreglen en una configuración más cerrada, lo que disminuye la porosidad y aumenta su fricción. El efecto de vibración penetra más profundamente en el suelo, con lo que el espesor de las capas a compactar aumenta, contribuyendo ésto a la economía del procedimiento.

Los suelos arenosos o limosos con cohesión moderada son compactados suficientemente mediante rodillos neumáticos, que se adaptan mejor para la compactación de limos y suelos no plásticos. Para compactar suelos plásticos con cohesión relativamente baja, pueden usarse rodillos pata de cabra. En ambos casos es preferible proceder en capas delgadas y con un contenido de humedad próximo a su óptimo.

Las arcillas sólo responden a la compactación mediante rodillos pata de cabra estáticos cuando el contenido de humedad es ligeramente superior al límite plástico. Esto se debe a que a medida que aumenta la cohesión, disminuye rápidamente la eficiencia de las vibraciones y de las presiones temporales como medio de compactación; ya que la adherencia entre partículas impide su desplazamiento a posiciones más estables.

Pero en todos ellos el esfuerzo de compactación imparte al suelo un incremento de la densidad y de la resistencia al corte y una disminución de la permeabilidad y de la compresibilidad, lo que asegura su estabilidad bajo condiciones controladas de carga.

En todo caso, la compactación mediante la introducción de energía al suelo es el método más barato y eficiente de estabilización mecánica. Los métodos hidráulicos producen un mejoramiento limitado de la capacidad resistente del suelo, mientras la adición de sales cementantes sólo se justifican en casos especiales.

II ESPECIFICACION DE MATERIALES

La elección de materiales en cada caso, como fue dicho anteriormente, depende en grado importante de la experiencia del especialista y de los materiales disponibles en las cercanías de la obra; por lo que las especificaciones pueden sufrir variaciones importantes.

A continuación se indica lo que se estima condiciones mínimas exigibles al material empleado en cada obra.

La granulometría está dada en base a los tamices de la serie normal según ASTM, cuya equivalencia con la norma chilena NCh 1022 se indica en Tabla N°1.

Tabla N° 1 Equivalencia ASTM y NCh para tamices normales

NCh (mai)	80	50	25	20	10	5	2	0.5	0.08
US Standard	3"	2"	1"	3/4"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200

El límite líquido e índice de plasticidad indicados en cada caso se entienden medidos en la fracción de suelo que pasa la malla N°40. Con el fin de visualizar los índices anteriores en función de cada tipo de suelo, en la Figura N°2 se muestra el gráfico de las plasticidades según Arthur Casagrande (1); mientras en la Figura N°3 se muestra las diferentes capas componentes de un pavimento, para ejemplificar la descripción.

2.1 Relleno estructural

Los rellenos estructurales están destinados a nivelar el terreno natural y/o a mejorar y uniformar la capacidad de soporte del suelo, reducir los asentamientos y aumentar su resistencia al corte.

La especificación que se entrega en Tabla N°2 corresponde a la confeccionada por CORVI (2) para rellenos compactados bajo fundaciones de edificios. Se recomienda que el material tenga un índice de plasticidad inferior a 10.

Tabla N°2 Especificación recomendada por CORVI

Malla	% que pasa
3"	100
1"	70 - 100
N°10	20 - 100
N°40	10 - 60
N°200	0 - 10

Dependiendo de la importancia de la obra, los rellenos se compactan a una densidad relativa no inferior al 70% para obras secundarias, al 75% para las normales y al 80% para las principales.

2.2 Relleno bajo radier

Los rellenos bajo radier permiten disponer de una superficie uniforme que asegure el nivel de radier deseado. Su granulometría conviene que sea gruesa con el propósito de cortar los ascensos capilares del agua.

En general se emplea un suelo granular que resulte económico en el sector del proyecto. Algunas limitantes básicas se entregan en Tabla N°3 (2). Lo normal es que los rellenos bajo radier se compacten al 75% de su densidad relativa.

Tabla N°3 Limitantes básicas para rellenos bajo radier

Pasa malla de 3''	100%
Pasa malla N°200	35% máximo
Límite líquido	35% máximo
Índice de plasticidad	10% máximo

2.3 Sub-base

La Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas (MOP) (3) distingue entre sub-base de pavimentos de hormigón y de pavimentos flexibles.

