

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

617-56 METODOS NORMALIZADOS A.S.T.M. PARA EL ENSAYO DE CEMENTOS.
METODO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACION DE LA FINURA DEL CEMENTO PORTLAND CON EL PERMEABILIMETRO DE AIRE.

(Standard Method of Test for Fineness of Portland Cement by Air Permeability Apparatus (1)).

Referencia de la A.S.T.M.: C 204-51.

Método adoptado en 1951 (2).

- - -

OBJETO.

1. En este método de ensayo se describe el permeabilímetro de aire o de Blaine y el procedimiento para determinar la finura del cemento Portland en función de la superficie específica, expresada, como área de la superficie total, en centímetros cuadrados por gramo de cemento.

APARATO.

2. (a) Descripción del aparato.- El permeabilímetro de aire o de Blaine consiste, esencialmente, en un sistema de aspiración de una cantidad dada de aire a través de una pastilla preparada de cemento, con una porosidad definida. El número y tamaño de los poros, en una pastilla preparada de porosidad definida, es función del tamaño de las partículas y determina la cantidad de aire que fluye a través de la capa. El aparato consiste, específicamente, en las partes descritas en los apartados (b) a (h).

(1) De acuerdo con el sistema normalizador de la Asociación, este método se encuentra bajo la jurisdicción de la Comisión C-1, sobre cementos, de la A.S.T.M.

(2) Antes de ser adoptado como método normalizado, fué publicado como propuesta, desde 1946 hasta 1951, siendo revisado en 1951.

(b) Célula de permeabilidad.— La célula de permeabilidad consiste en un cilindro rígido, con un diámetro interno de $1,27 \pm 0,10$ cm, construido de vidrio o de metal inatacable. La parte superior de la célula formará ángulo recto con el eje principal de la celdilla. La base de la celdilla formará una conexión, herméticamente cerrada, con la parte superior del manómetro. Un rebordo, de $\frac{1}{2}$ a 1 mm de ancho, constituye una parte integral de la célula o se fijará firmemente a la misma, a $5,0 \pm 1,5$ cm del borde superior de la célula, como soporte del disco metálico perforado.

(c) Disco.— El disco se construye de metal inatacable, con un espesor de $0,9 \pm 0,1$ mm, perforado con 30 a 40 orificios, de 1 mm de diámetro, distribuidos homogéneamente en su superficie. El disco se ajusta, perfectamente, al interior de la célula.

(d) Pistón.— El pistón se ajusta a la célula con una holgura no superior a 0,1 mm. La base del pistón tiene bordes agudos y forma ángulo recto con el eje principal. Se dispondrá, en el centro o a un lado del pistón, un respiradero de aire. La parte superior del pistón está provista de una cabeza, con un reborde tal, que cuando se coloca el pistón en la célula y el reborde se pone en contacto con la parte superior de la célula, la distancia entre la parte inferior del pistón y la parte superior del disco perforado será $1,5 \pm 0,1$ cm.

(e) Papel de filtro.— El papel de filtro tendrá un poder de retención medio, correspondiente al tipo 1, grado B, como está prescrito en la Especificación Federal para Papel; Filtración (UU -P- 236) [Federal Specification for Paper; Filtering (UU -P- 236)]. Los discos de papel de filtro serán circulares, con

bordos suaves, y tendrán el mismo diámetro (Nota) que el interior de la celdilla.

Nota.- Los filtros de papel de filtro que son demasiado pequeños pueden dejar parte de la muestra adherida a la pared interior de la célula, por encima del borde superior del disco. Cuando son demasiado anchos de diámetro, los discos tienen tendencia a arrugarse, dando lugar a resultados erróneos.

