

APÉNDICE B

ESTUDIOS DE LABORATORIO PARA LA ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.

A) PRUEBAS DE LABORATORIO PARA LOS ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL CONCRETO.

Los elementos que constituyen al concreto son: la arena, grava, cemento, agua y en ocasiones algún aditivo. A continuación damos una breve explicación de las pruebas que se le aplican a la grava y arena para determinar su uso en la elaboración de un concreto.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA Y LA GRAVA.

En los suelos gruesos, cuya granulometría puede determinarse por mallas, la distribución por tamaños revela algunas de las propiedades físicas del material, por ejemplo los suelos gruesos bien graduados tienen comportamiento mecánico más favorable que los suelos de granulometría muy uniforme.

Como análisis mecánico se cuenta con el Método de Cribado por Mallas, que consiste en separar cada uno de los tamaños de una muestra de agregado a través de una operación que se llama tamizado o cernido.

PROCEDIMIENTO:

Se obtiene una porción de material reduciendo la muestra a través de cuarteos, seguidamente se hace pasar a través de un juego de tamices de aberturas descendentes incluyendo tapa y charola, y se somete a un cribado vigoroso durante 5 min. en un dispositivo mecánico especial. Los retenidos en cada malla se pesan y se calcula el porcentaje que representan, respecto al peso total de la muestra se suma a los porcentajes retenidos en todas las mallas de mayor tamaño; el complemento al 100% de esa cantidad da el porcentaje de suelo que es menor que el tamaño representado por la malla en cuestión. En las mallas de abertura muy pequeñas como la

#100 (0.149 mm) y la #200 (0.074 mm) se requiere agua para ayudar al paso de la muestra (procedimiento de lavado).

La fracción gruesa es la porción de suelo que se retiene en la malla #200. Es arena si se retiene en la malla #4 menos del 50% de la fracción gruesa. Para el cribado de arena se utilizan las mallas: #4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200. Es grava si más del 50% de la fracción gruesa se retiene en la malla #4. El cribado en la grava se hizo con las mallas: 3", 2", 1½", 1", ¾", ½", ⅜" y #4.

MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA.

La aceptación de una buena o mala granulometría se da a través del parámetro módulo de finura:

$$M.F = \frac{1}{100} \sum_{\text{malla 8}}^{\text{malla 100}} \text{porcientos acumulados} \quad \text{Ec. A-1}$$

Para una buena granulometría en las arenas se recomienda que el módulo de finura oscile 2.4 - 3.0 donde 2.4 representa arena fina y 3.0 arena gruesa.

DENSIDAD RELATIVA.

Se llama densidad relativa a la relación entre el peso de un volumen dado de material saturado y superficialmente seco (SSS) y el peso mismo en volumen de agua destilada a 4°C de temperatura.

DENSIDAD DE LA ARENA.

Una vez que el material está en condiciones SSS se toman 50 gr. se vacían al matraz de Le'Chatelier, que debe estar previamente aforado y se mide el volumen que se desplaza. La densidad se obtiene:

$$DENSIDAD DE LA ARENA = \frac{50 \text{ gr.}}{\text{vol. desplazado}} \quad \text{Ec. A-2}$$

DENSIDAD DE LA GRAVA.

Cuando la grava se encuentra en condiciones SSS se toman 500 gr. y se vacían en una probeta o pignómetro y se calcula el volumen que se desplaza:

$$DENSIDAD DE LA GRAVA = \frac{500gr.}{vol. desplazado} \quad Ec. A-3$$

ABSORCIÓN.

Es la cantidad de agua retenida por un material, arena o grava después de estar inmersa en ella durante 24 hrs. se expresa como porcentaje de peso seco.

$$\% DE ABSORCIÓN = \frac{P_{SSS} - P_{seco}}{P_{seco}} \times 100 \quad Ec. A-4$$

ABSORCIÓN DE LA ARENA.

Se pesa una cantidad superior a los 200 gr. de arena en condiciones SSS, luego se seca este material y se deja enfriar hasta que pierde toda la humedad, se pesa y se calcula la absorción con la ecuación A-4:

ABSORCIÓN DE LA GRAVA.

El material previamente pesado en condiciones SSS se seca directamente a la estufa hasta que pierde totalmente la humedad, se enfría y se calcula la absorción (Ec. A-4)

PESO VOLUMÉTRICO.

