



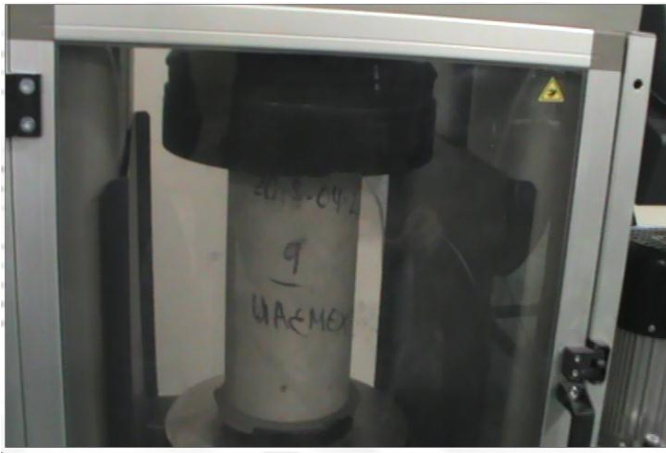
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

**UNIDAD DE APRENDIZAJE:**

**MATERIALES PARA INGENIERÍA CIVIL**



**Elaboró:**

**ING. MA. ESTHER ANTONIO SALINAS.  
PROFESOR DE ASIGNATURA.**

**Fecha: 31 de agosto de 2015.**



## PRESENTACIÓN.

El estudio de los materiales es fundamental en la formación de Ingenieros Civiles, para el desarrollo de nuevos materiales o en la selección y empleo de los recursos y productos existentes para la planeación, construcción y supervisión de obras de tipo industrial o habitacional; equipamiento urbano de educación, salud, asistencia social, cultura, comercio, abasto recreación, deporte y servicios urbanos; así como de Infraestructura carretera, ferroviaria, portuaria, aeroportuaria, de telecomunicaciones, agua potable, hidroagrícola, saneamiento, energía eléctrica, producción de hidrocarburos, refinación, gas y petroquímica.

Por lo anterior, desde que se fundó la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México, el plan de estudios para la Licenciatura de Ingeniería Civil, aprobado por el consejo Universitario el 9 de abril de 1956, consideró una asignatura para el estudio de los materiales, en la cual se integraba la teoría y la práctica, desarrollando la comprensión de los conceptos de las propiedades, aplicaciones, comportamiento de deterioro o falla, en los materiales comúnmente empleados en la construcción, en base a los conocimientos científicos sustentados en métodos y prácticas de laboratorio normalizadas.

La unidad de aprendizaje "Materiales para Ingeniería Civil" está orientada para que el alumno tome conciencia sobre los tipos de materiales disponibles, sus propiedades, su comportamiento general, durabilidad y el control de calidad aplicable. Esta unidad de aprendizaje está orientada para que el alumno tome conciencia sobre los tipos de materiales disponibles, y sus capacidades generales, los efectos del entorno y las condiciones de servicio sobre su desempeño ingenieril; integrando la teoría y práctica, la valoración de los desempeños de síntesis y aplicación de contenidos en casos de índole profesional. La carga horaria es de 80 horas semestrales, asignándose 5 horas semanales (4 horas de teoría y 1 hora de práctica).

El presente manual se elabora para que el alumno realice las prácticas de laboratorio en materiales comúnmente empleados en las obras de ingeniería civil, haciendo uso de los equipos que se tienen en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería.

Este trabajo no pretende sustituir la revisión y aplicación de las normas respectivas, únicamente permite facilitar la realización de las Prácticas con una duración máxima de 2 horas, y fomentar en los alumnos la realización de pruebas de laboratorio, para verificar las propiedades de los materiales.

Como medidas de seguridad e higiene, para ingresar a las instalaciones del laboratorio a efectuar las practicas, los alumnos deben utilizar bata y zapatos de seguridad.



## Í N D I C E

|  | Página  |
|--|---------|
| <b>PRÁCTICA No. 1. DENSIDAD DE LOS MATERIALES</b>  | 4 - 5   |
| <b>PRÁCTICA No. 2: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y MECANICAS EN SUELOS Y ROCAS.</b>                   | 6 - 7   |
| <b>PRÁCTICA No. 3. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y MECÁNICAS DE MATERIALES METÁLICOS.</b>                                    | 8 - 10  |
| <b>PRÁCTICA No. 4: PROPIEDADES DE AGREGADOS MINERALES.</b>   | 11 - 13 |
| <b>PRÁCTICA No. 5: MATERIALES PÉTREOS PARA CARPETAS ASFÁLTICAS.</b>  | 14      |
| <b>PRÁCTICA No. 6: ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE MORTERO HIDRÁULICO.</b>   | 15-16   |
| <b>PRÁCTICA No. 7: ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE MORTERO POLIMÉRICO.</b>   | 16      |
| <b>PRÁCTICA No. 8. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES DE MORTERO HIDRÁULICO Y POLÍMERICO.</b> | 17 - 19 |
| <b>PRÁCTICA No. 9-10: PRUEBA MARSHALL EN CONCRETO ASFÁLTICO.</b>   | 20 - 22 |
| <b>PRÁCTICA No. 11. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO.</b>   | 23 - 28 |
| <b>PRÁCTICA No. 12: ENSAYES EN CONCRETO HIDRÁULICO ENDURECIDO.</b>   | 29 - 30 |
| <b>PRÁCTICA No. 13: ENSAYE EN PIEZAS DE CERÁMICA</b>   | 31 - 32 |

# PRÁCTICA No. 1: PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

**1. Objetivo.** Determinar la densidad y el contenido de agua de un material pétreo.

**2. INTRODUCCIÓN.** Para poder determinar y verificar las propiedades de un material, llevando un **CONTROL DE CALIDAD** es necesario realizar pruebas estandarizadas en al menos 30 ensayos, utilizando al menos dos especímenes en cada muestra. Las pruebas se clasifican en:

**PRUEBAS DE CONTROL:** Se realizan para llevar un control de la calidad y variabilidad de los materiales disponibles, o para investigar las propiedades de los materiales nuevos.

**PRUEBAS DE DEMOSTRACIÓN:** son pruebas no destructivas, algún componentes se prueba al valor máximo permisible de un parámetro (carga mecánica, voltaje)

**INSPECCIONES:** estas son cualitativas y pueden ser detalladas o de tipo visual, para asegurar por ejemplo: exactitud de las dimensiones o acabado de alguna superficie.