(f) Manómetro. - El manómetro, de tubo en U, se construye, de acuerdo con la figura (*), utilizando un tubo de vidrio, de paredes standard, con un diámetro exterior nominal de 9 mm. La parte superior de una de las ramas formará una conexión, herméticamente cerrada, con la célula de permeabilidad. La rama del manómetro, conectada a la célula de permeabilidad, tiene una línea grabada alrededor del tubo a una distancia de 12,5 a 14,5 cm por debajo del borde superior del tubo lateral de salida, y otras a 1,5, 7,0 y 11,0 cm por encima de esta línea. Se dispone un tubo lateral de salida a 25,0 a 30,5 cm por encima de la parte inferior del manómetro; se utiliza para hacer el vacío en la rama del manómetro conectada a la célula de permeabilidad. Existe una válvula o pinza, herméticamente cerrada, en el tubo lateral de salida, a una distancia no superior a 5 cm de la rama del manómetro. El manómetro debe montarse firmemente y de tal forma que las ramas estén verticales.

(g) Líquido manométrico. - El manómetro debe llenarse, hasta la mitad, con un líquido no volátil, no higroscópico, de viscosidad y densidad bajas, tal como dibutilftalato (dibutil 1,2-bencenodicarboxilato).

(*) Nota del R. La figura del permeabilímetro se encuentra reproducido en el nº 23 de U.A.M.C.

(h) Cronómetro.- El cronómetro tendrá un mecanismo seguro de marcha y parada. Se podrán leer 0,5 segundos o menos. El cronómetro tendrá una precisión de 0,5 segundos, o menos, para intervalos de tiempo hasta 60 segundos, y de 1%, o menos, para intervalos de tiempo de 60 a 300 segundos.

CALIBRADO DEL APARATO.

3. (a) Muestra.- El calibrado del permeabilímetro debe realizarse utilizando un lote corriente de muestra patrón número 144 del National Bureau of Standards. Cuando se realice el ensayo, la muestra estará a la temperatura ambiente.

(b) Volumen de la pastilla compactada de polvo.- El volumen de la pastilla compactada de polvo se determinará por el método de desplazamiento de mercurio, según se indica a continuación:

Colóquense dos discos de papel de filtro en la célula del permeabilímetro comprimiendo sus bordes con una varilla algo más pequeña que el diámetro de la célula hasta que los discos de papel de filtro quedan lisos sobre el disco metálico perforado; llénese, a continuación, la célula con mercurio, eliminando las burbujas de aire que queden adheridas a la pared de la célula. Si la célula se ha construido de un material que se amalgama con el mercurio, debe protegerse su interior mediante una pelicula muy fina de aceite, justamente antes de añadir el mercurio. Enrásese el mercurio con la parte superior de la célula mediante una pequeña placa de vidrio. Retírese el mercurio de la célula, pósese, y anótese el peso del mercurio. Quitose uno de los discos de papel de filtro de la célula. Utilizando una cantidad de prueba de 2,80 g de cemento (Nota 1), comprímase el cemento (Nota 2), de acuerdo con el párrafo (c), con un disco de papel de filtro

encima y otro debajo de la muestra. Llénese el espacio, que queda hasta la parte superior de la célula, con mercurio, elimínese el aire ocluido, y nivélese como antes. Retírese el mercurio, pé sése, y apúntese el peso.

El volumen ocupado por el cemento debe calcularse, con un error menor de 0,005 cm³, como sigue:

$$V = \frac{W_A - W_B}{D} \dots\dots\dots(1)$$

donde:

V = volumen de cemento en centímetros cúbicos,

W_A = gramos de mercurio requeridos para llenar la célula, sin que hubiese cemento en la misma,

W_B = gramos de mercurio requeridos para llenar la parte de la célula no ocupada por la pastilla preparada de cemento en la célula, y

D = densidad de mercurio a la temperatura de la prueba, en gramos por centímetro cúbico (véase la Tabla I).

Deben hacerse, como mínimo, dos determinaciones del volumen del cemento, utilizando diferentes compactaciones para cada determinación. El valor del volumen utilizado para los cálculos subsiguientes debe ser la media de los dos valores, concordando en más o menos 0,005 cm³.

Nota 1.- No es necesario emplear la muestra patrón para la determinación del volumen.

Nota 2.- La pastilla preparada de cemento será firme. Si está muy suelta o si el cemento no puede comprimirse hasta el volumen deseado, ajústese la cantidad de ensayo de cemento empleado.

(c) Preparación de la muestra.- El contenido de una ampolla de muestra de cemento normal se introduce en un frasco de

TABLA I.- DENSIDAD DEL MERCURIO ^(a), VISCOSIDAD DEL AIRE (η), Y $\sqrt{\eta}$, A TEMPERATURAS DADAS.

