



**INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN**



**DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE  
SUELO - CEMENTO  
NORMAS DE DOSIFICACIÓN**

**TRADUCCIÓN AUTORIZADA**

**AUTOR:**

**ING. MÁRCIO ROCHA PITTA**

**TRADUCCIÓN:**

**INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN**

**La Paz – Octubre – 2002**

**RESUMEN**

*Este Estudio técnico trata una completa descripción de Normas de Dosificación de suelo – cemento propuestas por la “Portland Cement Association (PCA)” de los Estados Unidos de América, desenvueltas en dos etapas de trabajo a lo largo de dos décadas (1932 – 1952); sus resultados tienen comprobación en un sin número de servicios ejecutados, con suelos de los orígenes más diferentes, de las más variadas regiones del mundo – incluyendo al Brasil, desde 1939. Por eso, no obstante están disponibles otros procedimientos que, de una u otra forma, permiten fijar las cantidades de cemento necesarios a ese tipo de estabilización de suelos. La Asociación Brasileña de Cemento Portland (ABCP) optó por adoptar y recomendar las directrices de PCA para esa finalidad, excluida una medida de durabilidad por congelamiento y deshielo.*

*Los métodos de ensayo que hacen parte de las normas de dosificación son aquí también expuestas, sobre las formas de las especificaciones y, paralelamente, abundantemente ejemplificados, así como sus propias normas de dosificación, divididas en “General”, que se aplica a cualquier tipo de suelo (a excepción de los orgánicos), y “Simplificada” para suelos de textura predominantemente granular.*

---

**SUMARIO**

1.	NORMAS DE DOSIFICACIÓN DE SUELO – CEMENTO.....	4
1.1	INTRODUCCIÓN.....	4
1.2	NORMA GENERAL DE DOSIFICACIÓN DE SUELO – CEMENTO.....	6
1.2.1	Identificación y Clasificación de Suelos.....	6
1.2.2	Elección de Cantidad de Cemento para el Ensayo de Compactación.....	7
1.2.3	Ensayo de Compactación de suelo – cemento.....	8
1.2.4	Elección de las Cantidades de Cemento para el Ensayo de Durabilidad.....	11
1.2.5	Moldeado de Probetas de ensayo.....	12
1.2.6	Ensayo de Durabilidad por Mojado y Secado.....	16
1.2.7	Interpretación de Resultados y Fijación de la Cantidad de Cemento.....	16
1.3	NORMA SIMPLIFICADA DE DOSIFICACIÓN DE SUELO – CEMENTO.....	19
1.3.1	Ensayos preliminares.....	21
1.3.2	Descripción de dosificación por el Método A.....	21
1.3.3	Descripción de dosificación por el Método B.....	23
2.	MÉTODOS DE ENSAYO.....	27
2.1	ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELO – CEMENTO (MÉTODO SC – 1).....	28
2.1.1	Objetivo.....	28
2.1.2	Equipo.....	28
2.1.3	Método A.....	29
2.1.4	Método B.....	31
2.1.5	Cálculos.....	32
2.1.6	Resultados.....	33
2.2	MOLDEADO DE PROBETAS DE ENSAYO DE SUELO – CEMENTO (MÉTODO SC – 2).....	34
2.2.1	Objetivo.....	34
2.2.2	Equipo.....	34
2.2.3	Método A.....	34
2.2.4	Método B.....	35
2.2.5	Verificaciones.....	36

---

2.3	ENSAYO DE DURABILIDAD POR MOJADO Y SECADO (MÉTODO SC – 3)	36
2.3.1	Objetivo .....	36
2.3.2	Equipo .....	36
2.3.3	Probetas de ensayo .....	37
2.3.4	Ensayo .....	37
2.3.5	Cálculos.....	37
2.4	ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE ENSAYO DE SUELO – CEMENTO (MÉTODO SC – 4) .....	38
2.4.1	Objetivo .....	38
2.4.2	Equipo .....	38
2.4.3	Probetas de ensayo .....	39
2.4.4	Ensayo .....	39
2.4.5	Resultado .....	39

### ***REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS***

## 1. NORMAS DE DOSIFICACIÓN DE SUELO – CEMENTO

### 1.1 INTRODUCCIÓN

El suelo cemento es un producto endurecido resultante de una mezcla íntima compactada de suelo, cemento y agua, en proporciones establecidas a través de una dosificación racional, ejecutada de acuerdo con las normas aplicables al suelo en estudio.

Las especificaciones para ejecución de capas de suelo – cemento presentan los cuidados especiales que deben ser seguidos para garantía de que sea obtenido un producto acabado resistente y durable. Muchos de estos requisitos son genéricos y se aplican a cualquier caso; tres de ellos entretanto, dependen estrictamente de las características del suelo con que se está trabajando:

- Cantidad de cemento;
- Cantidad de agua;
- Peso específico seco aparente a ser alcanzado después de la compactación.

*Dosificación de suelo – cemento*, es la secuencia de ensayos realizados con una determinada mezcla de suelo, cemento y agua, seguida de la interpretación de los resultados por medio de criterios preestablecidos; el resultado final es la fijación de las tres variables citadas. Entretanto, la cantidad de agua y el peso específico aparente indicadas para una determinada mezcla sufren pequeñas oscilaciones, dadas las variaciones de campo que ocurran en las características del suelo. Así siendo, la cantidad de agua a ser adicionada en la mezcla y el peso específico seco aparente de mezcla compactada pasarán a ser tomadas exclusivamente como elemento de control de servicio y, con eso, el objetivo de dosificación pasa a ser sólo la fijación de cantidad adecuada de cemento, sin embargo el abastecimiento, apenas con los datos indicativos básicos, la humedad óptima y el peso específico seco aparente máximo de la muestra ensayada.

La experiencia brasileña se basa, principalmente, en los métodos de dosificación de la Portland Cement Association (PCA), no obstante, otros países han desarrollado procedimientos diferentes; faltándoles, lo que es justamente la mayor recomendación de los métodos de la PCA: la comprobación de sus resultados en un gran número de obras ejecutadas y en uso, con enorme variedad de suelos, de los más diversos orígenes y regiones, desde 1939.

La PCA dispone de una Norma General y una Simplificada de Dosificación, las que se describen y recomiendan en este texto.

Los métodos de ensayo que hacen parte de normas de dosificación se incluyen en el Capítulo 2 de este texto; su elaboración se fundamenta en las siguientes normas, de la *American Society for Testing Materials (ASTM)* y de la *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*:

- *Test for Moisture – Density Relations of Soil – cement Mixtures* (ASTM D 558 y AASHTO T 134);
- *Wetting – and – Drying Test of Compacted Soil – cement Mixtures* (ASTM D 559 y AASHTO T 135).

Una descripción de las normas y métodos de dosificación de ensayos es acompañada de ejemplos educativos. A partir de 1962 fueron introducidas algunas alteraciones en el proceso, basándose en la experiencia adquirida en Brasil, persiguiendo su simplificación; así se tiene:

- a) *Designación de la cantidad de cemento por la cantidad en peso.* La cantidad de cemento incorporada al suelo era, en general, expresada por la cantidad de cemento en volumen, definido como una relación entre el volumen de cemento suelto y el volumen de suelo – cemento compactado. La expresión es de aplicación práctica, pues permite, conocidos el peso específico seco aparente y las dimensiones de un trecho de suelo – cemento a ser ejecutado con mezcla en el lugar, calcular el volumen de cemento suelto necesario y, consecuentemente, el número necesario de sacos, conocido el peso específico aparente suelto de cemento.

En los ensayos de laboratorio no es fácil practicar la composición de mezclas en volumen; la cantidad de cemento, para cada ensayo, necesita ser transformada en la cantidad de cemento en peso.

La designación de cantidad de cemento por la cantidad de cemento en peso, que es la relación entre el peso del cemento y el peso del suelo seco, simplifica de sobremanera los trabajos de laboratorio, no alterando los resultados.

En campo, el hecho de ser conocido por simple cubicación el volumen a ejecutar e indirectamente su peso, indica que se siga empleando, en campo, la cantidad de cemento en volumen. La correlación entre las dos cantidades es expresada por fórmulas simples, las que se mostrarán posteriormente.

- b) *Simplificación de ensayos de durabilidad.* El ensayo de durabilidad se ejecutaba en dos probetas de ensayo, en las cuales se cepilla y se pesa tres veces en cada ciclo. Verificada como superflua la determinación de la variación de volumen para la mayoría de los suelos, una sola probeta de ensayo pasó a ser ensayada, logrando que el resultado sea en función de las pesadas realizadas al final del duodécimo ciclo, desde que se tome en cuenta el agua retenida en el suelo, por hidratación, durante el ensayo (usándose datos tabulados).

El ensayo de durabilidad por congelamiento y deshielo dejó de ser ejecutado, puesto que no hay una región en el Brasil donde este efecto ambiental tenga un peso considerable. De acuerdo con la *Highway Research Board (HRB)*, para fines de pavimentación en general pueden ser empleados normalmente, en la ejecución de suelo – cemento, los suelos con características siguientes:

- Diámetro máximo = 75 mm;

- Porcentaje que pasa el tamiz No. 4 (4,8 mm)  $\geq 50$  %;
- Porcentaje que pasa el tamiz No. 40 (0,42 mm) 15 % - 100 %;
- Porcentaje que pasa el tamiz No. 200 (0,075 mm)  $\leq 50$  %;
- Límite líquido  $\leq 40$  %;
- Índice de Plasticidad  $\leq 18$  %.

## 1.2 NORMA GENERAL DE DOSIFICACIÓN DE SUELO – CEMENTO

La determinación de la adecuada cantidad de cemento se basa en el hecho de que suelos mezclados con pequeñas cantidades de cemento, estando debidamente compactados y curados, mejoran sensiblemente sus características originales de resistencia mecánica, convirtiéndose muy superiores a lo obtenido con otros materiales utilizados como capas de pavimentos. La acción de las cargas y la variación de condiciones climáticas podrían, después de cierto tiempo, disgregar la mezcla endurecida, lo que haría que perdiese el grado de estabilización alcanzado, transformándose en una simple mezcla compactada de suelo con cemento, de calidad baja e indefinida. En vista de eso, la Norma General de Dosificación procura determinar la cantidad de cemento capaz de garantizar una mezcla con permanencia de sus características mejoradas. Con este objetivo, fueron idealizados los ensayos de durabilidad por mojado y secado (y por congelamiento y deshielo en la versión original de la norma).

La dosificación se la hace experimentalmente: diferentes cantidades de cemento son usadas en los ensayos y el análisis de resultados indica el menor de ellos que es capaz de estabilizar el suelo sobre el concepto del suelo – cemento.

La Norma General de Dosificación de Suelo – cemento puede ser resumida en las siguientes operaciones:

- a) Identificación y clasificación del suelo;
- b) Elección de la cantidad de cemento para el ensayo de compactación;
- c) Ejecución del ensayo de compactación de suelo – cemento;
- d) Elección de cantidades de cemento para el ensayo de durabilidad;
- e) Formación de probetas de ensayo para ensayo de durabilidad;
- f) Ejecución del ensayo de durabilidad por mojado y secado;
- g) Elección de cantidad de cemento adecuado en función de los resultados del ensayo.

### 1.2.1 Identificación y Clasificación de Suelos

Con respecto a la identificación y clasificación de suelos, son realizados los siguientes ensayos brasileños, estandarizados por la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT) y por el Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER):

- a) Determinación del peso específico de los granos de suelo (NBR 6508 o DNER DPT 93-64);
- b) Determinación de absorción de los granos de grava (NBR 6458);
- c) Determinación de límite líquido de suelos (NBR 6459);

- d) Determinación del límite de plasticidad de suelos (NBR 7180);
- e) Análisis granulométrico de suelos (NBR 7181).

