el suelo estabilizado, material de construcción

la compactación en carreteras

J. NADAL, ingeniero de caminos

812 - 5

Por exigencias de espacio disponible en el anterior número de la revista hubo de fraccionarse el artículo dedicado a la compactación, habiéndose publicado únicamente la reseña de la maquinaria utilizada para densificar los suelos "in situ" y dejando para el presente número la descripción de los ensayos realizados por la R. R. L.

Desgraciadamente, no existe aún una teoría general de la compactación que permita exponer el tema esquematizado, cuando de aplicaciones prácticas se trata, por lo que hemos tenido que recurrir al análisis de una verdadera casuística, para tratar de poner de relieve las correlaciones que se observan entre las diversas variables que interesan al constructor y al proyectista. Una de estas variables es el equipo de compactación, y su elección entre las diversas soluciones que ofrece la industria de maquinaria es, a veces, decisiva, tanto para la calidad de la obra como para el rendimiento económico de los trabajos. Sería nuestro deseo que las presentes notas fuesen de alguna utilidad para aquellos que, no siendo especialistas en la materia, se vean en la necesidad de abordar tan delicada cuestión.

8.4. ENSAYOS REALIZADOS POR LA ROAD RESEARCH LABORATORY

Los ensayos a que nos referimos fueron publicados por primera vez en 1950 y reimpresos en 1959, y en ellos se emplearon cinco suelos cuyas características se han resumido en la figura 18.

Las máquinas de compactación ensayadas fueron:

Dos apisonadoras, cuyas características pueden apreciarse en el cuadro I.

Un rodillo de neumáticos, cuyas características principales se han consignado en el cuadro II.

Dos rodillos de pata de cabra (véase cuadro III).

Una rana, cuyo diámetro en la base era de 0,623 m y su peso 6.404 kilogramos.

El grado de compactación se determinaba por su densidad en seco, D , la cual, a su vez, se calculaba en función de la densidad del suelo «in situ», D_i , y el por ciento de humedad, m .

$$D = D_i \frac{100}{100 + m}$$

Se determinaron las humedades óptimas en ensayo de Laboratorio y en el terreno compactado cuyos resultados figuran en el cuadro IV.

Los ensayos permitieron trazar las curvas para distintos contenidos de humedad, en función de la densidad en seco-número de pasadas de la máquina, que presentan las formas que puede apreciarse en las figuras 19 y 20, y se midieron las densidades a diferentes profundidades, cuyos resultados para el caso de un pisón rana se resumen en el cuadro V. Las experiencias permitieron, asimismo, calcular el esfuerzo de tracción necesario para cada tipo de máquina compactadora (cuadro VI) y entre los resultados que cabe deducir de las magnitudes halladas experimentalmente, se considera particularmente interesante la tabla de rendimientos en m^3 /hora que se incluye en el cuadro VII, así como los límites de error y desviaciones en las densidades medidas que deben de tener muy presente los directores e inspectores de obras (cuadro VIII).

CUADRO

I

Características de dos apisonadoras de ruedas dentadas

A P I S O N A D O R A	2 ½ t	8 t
Peso bruto	2.794 kg	8.623 kg
Peso de los rodillos delanteros	863 kg	3.548 kg
Peso de los rodillos traseros	1.930 kg	5.075 kg
Diámetro de los rodillos delanteros	86,36 cm	106,6 cm
Ancho de los rodillos delanteros	30,48 cm (× 2)	53,3 cm (× 2)
Diámetro de los rodillos traseros	91,4 cm	137,1 cm
Ancho de los rodillos traseros	38,1 cm	45,7 cm
Ancho de la rodada	129,5 cm	177,8 cm
Base de la rueda	182,9 cm	289,5 cm
Carga por cm de ancho:		
Rodillos delanteros	14,14 kg	8,26 kg
Rodillos traseros	25,30 kg	55,50 kg
$\frac{\text{Carga sobre el rodillo (kg)}}{\text{Ancho rodillo (cm)} \times \phi \text{ del rodillo (cm)}}$		
Rodillos delanteros	0,33 kg	0,62 kg
Rodillos traseros	0,55 kg	0,81 kg

CUADRO

II

Características de la apisonadora de rodillos neumáticos

Peso tarado	1.633 kg
Peso con carga	12.192 kg
Número de ruedas	9 (4 delanteras y 5 traseras)
Tamaño de los rodillos	28 cm × 30,5 cm
Espacio entre ruedas	45,7 cm
Ancho de la rodada	208,3 cm
Presión de los rodillos hinchados	2,53 kg/cm²
Presión media debajo de los rodillos	2,74 kg/cm²
Carga por rodillo	1.361 kg, aproximadamente.
Montaje de las ruedas	Par de ruedas fijadas sobre ejes oscilantes.