En el primer caso, autoriza el uso de suelos con la granulometría indicada en Tabla N°4 y los requisitos presentados en Tabla N°5.

Tabla N°4 Granulometría recomendada por MOP para sub-bases de pavimentos de hormigón

Malla	% que pasa
2"	100
1 "	55 - 100
3/8"	40 - 70
N°4	35 - 65
N°10	20 - 50
N°40	10 - 30
N°200	0 - 15

Tabla N°5 Requisitos adicionales para los materiales de sub-bases de pavimentos de Hormigón

Límite líquido	25 máximo
Índice plasticidad	6 máximo
Desgaste Los Angeles	40 máximo
Espesor de capa compactada	mínimo 10 cm máximo 20 cm

Para sub-bases no estabilizadas de pavimentos flexibles (bajo o nulo porcentaje de arcilla), se exige que los materiales cumplan con alguna de las bandas granulométricas indicadas en Tabla N°6 y los requisitos presentados en Tabla N°7. Las tolerancias, de más o menos, no se aplicarán a los requisitos de 100%.

Tabla N°6 Granulometrías recomendadas por MOP para sub-bases no estabilizadas de pavimentos asfálticos

Tamiz	Tolerancia		CGTM 3"	CGTM 2"	CGTM 1 1/2"	CGTM 1"	GTM 3/4"
	+	-					
3"	0		100	-	-	-	-
2"	0		-	100	-	-	-
1 1/2"	15		74	87	100	-	-
1"	16		62	73	84	100	-
3/4"	16		54	64	73	88	100
3/8"	16		40	47	53	64	73
N°4	16		29	34	39	47	54
N°8	15		21	25	28	34	39
N°30	10		12	14	15	18	21
N°40	8		10	11	13	15	8
N°20	6		4	5	6	7	8

* CGTM = carpeta granular de tamaño máximo indicado.

Tabla N°7 Requisitos adicionales para los materiales de sub-bases no estabilizadas de pavimentos asfálticos

Límite líquido	25 máximo
Índice de plasticidad	6 máximo
Desgaste Los Angeles	50 máximo

Para sub-bases estabilizadas de pavimentos flexibles (mediante contenido de arcilla), se exige que los materiales cumplan con alguna de las bandas presentadas en la Tabla N°6 anterior y con las condiciones adicionales indicadas en la Tabla N°8.

Tabla N°8 Requisitos adicionales para los materiales de sub-bases estabilizadas de pavimentos asfálticos

Límite líquido	35 máximo
Índice plasticidad	4 mínimo
	9 máximo

Las sub-bases estabilizadas se compactarán a un mínimo del 95% del Proctor Modificado, mientras que las no estabilizadas lo harán al 80% de la densidad relativa.

2.4 Bases de caminos

A pesar que no está claramente indicado en el Manual de Carreteras (3), debe entenderse que la base para pavimentos de hormigón debe cumplir con la misma granulometría y condiciones indicadas anteriormente para su sub-base, agregando un desgaste de Los Angeles no superior a 10.

Las bases estabilizadas de agregados granulares a colocar sobre sub-base o sub-rasante para pavimentos flexibles serán de material que cumpla con alguna de las bandas granulométricas CGTM 2", CGTM1 ½, CGTM 1" y CGTM 3/4", dadas en 2.3 para sub-base de pavimentos flexibles y además de las siguientes condiciones presentadas en tabla N°9.

Tabla N°9 Requisitos adicionales para los materiales de base estabilizada de pavimentos asfálticos

Límite líquido	2 5 máximo
Índice plasticidad	6 máximo
Desgaste Los Angeles	10 máximo

Revista de Ingeniería de Construcción, N° 3, Agosto 1987

Las bases estabilizadas se compactarán a un mínimo del 95% del Proctor Modificado, mientras las de suelos no cohesivos lo harán al 80% de la densidad relativa.

2.5 Carpetas de rodado granulares

Los agregados a utilizar en carpetas de rodado granulares, sean ellas estabilizadas o no, deberán cumplir con alguna de las bandas granulométricas CGTM, 1 1/2", CGTM 1" y CGTM 3/4" dadas en 2.3 para sub-base de pavimentos flexibles y además con las condiciones indicadas en Tabla N°10.