## 3. DEFINICIONES:

**DENSIDAD DE SÓLIDOS RELATIVA o MASA ESPECÍFICA RELATIVA. (D).** Es la relación entre la masa específica en las condiciones de temperatura y presión barométrica del lugar y masa específica destilada en las mismas condiciones de temperatura y presión barimétrica.

**MASA UNITARIA O PESO VOLUMETRICO ( $\gamma$ ).** Es la relación entre la masa y el volumen de un material

**4. EQUIPO:** Balanza, Horno, flexómetro o vernier, equipo de corte, picnómetro, probeta y termómetro.

## 5. PROCEDIMIENTO:

### 5.1. DENSIDAD RELATIVA

- Cortar el espécimen (si es un fragmento de roca) o seleccionar partículas con tamaño mayor de 25 mm (1"), con una masa de al menos 250 g
- Colocar en un recipiente con agua el material de manera que este sumergido totalmente, dejándolo saturar durante un periodo de 20 a 24 h
- Sacar el material saturado y secarlo superficialmente hasta quitar el agua de la superficie
- **Pesar el material en estado saturado y superficialmente seco  $W_{ss}$**
- Llenar el picnómetro con agua hasta el nivel de derrame, colocar un recipiente en el orificio de salida del agua para almacenarla y esperar hasta que se estabilice el nivel del agua.
- Colocar una probeta en el orificio de salida del agua y depositar con cuidado dentro del picnómetro el material de ensaye
- **Medir el volumen de agua desplazado por el material  $V_d$  con aproximación de mL y la temperatura del agua para determinar su densidad  $D_{w_T}$  (ver tabla de variación de temperatura)**
- Sacar el material del picnómetro e introducirlo en el horno para el secado a temperatura constante durante un periodo mínimo de 24 h
- Sacar el material del horno, dejarlo enfriar 20 minutos y **determinar la masa del material seco  $W_s$ .**



## 5. CÁLCULOS

$$\text{Densidad relativa } D_r = \frac{W_s}{V_d} * D_{w_T}$$

$$\text{Contenido de agua } w = \frac{W_w}{W_s} * 100 = \frac{W_{ss} - W_s}{W_s} * 100 \text{ en porcentaje}$$

## 6. INFORME Y CONCLUSIONES DE RESULTADOS.

- Investigar diez densidades relativas de materiales a diferentes temperaturas.

- Defina los tipos de enlaces químicos en la materia y de un ejemplo de un material utilizado en la construcción

## 8. BIBLIOGRAFÍA.

NORMA NMX-C-416 – ONNCCE - 2003. Industria de la construcción – geotecnia – muestreo de estructuras térreas y métodos de prueba. Capítulo 8, Método de prueba para determinar la masa específica de los suelos, Capítulo 4. Determinación del contenido de agua.

| Temperatura °C | Densidad $D_{w_T}$ |
|----------------|--------------------|
| 13             | 0.9994             |
| 14             | 0.9993             |
| 15             | 0.9991             |
| 16             | 0.999              |
| 17             | 0.9988             |
| 18             | 0.9986             |
| 19             | 0.9984             |
| 20             | 0.9982             |
| 21             | 0.998              |
| 22             | 0.9978             |
| 23             | 0.9976             |

**Ejemplo. Datos de Laboratorio.**

**Para grava:**

Masa Total  $w_T = 807.3$  Masa seca  $w_s = 749.19$  g Volumen desalojado  $V_d = 322.5 \text{ cm}^3$   
 Temperatura del agua en el momento de efectuar la prueba  $T_w = 17^\circ \text{ C}$   
 De la tabla de la práctica, Densidad del agua  $D_{TW} = 0.9988$

Utilizando formulas

Densidad Relativa  $Dr = \frac{W_s}{V_d} \times D_{TW} = \frac{749.1}{322.5} \times 0.9988 = 2.459$

Masa de agua  $w_w = W_T - W_s = 807.3 - 749.1 = 13.2$

Contenido de agua  $w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 = \frac{13.2}{749.1} \times 100 = 1.66\%$

**Para un cubo de roca:**

$V_d = 345$   $W_T = 857.7$   $W_s = 845.6$   
 $W_w = 857.7 - 845.6 = 12.1$   $V_T = 336.8996 \text{ cm}^3$   
 $T_w = 17^\circ$  Densidad relativa del agua  $D_{TW} = 0.9988$

Densidad relativa  $Dr = \frac{W_s}{V_d} \times D_{TW} = \frac{845.6}{345} \times 0.9988 = 2.448$

Contenido de agua  $W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 = \frac{12.1}{845.6} \times 100 = 1.43\%$

**DENSIDAD DE 10 MATERIALES**

| Material (25 °C) | Densidad   | Estado  |
|------------------|------------|---------|
| Aluminio         | 2.70       | Sólido  |
| Cobre            | 8.960      | Sólido  |
| Madera           | 0.20-0.800 | Sólido  |
| Plomo            | 11.300     | Sólido  |
| Aceite           | 920        | Líquido |
| Gasolina         | 680        | Líquido |
| Agua destilada   | 1          | Líquido |
| Aire             | 1,3        | Gaseoso |
| Butano           | 2,6        | Gaseoso |
| Hidrógeno        | 0,8        | Gaseoso |

## PRÁCTICA No. 2. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES Y MECANICAS EN SUELOS Y ROCAS.

**PROPÓSITO.** Determinar la masa unitaria, masa unitaria seca, la porosidad, grado de saturación, esfuerzo a compresión máximo y el módulo de elasticidad de rocas y suelos a partir de los datos de masa, volumen, densidad, carga y deformación, obtenidos en pruebas de laboratorio.

**1. INTRODUCCIÓN.** Las propiedades estructurales de un material se determinan a partir de las relaciones entre masa, volumen y densidad a partir de la formula  $V_i = \frac{W_i}{D_i}$

. Las propiedades mecánicas de los materiales se refieren a la capacidad de los mismos de resistir acciones de cargas o fuerzas. Podemos decir que las propiedades mecánicas se clasifican por acción:

- Estáticas: las cargas o fuerzas actúan constantemente o creciendo poco a poco.
- Dinámicas: las cargas o fuerzas actúan momentáneamente, tienen carácter de choque.
- Cíclicas o de signo variable: las cargas varían por valor, por sentido o por ambos simultáneamente.