En los ensayos de suelo – cemento, las diversas fracciones de suelo, en función de sus diámetros, son denominadas como sigue:

- a) *Grava gruesa*, partículas con diámetro de 4,8 mm a 76 mm;
- b) *Grava fina*, partículas con diámetro de 2,0 mm a 4,8 mm;
- c) *Arena gruesa*, partículas con diámetro de 0,42 mm a 2,0 mm;
- d) *Arena fina*, partículas con diámetro de 0,05 mm a 0,42 mm;
- e) *Limo*, partículas con diámetro equivalente de 0,005 mm a 0,05 mm;
- f) *Arcilla*, partículas con diámetro equivalente inferior a 0,005 mm.

Conocidas las características físicas del suelo, se pasa a su clasificación. En los ensayos de suelo – cemento y empleando la clasificación de la AASHTO (M 145), completando con la determinación del Índice de Grupo.

#### *Ejemplo de dosificación por la Norma General*

- a) Considerar un suelo con los siguientes resultados previos de laboratorio:
  - Granulometría
    - Grava gruesa = 10 %
    - Grava fina = 5 %
    - Arena gruesa = 23 %
    - Arena fina = 33 %
    - Limo = 6 %
    - Arcilla = 23 %
    - Parcela que pasa el tamiz de 0,075 mm = 32 %
    - Límite líquido = 25 %
    - Límite plástico = 19 %
    - Índice de plasticidad = 6 %
  - Características de grava gruesa
    - Peso específico = 2630 Kg/m<sup>3</sup>
    - Absorción = 1,2 %
- b) De acuerdo con la clasificación de la AASHTO, este suelo pertenece al grupo A2-4 (0); el número entre paréntesis indica el índice de grupo.

### **1.2.2 Elección de Cantidad de Cemento para el Ensayo de Compactación**

La determinación de la cantidad adecuada de cemento se fundamenta en el análisis del comportamiento de las probetas de ensayo con diferentes cantidades de cemento. En general, son ensayadas tres cantidades, diferenciando la cantidad mediante dos puntos porcentuales.

Habiendo observado que los resultados del ensayo de compactación varían muy poco para pequeñas diferencias en la cantidad de cemento, un único ensayo de compactación puede ser realizado, con la cantidad media entre las previstas;



adoptándose los resultados de compactación como válidos para las tres cantidades escogidas.

La mejor manera de fijar las cantidades de cemento para los ensayos es la comparación del suelo en estudio con otros ya ensayados, llevándose a consideración la granulometría, los índices de consistencia, el origen geológico, la coloración, la región de donde proviene y profundidad de la muestra.

Para suelos con los cuales no se tiene experiencia anterior, la *Tabla 1* de la Norma General de Dosificación de Suelo – cemento, elaborada por la PCA, indica la cantidad a ser adoptada en el ensayo de compactación.

*Tabla 1 – Cantidad de cemento para el ensayo de compactación*

Clasificación de suelo según la AASHTO (M 145)	Cantidad de cemento en peso (%)
A1 – a	5
A1 – b	6
A2	7
A3	9
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

*Ejemplo:*

Para un suelo A2-4 (0) en estudio, hacer el ensayo de compactación con una cantidad de cemento en peso del 7 %, obtenido de la *Tabla 1* de la Norma General de Dosificación de Suelo – cemento.

### 1.2.3 Ensayo de Compactación de suelo – cemento

El método SC – 1 (Ensayo de Compactación de Suelo – Cemento) es análogo al método de Ensayo de Compactación de Suelos de la ABNT, más ciertas peculiaridades del suelo – cemento e incluyendo la fracción de suelo que queda retenida en el tamiz de 4,8 mm. Es este caso, para la preparación de la muestra, se sigue el mismo proceso del Ensayo de Compactación de la AASHTO (T-99), sustituyéndose la parte de suelo retenida en el tamiz de 19 mm por un igual peso de material retenido en el tamiz de 4,8 mm más lo que pasa en el de 19 mm.

*Ejemplo:*

El suelo en estudio posee un 23 % de arcilla, por tanto, debe ser ensayado por la Norma General de Dosificación.

- a) Datos de ensayo:
- Suelo grueso = 10 %
  - Absorción de suelo grueso = 1,2 %

- Humedad de suelo menudo = 3,0 %
  - Cantidad de cemento = 7,0 %
- b) Datos de equipos:
- Martillo No. 3
  - Cilindro No. 2
  - Volumen de cilindro = 995 cm<sup>3</sup>
  - Peso de cilindro = 2150 g
- c) Composición de la mezcla:
- Peso total de suelo seco = 5000 g
  - Suelo grande
    - Peso seco =  $\frac{10 \times 5000}{100} = 500 \text{ g}$
    - Peso húmedo =  $500 \times (1 + 0,012) = 506 \text{ g}$
  - Suelo menudo
    - Peso seco =  $5000 - 500 = 4500 \text{ g}$
    - Peso húmedo =  $4500 \times (1 + 0,03) = 4635 \text{ g}$
    - Peso de cemento =  $\frac{7 \times 5000}{100} = 350 \text{ g}$

Con 506 g de suelo grueso saturado y superficialmente seco, 4635 g de suelo menudo con humedad natural y 350 g de cemento, se obtiene una mezcla para el ensayo, en la cual están garantizados el porcentaje de lo grande y la cantidad de cemento deseada. Realizando el ensayo, se verifica, como ejemplo, los cálculos referentes a los puntos de la curva de compactación:

- Punto No. 1
- Peso de la probeta de ensayo húmedo más el cilindro = 3955 g
- Peso de la probeta de ensayo húmedo =  $3955 - 2150 = 1805 \text{ g}$
- Cantidad de cemento = 8,6 % (determinado)
- Peso de la probeta de ensayo seco =  $\frac{1805}{1 + 0,086} = 1662 \text{ g}$
- Peso específico aparente seco =  $\frac{1662}{0,995} = 1670 \text{ Kg/m}^3$

Obtenidos los cinco puntos, colocados los resultados en el gráfico y trazada la curva de compactación, determinar la humedad óptima y el peso específico seco máximo aparente, conforme lo que se muestra en la hoja del Ensayo de Compactación de Suelo – Cemento (*Figura 1*)

ENERGIA:

TRABALHO Nº 8604/33

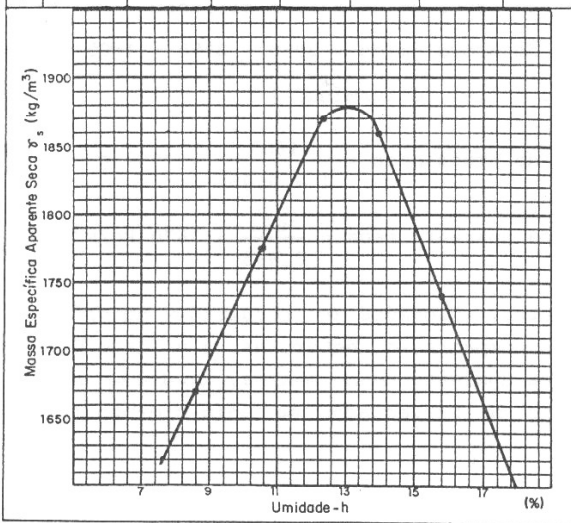
AMOSTRA Nº 20819

DADOS DO ENSAIO	
% de solo retido # nº 4	10
Absorção do solo retido # nº 4 (%)	1,2
Umidade do solo passando # nº 4 (%)	3,0
Massa de cimento (%)	7
Camadas 3	Golpes 25

DADOS DOS APARELHOS	
Soquete nº	3
Cilindro nº	2
Volume do cilindro (dm³)	0,995
Massa do cilindro (g)	2150

COMPOSIÇÃO DA MISTURA			
Massa total do solo (g)	Solo retido # nº 4	Solo passando # nº 4	Massa do cimento (g)
5000	Massa seca (g): 500 Massa úmida (g): 506	Massa seca (g): 4500 Massa úmida (g): 4635	350

P O N T O	Massa do corpo de prova úmido + cilindro (g)	Massa do corpo de prova úmido (g)	Determinação do teor de umidade							Massa do corpo de prova seco (g)	Massa espec. aparente do corpo de prova seco (g/dm³)	
			Cáps.	Massa bruta úmida (g)	Massa bruta seca (g)	Tara da cápsula (g)	Massa da água (g)	Massa do solo seco (g)	Teor de umidade (%)			
Nº	(g)	(g)	Nº	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g/dm³)
1	3955	1805	13	503,42	465,70	27,05	37,72	438,65	8,6	1662	1670	
2	4103	1953	14	474,70	432,10	30,18	42,18	401,92	10,6	1766	1775	
3	4241	2091	15	497,08	445,16	26,47	51,92	418,69	12,4	1861	1870	
4	4260	2110	16	522,77	461,90	27,10	60,87	434,80	14,0	1851	1860	
5	4155	2005	17	481,98	420,10	28,48	61,62	391,62	15,8	1731	1740	
6												
7												



RESULTADOS	
γ <sub>d</sub> max =	1880 kg/m³
h <sub>ot</sub> =	13,2 %

Data inicial  
3.4.86

Data final  
4.4.86

Operador  
Ricardo K.

Calculista  
Paulo A.

Revisor  
Renê R.

M. 408

-10-

Figura 1 – Ensayo de Compactación

### 1.2.4 Elección de las Cantidades de Cemento para el Ensayo de Durabilidad

El ensayo de durabilidad es ejecutado con tres cantidades de cemento. Las cantidades pueden ser fijadas basándose en la experiencia anterior o por las *Tablas 2 y 3* de las Normas de Dosificación de Suelo – cemento. El ensayo de durabilidad podrá ser realizado con la cantidad indicada y con cantidades de 2 puntos porcentuales por encima y 2 por debajo de ésta. Se debe notar que los valores de estas tablas, son funciones de las características físicas de suelo, no se aplican a suelos superficiales, que posean materia orgánica potencialmente perjudicial a la hidratación del cemento. Si se diera el caso, se puede prever un aumento de 2 a 4 puntos porcentuales en la cantidad de cemento (o un aditivo adecuado) para neutralizar los efectos de la materia orgánica que afectaría la hidratación del cemento.