Temperatura ambiente (°C)	Densidad del mercurio ^(a) (g/cm ³)	Viscosidad del aire, η (poises)	$\sqrt{\eta}$
16	13,56	0,0001788	0,01337
18	13,55	0,0001798	0,01341
20	13,55	0,0001808	0,01344
22	13,54	0,0001818	0,01348
24	13,54	0,0001828	0,01352
26	13,53	0,0001837	0,01355
28	13,53	0,0001847	0,01359
30	13,52	0,0001857	0,01362
32	13,52	0,0001867	0,01366
34	13,51	0,0001876	0,01369

^(a) La densidad del mercurio debe determinarse.

4 onzas (113,40 g); sacúdase vigorosamente, durante 2 minutos, para mullir el cemento y deshacer los terrones y los aglomerados.

(d) Peso de la muestra.- El peso de la muestra patrón, utilizado para la prueba de calibrado, debe ser el necesario para producir una pastilla de cemento que tenga una porosidad de $0,500 \pm 0,005$, y se calculará como sigue:

$$W = 3,15 V (1-e) \dots\dots\dots(2)$$

donde:

- W = gramos requeridos de muestra,
3,15 = valor tomado para el peso específico del cemento portland,
V = volumen de la pastilla de cemento en centímetros cúbicos, determinado de acuerdo con el párrafo (b), y
e = porosidad deseada de la pastilla de cemento ($0,500 \pm 0,005$).

(e) Preparación de la pastilla de cemento.- El disco perforado se fijará sobre el reborde de la célula del permeabilímetro. Se colocará, sobre el disco de metal, otro de papel de filtro y se comprimen sus bordes con una varilla algo más pequeña que el diámetro de la célula. Se coloca en la célula una cantidad de cemento, determinada de acuerdo con el párrafo (d), y pesada con una precisión de 0,001 g. Se golpea, ligeroemente, la parte lateral de la célula para nivelar la capa de cemento. Se coloca un disco de papel de filtro sobre el cemento y se comprime mediante el pistón hasta que el rebordo de su cabeza se halle en contacto con la parte superior de la célula. Entonces se retira suavemente el pistón.

(f) Ensayo de permeabilidad.- La célula de permeabilidad se une al tubo del manómetro, asegurándose de que se obtiene una conexión con cierre hermético (Nota 3); se ha de tener ca

dado de no agitar o revolver la pastilla preparada de cemento.

Debe extraerse, lentamente, el aire del brazo del tubo en U del manómetro hasta que el líquido alcance la señal superior, cerrándose entonces herméticamente la válvula. Debe ponerse en marcha el cronómetro cuando la parte inferior del menisco del líquido manométrico alcance la segunda señal (próxima a la parte superior), y se detendrá cuando la parte inferior del menisco del líquido alcance la tercera señal (próxima a la parte inferior). Hay que observar el tiempo medido y anotarlo en segundos. También se observará la temperatura a que se realiza el ensayo, haciéndose la anotación en grados centígrados.

En el calibrado del instrumento deben realizarse, como mínimo, tres determinaciones del tiempo de flujo, en cada una de tres pastillas preparadas independientemente, a partir de la muestra patrón (Nota 4). El calibrado debe realizarse por el mismo operador que lleva a cabo la determinación de la finura.

Nota 3.- Si se emplea un tapón de goma para la conexión debe humedecerse con agua; si se emplea una ensambladura cónica normal debe aplicarse un poco de grasa. La eficiencia de la conexión puede determinarse tapando la parte superior de la célula, unida al manómetro, y haciendo después, parcialmente, el vacío en el brazo del manómetro; entonces se cierra la válvula. Una caída de la presión indica una fuga en el sistema.

Nota 4.- La muestra puede volverse a mullir y a usar de nuevo para la preparación de la pastilla de ensayo, suponiendo que se ha mantenido seca y que todas las pruebas se realizan dentro de las cuatro horas siguientes a la abertura de la muestra.