Las propiedades mecánicas principales son: resistencia, fatiga, dureza y permeabilidad.



### 2. DEFINICIONES:

**CONTENIDO DE AGUA (w):** Es la relación que existe entre la masa que pierde la muestra al someterla a un proceso de secado en horno o estufa a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y la masa de las partículas sólidas que tiene la muestra después de someterla a dicho proceso hasta lograr la masa constante.

**3. MATERIALES Y EQUIPO:** Cubos o cilindros de rocas y suelos, Balanza aproximación de 0,1 g, Horno, Flexómetro o vernier, Máquina para aplicación de carga (Triaxial para suelos e Hidráulica para rocas)

### 4. PROCEDIMIENTO

- Medir el diámetro, longitud o lado, de acuerdo a la forma de la probeta. y pesar el material para obtener  $W_T$  y  $V_T$ ,
- Aplicar carga en la máquina de ensaye y medir la deformación que sufre el espécimen en la longitud sometida a fuerza, para determinar la gráfica  $\sigma-\varepsilon$

| Tiempo<br>s | Fuerza o carga<br>p en kg | Deformación<br>$\Delta$ en mm | Esfuerzo<br>$\sigma_c = \frac{P}{A} + \sigma_c$ kg/cm <sup>2</sup> | Deformación unitaria<br>$\varepsilon_z = \frac{\Delta}{L_z}$ adimensional |
|-------------|---------------------------|-------------------------------|--|---|
|             |                           |                               |  |   |
|             |                           |                               |  |   |
|             |                           |                               |  |   |
|             |                           |                               |  |   |
|             |                           |                               |  |   |
|             |                           |                               |  |   |

- Pesar una porción del material ensayado para obtener  $W_t$ , se introduce al horno durante 20 horas mínimo y se pesa en estado seco para obtener  $W_s$ , para obtener la humedad de la muestra.

### 5. CÁLCULOS.

5.1. Masa unitaria  $\gamma = \frac{W_T}{V_T}$  Contenido de agua  $w = \frac{W_t - W_s}{W_s}$  en decimal Masa unitaria seca  $\gamma_d = \frac{W_s}{V_T} = \frac{\gamma}{1 + w}$

5.2 Dibuje la estructura del suelo considerando la densidad del sólido de 2.7 y para la roca la densidad de sólido obtenida en la práctica No. 1, dado la densidad del líquido de 1.0, con la formula

5.3 Utilizando la gráfica  $\sigma-\varepsilon$  determine el  $\sigma_{elástico}$ ,  $\sigma_{máximo}$ , y el módulo de elasticidad E del material

5.4 Investigue el valor del módulo de elasticidad E y Relación de Poisson  $\nu$  de 5 materiales.

### 6 INFORME Y CONCLUSIONES.

7 **BIBLIOGRAFÍA.** NMX-C-432 – ONNCCE - 2002. Industria de la Construcción – Geotecnia – Cimentaciones – Compresión Triaxial – Método de prueba.

**Ejemplo: Datos de laboratorio, espécimen de roca, con esfuerzo de confinamiento  $\sigma_c = 5 \text{ kg/cm}^2$ .**

- **Diámetro:**  $D = 4,8 \text{ cm}$
- **Altura:**  $h = 9.9 \text{ cm}$
- **Masa total:**  $W_T = 341.9 \text{ g}$
- **Masa seca:**  $W = 315 \text{ g}$
- **Área de aplicación de carga:**  $A = \pi r^2 = \pi(2.4)^2 = 18,09 \text{ cm}^2$

| Tiempo S | Carga P kgf | Deformación $\Delta$ mm | Esfuerzo $\sigma = P/A + 5 \text{ kgf/cm}^2$ | Deformación unitaria $\epsilon = \Delta/L$ |
|----------|-------------|-------------------------|--|--|
| 0        | 0           | 0                       | 0  | 0  |
| 23       | 500         | 0.20                    | $27.6+5 = 32.63$                             | 0.002                                      |
| 33       | 1,000       | 0.42                    | $55.3 + 5 = 60.3$                            | 0.004                                      |
| 39       | 1,500       | 1.10                    | $82.9 + 5 = 87.9$                            | 0.011                                      |
| 45       | 2,000       | 2.46                    | 115.5  | 0.022                                      |
| 58       | 3,000       | 3.22                    | 170.8  | 0.032                                      |
| 76       | 4,000       | 4.05                    | 226.1  | 0.041                                      |
| 155      | 5,000       | 4.58                    | 281.4  | 0.046                                      |
| 400      | 6,000       | 5.07                    | 336.7  | 0.051                                      |

**Cálculos:**

$$\text{Masa unitaria } \gamma = \frac{W_T}{V_T} = \frac{341.9 \text{ g}}{\pi(2.4 \text{ cm})^2(9.9 \text{ cm})} \times 1000 = \frac{341.9}{179.146} \times 1000 = 1908.5 \text{ kg/m}^3$$

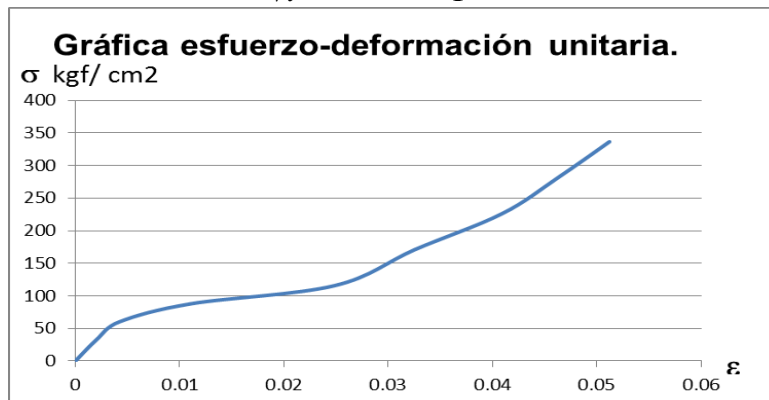
$$\text{Contenido de agua } w = \frac{W_t - W_s}{W_s} = \frac{341.9 - 315}{315} = \frac{26.9}{315} = 0.085 \text{ en decimal} = 8.5\%$$