CUADRO

III

Características de la apisonadora de pata de cabra

TIPO DE APISONADORA	PIE TRONCOPIRAMIDAL	PIE PIRAMIDAL
Peso (vacío)	3.213,6 kg	2.773,78 kg
Peso (balastro de agua)	5.000 kg	4.572,80 kg
Número de rodillos	2	2
Armadura	Fija	Flotante
Número de zapatas sobre el rodillo	64	88
Número de zapatas en línea por rodillo	4	4
Distancia entre centros	30,48 cm	30,48 cm
Tamaño de las zapatas	10,16 × 7,62 (77,42 cm ²)	5,71 × 5,71 (32,66 cm ²)
Presión de las zapatas (vacío)	5,20 kg/cm ²	10,62 kg/cm ²
Presión de las zapatas (balastro de agua)	8,08 kg/cm ²	17,51 kg/cm ²
Díámetro del rodillo	106,7 cm	106,7 cm
Longitud de la zapata	17,7 cm	19,7 cm
Longitud total	459,7 cm	444,5 cm
Anchura total	292,1 cm	292,1 cm
Ancho de los rodillos	121,9 cm	121,9 cm
Espacio entre rodillos	5,0 cm	17,7 cm
Número mínimo de pasadas para dar un apisonado completo.	11	20

Por no alargar demasiado esta publicación, se ha incluido únicamente, a título de ejemplo, algunos de los cuadros y gráficos en que se reflejan los resultados de la experiencia que nos ocupa, habiéndose omitido otros muchos del mismo interés.

Los comentarios que siguen se basan tanto en los omitidos como en los publicados.

8.4.1. Efecto del contenido de humedad en el grado de compactación.

El contenido de humedad es el factor que influye más preponderantemente en la compactación de un suelo, y se ha podido comprobar que la máxima densidad en seco obtenida corresponde a un porcentaje óptimo de humedad, rebasado el cual, la compactación es más fácil, pero la densidad obtenida es menor; todo lo cual concuerda con los resultados (cualitativos, pero no necesariamente cuantitativos) obtenidos en el laboratorio.

Las curvas que relaciona la densidad con el grado de humedad son cóncavas respecto al eje de humedades, con sólo un máximo, excepto para terrenos con fuerte plasticidad, que también presentan un mínimo cuando la compactación se realiza con rodillos de neumáticos o apisonadoras de rueda rígida, mínimo que, por aparecer por bajo de la humedad óptima (ver figura 21), puede resultar peligroso en aplicaciones prácticas y, sobre todo, justifica, como adelante se verá, que en ciertos casos haya de emplearse compactadoras de pisonos, ranas, rodillos de pata de cabra o una máquina de un tipo que dé mucha presión sobre el terreno, como elemento complementario en el equipo de compactación, especialmente en aplicaciones de suelo-cemento con suelos granulares de cierta plasticidad.

ARCILLA ARENOSA - APISONADORA CON RODILLOS NEUMATICOS

8.4.2. Efecto del contenido de humedad en el número de pasadas del equipo de compactación.

Los ensayos que comentamos confirman que, a partir del suelo suelto, las primeras pasadas del equipo originan una fuerte compactación; el resultado va siendo menor cuando aumenta el número de pases, hasta que muy pronto se llega al equilibrio, de tal manera que carece de utilidad reiterar las operaciones por cuanto la densidad no crece con ello.

Cuando la humedad está por encima del valor óptimo, la compactación es muy fácil y pueden, incluso, obtenerse, con un equipo dado, densidades mayores, pero la resistencia del suelo decrece con el contenido de humedad, obligando a considerar este factor si es que se decide trabajar con humedades mayores de la óptima, lo que, en algún caso, puede ser conveniente.

Obsérvese, sin embargo, que cierto equipo no llega, en ningún caso, a eliminar proporciones fuertes del aire contenido en el suelo. Así, por ejemplo, en la figura 22 se ve que en el terreno ensayado — arcilla arenosa—se desaloja el aire con una apisonadora de ruedas lisas, pero no con las otras máquinas ensayadas, lo que debe tenerse muy presente en las aplicaciones prácticas.