(g) Nuevos calibrados. - El aparato se calibrará de nuevo (Nota 6):

(1) A intervalos periódicos, para corregir los posibles desgastes del pistón o de la célula de permeabilidad,

(2) Si tiene lugar alguna pérdida en el fluido manométrico, y

(3) Si se ha realizado algún cambio en el tipo o calidad del papel de filtro utilizado para los ensayos.

Nota 6.- Se sugiere que debe prepararse una segunda muestra y usarse como un patrón de finura para las de terminaciones de comprobación del instrumento entre calibrados regulares con la muestra normal de cemento.

PROCEDIMIENTO.

4. (a) Temperatura del cemento.- Cuando se realice el ensayo, la muestra de cemento debe hallarse a la temperatura ambiente.

(b) Peso de la muestra de ensayo.- El peso de la muestra (Nota) empleada para el ensayo será el mismo que el usado para la prueba de calibrado con la muestra patrón, excepto en el caso de la determinación de la finura de cemento de rápido endurecimiento en que el peso de la muestra será el requerido para producir una pastilla de ensayo que tenga una porosidad de $0,530 \pm 0,005$.

Nota.- Cuando se utiliza este método para otros materiales que no sean cemento portland, el peso de la muestra deberá ajustarse de tal forma que se obtenga una pastilla firme y dura por el proceso de compactación.

(c) Preparación de la pastilla de cemento.- La pastilla de ensayo debe prepararse de acuerdo con el método descrito en la sección 3 (c).

TABLA 11.- VALORES PARA LA POROSIDAD DEL CEMENTO.

Porosidad de la pastilla, e	$\sqrt[3]{e}$
0,500	0,354
0,501	0,355
0,502	0,356
0,503	0,357
0,504	0,358
0,505	0,359
0,506	0,360
0,507	0,361
0,508	0,362
0,509	0,363
0,510	0,364
0,525	0,380
0,526	0,381
0,527	0,383
0,528	0,384
0,529	0,385
0,530	0,386
0,531	0,387
0,532	0,388
0,533	0,389
0,534	0,390
0,535	0,391

(d) Ensayo de permeabilidad.- El ensayo de permeabilidad debe realizarse de acuerdo con el método descrito en la sección 3 (f), con la particularidad de que solamente debe realizarse una determinación del tiempo de flujo en la pastilla preparada de cemento.

CALCULO.

5. El cálculo de la superficie específica debe hacerse de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$S = \frac{S_s \sqrt{T}}{\sqrt{T}_s} \dots\dots\dots (3)$$

$$S = \frac{S_s \sqrt{n}_s \sqrt{T}}{\sqrt{T}_s \sqrt{n}} \dots\dots\dots (4)$$

$$S = \frac{S_s (1-e)_s \sqrt{e^3} \sqrt{T}}{\sqrt{e^3}_s \sqrt{T}_s (1-e)} \dots\dots\dots (5)$$

$$S = \frac{S_s (1-e)_s \sqrt{e^3} \sqrt{n}_s \sqrt{T}}{\sqrt{e^3}_s \sqrt{T}_s \sqrt{n} (1-e)} \dots\dots\dots (6)$$

$$S = \frac{S_s \rho_s (1-e)_s \sqrt{e^3} \sqrt{T}}{\rho (1-e) \sqrt{e^3}_s \sqrt{T}_s} \dots\dots\dots (7)$$

$$S = \frac{S_s \rho_s (1-e)_s \sqrt{n}_s \sqrt{e^3} \sqrt{T}}{\rho (1-e) \sqrt{e^3}_s \sqrt{T}_s \sqrt{n}} \dots\dots\dots (8)$$

- S = superficie específica, en centímetros cuadrados por gramo, de la muestra de ensayo;
- S_s = superficie específica, en centímetros cuadrados por gramo, de la muestra utilizada en el calibrado del aparato;
- T = intervalo de tiempo medido, en segundos, correspondiente a la caída de la presión del manómetro, en el caso de la muestra de ensayo (Nota);
- T_s = intervalo de tiempo medido, en segundos, correspondiente a la caída de la presión del manómetro, en el caso de la muestra patrón empleada para el calibrado del aparato (Nota);
- n = viscosidad del aire en poises, a la temperatura de ensayo, de la muestra de ensayo (Nota);
- n_s = viscosidad del aire en poises, a la temperatura de ensayo, de la muestra patrón utilizada en el calibrado del aparato (Nota);
- e = porosidad de la pastilla preparada a partir de la muestra de ensayo (Nota);
- e_s = porosidad de la pastilla preparada a partir de la muestra patrón, utilizada en el calibrado del aparato (Nota);
- ρ = peso específico de la muestra de ensayo (para el cemento Portland debe utilizarse un valor de 3,15), y
- ρ_s = peso específico de la muestra patrón utilizada en el calibrado del aparato (se supone que es 3,15).