*Tabla 2 – Cantidad de cemento medio requerido por suelos arenosos no orgánicos*

Grava gruesa (%)	Limo + Arcilla (%)	Peso específico seco máximo aparente(Kg/m <sup>3</sup> )					
		1680 a 1759	1760 a 1839	1840 a 1919	1920 a 1999	2000 a 2079	2080 o más
0 – 14	0 – 19	10	9	8	7	6	5
	20 – 39	9	8	7	7	5	5
	40 – 50	11	10	9	8	6	5
15 – 29	0 – 19	10	9	8	6	5	5
	20 – 39	9	8	7	6	6	5
	40 – 50	12	10	9	8	7	6
30 – 45	0 – 19	10	8	7	6	5	5
	20 – 39	11	9	8	7	6	5
	40 – 50	12	11	10	9	8	6

Tabla 3 – Cantidad de cemento medio requerido por suelos limosos y arcillosos

Índice de grupo de suelo	Limo (%)	Peso específico seco máximo aparente(Kg/m <sup>3</sup> )						
		1440 a 1519	1520 a 1599	1600 a 1679	1680 a 1759	1760 a 1839	1840 a 1919	1920 o más
0 – 3	0 – 19	12	11	10	8	8	7	7
	20 – 39	12	11	10	9	8	8	7
	40 – 59	13	12	11	9	9	8	8
	60 o más	-	-	-	-	-	-	-
4 – 7	0 – 19	13	12	11	9	8	7	7
	20 – 39	13	12	11	10	9	8	8
	40 – 59	14	13	12	10	10	9	8
	60 o más	15	14	12	11	10	9	9
8 – 11	0 – 19	14	13	11	10	9	8	8
	20 – 39	15	14	11	10	9	9	9
	40 – 59	16	14	12	11	10	10	9
	60 o más	17	15	13	11	10	10	10
12 – 15	0 – 19	15	14	13	12	11	9	9
	20 – 39	16	15	13	12	11	10	10
	40 – 59	17	16	14	12	12	11	10
	60 o más	18	16	14	13	12	11	11
16 – 20	0 – 19	17	16	14	13	12	11	10
	20 – 39	18	17	15	14	13	11	11
	40 – 59	19	18	15	14	14	12	12
	60 o más	20	19	16	15	14	13	12

*Ejemplo:*

Siendo el suelo de naturaleza arenosa, usar en este caso la *Tabla 2* de la Norma General y, en función del porcentaje de grava gruesa (10%), el porcentaje de limo más arcilla (29%) y del peso específico seco máximo aparente (1880 Kg/m<sup>3</sup>), se encuentra una cantidad de cemento de 7 %. Realizar el ensayo de durabilidad con las cantidades de cemento de 5 %, 7 % y 9 %.

### 1.2.5 Moldeado de Probetas de ensayo

El método SC-2 (Moldeado de Probetas de ensayo de Suelo – cemento) describe la técnica de moldeado de probetas de ensayo de suelo – cemento.

El moldeado de probetas de ensayo es simplemente la compactación de una mezcla de humedad óptima obtenida del ensayo de compactación. Siendo la energía de compactación la misma del método SC-1, las probetas de ensayo deberán llegar al peso específico seco máximo aparente.

*Ejemplo:*

El suelo en estudio posee una parte retenida en el tamiz de 4,8 mm; se debe, por tanto, usar el *Método B* para el moldeado de las probetas de ensayo. Se indica, a continuación, los cálculos de los componentes de la mezcla y de la verificación del moldeado, para las cantidades de 5 %, 7 % y 9 %, en el mismo orden en que se presentan en la hoja de Ensayo para Moldeado de Probetas de ensayo de Suelo – cemento (*Figura 2*):

a) Datos de ensayo

- Peso específico seco máximo aparente = 1880 Kg/m<sup>3</sup>
- Humedad óptima = 13,2 %
- Suelo grueso = 10,0 %

- Absorción de suelo grueso = 1,2 %
  - Humedad de suelo menudo = 3,0 %
- b) Datos de equipos
- Martillo No. 3
  - Cilindro No. 2
  - Volumen del cilindro = 995 cm<sup>3</sup>
  - Peso de cilindro = 2150 g
- c) Composición de la mezcla
- Peso total de suelo = 3000 g
  - Suelo grueso
    - Peso seco =  $\frac{10 \times 3000}{100} = 300 \text{ g}$
    - Peso húmedo =  $300 \times (1 + 0,012) = 304 \text{ g}$
  - Suelo menudo
    - Peso seco =  $3000 - 300 = 2700 \text{ g}$
    - Peso húmedo =  $2700 \times (1 + 0,03) = 2781 \text{ g}$
  - Cantidad de cemento = 7 %
  - Peso de cemento =  $\frac{7 \times 3000}{100} = 210 \text{ g}$
  - Peso total de la mezcla =  $3000 + 210 = 3210 \text{ g}$
  - Cantidad de agua
    - Necesaria =  $\frac{13,2 \times 3210}{100} = 424 \text{ g}$
    - Tomada por suelo grueso =  $304 - 300 = 4 \text{ g}$
    - Tomada por suelo menudo =  $2781 - 2700 = 81 \text{ g}$
    - Teórica a juntar =  $424 - 85 = 339 \text{ g}$
    - Pérdida por evaporación (0,5 %) =  $\frac{0,5 \times 3210}{100} = 16 \text{ g}$
    - A mezclar =  $339 + 16 = 355 \text{ g}$

Con 304 g de suelo grueso saturado y superficialmente seco, 2781 g del suelo menudo en humedad natural, 210 g de cemento y 355 g de agua, se obtiene una mezcla para el moldeado. Durante el ensayo se pesa la probeta de ensayo húmeda juntamente con el cilindro de Moldeado y se retira una muestra para la determinación de la humedad; los dos datos obtenidos permiten verificar las condiciones de moldeado, como sigue:

- Probeta de ensayo No. 2
- Cantidad de cemento en peso = 7 %
- Peso de probeta de ensayo húmeda más el cilindro = 4247 g
- Peso de probeta de ensayo húmeda =  $4247 - 2150 = 2097 \text{ g}$
- Cantidad de humedad = 12,8 % (determinado)
- Peso de probeta de ensayo seca =  $\frac{2097}{1 + 0,128} = 1859 \text{ g}$
- Peso específico seco aparente =  $\frac{1859}{0,995} = 1868 \text{ Kg/m}^3$

TRABALHO Nº 8604/33

AMOSTRA Nº 20819

DADOS DO ENSAIO	
Massa esp. aparente máx. seca	1880 kg/m <sup>3</sup>
Umidade ótima	13,2 %
% de solo retido # nº4	10
Absorção do solo retido na # nº4	1,2 %
Umidade do solo passando na # nº4	3,0 %

DADOS DOS APARELHOS	
Soquete nº	2
Cilindro nº	3
Volume do cilindro (dm <sup>3</sup> )	0,995
Massa do cilindro (g)	2150

COMPOSIÇÃO DA MISTURA									
Massa total do solo (g)		Solo retido # nº4				Solo passando # nº4			
3000		Massa seca (g): 300				Massa seca (g): 2700			
		Massa úmida (g): 304				Massa úmida (g): 2781			
Teor de cimento em massa	Massa de cimento	Massa total da mistura	QUANTIDADE DE ÁGUA						
			necessária	levada pelo solo grúdo	levada pelo solo miúdo	teórica a juntar	perda por evaporação		a juntar
(%)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g)
5	150	3150	416	4	81	331	0,5	16	347
7	210	3210	424	4	81	339	0,5	16	355
9	270	3270	432	4	81	347	0,5	16	363

VERIFICAÇÃO DA MOLDAGEM													
C.P.	Teor de cimento em massa	Massa do corpo de prova úmido + cilindro	Massa do corpo de prova úmido	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE							Massa do corpo de prova seco	Massa específica aparente do C.P. seco	
				Cáps.	Massa bruta úmida	Massa bruta seca	Tara da cápsula	Massa da água	Massa do solo seco	Teor de umidade			
Nº	(%)	(g)	(g)	Nº	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)	(g)	(g/dm <sup>3</sup> )
1	5	4242	2092	5	652,8	588,7	95,5	64,1	493,2	13,0	1851	1860	
2	7	4247	2097	39	609,7	551,3	94,9	58,4	456,4	12,8	1859	1868	
3	9	4257	2107	40	611,0	551,5	90,0	59,5	461,5	12,9	1866	1875	
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													

Data inicial

7.4.86

Data final

8.4.86

Operador

Ricardo K.

Calculista

Paulo A.

Revisor

Renê B.

Figura 2 – Moldeado de Probetas de ensayo de Suelo – Cemento (ABCP-SC-2)

ENERGIA:

TRABALHO Nº 8604/83

AMOSTRA Nº 20819

DADOS DOS CORPOS DE PROVA			
Corpo de Prova nº	1	2	3
Classificação do solo (AASHTO)	A2-4	A2-4	A2-5
Teor de cimento em massa (%)	5	7	9
Umidade de moldagem (%)	13	12,8	12,9
Massa seca inicial calculada, E (g)	1851	1859	1866
Data da moldagem	19/3/86	19/3/86	19/3/86

DESENVOLVIMENTO DO ENSAIO								
Data	Hora de remoção da estufa	Ciclo concluído	Hora de colocação em imersão	Hora de colocação na estufa	Pesagens			Observações
					CP nº 1	CP nº 2	CP nº 3	
2/5	9:00	início	10:00	15:00	1518	1646	1726	
4/5	"	01	"	"	1463	1611	1709	
6/5	"	02	"	"	1457	1605	1704	
9/5	"	03	"	"	1457	1605	1704	
11/5	"	04	"	"	1457	1605	1704	
13/5	"	05	"	"				
16/5	"	06	"	"				
18/5	"	07	"	"				
20/5	"	08	"	"				
23/5	"	09	"	"				
25/5	"	10	"	"				
27/5	"	11	"	"				
30/5	"	12	"	"				

OBSERVAÇÕES:

---



---



---

CÁLCULOS			
Corpo de prova nº	1	2	3
Massa seca final, P <sub>f</sub> (g)	1457	1605	1704
Água retida no c.p., A (%)	2,5	2,5	2,5
Massa seca corrigida, P <sub>t</sub> (g)	1421	1566	1662
Perda de massa corrigida (%)	23	16	11

Data inicial 19.3.86      Data final 23.4.86      Operador Ricardo K.      Calculista Paulo A.      Revisor Renê B.

Figura 3 – Ensaio de Durabilidade por mojado y secado (ABCP-SC-3)



Desde que la diferencia entre el peso específico seco aparente alcanzado y el pretendido sea inferior a  $30 \text{ Kg/m}^3$ , y la diferencia entre la humedad de moldeado y la humedad óptima sea inferior a un punto porcentual, la probeta de ensayo es aceptada. Este debe ser mantenido en una cámara húmeda hasta la fecha de ensayo.

### 1.2.6 Ensayo de Durabilidad por Mojado y Secado

El método SC-3 (Ensayo de durabilidad por mojado y secado) describe la técnica de ensayo.

*Ejemplo:*

Siguiendo la hoja de ensayo de Durabilidad por Mojado y Secado (*Figura 3*) se tiene, para la probeta de ensayo moldeada, conforme a la sección anterior, las siguientes operaciones:

- a) Datos de cuerpo de prueba
  - Probeta de ensayo No. 2
  - Clasificación del suelo: A2-4 (0)
  - Cantidad de cemento en peso = 7,0 %
  - Humedad de moldeado = 12,8 %
  - Peso seco inicial calculado = 1859 g
  - Fecha de moldeado = 19/03/86
  
- b) En el *cuadro 3* es anotado el desarrollo del ensayo, siendo recomendada la estandarización de horarios; por ejemplo, retirar de la estufa a las 9 horas y, enseguida, un cepillado; a las 10 horas, colocar las probetas de ensayo en inmersión y, a las 15 horas, retirarlos y colocarlos en la estufa. En las observaciones, anotar las interrupciones del ensayo (días no trabajados) y ocasionales roturas y separaciones de capas en las probetas de ensayo.
  
- c) Cálculos
  - Probeta de ensayo No. 2
  - Peso seca final = 1605 g (determinado)
  - Agua retenida en la probeta de ensayo = 2,5 % (tabulada)
  - $\text{Peso seco corregido} = \frac{1605}{1 + 0.025} = 1566 \text{ g}$
  - $\text{Pérdida de peso} = \frac{1859 - 1566}{1859} = 16,0 \%$

Notar que fue adoptado un porcentaje de agua retenida en la probeta de ensayo indicada en la tabla del Método SC-3, para las tres probetas de ensayo.