Tabla N°10 Requisitos adicionales recomendados por MOP para carpetas de rodado granulares

Límite líquido	25 máximo
Índice plasticidad	6 máximo
Desgaste Los Angeles	10 máximo

Las carpetas de rodado estabilizadas se compactarán a un mínimo del 95% del Proctor modificado, mientras que las no estabilizadas lo harán al 80% de la densidad relativa.

III. ENSAYOS DE CONTROL DE COMPACTACION

3.1 Grado de compactación

El grado de compactación de un relleno de tierra se mide como una relación entre la densidad medida en el relleno colocado y la densidad máxima obtenida con el mismo material de acuerdo al procedimiento seguido en el ensayo Proctor.

Si el suelo es, no cementado y con un contenido de finos que pasa la malla N°200 no superior a 12%, el grado de compactación se mide mediante su densidad relativa (índice de densidad) (3), definida por

$$D_r = 100\% \left[\frac{p_{m\acute{a}x} (p_d - p_{m\acute{i}n})}{p_d (p_{m\acute{a}x} - p_{m\acute{i}n})} \right] \quad (1)$$

en que:

D_r = densidad relativa en %, también designada índice de densidad I_D .

Es el estado de compactación de un suelo con respecto al estado más suelto y más denso posible obtenido mediante procedimientos normalizados de laboratorio (Norma Chilena NCh 1726 y Norma ASTM D 2049-69).

P_d = densidad aparente seca del suelo en el terreno.

$P_{mín}$ = densidad aparente seca mínima medida en laboratorio.

$P_{máx}$ = densidad aparente seca máxima medida en laboratorio.

Si el suelo tiene un porcentaje de finos plásticos, tal que la compactación por impacto permite obtener una curva bien definida entre su contenido de humedad y la densidad seca medida en laboratorio, el grado de compactación se mide mediante un tanto por ciento Proctor, dado por:

$$\% \text{ Proctor} = 100\% \frac{p_d}{p_{máx}} \quad (2)$$

en que:

P_d = definida anteriormente.

$P_{máx}$ = densidad seca máxima determinada en laboratorio por gráfico humedad/densidad en el ensayo Proctor.

Existen dos tipos de ensayos Proctor. Uno conocido como ensayo Proctor: uno Normal y el otro denominado Ensayo Proctor Modificado. El primero descrito en la Norma Chilena NCh 1534-1 (que concuerda parcialmente con la Norma ASTM D 696-70 y AASHTO T 99-70) y el segundo descrito en la Norma chilena NCh 1534-II (que concuerda parcialmente con las Normas ASTM D 1557-70 y AASHTO T 180-70)

La diferencia entre el ensayo Proctor Normal y Proctor Modificado es sólo la mayor energía de compactación empleada en este último.

Si bien no existe una relación entre el grado de compactación referido al resultado entregado por ambos ensayos, cabe señalar que el ensayo Proctor Modificado conduce a una densidad aparente seca máxima 5% a 10% mayor que el ensayo Proctor Normal y a una humedad óptima menor.

En definitiva, se requiere efectuar los siguientes ensayos para determinar el grado de compactación de un relleno:

- densidad aparente seca del suelo en el terreno.
- densidades máxima y mínima en laboratorio, o densidad máxima proctor, según corresponda.

3.2 Densidad aparente seca en el terreno

*

Si bien en el caso de suelos finos, o de arenas con finos, existe la posibilidad de determinar la densidad del relleno mediante extracción de muestras no alteradas, lo habitual es hacerlo por el método tradicional del cono y arena normalizada, y/o últimamente, por métodos nucleares.

Los métodos nucleares están basados en la retrodifusión de rayos gama provistos en general por una fuente de cobalto colocada en la superficie de la capa a estudiar. Los rayos gama emitidos son reenviados por retrodifusión y captados en un foco multiplicador. El método tiene el inconveniente de perturbar levemente el suelo al colocar los electrodos, pero no cabe duda que es cómodo y rápido. Sin embargo, su alto costo, las rigurosas condiciones que debe cumplir el operador y las limitaciones que presenta su empleo, en particular en suelos heterogéneos con bolones a gravas gruesas intercaladas, han atentado contra la popularización de este procedimiento. El método no se encuentra normalizado en Chile, pero puede aplicarse las disposiciones de la norma ASTM D2922.