El peso volumétrico es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en Kg./m³, hay dos valores para esta relación, dependiendo del sistema de acomodo que se le haya dado al material inmediatamente después de la prueba, la denominación que se le da a cada uno de ellos es peso volumétrico suelto y peso volumétrico compactado, el uso de uno y otro depende de las condiciones de manejo a que estén sujetos los materiales.

Peso volumétrico suelto: Se usa para la conversión de peso a volumen, es decir, para conocer el consumo de agregado por m³ de concreto.

Peso volumétrico compactado: Es para el conocimiento del volumen de materiales aplicados y que están sujetos a acomodamientos o asentamiento provocados por el tránsito o por la acción del tiempo. El valor del peso volumétrico, para ambos casos, deberá obtenerse con agregados secos a la intemperie.

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO DE LA ARENA.

Se vierte la arena en una medida dejándola caer con un desplazamiento continuo desde una altura de 5 cm. del borde de la medida hasta que el material forme un cono natural, cuyos taludes lleguen hasta arriba de la puna entre la extensión y la medida misma. Terminada de llenar se quita la extensión y se recorre al rasero en los bordes hasta obtener la forma plana.

$$PESO VOLUMÉTRICO SUELTO = \frac{P_{suelto}}{volumen} \quad \text{Ec. A-5}$$

PESO VOLUMÉTRICO COMPACTADO DE LA ARENA.

La única diferencia con la anterior es que la medida se llena en tres caspas varillando cada una de ellas con 25 golpes consecutivos (la varilla no debe de penetrar mas de la capa que se trabaja).

$$PESO VOLUMÉTRICO COMPACTADO = \frac{P_{compactado}}{Volumen} \quad \text{Ec. A-6}$$

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO DE LA GRAVA.

Se vierte la grava en la medida dejándola caer de manera uniforme hasta llenarla, luego se enrasa de manera que el material no sobresalga de los bordes de la medida, se pesa y se calcula el peso volumétrico suelto con la fórmula A-5.

PESO VOLUMÉTRICO COMPACTADO DE LA GRAVA.

A diferencia de la anterior, es que las medidas se llenan en tres capas golpeándola con la varilla 25 veces cada una. Al igual que para la arena, no debe penetrar la varilla de la capa que se trabaja, ni debe de fracturarse la grava (utilizar la ecuación A-6)

B) PROPORCIONAMIENTO DE LOS CONCRETOS.

I. CALCULO PARA EL PROPORCIONAMIENTO DE EL CONCRETO $f_c = 150$
Kg./cm²

1. Características de los materiales.

Tamaño máximo del agregado grueso = 3/8" = 9.5 mm.

Densidad de la grava = 2.65 gr./cm³

Absorción de la grava = 0.78 %

Peso volumétrico seco compacto de la grava = 1698.50 Kg./m³

Peso volumétrico suelto de la grava = 1596.60 Kg./m³

Módulo de finura de la arena = 3.0

Densidad de la arena = 2.60 gr./cm³

Absorción de la arena = 0.75 gr./cm³

Peso volumétrico seco compactado de la arena = 1435.0 Kg./m³

Peso volumétrico seco suelto de la arena = 1334.55 Kg./m³

2. Obtención de la f crítica para el cálculo.

$$f'_{cr} = 150 + 1.2(35) = 192$$

3. Relación agua -cemento de acuerdo a la tabla C-1

$$A/C = 0.72$$

4. De la tabla C-2, y dado el tamaño máximo del agregado grueso (TMA) y el revenimiento de 7.5 -10 cm., se determina la cantidad de agua por metro cúbico = 228.0 lts., la cantidad de aire es del 1.0 %:

5. La cantidad de cemento en Kg. se calcula:

$$\text{Cantidad de cemento (Kg.)} = \frac{228\text{lts}}{0.72} = 164.20\text{Kg}$$

6. Dado el módulo de finura de la arena y TMA, se utiliza la tabla C-3 para encontrar la cantidad recomendada de agregado grueso compactado con varilla, ya seco, que debe usarse en cada metro cúbico de concreto.