### 1.2.7 Interpretación de Resultados y Fijación de la Cantidad de Cemento

La cantidad final de cemento fijado de acuerdo con la Norma General de Dosificación resulta del conocimiento de los resultados de muchos ensayos realizados con varias

cantidades de cemento, permitiendo la indicación de la mínima cantidad que confiera a la mezcla las características necesarias para un adecuado comportamiento de servicio.

Se sabe, en la práctica, que el aumento de la cantidad de cemento ocasiona una reducción de pérdida de peso en los ensayos de durabilidad: para bajas cantidades de cemento, el aumento provoca una considerable reducción en la pérdida, en cuanto que, para cantidades elevadas, el aumento de cemento provoca una pequeña disminución en la pérdida de peso.

La PCA explica, en su publicación *Soil-cement Laboratory Handbook*, sobre el criterio que se escoge para definir los límites admisibles de pérdida de peso según las consideraciones que se mencionan a continuación:

*“El principal requisito de un suelo – cemento es resistir las variaciones de las condiciones climáticas. De este modo, el elemento básico del suelo – cemento es la cantidad de cemento requerida para producir una mezcla que resista los esfuerzos producidos en los ensayos de durabilidad por mojado y secado. La observación de proyectos ejecutados prueba que se puede tener confianza tanto en los resultados basados en estos ensayos, como en el criterio que se da a continuación.*

*Este criterio está basado en un considerable número de resultados de laboratorio en el comportamiento de muchos trabajos ejecutados y en el uso de información obtenida, de diversas fuentes, de varias miles de probetas de ensayo. Su empleo indicará la mínima cantidad de cemento requerida para producir un suelo – cemento resistente y durable, aceptable como base de pavimento de la más alta calidad.*

*Ese criterio no debe ser considerado como una recomendación irrevocable, más bien como un principio que puede ser considerado satisfactorio en el estado actual de los conocimientos que se tienen de suelo – cemento”.*

Las recomendaciones son:

- a) Será adoptada como cantidad de cemento en peso indicado, la menor de las cantidades con las cuales las probetas de ensayo ensayadas satisfagan el siguiente requisito: la pérdida de peso de las probetas de ensayo de suelo – cemento, sometidas al Método SC-3, no deben ser superiores a los siguientes límites:
- b)

•	Suelos A1, A2-4, A2-5 y A3	14 %
•	Suelos A2-6, A2-7, A4 y A5	10 %
•	Suelos A6 y A7	7 %
- c) Es admisible hacer una interpolación de los resultados con el objeto de determinar la menor cantidad de cemento que satisfaga el requisito de la línea anterior; una extrapolación no es permitida.

*Ejemplo:*

Considerar los siguientes resultados de pérdida de peso, obtenidos en el ensayo de durabilidad por mojado y secado:

- Con 5 % de cemento = 23 %
- Con 7 % de cemento = 16 %
- Con 9 % de cemento = 11 %

Como el suelo en estudio es un A2-4 (0), la pérdida de peso máxima admisible es del 14 %. Analizando los resultados, se nota que las cantidades de 5 % y 7% de cemento no satisfacen esta condición, en cuanto que el 9 % si satisface. Colocando los resultados en un gráfico, se verifica que la cantidad de cemento de 8 % cumple, con relativa seguridad, con un valor de 14 % para la pérdida de peso máxima admisible. Por otro lado, la resistencia a compresión es creciente con la cantidad de cemento y con la edad. Basados en el criterio de la PCA, se puede indicar que la cantidad de cemento de 8 % en peso es adecuado para la estabilización del suelo en estudio.

Concluidos los trabajos de dosificación, la cantidad de cemento determinada como adecuada para el suelo en estudio podrá ser convertida en cantidad de cemento en volumen (en el caso de obras que usen mezclado en sitio), por la siguiente expresión:

$$C_v = \frac{100 \times C_m}{100 + C_m} \times \frac{\gamma_{sc}}{\gamma_c}$$

En la que:

- $C_v$  = Cantidad de cemento en volumen (relación entre el volumen de cemento suelto y el volumen de suelo – cemento compactado), %;
- $C_m$  = Cantidad de cemento en peso (relación entre el peso de cemento y el peso de suelo seco), %;
- $\gamma_{sc}$  = Peso específico seco máximo aparente de suelo – cemento compactado, Kg/m<sup>3</sup>;
- $\gamma_c$  = Peso específico de cemento suelto, admitido como igual a 1430 Kg/m<sup>3</sup>.

La conversión puede ser hecha gráficamente, con el empleo de la *Figura 4*.

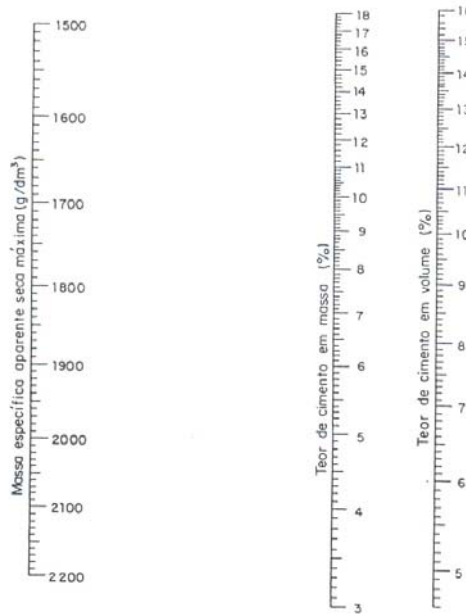


Figura 4 – Ábaco para transformación de cantidad de cemento en peso a cantidad de cemento en volumen

*Ejemplo:*

Considerando los datos del ejemplo anterior, se obtiene:

$$C_v = \frac{100 \times 8}{100 + 8} \times \frac{1880}{1430}$$

$$C_v = 9,75$$

Igual valor es obtenido en el ábaco. Se sugiere adoptar para la obra una cantidad de 10 % en volumen.

### 1.3 NORMA SIMPLIFICADA DE DOSIFICACIÓN DE SUELO – CEMENTO

La dosificación de suelo – cemento, de acuerdo con la marcha de ensayos ya presentada –llamada Norma General de Dosificación – presenta una desventaja práctica – el tiempo de duración de los ensayos, principalmente de los ensayos de durabilidad – lo que sugiere procurar correlacionar los resultados de este ensayo con otro de más rápida ejecución, simplificando y disminuyendo el tiempo gastado en la dosificación.

La PCA, basada en la correlación estadística obtenida en los resultados de ensayos de durabilidad y resistencia a compresión simple a los 7 días con 2438 suelos arenosos, presentó un método simplificado para la dosificación de suelo – cemento. El

fundamento de este método, comprobado por los ensayos realizados, es la constatación de que un suelo arenoso, con determinada granulometría y peso específico seco máximo aparente, requerirá, de acuerdo con el criterio de pérdida de peso en el ensayo de durabilidad, la misma cantidad de cemento para este indicado, desde que alcance resistencia a compresión, a los 7 días, superior a un cierto valor mínimo establecido estadísticamente en la serie de ensayos de comparación realizada. El procedimiento de ahí resultante fue materializado en ábacos de fácil y directa utilización.

El uso del método se restringe a suelos que contengan un máximo de 50 % de partículas con diámetro equivalente inferior a 0,05 mm (limo y arcilla) y un máximo de 20 % de partículas con diámetro equivalente inferior a 0,005 mm (arcilla).

La Norma Simplificada de Dosificación se divide en dos métodos distintos: caso de un suelo, que atendidas en concomitancia con las exigencias en cuanto a las cantidades de arcilla y de limo más arcilla, no contenga partículas con tamaño superior a 4,8 mm, se usa el *Método A* (o *Norma Simplificada A*). Si contiene material de tamaño superior a 4,8 mm (o sea, sí hubiera material retenido en el tamiz ABNT No. 4), el procedimiento siguiente es el *Método B* (o *Norma Simplificada B*)

En resumen:

- a) La Norma Simplificada de Dosificación de Suelo – Cemento fija el modo por el cual se determina la cantidad de cemento adecuado para la estabilización del suelo, ensayando sobre la forma de suelo – cemento, en función de las características físicas del suelo y del resultado del ensayo a compresión axial a los 7 días;
- b) También aplicable a suelos que satisfagan al mismo tiempo las siguientes condiciones:
  - Poseer un máximo de 50 % de material con diámetro equivalente inferior a 0,05 mm (limo más arcilla);
  - Poseer un máximo de 20 % de material con diámetro equivalente inferior a 0,005 mm (arcilla);
- c) Dependiendo de la granulometría del suelo, dos métodos son empleados:
  - *Método A* – usando material que pasa el tamiz de 4,8 mm – este método será usado cuando toda la muestra original de suelo pase por el tamiz de 4,8 mm;
  - *Método B* – usando material que pasa el tamiz de 19 mm – este método será usado cuando parte de la muestra original del suelo sea retenido en el tamiz de 4,8 mm.

Independientemente del método en que se encuadre el suelo, la secuencia de dosificación consta de:

- a) Ensayos preliminares de suelo;
- b) Ensayo de compactación de suelo – cemento;

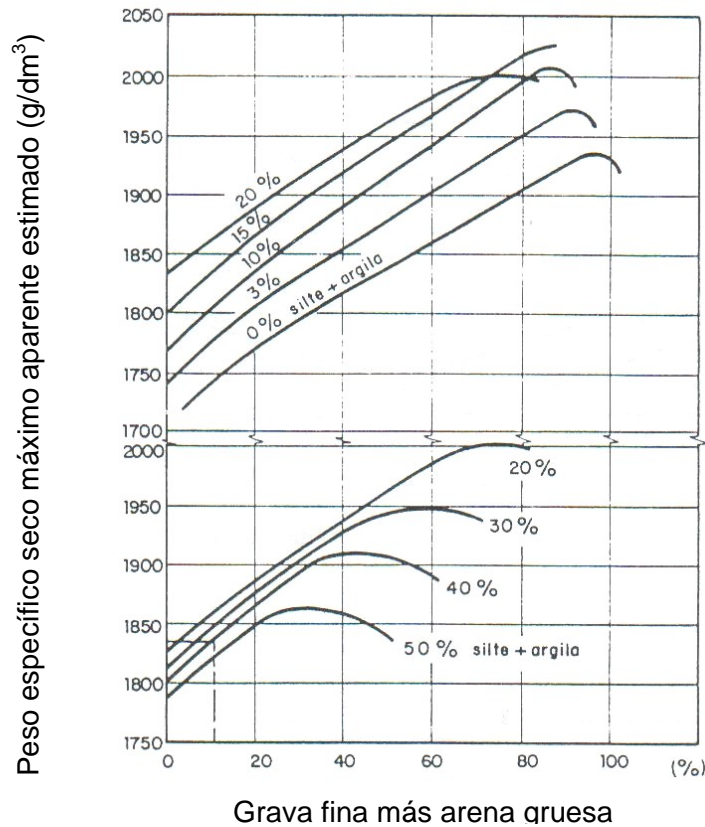
- c) Determinación de la resistencia a compresión simple a los 7 días;
- d) Comparación entre la resistencia media y la compresión simple obtenida en las probetas de ensayo y la resistencia a compresión simple mínima admisible para el suelo en estudio.

**1.3.1 Ensayos preliminares**

Son necesarios los ensayos previstos en la sección 1.2.1 de las Normas.