$$\text{Masa unitaria seca } \gamma_d = \frac{W_s}{V_T} = \frac{\gamma}{1+w} = \frac{1909}{1+0.085} = 1759.44 \text{ kg/m}^3$$

| Material | Masa $W_i$ | Densidad $D_i$ | Volumen $V_i = \frac{W_i}{D_i} \text{ cm}^3$ | %Volumen $\% V_i = \frac{V_i}{V_t} \times 100$ |
|----------|------------|----------------|--|--|
| Solido   | 315 g      | 2.448          | $V_s = 128.676 \text{ cm}^3$                 | 71.8%  |
| Agua     | 26.9 g     | 1.00           | $V_w = 26.900 \text{ cm}^3$                  | 15.0%  |

$$\begin{aligned} &V_t = 179.146 \text{ cm}^3 \\ \text{Aire} & \quad \dots \quad V_t - V_s - V_w = V_a = 23.570 \text{ cm}^3 \quad 13.2\% \end{aligned}$$

$$\text{Porosidad } n = \frac{V_a + V_w}{V_t} = \frac{15\% + 13.2\%}{1} = 28.2\%$$



**Estructura del Material**

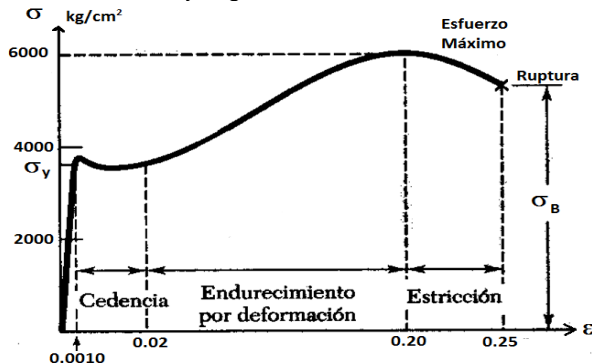
|                             |
|-----------------------------|
| Aire $V_a = 13.2\%$         |
| Líquido Agua $V_w = 15.0\%$ |
| Solido $V_s = 71.8\%$       |

## PRÁCTICA No. 3: PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y MECÁNICAS DE MATERIALES MÉTALICOS.

**PROPÓSITO.** Determinar la masa nominal, masa unitaria, resistencia de materiales metálicos y su módulo de elasticidad  $E$  en un rango elástico, de acuerdo a su gráfica  $\sigma-\epsilon$

**INTRODUCCIÓN.** La gráfica de los materiales metálicos que se someten a carga, presentan esfuerzos en donde se destaca en ella por lo menos 3 etapas, que son las más representativas:

- 1.- Zona Elástica: es la zona que llega hasta el esfuerzo de fluencia, y si se retiran las cargas en ese momento, el material no sufre deformaciones.
- 2.- Zona Plástica: esta zona se localiza cuando el esfuerzo de fluencia ha sido recuperado, pero se mantiene constante y la deformación aumenta y a partir de este momento las deformaciones son permanentes.
- 3.- Zona de Endurecimiento Plástico: está zona se localiza cuando a medida que aumenta el esfuerzo crece la deformación y llega hasta cuando el material falla, que es cuando alcanza el esfuerzo último.



El esfuerzo nos indica cuanta tensión se necesita para romper algo, pero no nos dice nada de lo que ocurre con la muestra mientras estamos tratando de romperla, ahí es donde corresponde estudiar el comportamiento de la deformación de la probeta. La deformación es simplemente el cambio en la forma que experimenta bajo tensión. Cuando hablamos de tensión, la muestra se deforma por estiramiento, volviéndose más larga y más estrecha en su sección diametral. La cantidad de alargamiento o elongación que presenta una muestra bajo tensión durante un ensayo proporciona un valor de la ductilidad de un material.

**2. EQUIPOS:** Escala o flexómetro con división de escala de 1 mm como mínimo, Vernier con división de escala mínima de 0.1 mm, Bascula con división de escala mínima de 1 g, Máquina universal con capacidad de 150 ton, Flexómetro con división de escala mínima de 1 mm, El ensayo se realiza a temperatura ambiente como indica la norma NXM-B-172

### 3. PROCEDIMIENTO

- Identificación de la marca, número de designación y grado de la varilla. Se mide la separación de corrugaciones, altura de corrugación, ancho de costilla y se registran los valores obtenidos.

Estos datos y elementos geométricos se encuentran a lo largo de la varilla, utilizándose unas abreviaturas de la marca, el número de designación corresponde al diámetro de la varilla en octavos de pulgada y el grado indica el esfuerzo de fluencia.



- Se pesa el espécimen  $W$  en g y se mide la longitud total del espécimen  $L_t$  en mm





- Se marca la sección del espécimen que estará sujeta a tensión, **Lp = 20 cm**
- Se somete el espécimen a fuerza de tensión axial. Si se pretende determinar el Modulo Elástico del Material se registra la carga y deformación bajo un parámetro de medición constante (carga, tiempo o deformación) y mide su longitud final.

| TIEMPO<br>s | FUERZA o<br>CARGA<br>P en kg | DEFORMACION<br>Δ en mm | ESFUERZO<br>σ en Kg/cm <sup>2</sup> | DEFORMACIÓN UNITARIA<br>ε = Δ / Lp<br>adimensional |
|-------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------|--|
|             |                              |                        |                                     |  |
|             |                              |                        |                                     |  |

#### 4. CÁLCULOS:

$$1. \text{Área } A = \frac{W}{0,784Lt} \text{ en cm}^2 \quad 2. \text{Masa nominal } M = \frac{W}{Lt} \text{ en kg/m} \quad 3. \text{Masa unitaria: } \lambda = \frac{W}{ALt} \text{ calcular en kg/m}^3$$

$$4. \text{Esfuerzo a tensión } \sigma = \frac{P}{A} \text{ en kg/cm}^2 \text{ y en kg/mm}^2 \quad 5. \% \text{ de Alargamiento} = \frac{\Delta}{Lp} \times 100$$