Nota.- Los valores para \sqrt{n} , $\sqrt{e^3}$ y \sqrt{T} pueden tomarse de las tablas I, II y III, respectivamente.

Las ecuaciones 3 y 4 deben usarse en el cálculo de la finura de cementos portland, compactados hasta la misma porosidad que la muestra patrón de finura. La ecuación 3 se utiliza si la temperatura de ensayo de la muestra de ensayo se halla en el intervalo de $\pm 3^\circ\text{C}$ de la temperatura del ensayo de calibrado de la muestra normal de finura y la ecuación 4

TABLA III.- TIEMPO DE FLUJO DE AIRE

T = tiempo de flujo de aire, en segundos; T = factor que se ha de utilizar en las ecuaciones.

T	\sqrt{T}	T	\sqrt{T}	T	\sqrt{T}	T	\sqrt{T}	T	\sqrt{T}	T	\sqrt{T}
26	5,10	51	7,14	76	8,72	101	10,05	151	12,29	201	14,18
26½	5,15	51½	7,18	76½	8,75	102	10,10	152	12,33	202	14,21
27	5,20	52	7,21	77	8,77	103	10,15	153	12,37	203	14,25
27½	5,25	52½	7,24	77½	8,80	104	10,20	154	12,41	204	14,28
28	5,29	53	7,28	78	8,83	105	10,25	155	12,45	205	14,32
28½	5,34	53½	7,31	78½	8,86	106	10,30	156	12,49	206	14,35
29	5,39	54	7,35	79	8,89	107	10,34	157	12,53	207	14,39
29½	5,44	54½	7,38	79½	8,92	108	10,39	158	12,57	208	14,42
30	5,48	55	7,42	80	8,94	109	10,44	159	12,61	209	14,46
30½	5,52	55½	7,45	80½	8,97	110	10,49	160	12,65	210	14,49
31	5,57	56	7,48	81	9,00	111	10,54	161	12,69	211	14,53
31½	5,61	56½	7,51	81½	9,03	112	10,58	162	12,73	212	14,56
32	5,66	57	7,55	82	9,06	113	10,63	163	12,77	213	14,59
32½	5,70	57½	7,58	82½	9,09	114	10,68	164	12,81	214	14,63
33	5,74	58	7,62	83	9,11	115	10,72	165	12,85	215	14,66
33½	5,79	58½	7,65	83½	9,14	116	10,77	166	12,88	216	14,70
34	5,83	59	7,68	84	9,17	117	10,82	167	12,92	217	14,73
34½	5,87	59½	7,71	84½	9,20	118	10,86	168	12,96	218	14,76
35	5,92	60	7,75	85	9,22	119	10,91	169	13,00	219	14,80
35½	5,96	60½	7,78	85½	9,25	120	10,95	170	13,04	220	14,83
36	6,00	61	7,81	86	9,27	121	11,00	171	13,08	222	14,90
36½	6,04	61½	7,84	86½	9,30	122	11,05	172	13,11	224	14,97
37	6,08	62	7,87	87	9,33	123	11,09	173	13,15	226	15,03
37½	6,12	62½	7,90	87½	9,36	124	11,14	174	13,19	228	15,10
38	6,16	63	7,94	88	9,38	125	11,18	175	13,23	230	15,17

TABLA III.- TIEMPO DE FLUJO DE AIRE (Continuación)

T = tiempo de flujo de aire, en segundos; F = factor que se ha de utilizar en las ecuaciones.