**1.3.2 Descripción de dosificación por el Método A**

- a) Determinar, de acuerdo con el Método SC-1, el peso específico seco máximo aparente y la humedad óptima de mezcla de suelo y cemento. El ensayo será realizado con una cantidad de cemento obtenida del siguiente modo:
  - Estimar el peso específico seco máximo aparente de la mezcla por medio de la *Figura 5*, en función del porcentaje de limo más arcilla y de grava fina más arena gruesa;
  - Estimar la cantidad de cemento por medio de la *Figura 6*, en función del porcentaje de limo más arcilla y del peso específico seco máximo aparente, obtenido de la figura 5.



*Figura 5 – Método A – Peso específico seco máximo aparente estimado*

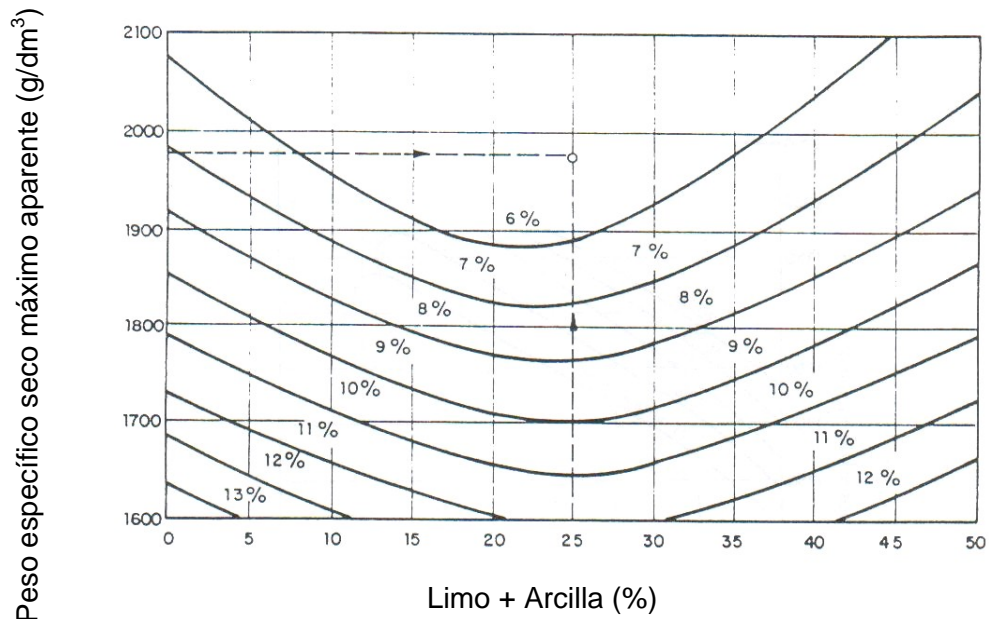


Figura 6 – Método A – Cantidad de cemento en peso indicado

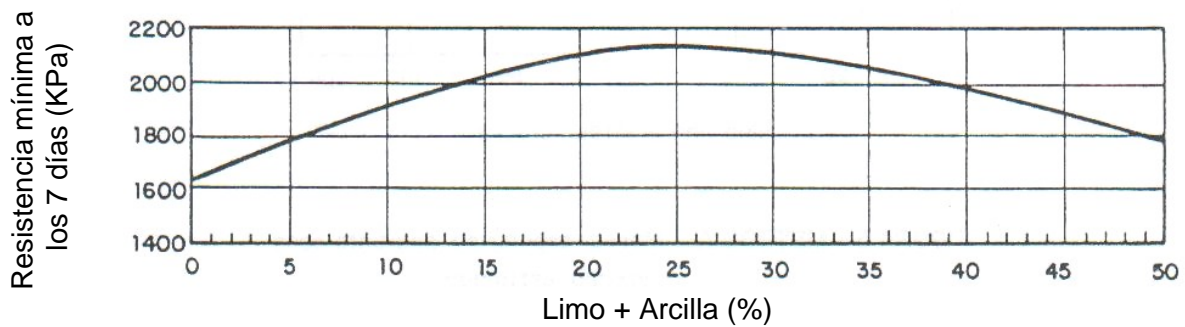


Figura 7 – Método A – Resistencia a compresión mínima admisible de probetas de ensayo, a los 7 días

- b) Obtener la cantidad de cemento indicado, usando la *Figura 6*, en función del porcentaje de limo más arcilla y del peso específico seco máximo aparente, obtenido en el ensayo de compactación.
- c) Con la cantidad de cemento en peso indicado, moldear tres probetas de ensayo, de acuerdo con el Método SC-2.
- d) Determinar la resistencia a la compresión de las probetas de ensayo, a los 7 días de cura, de acuerdo con el Método SC-4.
- e) Verificar en la *Figura 7*, en función del porcentaje de limo más arcilla de suelo, la resistencia media a compresión mínima admisible para la mezcla endurecida (a los 7 días).

Si la media de las resistencias obtenidas fuese superior a este mínimo, la cantidad indicada será adoptada. Pero siendo la resistencia media obtenida inferior a la mínima indicada por la *Figura 7*, la cantidad de cemento es, probablemente menor de lo que es conveniente para el suelo.

Son necesarios entonces nuevos ensayos, moldeándose dos probetas de ensayo, una con la cantidad indicada anteriormente en la *Figura 6* y otro con la cantidad de cemento dos % encima.

Estas probetas de ensayo serán sometidas al ensayo de durabilidad por mojado y secado (SC-3); las pérdidas de peso por ellos sufridas permitirán determinar la cantidad de cemento adecuada, conforme a los criterios ya descritos en la Norma General de Dosificación.

La cantidad de cemento adecuado es finalmente convertido en cantidad de cemento en volumen, como indicación para las operaciones de campo.

### 1.3.3 Descripción de dosificación por el Método B

- a) Determinar, de acuerdo con el Método SC-1, el peso específico seco máximo aparente y la humedad óptima de suelo – cemento. Este ensayo será realizado con una cantidad de cemento obtenido del siguiente modo:
  - Estimar el peso específico seco máximo aparente de la mezcla por medio de la *Figura 8*, en función de los porcentajes de limo más arcilla y de la grava fina y gruesa;
  - Estimar la cantidad de cemento por medio de la *Figura 9*, en función de los porcentajes de grava gruesa, de limo más arcilla y del peso específico seco máximo aparente obtenido de la *Figura 8*.
- b) Obtener la cantidad de cemento indicado, usando la *Figura 9*, en función de los % de grava gruesa, limo más arcilla y peso específico seco máximo aparente obtenido del ensayo de compactación.
- c) Con la cantidad de cemento indicada, moldear tres probetas de ensayo, de acuerdo con el Método SC-2.
- d) Determinar la resistencia media a compresión de las probetas de ensayo, de acuerdo con el Método SC-4.
- e) Determinar de la *Figura 10*, en función de los porcentajes de grava gruesa y de limo más arcilla, la resistencia media a la compresión mínima admisible para mezcla endurecida (a los 7 días). Si la media de las resistencias obtenidas fuese superior a ese mínimo, la cantidad indicada será adoptada, en caso de no ocurrir esto, proceder conforme a la sección 1.3.2.



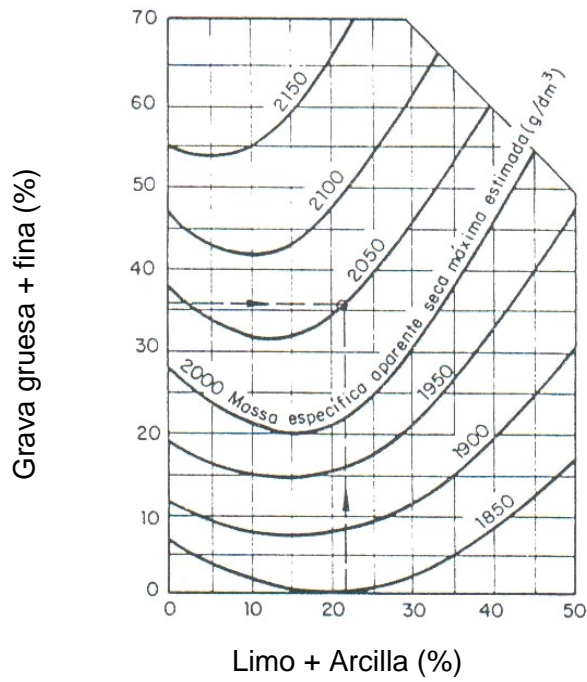


Figura 8 – Método B - peso específico seco máximo aparente estimado  
Cantidad de cemento en peso (%)

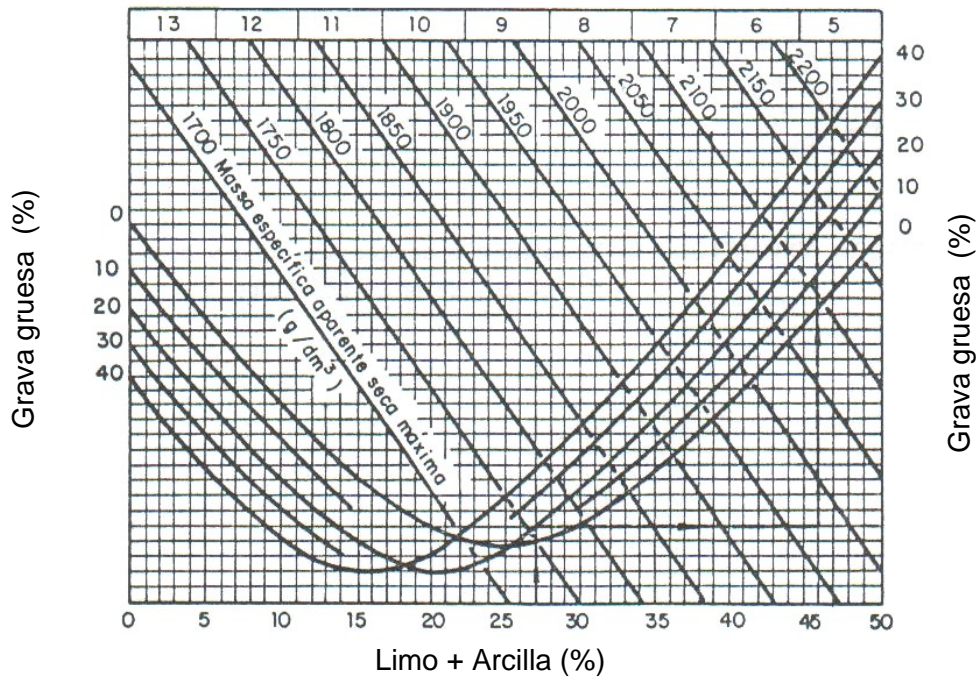


Figura 9 – Método B – Cantidad de cemento en peso

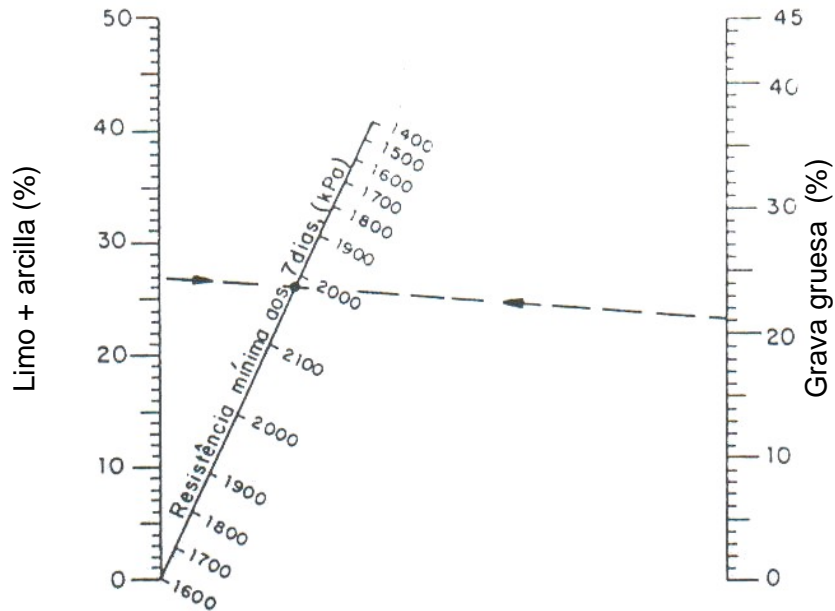


Figura 10 – Método B – Resistencia a la compresión mínima admisible de las probetas de ensayo, a los 7 días

1º Ejemplo

Sea un suelo con la siguiente granulometría:

- Grava fina = 3 %
- Arena gruesa = 12 %
- Arena fina = 60 %
- Limo = 7 %
- Arcilla = 18 %

Este suelo posee menos de 20 % de arcilla y menos del 50 % de limo más arcilla, pudiendo, por tanto, ser ensayado por la Norma Simplificada. Por otro lado, todo el suelo que pasa el tamiz de 4,8 mm; será ensayado, en consecuencia, por el *Método A*:

- a) La *Figura 5*, indica que el peso específico seco máximo aparente puede ser estimado en 1870 Kg/m<sup>3</sup>, pues el suelo posee 25 % de suelo más arcilla y 15 % de grava fina más arena gruesa.