- Trazar la gráfica  $\sigma$ - $\epsilon$ , determinar la resistencia en el límite elástico, esfuerzo máximo y su módulo de elasticidad E en un rango elástico
- Comparar los resultados obtenidos con las especificaciones de la norma NMX-C-407-ONNCCE-2001

| Número de<br>designación | Masa<br>nominal<br>kg/m | área<br>nominal<br>cm <sup>2</sup> | Masa<br>nominal<br>mínima<br>kg/m | área<br>mínima<br>cm <sup>2</sup> | Alargamiento<br>en 200 mm<br>Grado 42 | Corrugación<br>Separación<br>máxima<br>mm | Altura<br>corrugada<br>mínima<br>mm | Ancho de<br>Costilla<br>máxima<br>mm |
|--------------------------|-------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 2.5                      | 0,388                   | 0,49                               | 0,3744                            | 0,47                              | 9                                     | 5,6                                       | 0,3                                 | 3,0                                  |
| <b>3</b>                 | <b>0,560</b>            | <b>0,71</b>                        | <b>0,5404</b>                     | <b>0,69</b>                       | <b>9</b>                              | <b>6,7</b>                                | <b>0,4</b>                          | <b>3,6</b>                           |
| 4                        | 0,994                   | 1,27                               | 0,9592                            | 1,23                              | 9                                     | 8,9                                       | 0,5                                 | 4,9                                  |
| 5                        | 1,552                   | 1,98                               | 1,4977                            | 1,91                              | 9                                     | 11,1                                      | 0,7                                 | 6,1                                  |
| 6                        | 2,235                   | 2,85                               | 2,1568                            | 2,75                              | 9                                     | 13,3                                      | 1,0                                 | 7,3                                  |
| 7                        | 3,042                   | 3,88                               | 2,9355                            | 3,74                              | 8                                     | 15,5                                      | 1,1                                 | 8,5                                  |
| 8                        | 3,973                   | 5,07                               | 3,8339                            | 4,89                              | 8                                     | 17,8                                      | 1,3                                 | 9,7                                  |
| 9                        | 5,0333                  | 6,42                               | 4,8571                            | 6,20                              | 7                                     | 20,0                                      | 1,4                                 | 10,9                                 |
| 10                       | 6,225                   | 7,94                               | 6,0071                            | 7,66                              | 7                                     | 22,3                                      | 1,6                                 | 12,2                                 |

#### 6. BIBLIOGRAFÍA:

- NMX-B-172-1988. MÉTODOS DE PRUEBA MECÁNICOS PARA PRODUCTOS DE ACERO.
- NMX-C-407-ONNCCE-2001. INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – VARILLA CORRUGADA DE ACERO PROVENIENTE DE LINGOTE Y PALANQUILLA PARA REFUERZO DE CONCRETO – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA.

#### Ejemplo: Datos de laboratorio, de una varilla corrugada del No. 3 de diámetro nominal

- **Marca: HYL (Hylsa) Altura de corrugación= 0,7 mm, separación de corrugaciones = 6,5 mm,**
- **Ancho de costilla: 1,7 mm , Grado 42**
- **Masa Total .WT = 188,6 g, Longitud Total .Lt = 350 mm,**

Cálculos:

$$\bullet \text{Área de la varilla } A = \frac{W}{0,784Lt} = \frac{188,6g}{0,784(350mm)} = 0,687 \text{ cm}^2.$$

• El área nominal de una varilla de 3/8" es =  $\pi r^2 = \pi \left[ \frac{\frac{3'' \left( \frac{2,54cm}{1''} \right)}{2}}{2} \right]^2 = 0,71cm^2$

• **Masa nominal**  $M = \frac{W}{Lt} = \frac{0,1886kg}{0,35m} = 0,5388kg/m$

• **Masa unitaria:**  $\lambda = \frac{W}{ALt} = \frac{0,1886kg}{0,0000687m^2(0,35m)} = 7843,6 kg/m^3$

**No. de varillas en 1 tonelada. Si una varilla mide 12 m de longitud.**

**Masa de 1 varilla, utilizando el dato de la masa nominal de la probeta**  
 **$M L_v = 0,5388 kg/m ( 12 m) = 6,4656 kg$**

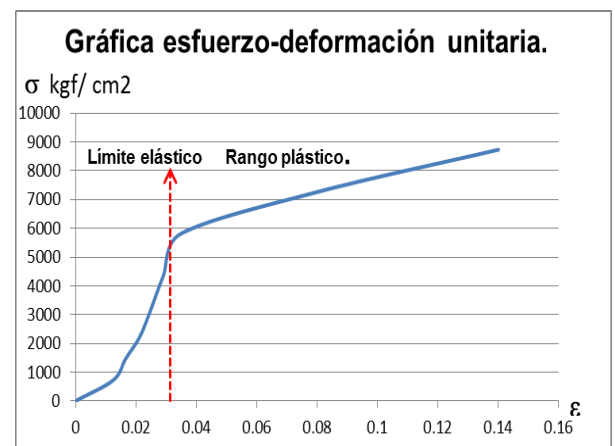
**Para 1 tonelada**  $\frac{1000kg}{1 tonelada} \left[ \frac{1 varilla}{6,4656 kg} \right] = 154.6 varillas / tonelada$

**Comparando con los valores establecidos en la norma NMX-C-407-ONNCCE-2001**

| Número de designación | Masa nominal kg/m | área nominal cm <sup>2</sup> | Masa nominal mínima kg/m | área mínima cm <sup>2</sup> | Alargamiento en 200 mm Grado 42 | Corrugación Separación máxima mm | Altura corrugada mínima mm | Ancho de Costilla máxima mm |
|-----------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| <b>3</b>              | <b>0,560</b>      | <b>0,71</b>                  | <b>0,5404</b>            | <b>0,69</b>                 | <b>9</b>                        | <b>6.7</b>                       | <b>0,4</b>                 | <b>3,6</b>                  |

**Para la revisión del esfuerzo en el límite elástico y el esfuerzo máximo.  $A = 0.687 cm^2$  y  $L_p = 200 mm$**

| Tiempo S | Carga P kg <sub>f</sub> | Deformación $\Delta$ mm | Esfuerzo P/A kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> | Deformación unitaria $\epsilon = \Delta/L_p$ |
|----------|-------------------------|-------------------------|---|--|
| 0        | 0                       | 0                       | 0   | 0  |
| 23       | 500                     | 2.50                    | 727.8   | 0.0125                                       |
| 33       | 1,000                   | 3.30                    | 1455.6  | 0.0165                                       |
| 39       | 1,500                   | 4.20                    | 2183.4  | 0.021  |
| 45       | 2,000                   | 4.79                    | 2911.2  | 0.023  |
| 58       | 3,000                   | 5.82                    | 4366.8  | 0.029  |
| 76       | 4,000                   | 7.00                    | 5822.4  | 0.035  |
| 155      | 5,000                   | 16.10                   | 7278.0  | 0.081  |
| 400      | 6,000                   | 28.00                   | 8733.6  | 0.14   |