El método del cono y arena normalizada definido en la norma chilena NCh 1516 (que concuerda en parte con la norma ASTM D1556) consiste excavar un hoyo en la capa a ensayar y llenar éste con una arena bien seca, de granulometría cortada, y de densidad calibrada, la que es vertida de una altura constante. Se determina el peso de la arena seca vertida y, con la densidad dada por la calibración, se calcula el volumen. La ventaja del procedimiento estriba en que la arena se amolda bien a las paredes del hoyo, aún cuando su forma sea irregular. Pesar los materiales extraídos del hoyo requiere una operación cuidadosa para asegurar que se ha recibido su totalidad sin pérdida ni adición. Para una medida del contenido de humedad más representativa, es recomendable procesar el total de la muestra. La medida del volumen del hoyo es más compleja, ya que generalmente éste no tiene una forma geométrica simple y sus paredes no son lisas. Sustituir la arena por un líquido, que se adapta mejor aún a las paredes, es una idea seductora; pero pueden ser afectados por la naturaleza del terreno. Este concepto es la base de los métodos que emplean un fluido viscoso para que no filtre por los poros del suelo o los que cubren el hoyo con una membrana de goma muy flexible antes de llenar con agua (densímetro de membrana o volutester), ambos sin normalizar en Chile, aunque para el segundo puede aplicarse las disposiciones de la norma ASTM D2 167.

IV ESPECIFICACIONES TECNICAS

En general, a lo largo del artículo se han ido intercalando las principales especificaciones que deben cumplir tanto los materiales, como los equipos y métodos de compactación. Además es conveniente considerar las siguientes disposiciones.

4.1 Sobre el material

El material o la mezcla de materiales a usar en un relleno vial o estructural deberá estar homogéneamente revuelto, libre de grumos o terrones de arcilla, materias vegetales o cualquier otra sustancia perjudicial.

La curva granulométrica del material o mezcla deberá ser uniforme y quedar dentro de la banda definida para la obra.

La plasticidad de los finos deberá ajustarse a las especificaciones dadas para la obra.

El tamaño de las partículas más grandes del suelo no podrá ser mayor a 1/3 del espesor de la capa a compactar.

4.2 Sobre la construcción

Con el fin de producir una buena base para el relleno, el suelo natural o de fundación deberá escarificarse a una profundidad no inferior a 30 cm bajo la sub-rasante, agregar agua si lo requiere y compactar al 95% del Proctor modificado.

LOS bolsones de material no apto (pantanos, basurales, suelo vegetal, etc. deberán eliminarse y reemplazarse por material similar al suelo natural, compactado por capas al 90% del Proctor modificado, salvo la capa superior que se compactará al 95%

El material extendido y humedecido se compactará progresivamente desde los bordes al centro, desplazándose los rodillos a media rueda en cada pasada hasta obtener la densidad requerida.

Cualquier irregularidad o depresión que aparezca durante la compactación, deberá corregirse aflojando el material en estos sitios y quitando o agregando material hasta que la superficie resulte pareja y uniforme.

REFERENCIAS

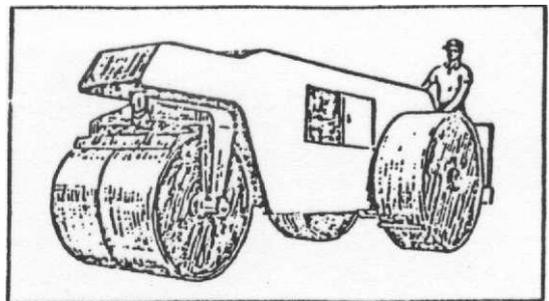
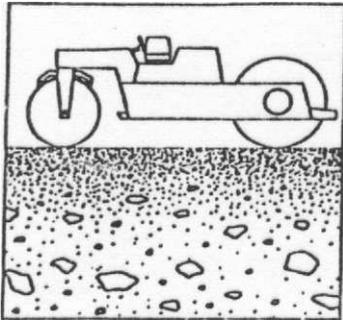
- 1) Terzaghi, K. y Peck, R.B. - "Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica". Editorial El Ateneo, Barcelona, 1963.
2. Guzmán, Z., Elias "Aspectos Prácticos sobre Compactación de Suelos" Revista del IDIEM, Vol 13 N°3, diciembre 1974.
3. M.O.P. Dirección de Vialidad - "Manual de Carreteras", 1975.