La *Figura 6* indica la cantidad de cemento para el Ensayo de Compactación. Desde que el suelo tiene 25 % de limo más arcilla y un peso específico seco máximo aparente estimado en 1870 Kg/m<sup>3</sup>, 7 % en peso es la cantidad de cemento indicada.

Se realiza en Ensayo de Compactación, de acuerdo con el Método SC-1. En este ejemplo, se considera que el peso específico seco máximo aparente obtenido en el ensayo sea de  $1930 \text{ Kg/m}^3$  y la humedad óptima de 11,2 %.

- b) La Figura 6 indica la cantidad de cemento de 6 % para un peso específico seco máximo aparente obtenido ( $1930 \text{ Kg/m}^3$ ).
- c) Moldear tres probetas de ensayo con la cantidad de cemento de 6 %.
- d) Determinar la resistencia a compresión de las probetas de ensayo a los 7 días. Supóngase, en este ejemplo, que la resistencia media sea de  $2355 \text{ KPa}$  ( $24 \text{ Kgf/cm}^2$ ).
- e) En la Figura 7, desde que el suelo tiene un 25 % de limo más arcilla, se verifica que la resistencia debe ser superior a  $2090 \text{ KPa}$  ( $21,3 \text{ Kgf/cm}^2$ ); habiendo ocurrido esto, la cantidad indicada es la adecuada.

Por medio de la Figura 4, se verifica que 8 % en volumen es la cantidad indicada para el campo.

*2º Ejemplo:*

Sea un suelo con las siguientes características:

- a) Granulometría
  - Grava gruesa = 20 %
  - Grava fina = 3 %
  - Arena gruesa = 19 %
  - Arena fina = 31 %
  - Limo = 12 %
  - Arcilla = 15 %
- b) Peso específico de grava gruesa =  $2600 \text{ Kg/m}^3$

El suelo posee menos de 20 % de más arcilla y menos de 50 % de limo más arcilla; puede, por tanto, ser usada la Norma Simplificada de Dosificación. Por otro lado, parte de suelo queda retenido en el tamiz de 4,8 mm (grava gruesa), debiendo ser ensayado por el Método B:

- a) La Figura 8 indica que el peso específico seco máximo aparente puede ser estimado en  $1975 \text{ Kg/m}^3$ , teniendo sólo 27 % de limo más arcilla y 23 % de grava fina y gruesa.

La Figura 9 indica la cantidad de cemento para el ensayo de compactación. Con 27 % de limo más arcilla, 20 % de grava gruesa y el peso específico seco máximo aparente siendo estimado en  $1975 \text{ Kg/m}^3$ , 5 % en peso y la cantidad de cemento indicado para el ensayo. Luego realizar un ensayo de compactación.

En este ejemplo, se considera que el peso específico seco máximo aparente obtenido en el ensayo es  $2000 \text{ Kg/m}^3$  y la humedad óptima 8,7 %.

- b) La Figura 9 indica la cantidad de cemento de 5 % para el peso específico seco máximo aparente obtenido ( $2000 \text{ Kg/m}^3$ )
- c) Moldear tres probetas de ensayo con una cantidad de cemento de 5 %.
- d) Determinar la resistencia media a compresión de los probetas de ensayo, a los 7 días.

Suponer en este ejemplo, que la resistencia media sea de 1865 Kpa ( $19 \text{ Kg/cm}^2$ )

- e) En la *Figura 10*, desde que el suelo posee 27 % de limo más arcilla y 20 % de grava gruesa, se verifica que la resistencia media debería ser superior a 1982 KPa ( $20,2 \text{ Kg/cm}^2$ ); como esto no sucedió, ensayos adicionales deben ser realizados.

Moldear, entonces, dos probetas de ensayo, una con 5 % de cemento y otra con 7 %, para que sean sometidas al ensayo de durabilidad por mojado y secado.

Supóngase, en este ejemplo, que las probetas de ensayo con 5 % y 7 % de cemento presentan en el ensayo de durabilidad pérdidas de peso de 11 % y 7 %, respectivamente. Siendo el suelo un A2-4 (0) y de acuerdo con el criterio expuesto en la Norma General de Dosificación, la cantidad de cemento de 5 % es la adecuada, sin embargo, con ella la resistencia a la compresión no ha sido superior a la indicada por la Norma Simplificada.

Si las pérdidas de peso en el ensayo de durabilidad hubiesen sido de 18 % y 12 %, respectivamente, la cantidad conveniente sería de 7 %.

Por medio de la *Figura 4*, la cantidad de cemento en peso (de 5 %) es transformado en cantidad de cemento en volumen. Siendo 6,7 % de cemento en volumen la cantidad encontrada en el ábaco, indicar para el campo la cantidad de 7 % en volumen.

## 2. MÉTODOS DE ENSAYO

En este capítulo se describen los métodos de ensayo directamente relacionados a las normas de dosificación de suelo – cemento, relativos a compactación (Método SC-1), moldeado de probetas de ensayo cilíndricas (SC-2), determinación de pérdida de peso por mojado y secado (SC-3) y resistencia a compresión simple (SC-4). Otros métodos, usados en las normas de dosificación pero no específicas de suelo – cemento, son las siguientes:

- Determinación de peso específico de granos de suelos (NBR 6508 o DNER DPT M 93-64);

- Determinación de absorción de granos de grava (NBR 6458);
- Determinación de límite líquido de suelos (NBR 6459);
- Determinación del límite plástico de suelos (NBR 7180);
- Análisis granulométrico de suelos (NBR 7181).

Se toma en cuenta que los para fines de dosificación de suelo – cemento, las diversas fracciones de suelos son clasificadas en escala propia, como sigue:

- *Grava gruesa*, partículas con diámetro de 4,8 mm a 76 mm;
- *Grava fina*, partículas con diámetro de 2,0 mm a 4,8 mm;
- *Arena gruesa*, partículas con diámetro de 0,42 mm a 2,0 mm;
- *Arena fina*, partículas con diámetro de 0,05 mm a 0,42 mm;
- *Limo*, partículas con diámetro equivalente de 0,005 mm a 0,05 mm;
- *Arcilla*, partículas con diámetro equivalente inferior a 0,005 mm.

A continuación se pasa a describir los cuatro métodos mencionados, aún no normalizados por la ABNT.

## **2.1 ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELO – CEMENTO (MÉTODO SC – 1)**

### **2.1.1 Objetivo**

Este método establece el modo por el cual se determina la correlación entre la cantidad de humedad y el peso específico seco máximo aparente de una mezcla de suelo y cemento, con una cantidad de cemento determinada, cuando es compactada conforme al proceso especificado.

Dependiendo de la granulometría de suelo, dos métodos son empleados, como sigue:

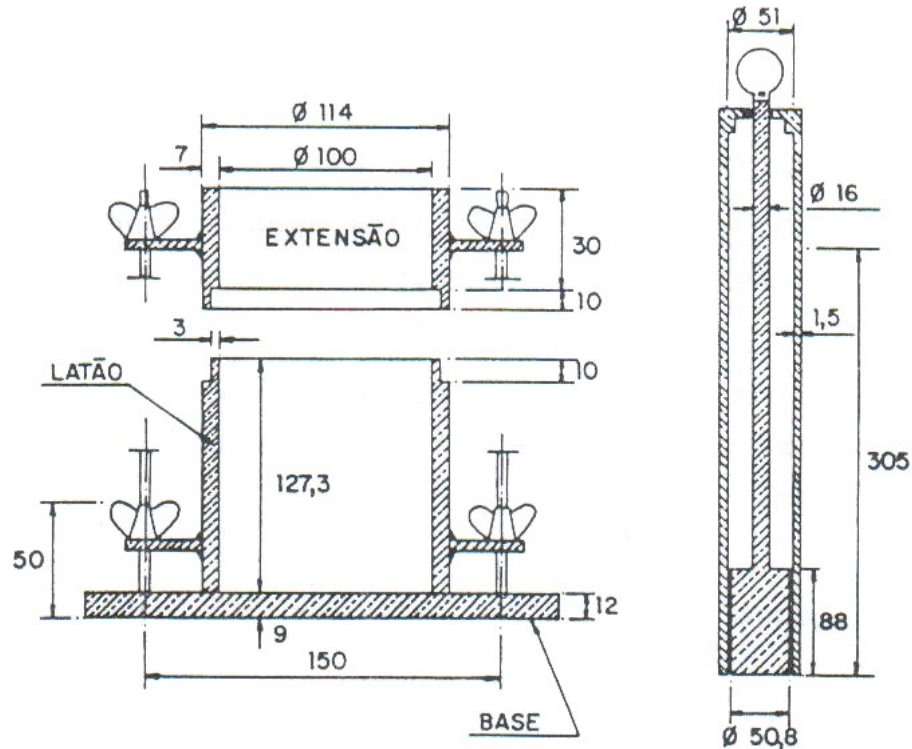
- a) *Método A* – usando material que pase el tamiz de 4,8 mm – este método será usado cuando toda la muestra original de suelo pase por el tamiz de 4,8 mm.
- b) *Método B* – usando material que pase el tamiz de 19 mm – este método será usado cuando parte de la muestra original de suelo quede retenida en el tamiz de 4,8 mm.

### **2.1.2 Equipo**

Para la ejecución del ensayo es necesario disponer de:

- a) Repartidor de muestras;
- b) Balanza que permita pesar nominalmente 10 Kg, con precisión de 1 g;
- c) Balanza que permita pesar nominalmente 210 g, con una precisión de 0,01 g;
- d) Tamices de 4,8 y 19 mm, de acuerdo con la NBR 5734;
- e) Recipientes de material adecuado, que permitan guardar pequeñas muestras sin pérdida de humedad;
- f) Estufa capaz de mantener la temperatura entre 105 °C y 110 °C;
- g) Bandejas de hojalata de 750 mm x 500 mm x 50 mm;

- h) Regla de acero biselado de 300 mm de longitud;
- i) Espátulas;
- j) Molde cilíndrico metálico con base y dispositivo complementario de mismo diámetro – con cuello (las dimensiones a ser respetadas están indicadas en la *Figura 11*);
- k) Martillo cilíndrico metálico de 50 mm de diámetro, de cara inferior plana y peso de 2500 g, equipado con dispositivo para control de altura de caída de 305 mm.