CUADRO IV

Comparación de la densidad máxima en seco y el contenido óptimo de humedad, obtenido mediante ensayos de laboratorio para cinco suelos con equipos de compactación de varios tipos

TIPO DE SUELO	ARCILLA DENSA		ARCILLA LIMOSA		ARCILLA ARENOSA		ARENA		GRAVA-ARENA-ARCILLA	
Clasificación Casagrande	C H		C L		M L		S W		G W	
	Máxima densidad seca (kg/m³)	Óptimo contenido de humedad %	Máxima densidad seca (kg/m³)	Óptimo contenido de humedad %	Máxima densidad seca (kg/m³)	Óptimo contenido de humedad %	Máxima densidad seca (kg/m³)	Óptimo contenido de humedad %	Máxima densidad seca (kg/m³)	Óptimo contenido de humedad %
Ensayo de compactación B. S. ...	1553,86	26	1666,00	21	1842,21	14	1938,32	11	2066,48	9
Ensayo de compactación modificado A.A.S.H.O. ...	1810,17	17	1922,30	14	2050,46	11	2082,50	9	2210,76	7
Apisonadora de ruedas dentadas de 2 ¾ t ...	1521,82	21	1762,11	17	1826,19	16	2034,44	10	2146,68	8
Apisonadora de ruedas dentadas de 8 t ...	1666,00	20	1778,13	16	1858,23	14	2114,64	8	2210,76	7
Apisonadora de rodillos neumáticos ...	1569,88	25	1666,00	20	1730,07	19	2034,44	11	2018,42	7
Apisonadora de pata de cabra troncopiramidal ...	1714,05	16	1858,23	14	1906,28	12	—	—	2066,48	6
Apisonadora de pata de cabra piramidal ...	1714,05	15	1842,21	14	1922,30	12	—	—	2050,46	5
Pisón Rana ...	1714,05	17	1762,11	15	1858,23	13	2050,46	10	2178,72	7

CUADRO V

Gradiente de densidad de las capas de un suelo, obtenida por compactación de capas esponjadas de 76,20 cm de espesor en arcilla limosa, arena y grava-arena-arcilla por seis pasadas completas de un pisón rana

TIPO DE SUELO	Contenido de humedad (%)	Densidad seca por asentamiento (kg/m³)	Densidades secas obtenidas a diferentes profundidades bajo una superficie compactada (kg/m³)					Gradiente de densidad seca (kg/m³/cm)	Promedio de densidad seca en capas compactadas (kg/m³)	Promedio relativo de compactación (%)
			0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm	30 a 40 cm	40 a 50 cm			
Arcilla limosa	16,5	1121,34	1762	1698	1634	1554	1490	6,40	1633,45	98
Arena	10,5	1409,69	2066	2018	2002	1986	1954	3,20	2002,40	102
Grava-Arena-Arcilla	8,5	1361,63	2163	2082	2082	2034	1986	3,80	2066,48	100

VI

CUADRO

Esfuerzo necesario para arrastrar la apisonadora de rodillos neumáticos y los dos tipos de apisonadora de pata de cabra con lastre de agua, en varios tipos de suelo, a una velocidad de 11,27 km/hora

ESFUERZO EN EL ENGANCHE (kg)

Suelo cuyo contenido de humedad es aproximadamente el máximo para hacer funcionar el equipo sobre una tongada suelta de 22,9 cm.

Suelo cuya humedad es, aproximadamente, la óptima para el equipo.

TIPO DE SUELO	Primera pasada			Después de una pasada		Después de doce pasadas	
	Apisonadora de rodillos neumáticos	Apisonadora de pata de cabra de zapata troncopiramidal	Apisonadora de pata de cabra de zapata piramidal	Apisonadora de rodillos neumáticos	Apisonadora de pata de cabra de zapata troncopiramidal	Apisonadora de pata de cabra de zapata piramidal	
Arcilla densa	430,9	480,8	521,6	113,4	240,4	226,8	
Arcilla limosa	907,1	462,7	480,8	294,8	240,4	272,1	
Arcilla arenosa... ..	907,1	408,2	480,8	204,1	208,6	335,6	
Arena	453,6	—	—	317,5	231,3	217,7	
Grava-Arena-Arcilla	635,0	458,1	417,3	68,0	385,6	231,3	

VII

CUADRO

Rendimiento en m³/hora del equipo, para conseguir compactaciones relativas del 90, 95 y 100 %, con un contenido óptimo de humedad. Velocidad de apisonado: 3,3 km/hora. Espesor de la tongada suelta: 22,9 cm.