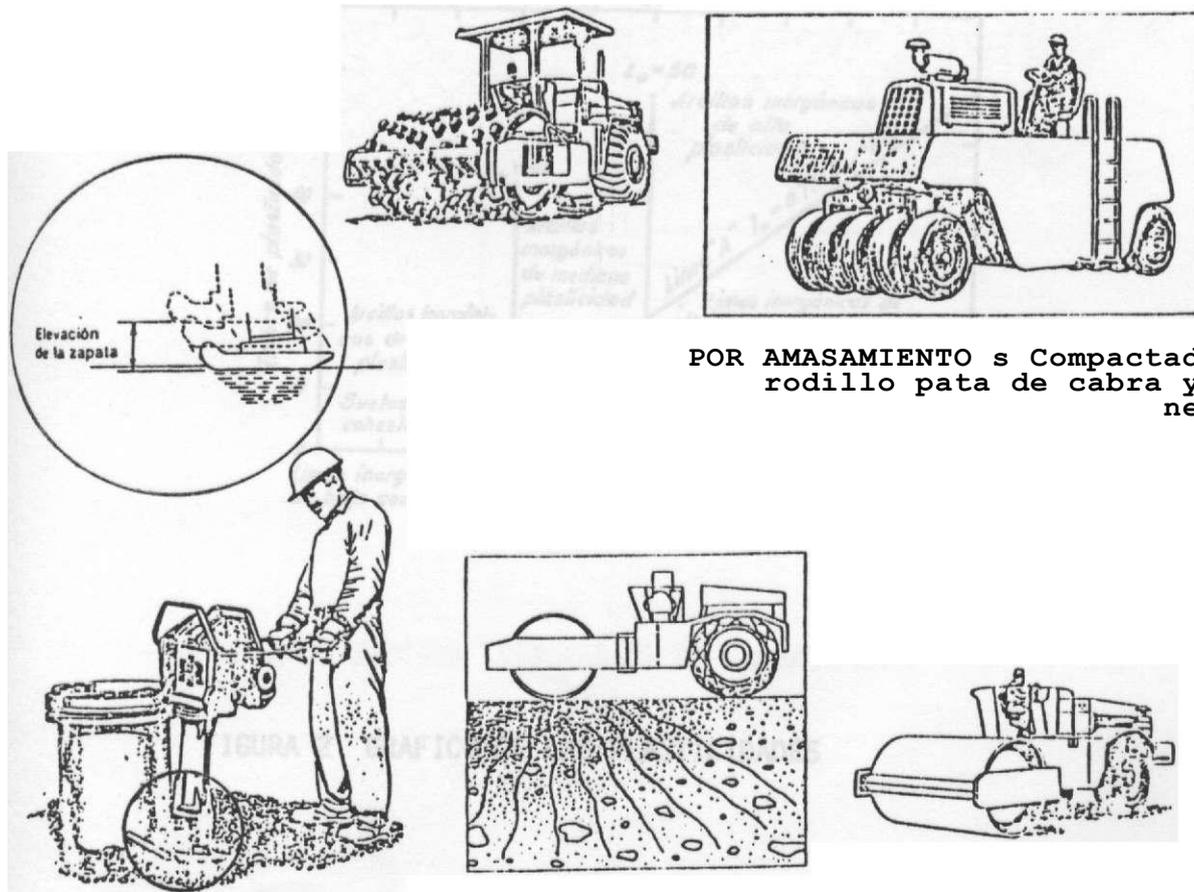
BIBLIOGRAFIA

4. NCh 1516 of 79 "Mecánica de suelos - Determinación de la densidad en el terreno - Método del cono de arena". Instituto Nacional de Normalización, 1979.

Revista de Ingeniería de Construcción, N° 3, Agosto 1987

5. NCh 1534/1 of 79 "Mecánica de suelos - Relaciones humedad-densidad - Parte 1: método de compactación con pisón de 2.5 kg y 305 mm de caída" Instituto Nacional de Normalización, 1979.
6. NCh 1534/2 of 79 "Mecánica de suelos - Relaciones humedad-densidad - Parte 2: método de compactación con pisón de 4.5 kg y 450 mm de caída". Instituto Nacional de Normalización, 1979.
7. NCh 1726 of 80 "Mecánica de suelos - Determinación de las densidades máxima y mínima y cálculo de la densidad relativa en suelos no cohesivos". Instituto Nacional de Normalización, 1979.
8. Peurifoy, R.L., "Métodos, Planeamiento y Equipos de Construcción". Editorial Diana S.A, México, 1971.
9. Ingersoll-Rand - "Compactación de Suelos" - Revista Construcción Pan-Americana. Vol IX N°12, septiembre 1981.
10. Valle R., Raúl - "Carreteras Calles y Autopistas", Editorial El Ateneo, Buenos Aires, 1970.