*Figura 11 – Dimensiones de molde y de martillo metálico*

### 2.1.3 Método A

#### 2.1.3.1 Muestra

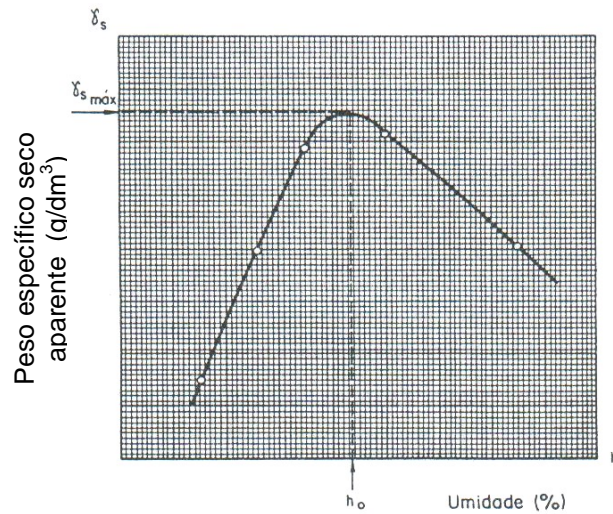
- a) Preparar una muestra de suelo pulverizándola y pasándola por el tamiz de 4,8 mm. Cuando sea necesario, se puede secar la muestra al aire, hasta que se convierta en deleznable bajo la acción de una mano recubierta con guante de goma.
- b) Separar, con el repartidor de muestras o por cuarteamiento, cerca de 3 Kg de material, cuyo peso es determinado con una precisión de 1g. De esta peso es descontado el peso de agua extraída de la muestra, por determinación previa de la cantidad de humedad.
- c) Pesar, con precisión de 1 g, una cantidad de cemento Pórtland que, en relación al peso de suelo separado, mantenga la cantidad de cemento en peso deseada.

### 2.1.3.2 Ensayo

- a) Adicionar el cemento al suelo y mezclar hasta obtener una coloración uniforme. Cuando sea necesario, adicionar agua en cantidad suficiente para elevar la cantidad de humedad a, aproximadamente, 4 o 6 puntos porcentuales por debajo de la humedad óptima prevista.
- b) Compactar la mezcla en un molde fijado a su base metálica y con la extensión ajustada de modo que se tenga una altura total de cerca de 13 cm. La compactación debe ser realizada en tres capas iguales, recibiendo cada una 25 golpes de martillo, cayendo libremente 305 mm, distribuidos uniformemente sobre la superficie de cada capa. Durante la compactación el molde debe estar apoyado en una base plana y firme.
- c) Remover la extensión, teniendo antes el cuidado de despegar, con el auxilio de un cuchillo, el material adherido. Con una regla rígida, enrasar el material a la altura exacta del molde.
- d) Determinar el peso del conjunto, con precisión de 1 g y sustraer el peso del molde anteriormente determinado. EL peso así obtenido será anotado como *peso de probeta de ensayo húmeda ( $M_h$ )*.
- e) El material compactado es removido del molde y cortado verticalmente. De su interior es retirada una muestra de cerca de 80 g para la determinación de la humedad. Determinar su peso y secar en la estufa; a la temperatura entre los 105 °C y 110 °C, hasta detener el peso constante. Las determinaciones son hechas con precisión de 0,05 g.
- f) Desmenuzar la probeta de ensayo de modo que todo el material pueda pasar por el tamiz de 4,8 mm y mezclarlo con el remanente de la muestra. Adicionar agua en cantidad suficiente para aumentar la cantidad de humedad de 1 a 2 puntos porcentuales y homogeneizar la mezcla.
- g) Repetir las operaciones descritas en los puntos *b* a *f* para cada incremento de agua<sup>1</sup>. Esas operaciones deberán ser repetidas, con cantidades crecientes de humedad, tantas veces cuanto sea necesario para caracterizar la curva de compactación (Figura 12).

---

<sup>1</sup> Este método se ha mostrado satisfactorio en la mayoría de los casos, entretanto, cuando el suelo es frágil y tiene sus granos reducidos significativamente de tamaño en virtud de la repetida compactación, se debe usar una mezcla con la muestra no trabajada para cada punto de la curva de compactación.



$h_o$  = humedad óptima

$\gamma_{s\text{máx}}$  = peso específico seco máximo aparente

Figura 12 - Curva de compactación

## 2.1.4 Método B

### 2.1.4.1 Muestra

- a) Preparar la muestra de suelo separando los agregados retenidos en el tamiz de 4,8 mm y pulverizando el material que pasa por este tamiz. Cuando sea necesario, se puede secar la muestra al aire, hasta que se convierta en deleznable bajo la acción de una mano recubierta con guante de goma.
- b) Pasar la muestra por los tamices de 76 mm, 19 mm y 4,8 mm. Descartar el material retenido por el tamiz de 76 mm<sup>2</sup>.

Determinar los porcentajes de material retenido en los tamices de 19 mm y 4,8 mm, cuando no fuera conocida la granulometría de la muestra. Saturar el agregado que pasa el tamiz de 19 mm y queda retenido en el tamiz de 4,8 mm, colocándolo en inmersión durante 24 horas.

- c) Determinar el peso y mantener separadas las muestras representativas de suelo que pasa el tamiz de 4,8 mm y de agregados saturados y superficialmente secos, que pasan el tamiz de 19 mm y quedan retenidos en el tamiz de 4,8 mm, de manera que la peso total de las dos muestras sea cerca de 5 Kg. El porcentaje de agregados que pasa el tamiz de 19 mm y retenido en el

<sup>2</sup> La mayoría de las especificaciones para construcción de suelo – cemento limita el tamaño máximo característico del material a 76 mm.



de 4,8 mm debe ser igual al porcentaje de material que pasa el tamiz de 76 mm y queda retenido en el de 4,8 mm de la muestra original. En la determinación de los pesos debe ser tomada en consideración la humedad de suelo y la absorción de la grava.

- d) Pesar una cantidad de cemento Pórtland de manera de tenerse, con relación al peso seco de la muestra de suelo, la cantidad de cemento en peso deseado.

#### 2.1.4.2 Ensayo

- a) Adicionar el cemento en la porción de suelo que pasa el tamiz de 4,8 mm y mezclar hasta obtener una coloración uniforme. Cuando sea necesario, adicionar agua en cantidad suficiente para elevar la cantidad de humedad a aproximadamente 4 o 6 puntos porcentuales bajo la humedad óptima prevista. Adicionar el agregado saturado y superficialmente seco y mezclar hasta homogeneizar.
- b) Compactar la mezcla conforme a lo descrito en la sección 2.1.3.
- c) Al remover la extensión, retirar todas las partículas que quedasen encima de la superficie superior del molde, corrigiéndose las irregularidades de esta con material fino, de modo de obtener una superficie lisa y nivelada.
- d) Pesar el conjunto y anotar el *peso de la probeta de ensayo húmeda* ( $M_h$ ).
- e) Remover el material del molde conforme lo descrito en la sección 2.1.3.2, reuniendo en un recipiente apropiado cerca de 500 g de material para la determinación de la humedad.
- f) Desmenuzar la probeta de ensayo de modo que todo el material pueda pasar por el tamiz de 19 mm y que por lo menos 90 % de las partículas menores que 4,8 mm pasen este tamiz. Mezclar el material desmenuzado con el remanente de la muestra. Adicionar agua en cantidad suficiente para aumentar la cantidad de humedad de 1 a 2 puntos porcentuales y homogeneizar la mezcla.
- g) Repetir las operaciones descritas en los puntos *b* a *f* para cada incremento de agua. Esas operaciones deberán ser repetidas, con cantidades crecientes de humedad, tantas veces cuanto sea necesario para caracterizar la curva de compactación (Figura 12).

#### 2.1.5 Cálculos

- a) La cantidad de humedad de cada probeta de ensayo moldeada es obtenida por la fórmula:

$$h = \frac{M_{bh} - M_{bs}}{M_{bs} - M_c} \times 100$$

Donde:

$h$	=	Cantidad de humedad;
$M_{bh}$	=	Peso de la muestra húmeda y de la cápsula que la contiene;
$M_{bs}$	=	Peso de la muestra seca en estufa a temperatura entre 105 °C y 110 °C y de la cápsula que la contiene;
$M_c$	=	Peso de la cápsula.

- b) El peso seco de cada probeta de ensayo moldeada es obtenido por la fórmula:

$$M_s = \frac{M_h}{100 + h} \times 100$$

Donde:

$M_s$	=	Peso seco de la probeta de ensayo;
$M_h$	=	Peso húmedo de la probeta de ensayo.

- c) El peso específico seco aparente del material, para cada humedad de compactación, es obtenido por la fórmula:

$$\gamma_s = \frac{M_s}{V}$$

Donde:

$\gamma_s$	=	peso específico aparente seco de la probeta de ensayo;
$V$	=	volumen de la probeta de ensayo compactada (volumen de molde)

### 2.1.6 Resultados

- a) Calculadas las cantidades de humedad y peso específico seco aparente de cada probeta de ensayo moldeada, marcar los resultados en un gráfico, las cantidades de humedad en abscisas y los pesos específicos secos aparentes en ordenadas. A la curva determinada por los diversos puntos se le da el nombre de *curva de compactación (Figura 12)*.
- b) A la cantidad de humedad correspondiente al punto máximo de la curva de compactación, se le da el nombre de *humedad óptima*.
- c) Al peso específico aparente seco correspondiente a la humedad óptima, se le da el nombre de *peso específico seco máximo aparente*.

---

## **2.2 MOLDEADO DE PROBETAS DE ENSAYO DE SUELO – CEMENTO (MÉTODO SC – 2)**

### **2.2.1 Objetivo**

Este método fija el modo por el cual se moldean las probetas de ensayo de suelo – cemento que serán sometidas a los métodos SC-3 y SC-4. Dependiendo de la granulometría del suelo, dos métodos son empleados, como sigue:

- a) *Método A* – usando material que pase el tamiz de 4,8 mm – este método será usado cuando toda la muestra original de suelo pase por el tamiz de 4,8 mm.
- b) *Método B* – usando material que pase el tamiz de 19 mm – este método será usado cuando parte de la muestra original de suelo quede retenida en el tamiz de 4,8 mm.

### **2.2.2 Equipo**

Es empleado el mismo equipo indicado en la sección 2.1.2.

### **2.2.3 Método A**

#### ***2.2.3.1 Preparación del material***

- a) Preparar una muestra de suelo conforme a lo descrito en la sección 2.1.3.
- b) Pesar, con precisión de 1 g, una muestra representativa de suelo, con un peso aproximado de 2500 g, se debe tomar en cuenta la consideración de la humedad del suelo, previamente determinada.
- c) Pesar, con precisión de 1 g, una cantidad de cemento que, con relación al peso seco de la muestra, mantenga la cantidad de cemento en peso deseado.
- d) Separar una cantidad de agua que, sumada al agua existente de la muestra de suelo, confiera a la mezcla una cantidad de humedad igual a la humedad óptima, determinada en el Ensayo de Compactación de Suelo – cemento, incrementada de 0,5 a 1,0 por ciento, conforme al ambiente, para la evaporación que normalmente ocurre durante el mezclado.