**ESFUERZO EN EL LIMITE ELÁSTICO DE 5,822.4 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup> > GRADO 42 o 4200 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>. CUMPLE**

**Al finalizar el ensaye se midió la varilla registrando 23 cm, efectuando cálculos:**

**% de Alargamiento =  $\frac{\Delta}{L_p} \times 100 = \frac{3}{20} (100) = 15\% > 9\%$  CUMPLE**

**CONCLUSIONES: LA VARILLA ENSAYADA CUMPLE CON EL ÁREA, LA MASA UNITARIA. EL ESFUERZO EN EL LIMITE ELÁSTICO, % DE ALARGAMIENTO, LA SEPARACIÓN ENTRE CORRUGACIONES, ALTURA DE CORRUGACIONES Y ANCHO DE COSTILLA. DE ACUERDO CON LOS VALORES ESTABLECIDOS EN LA NORMA NMX-C-407-ONNCCE-2001. INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN – VARILLA CORRUGADA DE ACERO PROVENIENTE DE LINGOTE Y PALANQUILLA PARA REFUERZO DE CONCRETO – ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA**

**PARA 1 TONELADA, SE DEBERAN DE ENTREGAR 154 VARILLAS DEL No. 3.**

## PRÁCTICA No. 4: PROPIEDADES DE AGREGADOS PÉTREOS.

**PROPÓSITO.** Determinar las propiedades de peso unitario y granulometría en agregados pétreos.

**1. INTRODUCCIÓN.** El tamizado es una antigua y efectiva de determinar en el laboratorio el tamaño de las partículas, separando a través de cada una de las mallas el material estudiado, cada malla tiene una abertura especificada que determina el tamaño de las partículas. Los tamices normales utilizados son los Números. 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200, para agregado fino (Arenas), y 3", 2"; 1 1/2", 3/4" y 3/4" de pulgada y Número 4, para agregado grueso (gravas).

### 2. DEFINICIONES:

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO:** Consiste en separar y clasificar por tamaños las partículas de un suelo, retenidas en una sucesión de mallas expresando las masas retenidas como porcentajes de la muestra total. NMX-C-416 – ONNCCE - 2004. Industria de la Construcción – Geotecnia – Muestreo de estructuras terreas y métodos de prueba, capítulo 5.

Existen parámetros de calidad como **MODULO DE FINURA EN ARENAS**, que está definido como la suma del porcentaje retenido acumulado de la malla No. 4 a la No. 100 dividido entre 100. Un valor entre 2.30 y 3.10 es apropiado.



### 3. MATERIALES Y EQUIPO

**3.1. MATERIAL** Muestras de agregados pétreos de aproximadamente 40 kg de cada uno, de la cual sólo se utilizan 500 g para el análisis granulométrico de arena y 12 kg en la grava, y el resto del material se utiliza para obtener peso unitario.

### 3.2. EQUIPO

- 1) Balanza o bascula
- 2) Charolas
- 3) Cepillos de alambre
- 4) Pala.
- 5) Tamices o Mallas
- 6) Varilla de acero para compactar
- 7) Recipiente calibrado en peso y volumen

### 4. PROCEDIMIENTO:

- La muestra se seca a temperatura ambiente antes de ser utilizada.
- Se realiza la separación de una muestra de ensaye por el **método de cuarteo**, el cual consiste en mezclar el material y formar un cono, posteriormente se divide en cuatro partes iguales de las cuales se llena el recipiente con arena de dos partes diametralmente opuestas. El contenido de este recipiente constituye la muestra con la cual se determinara el peso unitario utilizando el volumen del recipiente.
- Se arman las cribas o mallas que van a ser utilizadas en la determinación en orden ascendente de menor a mayor número de malla (o sea de mayor a menor abertura), se procede a verter la arena en las mallas, ubicando además la tapa y el fondo.
- El material es depositado de tal forma que pase por todas las mallas, generando en ellos movimiento lateral y vertical que faciliten la circulación de la muestra, por un periodo suficiente de tiempo completando no más de 0.5% en masa del residuo, en cualquier tamiz individual. Pasando cada tamiz durante aproximadamente un minuto de cribado, para pasar al siguiente tamiz esta agitación puede desarrollarse de forma manual o mecánica, en PRÁCTICA fue realizado de manera manual.
- Una vez terminado el proceso de agitación, se retira la tapa de la malla superior, y se empieza a desechar el contenido de cada malla, vaciando los contenidos respectivamente en la vasija y determinándose el peso del material retenido en cada uno de los tamices.
- Al final la sumatoria del material retenido en cada uno de los tamices debe ser igual a la usada originalmente en el proceso de tamizado.
- Obtener porcentajes retenidos y los acumulados.
- Graficar el % que pasa con las especificaciones.
- Elaboración de tabla del análisis granulométrico.