TIPO DE SUELO	Arcilla densa			Arcilla limosa			Arcilla arenosa			Arena			Grava-Arena-Arcilla		
EQUIPO	Producción en m³/hora de material suelto colocado en tongadas sueltas de 22,9 cm, para compactación relativa de:														
	90 %	95 %	100 %	90 %	95 %	100 %	90 %	95 %	100 %	90 %	95 %	100 %	90 %	95 %	100 %
Apisonadora de ruedas dentadas de 2 ¾ t	39,7	18,3	C.I*	183,5	80,3	11,5	46,6	14,5	8,4	558,1	282,9	183,5	282,8	137,6	62,7
Apisonadora de ruedas dentadas de 8 t	435,8	26,0	183,5	307,2	435,8	259,9	657,5	259,9	40,5	1307,2	657,5	435,8	1307,2	657,5	259,9
Apisonadora de rodillos neumáticos	1529,1	764,5	33,6	529,1	512,2	152,9	1529,1	107,0	C.I*	1529,1	512,2	118,5	76,4	C.I*	C.I*
Apisonadora de pata de cabra de zapatas troncopiramidal	198,8	152,9	107,0	198,8	133,8	91,7	114,7	84,1	42,8	—	—	—	80,2	55,8	28,3
Apisonadora de pata de cabra de zapata piramidal	133,8	91,7	59,6	198,8	133,8	84,1	114,7	68,8	38,2	—	—	—	99,4	55,8	28,3
Pisón Rana	53,5	26,8	17,6	53,5	26,7	17,6	26,7	26,7	13,0	53,5	53,5	53,5	53,5	26,7	26,7

C.I* = Compactación inobtenible

VIII

CUADRO

Desviación standard de los valores y límite de error de los valores medios de la densidad seca, obtenidos sobre cinco suelos con varios tipos de equipos de compactación.

TIPO DE SUELO EQUIPO	Arcilla densa		Arcilla limosa		Arcilla arenosa		Arena		Grava-Arena-Arcilla	
	σ (kg/m ³)	Límite $\pm$ (kg/m ³)	σ (kg/m ³)	Límite $\pm$ (kg/m ³)	σ (kg/m ³)	Límite $\pm$ (kg/m ³)	σ (kg/m ³)	Límite $\pm$ (kg/m ³)	σ (kg/m ³)	Límite $\pm$ (kg/m ³)
Apisonadora de ruedas dentadas de 2 3/4 t ...	38,45	22,43	32,04	19,22	46,46	25,63	43,25	25,63	91,31	52,86
Apisonadora de ruedas de 8 t ...	24,03	17,62	19,22	14,42	16,02	12,81	20,82	16,02	33,64	24,03
Apisonadora de rodillos neumáticos ...	46,46	27,23	40,05	24,03	54,46	32,04	49,66	28,83	78,49	48,06
Apisonadora de pata de cabra de zapatas tronco-piramidal ...	40,05	25,63	70,48	43,25	46,46	28,83	—	—	78,49	48,06
Apisonadora de pata de cabra de zapatas piramidales ...	56,07	36,84	52,86	33,64	64,08	40,05	—	—	48,06	30,44
Pisón Rana ...	35,24	30,44	32,04	27,23	32,04	27,23	30,44	25,63	52,86	33,64

σ = Valor medio de la desviación standard de los valores de la densidad seca.

Límite $\pm$ = Valor medio del límite del error de los valores medios de la densidad seca para una probabilidad de 9 contra 10.

8.4.3. Efecto del contenido de humedad en la profundidad de compactación.

Con alto contenido de humedad, la compactación es más profunda y uniforme que con humedades bajas, hasta el punto que con una apisonadora de 8 toneladas, en las experiencias que se comentan, se logró una compactación uniforme de 15 cm de profundidad en suelos de arcilla limosa, siendo iguales las densidades a 10 y 15 cm, en tanto que, con menos humedad, la compactación a dichas profundidades ofrece diferencias acusadas.

8.4.4. Relación entre el número de pasadas y la densidad.

En suelos compactados con la humedad óptima la densidad va aumentando durante las cinco primeras pasadas del equipo compactador, luego va creciendo de forma más lenta y, en casos, tan despacio que, económicamente, no compensa en la mayoría de las ocasiones rebasar la cifra de 4 a 8 pasadas, pues ya la compactación apenas si gana con ello más de 48 kg/m³.