Interpolando se obtuvo: 0.44

Multiplíquelo por el peso volumétrico seco compactado del agregado:

$$\text{Cantidad de grava (Kg.)} = (0.44) (1698.50) = 747.34 \text{ Kg.}$$

7. Obtención del volumen absoluto en lts. de cada agregado.

$$\text{Volumen absoluto de cemento} = \frac{164.20\text{Kg}}{3.05 \frac{\text{Kg}}{\text{lt}}} = 53.84 \text{ lts.}$$

$$\text{Volumen absoluto de agua} = 228 \text{ lts.}$$

$$\text{Volumen absoluto de grava} = \frac{747.3\text{Kg}}{2.65 \frac{\text{Kg}}{\text{lt}}} = 282.0 \text{ lts.}$$

$$\text{Volumen absoluto de aire} = \frac{1}{100} \times 1000 = 10 \text{ lts.}$$

8. La cantidad necesaria de arena en volumen absoluto (en lts) es:

$$\text{Volumen absoluto de arena} = 1000 - (53.84 + 282 + 10 + 228)$$

$$\text{Volumen absoluto de arena} = 426.16 \text{ lts.}$$

9. EL peso en Kg. de arena = (426.16 lts.) (2.60 Kg./lts) = 1108.02 Kg.

Resumen: Las cantidades para elaborar "aproximadamente" 1 m³ de concreto con una resistencia probable de 190 Kg./cm² y un revenimiento esperado de 7.5 a 10 cm son:

Cemento = 164.2 Kg.

Agua = 228 lts.

Grava = 747.3 Kg.

Arena = 1108 Kg.

10. Volumen en lts. de los agregados:

Volumen en litros = Peso del agregado / Peso volumétrico suelto

$$\text{Grava} = \frac{747.3 \text{Kg}}{1596.6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{1000}} = 468.06 \text{ lts.}$$

$$\text{Arena} = \frac{1108.0 \text{Kg}}{1334.55 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{1000}} = 830.24 \text{ lts.}$$

Cemento = 53.84 lts.

Agua = 228.0 lts

11. Proporciónamiento en volumen:

$$\text{Cemento} = \frac{53.84 \text{lts}}{53.84 \text{lts}} =$$

$$\text{Agua} = \frac{228 \text{lts}}{53.84 \text{lts}} = 4.23$$

$$\text{Grava} = \frac{468.06 \text{lts}}{53.84 \text{lts}} = 8.7$$

$$\text{Arena} = \frac{869.4 \text{lts}}{53.84 \text{lts}} = 16.15$$

12. Proporciónamiento en peso:

$$\text{Cemento} = \frac{164.20 \text{Kg}}{164.20 \text{Kg}} =$$

$$Agua = \frac{228Kg}{164.20Kg} = 1.39$$

$$Grava = \frac{747.30Kg}{164.20Kg} = 4.55$$

$$Arena = \frac{1108.02Kg}{164.20Kg} = 6.75$$

Proporción en peso: cemento-grava-arena-agua (1:4.55:6.75:1.39).

Con esta proporción se elaboró la mezcla para las muestras 1 y 2 del concreto de $f'c = 150$ Kg./cm². Con estas mismas muestras se hizo la prueba de resistencia.

II. CALCULO PARA EL PROPORCIONAMIENTO DE EL CONCRETO $f'c = 200$ Kg./cm²

1. Características de los materiales.

Tamaño máximo del agregado grueso = 3/8" = 9.5 mm.

Densidad de la grava = 2.65 gr./cm³

Absorción de la grava = 0.78 %

Peso volumétrico seco compacto de la grava = 1698.50 Kg./m³

Peso volumétrico suelto de la grava = 1596.60 Kg./m³

Módulo de finura de la arena = 3.0

Densidad de la arena = 2.60 gr./cm³

Absorción de la arena = 0.75 gr./cm³

Peso volumétrico seco compactado de la arena = 1435.0 Kg./m³

Peso volumétrico seco suelto de la arena = 1334.55 Kg./m³

2. Obtención de la $f'cr$ para el cálculo.

$$f'cr = 200 + 1.2(35)$$

$$f'_{crit} = 242$$

3. Relación agua -cemento de acuerdo a la tabla C-1

$$A/C = 0.63$$

4. De la tabla C-2, y dado el tamaño máximo del agregado grueso (TMA) y el revenimiento de 7.5 -10 cm., se determina la cantidad de agua por metro cúbico = 228.0 lts., la cantidad de aire es del 1.0 %.