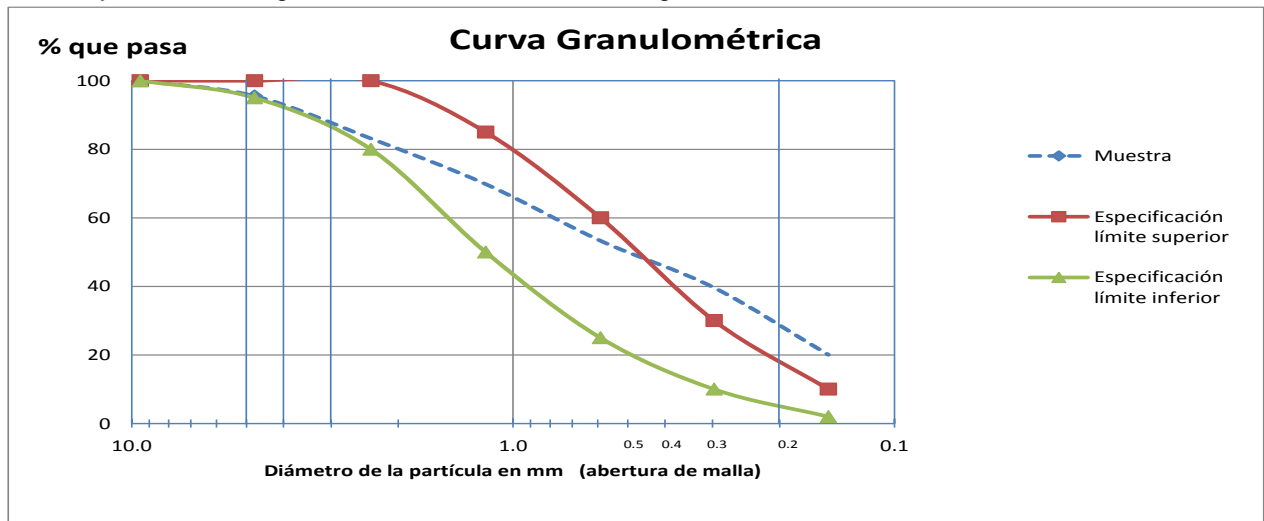


**6.1. INFORME Y CONCLUSIONES.** Ejemplo para una muestra de arena de **500 gr**

| Malla | Apertura mm | Peso retenido R g | % Retenido Parcial % P = R/Σ | % Retenido Acumulado %acum | % que pasa (100- % acum.) |
|-------|-------------|-------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 3/8"  | 9.5         | 0                 | 0                            | 0                          | 100                       |
| 4     | 4.76        | 22.3              | 4.46                         | 4.46                       | 95.54                     |
| 8     | 2.36        | 62                | 12.4                         | 16.86                      | 83.14%                    |
| 16    | 1.18        | 66.5              | 13.3                         | 30.16                      | 69.84                     |
| 30    | 0.59        | 82.6              | 16.52                        | 46.68                      | 53.32                     |
| 50    | 0.297       | 68.5              | 13.7                         | 60.38                      | 39.62                     |
| 100   | 0.149       | 97.8              | 19.56                        | 79.94                      | 20.06                     |
| Fondo | ---         | 100.3             | 20.06                        | <b>100</b>                 | 0                         |
|       | Suma Σ:     | <b>500</b>        | 100                          |                            |                           |

| Malla mm (No)  | Especificaciones % que pasa |
|----------------|-----------------------------|
| 9.5 (3/8")     | 100                         |
| 4.76 (No. 4)   | 95 - 100                    |
| 2.36 (No. 8)   | 80 - 100                    |
| 1.18 (No. 16)  | 50 - 85                     |
| 0.60 (No. 30)  | 25 - 60                     |
| 0.30 (No. 50)  | 10 - 30                     |
| 0.15 (No. 100) | 2 - 10                      |
|                |                             |
|                |                             |

- El módulo de finura sería:  $MF = \frac{\sum \text{retenido acumulado malla No.4 a malla No.100}}{100}$
- $$MF = \frac{4.46 + 16.86 + 30.16 + 46.68 + 60.38 + 79.94}{100} = \frac{238.48}{100} = 2.38$$
- Dibujando la curva granulométrica en escala semilogarítmica.



**MÉTODO DE PRUEBA DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES**

**3.2. MATERIAL** cribado y lavado de acuerdo a un tipo especificado para esta prueba.

**4.2. EQUIPO:** Balanza o báscula; Malla del No. 12, Charolas, Máquina de los Ángeles.

**5.2. PROCEDIMIENTO:**

- Tomar una muestra de acuerdo a lo indicado en la tabla de granulometría.

| Designación de las mallas           |                  | Granulometría de la muestra |            |            |            |
|-------------------------------------|------------------|-----------------------------|------------|------------|------------|
| Pasa                                | Retiene          | TIPO A                      | TIPO B     | TIPO C     | TIPO D     |
| 75 mm (3")                          | 63 mm (2 1/2")   |                             |            |            |            |
| 63 mm (2 1/2")                      | 50 mm (2")       |                             |            |            |            |
| 50 mm (2")                          | 37.5 mm (1 1/2") |                             |            |            |            |
| 37.5 mm (1 1/2")                    | 25 mm (1")       | 1250± 25 g                  |            |            |            |
| 25 mm (1")                          | 19 mm (3/4 ")    | 1250± 25 g                  |            |            |            |
| 19 mm (3/4 ")                       | 12.5 mm (1/2")   | 1250± 10 g                  | 2500± 10 g |            |            |
| 12.5 mm (1/2")                      | 9.5 mm (3/8")    | 1250± 10 g                  | 2500± 10 g |            |            |
| 9.5 mm (3/8")                       | 6.3 mm (1/4")=   |                             |            | 2500± 10 g |            |
| 6.3 mm (1/4")=                      | 4.75 mm (No. 4)  |                             |            | 2500± 10 g |            |
| 4.75 mm (No. 4)                     | 2.0 mm (No. 10)  |                             |            |            | 5000± 10 g |
| <b>Masa total de la muestra (g)</b> |                  | 5000± 70                    | 5000± 20   | 5000± 20   | 5000± 10   |
| Número de esferas                   |                  | 12                          | 11         | 8          | 6          |
| Masa de la carga abrasiva           |                  | 5000± 25                    | 4580± 25   | 3330± 20   | 2500± 15   |

| Material tamaño grande |            |            |
|------------------------|------------|------------|
| Tipo 1                 | Tipo 2     | Tipo 3     |
| 2500± 50 g             |            |            |
| 2500± 50 g             |            |            |
| 5000± 50 g             | 5000± 50 g |            |
|                        | 5000± 25 g | 5000± 25 g |
|                        |            | 5000± 25 g |
|                        |            |            |
|                        |            |            |
|                        |            |            |
| 10 000± 100            | 10 000± 75 | 10 000± 50 |
| 12                     |            |            |
| 6000± 25               |            |            |

- Sumar los pesos de los tamaños seleccionados y obtener el peso total inicial.

- El material se coloca en la máquina de los Ángeles con la carga abrasiva (esferas de acero de 4.76 cm y un peso de 390 gr a 445 gr y se hace girar a una velocidad de 33 rev/min), ejem: Tipo A: 12 esferas a 500 rev/min.
- Se descarga el material y se separa en forma preliminar cribando por la malla no.12.
- El material retenido se deberá lavar y secar al horno por 24 hrs. para obtener su peso final.