8.5. UTILIZACION DEL EQUIPO DE COMPACTACION

8.5.1. Apisonadoras de rodillos lisos.

Las apisonadoras pueden ser del tipo de dos ruedas traseras motrices y un rodillo delantero, o de dos rodillos en tándem. La característica más importante de ellas, por lo que afecta a la compactación de suelos, es la presión que ejercen sobre el terreno y las dimensiones ancho y diámetro de los rodillos.

21

máquina, realizadas en los cinco suelos ensayados por la B. R. R. utilizando siempre un rodillo de neumáticos de 12 toneladas.

La utilidad de estos rodillos se extiende a todos los tipos de suelo, siendo las compactaciones logradas del orden de las que se determinan en laboratorio por el método de Proctor o B. S., pero los rodillos de neumáticos son especialmente eficaces en suelos arenosos.

Compactando con humedades ligeramente superiores a la óptima, se obtiene, prácticamente, toda la compactación posible a las ocho pasadas. Sólo en suelos muy arenosos puede compensar rebasar esta cifra, si bien el incremento de densidad que pueda lograrse aún en estos suelos es muy pequeño. La figura 20 muestra la influencia de la humedad en la densidad y el número de pasadas en un suelo de este tipo.

En suelos con plasticidad, los resultados mejores se obtienen con humedades del orden del 2% al 4% inferiores al LP*; y en cualquier caso (suelos con plasticidad o granulares), la profundidad de una buena compactación es inferior a los 23 centímetros.

8.5.3. Rodillos de pata de cabra.

Su capacidad de compactación depende, principalmente, de la presión que transmitan los pies y del porcentaje de la superficie del suelo que cubre en cada pasada; estas dos caracterís-

* LP=Límite plástico.

Estas máquinas dan los mejores resultados en suelos granulares (gravas, piedra machacada, arenas y grava-arena-arcilla), en los cuales pueden obtenerse densidades similares a las obtenidas en laboratorio mediante el Proctor modificado (ensayo AASHO) empleando humedad un poco por bajo de las óptimas. El número de pasadas recomendable es del orden de 8, y la profundidad de compactación puede considerarse de unos 45 cm en las capas bajas de los terraplenes y de 15 cm en las más próximas al firme.

8.5.2. Rodillos de neumáticos.

El trabajo más eficaz se logra cuando las ruedas han sido hinchadas de manera que sus huellas ocupan el 80 % de la longitud del conjunto, ya que la compactación depende, en buen grado, de la presión de hinchado y de la superficie de contacto de las ruedas con el suelo. El peso total del rodillo es, en cierto modo, secundario, pues ya se ha tenido en cuenta, implícitamente, al considerar las presiones y número de ruedas.

La figura 23 muestra los resultados de la compactación con 64 pasadas de

ticas—como es lógico—han sido tenidas en cuenta por los constructores de estas máquinas al dimensionarlas, fijar su peso y determinar el número de tetones de cada tambor.

Este equipo de compactación es de muy dudoso resultado en suelos granulares; si estos suelos carecen prácticamente de plasticidad puede decirse, en el orden de las aplicaciones reales, que su utilización no proporcionará resultados convenientes. En suelos cohesivos se obtienen densidades inferiores a las que se determinan por el ensayo AASHO, aun cuando la humedad óptima para la operación concuerda bien.

El número de pasadas necesarias para obtener una compactación deseada es del orden de 25, pero en este tipo de máquina es más difícil determinarlas exactamente que en las que hasta ahora nos hemos ocupado, como puede verse en la figura 24. La humedad óptima en suelos muy plásticos, tiene valores bastante distintos si el número de pasadas es reducido o grande.

El espesor de la capa a compactar en cada operación es aproximadamente el de la longitud de las patas incrementado en 5 cm, y el volumen de aire que queda en el suelo es mayor en este tipo de máquina que cuando se emplea apisonadora o rodillos de neumáticos. El efecto —ya consignado—de que, a mayor humedad, menos pasadas, pero también menos densidad, se aprecia muy claramente en la figura 25.

El diferente comportamiento de los rodillos de pata de cabra y de los neumáticos justifica que en algunos Pliegos de Condiciones relativos a macizos que, por sus condiciones funcionales, deban alcanzar un alto grado de compactación, se especifique que, una vez elegido el sistema de compactado, no debe cambiarse si no es con el consentimiento del director de la obra.