5. La cantidad de cemento en Kg. se calcula:

$$\text{Cantidad de cemento (Kg.)} = \frac{228\text{ lts}}{0.63} = 361.90\text{Kg}$$

6. Dado el módulo de finura de la arena y TMA, se utiliza la tabla C-3 para encontrar la cantidad recomendada de agregado grueso compactado con varilla, ya seco, que debe usarse en cada metro cúbico de concreto.

Interpolando se obtuvo: 0.44

Multiplicándolo por el peso volumétrico seco compactado del agregado:

$$\text{Cantidad de grava (Kg.)} = (0.44) (1698.50) = 747.34 \text{ Kg.}$$

7. Obtención del volumen absoluto en lts. de cada agregado.

$$\text{Volumen absoluto de cemento} = \frac{361.90\text{Kg}}{3.05 \frac{\text{Kg}}{\text{lt}}} = 118.66 \text{ lts.}$$

$$\text{Volumen absoluto de agua} = 228 \text{ lts.}$$

$$\text{Volumen absoluto de grava} = \frac{747.34\text{Kg}}{2.65 \frac{\text{Kg}}{\text{lt.}}} = 282.06 \text{ lts.}$$

$$\text{Volumen absoluto de aire} = \frac{1}{100} \times 1000 = 10 \text{ lts.}$$

8. La cantidad necesaria de arena en volumen absoluto (en lts) es:

$$\text{Volumen absoluto de arena} = 1000 - (118.66 + 282.06 + 10 + 228)$$

Volumen absoluto de arena = 361.28 lts.

9. EL peso en Kg. de arena = (361.28 lts.) (2.60 Kg./lts) = 939.33 Kg.

Resumen: Las cantidades para elaborar "aproximadamente" 1 m³ de concreto con una resistencia probable de 190 Kg./cm² y un revenimiento esperado de 7.5 a 10 cm son:

Cemento = 361.90 Kg.

Agua = 228 lts.

Grava = 747.3 Kg.

Arena = 939.33 Kg.

10. Volumen en lts. de los agregados:

Volumen en litros = Peso del agregado / Peso volumétrico suelto

$$\text{Grava} = \frac{747.3 \text{Kg}}{1596.6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{1000}} = 468.06 \text{ lts.}$$

$$\text{Arena} = \frac{939.33 \text{Kg}}{1334.55 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{1000}} = 703.86 \text{ lts.}$$

Cemento = 118.66 lts.

Agua = 228.0 lts

11. Proporcionamiento en volumen:

$$\text{Cemento} = \frac{118.66 \text{lts}}{118.66 \text{lts}} =$$

$$\text{Agua} = \frac{228 \text{lts}}{118.66 \text{lts}} = 1.92$$

$$\text{Grava} = \frac{468.06 \text{lts}}{118.66 \text{lts}} = 3.94$$

$$\text{Arena} = \frac{703.86 \text{lts}}{118.66 \text{lts}} = 5.93$$

Volumen absoluto de arena = 361.28 lts.

9. EL peso en Kg. de arena = (361.28 lts.) (2.60 Kg./lts) = 939.33 Kg.

Resumen: Las cantidades para elaborar "aproximadamente" 1 m³ de concreto con una resistencia probable de 190 Kg./cm² y un revenimiento esperado de 7.5 a 10 cm son:

Cemento = 361.90 Kg.

Agua = 228 lts.

Grava = 747.3 Kg.

Arena = 939.33 Kg.

10. Volumen en lts. de los agregados:

Volumen en litros = Peso del agregado / Peso volumétrico suelto

$$\text{Grava} = \frac{747.3 \text{Kg}}{1596.6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{1000}} = 468.06 \text{ lts.}$$

$$\text{Arena} = \frac{939.33 \text{Kg}}{1334.55 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1}{1000}} = 703.86 \text{ lts.}$$

Cemento = 118.66 lts.

Agua = 228.0 lts

11. Proporcionamiento en volumen:

$$\text{Cemento} = \frac{118.66 \text{lts}}{118.66 \text{lts}} =$$

$$\text{Agua} = \frac{228 \text{lts}}{118.66 \text{lts}} = 1.92$$

$$\text{Grava} = \frac{468.06 \text{lts}}{118.66 \text{lts}} = 3.94$$

$$\text{Arena} = \frac{703.86 \text{lts}}{118.66 \text{lts}} = 5.93$$

Tabla C-2.- Requisitos Aproximados De Agua De Mezclado Y Contenido De Aire Para Diferentes Revenimientos Y Tamaños Nominales De Agregado.