#### ***2.2.3.2 Moldeado***

- a) Adicionar cemento al suelo y mezclar hasta obtener una coloración uniforme.
- b) Adicionar a la mezcla la cantidad de agua determinada en la anterior sección y homogeneizar.
- c) Compactar la mezcla en el molde de la manera descrita en las líneas *b* y *c* de la sección 2.1.3, con la precaución especial de escarificar las superficies de la

primera y segunda capa antes de la colocación de las capas siguientes, de modo de remover los planos lisos formados por la compactación.

- d) Para la ocasión de la colocación de la segunda capa, retirar una muestra de cerca de 80 g para la determinación de la cantidad de humedad. Se pesa y se seca en estufa a una temperatura entre 105 °C y 110 °C, hasta obtener peso constante, hacer las determinaciones con una precisión de 0,01 g.
- e) Pesar el conjunto, con precisión de 1 g, y sustraer el peso del molde anteriormente determinado. El peso obtenido será anotado como *peso de la probeta de ensayo húmeda (Mh)*.
- f) Remover la probeta de ensayo del molde y colocarle una etiqueta de identificación.
- g) Colocar la probeta de ensayo en la cámara húmeda, donde debe permanecer hasta el día del ensayo, a una temperatura de 21 °C ± 2 °C y humedad relativa del aire encima de 90 %.

## **2.2.4 Método B**

### **2.2.4.1 Preparación del material**

- a) Preparar una muestra de suelo conforme a lo descrito en las líneas a y b 2.1.4.
- b) Pesar y mantener separadas las muestras representativas de suelo que pasen el tamiz de 4,8 mm y de gravas saturadas y superficialmente secas, que pasen el tamiz de 19 mm y queden retenidos en el tamiz de 4,8 mm, de manera que el peso total correspondiente sea de 3000 g. El porcentaje de grava seca (que pase el tamiz de 19 mm y quede retenido en el tamiz de 4,8 mm) debe ser igual al porcentaje del material que pase el tamiz de 76 mm y quede retenido en el de 4,8 mm, de la muestra original. En el pesaje de las muestras se debe tomar en cuenta la humedad higroscópica de suelo y la absorción de la grava.
- c) Pesar, con precisión de 1 g, una cantidad de cemento Pórtland que con relación al peso seco de la muestra, mantenga la cantidad de cemento en peso deseado.
- d) Separar una cantidad de agua que, sumada al agua existente de la muestra de suelo y de grava, confiera a la mezcla la humedad óptima, determinada en el Ensayo de Compactación de Suelo – cemento, incrementada de 0,5 a 1,0 por ciento, para la evaporación que normalmente ocurre durante el mezclado.

### **2.2.4.2 Moldeado**

- a) Adicionar el cemento a la porción de suelo que pasa el tamiz de 4,8 mm y mezclar hasta obtener una coloración uniforme.

- 
- b) Adicionar a la mezcla la cantidad de agua determinada en la anterior sección y homogeneizar.
  - c) Adicionar la grava saturada y superficialmente seca y mezclar hasta su homogeneización.
  - d) Compactar la mezcla en el molde de la manera descrita en las líneas *b* y *c* de la sección 2.1.3, con la precaución especial de escarificar las superficies de la primera y segunda capa antes de la colocación de las capas siguientes, de modo de remover los planos lisos formados por la compactación.
  - e) En ocasión de colocación de la segunda capa, retirar una muestra de cerca de 500 g para la determinación de la cantidad de humedad. Se pesa y se seca en estufa a una temperatura entre 105 °C y 110 °C, hasta obtener peso constante.
  - f) Pesar el conjunto, con precisión de 1 g, y sustraer el peso del molde anteriormente determinado. El peso así obtenido será anotado como *peso de la probeta de ensayo húmeda (Mh)*.
  - g) Remover la probeta de ensayo del molde y colocarle una etiqueta de identificación.
  - h) Colocar la probeta de ensayo en la cámara húmeda, donde debe permanecer hasta el día del ensayo, a una temperatura de 21 °C ± 2 °C y humedad relativa del aire encima de 90 %.

### 2.2.5 Verificaciones

- a) Verificar la humedad de moldeado de la probeta de ensayo, aplicando la fórmula de la sección 2.1.5.
- b) Verificar el peso específico seco aparente de la probeta de ensayo, de acuerdo con lo descrito en la sección 2.1.5.

Cuando la humedad de moldeado difiera de la humedad óptima en más de 1 %, o cuando el peso específico seco aparente de la probeta de ensayo difiera del peso específico seco máximo aparente en más de 30 Kg/m<sup>3</sup>, la probeta de ensayo debe ser rechazada.

## 2.3 ENSAYO DE DURABILIDAD POR MOJADO Y SECADO (MÉTODO SC – 3)

### 2.3.1 Objetivo

Este método fija el modo por el cual se determina la pérdida de peso de probetas de ensayo de suelo – cemento cuando son sometidas a ciclos de mojado y secado.

### 2.3.2 Equipo

El equipo necesario es el siguiente:

- 
- a) Estufa capaz de mantener la temperatura de  $71\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
  - b) Cámara de inmersión para sumergir las probetas de ensayo en agua a temperatura ambiente;
  - c) Escoba de pelo de alambre liso de 50 mm de longitud por 1,6 mm de ancho y 0,5 mm de espesor, reunidos en cincuenta grupos de diez hilos cada uno y montados en cinco filas longitudinales y diez transversales, en un bloque de madera dura de 190 mm x 65 mm;
  - d) Balanza que permita pesar nominalmente 5 Kg, con precisión de 1 g.

### 2.3.3 Probetas de ensayo

Las probetas de ensayo de suelo – cemento deben ser moldeados de acuerdo con el Método SC-2 y permanecer 7 días en cura en una cámara húmeda.

### 2.3.4 Ensayo

- a) Después de 7 días de curado en la cámara húmeda, las probetas de ensayo deben ser colocadas en la cámara de inmersión, donde permanecen durante 5 horas, y, a continuación, en una estufa a una temperatura de  $71\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , donde deberán permanecer 42 horas.
- b) Al final de este periodo, las probetas de ensayo deben ser cepilladas. La escoba debe ser aplicada en el sentido de la generatriz de la probeta de ensayo y paralelamente a las bases, de manera de cubrir toda la superficie de la probeta de ensayo. Se dan 20 cepilladas verticales en la superficie lateral y 4 en las bases de la probeta de ensayo. El enfriamiento y la operación de cepillado deben durar máximo 1 hora.
- c) El procedimiento descrito en las líneas *a* y *b* constituyen un ciclo (48 horas) de mojado y secado. Se repiten estas operaciones durante 12 ciclos, incluido el primero
- d) Después de los 12 ciclos, colocar las probetas de ensayo en la estufa a una temperatura de  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta obtención del peso constante, y determinar sus pesos secos (*M*).
- e) Los datos recolectados permitirán calcular la pérdida de peso de las probetas de ensayo

### 2.3.5 Cálculos

- a) Corregir el valor de peso seco de la probeta de ensayo, descontando el peso de agua que fue retenido en la probeta de ensayo seca, como sigue:

$$M_f = \frac{M}{A + 100} \times 100$$

donde:

- $M_f$  = peso seco final corregido;  
 $M$  = peso seco a 110 °C;  
 $A$  = porcentaje de agua retenido en el cuerpo de prueba.

El porcentaje de agua retenido en la probeta de ensayo es dado por la *Tabla 4*.

*Tabla 4*

Clasificación de suelos según AASHTO (M 145)	Agua retenida (%)
A1, A3	1,5
A2	2,5
A4, A5	3,0
A6, A7	3,5

- b) La pérdida de peso de la probeta de ensayo es obtenida por la siguiente fórmula:

$$P_m = \frac{M_s - M_f}{M_s} \times 100$$

Donde:

- $P_m$  = pérdida de peso;  
 $M_s$  = peso seco inicial calculado, obtenido en el moldeado de la probeta de ensayo;  
 $M_f$  = peso seco final corregido.

## 2.4 ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE ENSAYO DE SUELO – CEMENTO (MÉTODO SC – 4)

### 2.4.1 Objetivo

Este método fija el modo por el cual deben ser ensayados a la compresión probetas de ensayo de suelo – cemento.

### 2.4.2 Equipo

- a) Una prensa destinada a la ruptura de las probetas de ensayo debe transmitirles la carga de modo progresivo y sin choques, y tener uno de sus platos articulados.

- b) La prensa debe ser periódicamente verificada y todas sus indicaciones serán corregidas con ayuda de gráficos o tablas

#### **2.4.3 Probetas de ensayo**

- a) Las probetas de ensayo deben ser moldeadas de acuerdo con el Método SC-2 y mantenidas en la cámara húmeda por 7 días.
- b) Las superficies de las partes superior e inferior de la probeta de ensayo deben estar lisas y planas, de modo que el contacto con los platos de la máquina sea tan completo como sea posible

#### **2.4.4 Ensayo**

- a) En el día del ensayo, la probeta de ensayo es retirada de la cámara húmeda e inmersa completamente en agua.
- b) Después de 4 horas de inmersión, la probeta de ensayo debe retirarse del agua, secando superficialmente con una toalla de felpa y luego debe colocarse en el centro del plato inferior de la prensa.
- c) La probeta de ensayo es entonces sometida a compresión, a una velocidad de carga constante de 150 KPa/seg (1,5 Kgf/cm<sup>2</sup>/seg), aproximadamente.

#### **2.4.5 Resultado**

- a) Calcular la resistencia a compresión de la probeta de ensayo dividiendo la carga de rotura o la máxima carga alcanzada, en N (Kgf), por el área cargada, en mm<sup>2</sup> (cm<sup>2</sup>). El área es calculada en función del diámetro medio, medido antes del ensayo.
- b) Serán eliminados los resultados de probetas de ensayo defectuosas y las que se alejaran 10 puntos porcentuales, o más, de la resistencia media. Si, ocurre que, más de dos probetas de ensayo se alejan de este límite, todos los resultados de la serie normal deben ser despreciados.



---

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. CURTIS, W. E. & FORBES, A. J. *Determination of cement of soil-cement mixturee*. Washington, D.C., Highway research Record, 1963. p.123-32. (Number 36).
2. DAVIDSON, D. T. & BRUNS, B. W. *Comparison of type I and type III portland cements for soil stabilization*. Washington, D.C., Highway Research Board, 1960. p.28-45. (Bul. 267).
3. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Freezing and thawing tests of compacted zoil-cement, mixtures; D 560*. In:\_\_\_\_\_. *Book of ASTM standards*. Philadelphia, 1978. V.19.
4. GRESILLON, Jean-Michel. *Etude de l'aptitude des sols a la stabilisation au ciment; application a la construction*. *Annales I.T.B.T.P.*, Paris, (361): 1-8, Mai 1978.
5. MACLEAN, D. J. & LEWIS, W. A. *British practice in the design and specification of cement-stabilized bases and subbases for roads*. Washington, D.C., Highway Research Record, 1963. p.56-76. (Number 36).
6. NORLING, L. T. *Standard Laboratory tests for soil-cement; development, purpose and history of use*. Washington, D.C., Highway Research Record, 1963. p.1-10. (Number 36).
7. PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). *Soil-cement laboratory handbook*. Skokie, 1959. (SC 6-5).
8. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Tests for moisture-density relations of soil-cement mixtures; D 558*. In:\_\_\_\_\_. *Book of ASTM standards*. Philadelphia, 1978. v.19.
9. \_\_\_\_\_. *Wetting and drying tests of compacted soil-cement mixtures; D 559*. In:\_\_\_\_\_. *Book of ASTM standards*. Philadelphia, 1978. v.19.
10. PITTA, M.R. *Características tecnológicas dos solos estabilizados com cimento*. Sao Paulo, ABCP.(em edicao).