POR AMASAMIENTO s Compactadores con rodillo pata de cabra y llantas neumáticas

FIGURA I. COMPACTADORES

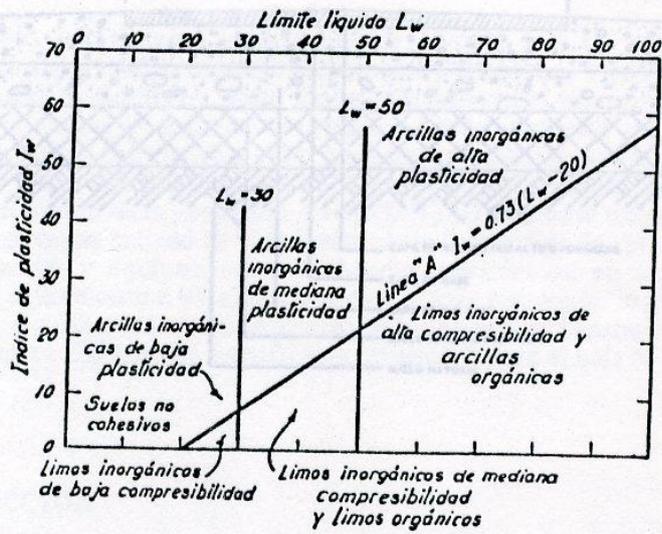
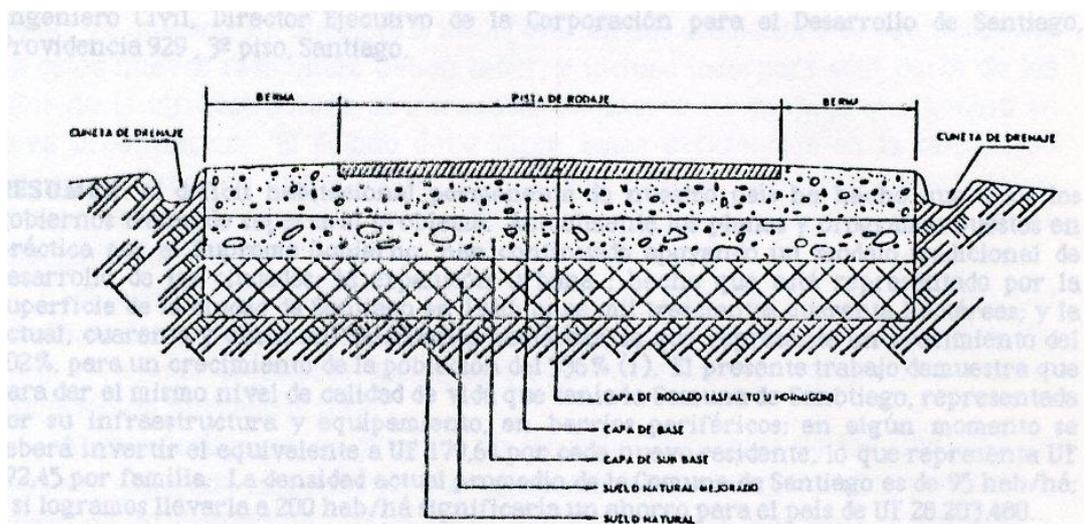


FIGURA 3 SECCION TRANSVERSAL DE UN PAVIMENTO

FIGURA 2 GRAFICO DE LAS PLASTICIDADES



INTRODUCCION

Al 31 de diciembre de 1985 la población de Chile era de 12.074.500 habitantes, de los cuales 4.772.900 personas viven en las ciudades del país (2). En la Región Metropolitana viven 4.772.900 personas, que representan el 39,50% de la población nacional. El 90,46%, o sea 4.316.305 de las viven en lo que se llama el Gran Santiago (2).

Debido a la combinación del crecimiento vegetativo propio, la migración

FIGURA 3 SECCION TRANSVERSAL DE UN PAVIMENTO