Revenimiento,cm.	Agua, Kg./m ³ para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo (mm) indicado							
	9.5*	12.5*	19*	25*	38*	50*	75***	150***
Concreto sin aire incluido								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido, por ciento	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	-
Promedio recomendado *** de contenido de aire total, por ciento, según el nivel de exposición.								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Tabla C-3.- Volumen De Agregado Grueso Por Volumen Unitario De Concreto.

Tamaño máximo nominal del agregado, mm.	Volumen de agregado grueso * varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

4. Posteriormente este mismo material es puesto al horno durante 24 hrs. a una temperatura aproximada de 100°C. Transcurrido este tiempo, se pesa el material obteniéndose su peso seco.

5. Con los datos anteriores de los materiales podemos calcular su densidad con la siguiente fórmula:

$$Densidad = \frac{Peso \cdot seco}{PSSS - Peso \cdot agua}$$

MATERIAL	PSSS	PESO EN AGUA	PESO SECO	DENSIDAD
MORTERO (CEMETO-CAL-ARENA)	1315.25	654.00	1167.00	1.765
CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO	1507.25	753.25	1407.25	1.866
YESO (MOCUZARI)	1250.50	450.50	1108.50	1.386
CONCRETO f'c = 200 Kg./cm2	1587.00	906.50	1557.00	2.288
CONCRETO f'c = 150 Kg./cm2	1555.50	865.50	1501.00	2.175
LADRILLO QUEROBABI	1077.50	524.75	912.00	1.650
LADRILLO COMÚN	974.50	502.50	874.00	1.852
TERRAZO (PISO)	1174.00	694.75	1147.75	2.395
VIDRIO NORMAL	----	148.00	252.75	2.420
VIDRIO REFLECTIVO	----	146.50	249.50	2.420

Procedimiento para obtener el porcentaje de absorción.

El procedimiento de prueba para obtener la absorción es con los mismos datos obtenidos para la densidad. Se calcula de la siguiente manera:

$$\% \cdot de \cdot absorción = \frac{PSSS - Peso \cdot seco}{Peso \cdot seco} * 100$$

MATERIAL	PSSS	PESO SECO	ABSORCIÓN (%)
MORTERO (CEMETO-CAL-ARENA)	1315.25	1167.00	12.70
CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO	1507.25	1407.25	7.11
YESO (MOCUZARI)	1250.50	1108.50	12.81
CONCRETO f'c = 200 Kg./cm2	1587.00	1557.00	1.93
CONCRETO f'c = 150 Kg./cm2	1555.50	1501.00	3.63
LADRILLO	1077.50	912.00	18.15
LADRILLO	974.50	874.00	11.50
TERMOCRETO	638.75	458.25	39.39
MEZCLA TERMOCEL-CRETO	534.50	389.00	37.40
TERRAZO (PISO)	1174.00	1147.75	2.29

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

Para obtener la resistencia a la compresión del concreto se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se cortan las muestras en relación 1.00 de altura/diámetro.
2. Se toman las medidas de área de la sección transversal (A) de la muestra.
3. Se coloca la muestra en la prensa hidráulica y comienza a bajar el pistón lentamente marcando la carga que está recibiendo.
4. Cuando el material falla a la compresión, se toma la lectura de la carga recibida por el espécimen.

El esfuerzo (σ) a la compresión se determina de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Este esfuerzo es necesario multiplicarlo por un factor de corrección a la resistencia que para el caso de relación altura/diámetro de 1.0 es de 0.91 (NOM C-169-1988, Tabla 1).

Al realizar esta prueba con las muestras de la investigación se obtuvo:

MATERIAL	CARGA (Kg.)	AREA (cm ²)	RESISTENCIA*
Concreto f _c = 150 Kg./cm ² M1	31228	181	157
Concreto f _c = 150 Kg./cm ² M2	32275	178	165
Concreto f _c = 200 Kg./cm ² M1	42167	181	212
Concreto f _c = 200 Kg./cm ² M2	42514	186	208

* Resistencia con factor de corrección incluido.