T	\sqrt{T}	T	\sqrt{T}	T	\sqrt{T}	T	\sqrt{T}	T	\sqrt{T}	T	\sqrt{T}
38½	6,20	63½	7,96	88½	9,41	126	11,22	176	13,27	232	15,23
39	6,24	64	8,00	89	9,43	127	11,27	177	13,30	234	15,30
39½	6,28	64½	8,03	89½	9,46	128	11,31	178	13,34	236	15,36
40	6,32	65	8,06	90	9,49	129	11,36	179	13,38	238	15,43
40½	6,36	65½	8,09	90½	9,51	130	11,40	180	13,42	240	15,49
41	6,40	66	8,12	91	9,54	131	11,45	181	13,45	242	15,56
41½	6,44	66½	8,16	91½	9,57	132	11,49	182	13,49	244	15,62
42	6,48	67	8,19	92	9,59	133	11,53	183	13,53	246	15,68
42½	6,52	67½	8,22	92½	9,62	134	11,58	184	13,56	248	15,75
43	6,56	68	8,25	93	9,64	135	11,62	185	13,60	250	15,81
43½	6,60	68½	8,28	93½	9,67	136	11,66	186	13,64	252	15,87
44	6,63	69	8,31	94	9,70	137	11,70	187	13,67	254	15,94
44½	6,67	69½	8,34	94½	9,73	138	11,75	188	13,71	256	16,00
45	6,71	70	8,37	95	9,75	139	11,79	189	13,75	258	16,06
45½	6,74	70½	8,40	95½	9,78	140	11,83	190	13,78	260	16,12
46	6,78	71	8,43	96	9,80	141	11,87	191	13,82	262	16,19
46½	6,82	71½	8,46	96½	9,83	142	11,92	192	13,86	264	16,25
47	6,86	72	8,49	97	9,85	143	11,96	193	13,89	266	16,31
47½	6,89	72½	8,52	97½	9,88	144	12,00	194	13,93	268	16,37
48	6,92	73	8,54	98	9,90	145	12,04	195	13,96	270	16,43
48½	6,96	73½	8,57	98½	9,93	146	12,08	196	14,00	272	16,49
49	7,00	74	8,60	99	9,95	147	12,12	197	14,04	274	16,55
49½	7,04	74½	8,63	99½	9,98	148	12,17	198	14,07	276	16,61
50	7,07	75	8,66	100	10,00	149	12,21	199	14,11	278	16,67
50½	7,10	75½	8,68	100½	10,03	150	12,25	200	14,14	280	16,73

se utiliza si la temperatura de ensayo se halla fuera de este intervalo.

Las ecuaciones 5 y 6 deben usarse en el cálculo de finura de cementos portland, compactados a una porosidad diferente de la de la muestra patrón de finura, utilizada en el ensayo de calibrado. La ecuación 5 se utiliza si la temperatura de ensayo de la muestra problema se halla en el intervalo de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ de la temperatura del ensayo de calibrado de la muestra patrón de finura y la ecuación 6 se utiliza si la temperatura de ensayo se halla fuera de este intervalo.

Las ecuaciones 7 y 8 deben usarse en el cálculo de la finura de otros materiales diferentes de cemento portland. La ecuación 7 se emplea cuando la temperatura de ensayo de la muestra problema se halla en el intervalo de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ de la temperatura del ensayo de calibrado de la muestra patrón de finura y la ecuación 8 se utiliza si la temperatura de ensayo se halla fuera de este intervalo.

REPETICION DEL ENSAYO.

6. La repetición del ensayo consistirá en dos determinaciones, realizadas como se prescribe en las secciones 4 y 5, utilizando, para cada determinación, una pastilla problema recién preparada de la muestra. Se habrá de cuidar la preparación de las pastillas problema, y se tomarán precauciones para asegurar una conexión, herméticamente cerrada, entre la célula de permeabilidad y el brazo del manómetro. El valor de la finura será la media de los valores calculados a partir de las determinaciones realizadas en este nuevo ensayo, concordando en 2% una con otra.

S.F.S.

Nota del R.- Este método de ensayo ha sido tomado de 1952 Book of ASTM STANDARDS. Part 3, pág. 129.
1953 Supplement to Book of ASTM STANDARDS. Part 3, pág. 370.