8.5.4. Vibradores.

Son especialmente recomendables en suelos sin cohesión donde se pueden alcanzar valores de la densidad superiores a los determinados en laboratorio por el método AASHO, a condición de trabajar con contenido de humedad francamente inferior al óptimo.

Los vibradores, por su escaso tamaño, son especialmente útiles para compactar zanjas, aceras, obras de reparación en cascos urbanos y, sobre todo, son muy útiles en aplicaciones de suelo-

cemento cuando es posible ir a granulometrías muy escasas en partículas finas.

8.5.5. Pisones.

Con sus variedades de pisones mecánicos y ranas, dan resultados satisfactorios en casi todos los tipos de suelos, obteniéndose densidades comprendidas entre las que se fijan en laboratorio utilizando el sistema B. S. y el AASHO. Es conveniente trabajar con humedad por bajo de la óptima en el caso de utilizar ranas pesadas.

Su utilización específica es similar a la de los vibradores. Resulta obligado aclarar que una compactación aceptable no puede lograrse jamás, si no es previo un estudio, siquiera somero, del suelo, con objeto de clasificarlo y seguir en obra los métodos que hemos esbozado. El pretender compactar un suelo con exceso o falta de humedad y con el empleo exclusivo de pisones a brazo, es un intento totalmente inútil y cuyo resultado es siempre inaceptable. Los asientos de los firmes donde existió una zanja, las deformaciones de los pavimentos en los rellenos, las grietas de las edificaciones cuando se apoyan en terrenos compactados artificialmente, y otros muchos fenómenos de todos conocidos y frecuentemente observados, pregonan que la compactación de suelos ha de preverse con arreglo a normas basadas en principios científicos y realizarse con sujeción a una técnica que ya no puede desconocer el constructor, el proyectista y el director de una obra.

8.5.6. Resumen (utilización específica del equipo de compactación).

Apisonadoras. — Especialmente indicadas para piedra machacada, gravas y arenas mecánicamente estables. A veces son de utilidad para lograr una compactación suplementaria, especialmente

en la estabilización de suelos a base de cemento. En estas compactaciones altas, es decir, por encima del 95 %, dan buen rendimiento* en casi todos los terrenos.

Rodillos de neumáticos. — Suelos con buena gradación y poca plasticidad (si se trabaja con humedades próximas al límite plástico). Son eficaces también en suelos cohesivos y su rendimiento* para compactaciones bajas es bueno.

Rodillos de pata de cabra. — Suelos cohesivos con humedades bastante por debajo del límite plástico.

Vibradores. — Suelos con poca cohesión, trabajando con humedades francamente más bajas que la óptima AASHO.

Pisones mecánicos. — Utilizables en casi todos los tipos de suelo con humedad del orden de la óptima AASHO. El rendimiento* es bajo, pero se logran compactaciones muy altas.

Eficiencia de una compactación.

Puede dar una idea muy útil de la eficacia R de una compactación, la fórmula siguiente:

$$R = \frac{D - D_i}{Mdd - D_i} \times 100$$

D = densidad, en seco, medida en el campo después de compactar.

D_i = densidad, en seco, medida en el campo antes de compactar.

Mdd = densidad máxima, en seco, obtenida en laboratorio.

Ensayos y pruebas de campo.

Los ensayos de laboratorio no dan más que un criterio diferencial respecto de los suelos posibles y ayudan a determinar, con aceptable aproximación, las condiciones de ejecución y el comportamiento probable de una unidad de obra determinada. La determinación del procedimiento a seguir y equipo a emplear en una compactación, debe basarse en ensayos realizados en la propia obra. Para la realización de estos ensayos existen recomendaciones de Centros de Investigación, especializados en la materia, los cuales, además, proporcionan ayuda técnica que puede ser de inestimable valor para el proyectista y para el constructor**.

* El rendimiento se expresa en metros cúbicos compactados por hora de trabajo.

** Para las aplicaciones de la compactación de suelos a las vías de comunicación, el Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo del Ministerio de Obras Públicas cuenta con los equipos idóneos para las determinaciones de laboratorio y de campo. Para las aplicaciones en edificación puede, igualmente, consultarse a dicho Centro o al Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, especialmente en lo concerniente al empleo de conglomerantes, de adiciones y de sistemas de compactación de piezas y elementos constructivos para edificación.