## 6.2. INFORME Y CONCLUSIONES.

**Ejem: Peso inicial = 5.000 kg Peso final (seco) = 2.315 kg**

**% de desgaste = ((Peso inicial – peso final) / peso inicial) x 100**

$$\therefore \text{\% de desgaste por abrasión} = \left( \frac{5.000kg - 2.315kg}{5.000kg} \right) \times 100 = 53.7 \%$$

**\therefore Como % de desgaste por abrasión >50%, no puede ser utilizada la grava para fabricar concreto hidráulico en pisos.**

## 7. BIBLIOGRAFÍA.

NMX-C-416–ONNCCE-2004. Industria de la Construcción – Geotecnia – Muestreo de estructuras terreas y métodos de prueba, capítulo 5.

NMX C-111-ONNCCE-2014 “Industria de la construcción–Agregados para concreto hidráulico- Especificaciones y Métodos de Prueba.

NMX-C-196-ONNCCE-2010. Determinación de la resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregados gruesos usando la máquina de los Ángeles

## PRÁCTICA No. 5: MATERIALES PÉTREOS PARA CARPETAS ASFÁLTICAS.

**PROPÓSITO.** *Elaborar dos mezclas de 1000 g de agregados pétreos de acuerdo a los requisitos de granulometría de la norma N-CMT-4-04/08 de la SCT*

### 1. DEFINICIONES:

**Materiales pétreos:** Son agregados minerales naturales, seleccionados o sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, que aglutinados con un material asfáltico se emplean en la elaboración de las mezclas asfálticas a que se refiere la norma N-CMT-4-04/08. Materiales pétreos para mezclas asfálticas para carreteras, de la SCT

Según el tipo de mezcla, los materiales pétreos se clasifican en:

- Materiales pétreos para carpetas asfálticas de granulometría densa.
- Materiales pétreos para carpetas asfálticas de granulometría abierta.
- Materiales pétreos para mortero asfáltico.
- Materiales pétreos para sistemas de riegos
- Materiales pétreos para mezclas asfálticas para guarniciones.

**2. MATERIAL** Muestras de agregados pétreos separados por tamaños en las mallas de ¾", ½", ¼", No. 10 y No. 40.

### 3. EQUIPO

- Balanza o bascula
- Charolas

### 4. PROCEDIMIENTO

Realizar los cálculos de una especificación de tamaño máximo y un tipo de carpeta asfáltica, utilizando los siguientes tamaños:

- Pasa ¾" - retiene en ½"**
- Pasa ½" - retiene ¼"**
- Pasa ¼" - retiene No. 10**
- Pasa No. 10 - retiene No. 40**
- Pasa No. 40**

**TABLA 1.-** Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa (únicamente para  $\Sigma L \leq 10^6$ )

| Malla               | Abertura mm | Designación | Tamaño nominal del material pétreo mm (in) |          |          |          |           |
|---------------------|-------------|-------------|--|----------|----------|----------|-----------|
|                     |             |             | 9,5 (¾)                                    | 12,5 (½) | 19 (¾)   | 25 (1)   | 37,5 (1½) |
| Porcentaje que pasa |             |             |  |          |          |          |           |
| 50                  | 2"          | ---         | ---  | ---      | ---      | 100      |           |
| 37,5                | 1½"         | ---         | ---  | ---      | 100      | 90 - 100 |           |
| 25                  | 1"          | ---         | ---  | 100      | 90 - 100 | 76 - 90  |           |
| 19                  | ¾"          | ---         | 100  | 90 - 100 | 79 - 92  | 66 - 83  |           |
| 12,5                | ½"          | 100         | 90 - 100                                   | 76 - 89  | 64 - 81  | 53 - 74  |           |
| 9,5                 | ¾"          | 90 - 100    | 79 - 92                                    | 67 - 82  | 56 - 75  | 47 - 68  |           |
| 6,3                 | ¼"          | 76 - 89     | 66 - 81                                    | 56 - 71  | 47 - 65  | 39 - 59  |           |
| 4,75                | Nº4         | 68 - 82     | 59 - 74                                    | 50 - 64  | 42 - 58  | 35 - 53  |           |
| 2                   | Nº10        | 48 - 64     | 41 - 55                                    | 36 - 46  | 30 - 42  | 26 - 38  |           |
| 0,85                | Nº20        | 33 - 49     | 28 - 42                                    | 25 - 35  | 21 - 31  | 19 - 28  |           |
| 0,425               | Nº40        | 23 - 37     | 20 - 32                                    | 18 - 27  | 15 - 24  | 13 - 21  |           |
| 0,25                | Nº60        | 17 - 29     | 15 - 25                                    | 13 - 21  | 11 - 19  | 9 - 16   |           |
| 0,15                | Nº100       | 12 - 21     | 11 - 18                                    | 9 - 16   | 8 - 14   | 6 - 12   |           |
| 0,075               | Nº200       | 7 - 10      | 6 - 9                                      | 5 - 8    | 4 - 7    | 3 - 6    |           |

Ejemplo: Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa con tamaño nominal del material pétreo de 12,5 mm (½") (únicamente  $\Sigma L \leq 10^6$ ), Tabla 1, Pág. 3/9 de la norma N-CMT-4-04/08.

| Malla                     | Tamaño 12,5 mm ( ½") | Muestra propuesta cumple con los límites de la norma | % retenido Para tamaños seleccionados |
|---------------------------|----------------------|--|---------------------------------------|
| Abertura mm (designación) | % que pasa           | % que pasa   |                                       |
| 19 ( ¾ " )                | 100                  | 100  | <b>0</b>                              |
| <b>12,5 ( ½ " )</b>       | <b>90 – 100</b>      | <b>95</b>  | <b>100-95 = 5</b>                     |
| 9,5 ( ¾ " )               | 79 – 92              |  |                                       |
| <b>6,3 ( ¼ " )</b>        | <b>66 – 81</b>       | <b>80</b>  | <b>95 – 80 = 15</b>                   |
| 4,75 (No. 4)              | 59 – 74              |  |                                       |
| <b>2,0 (No. 10)</b>       | <b>41 – 55</b>       | <b>50</b>  | <b>80 – 50 = 30</b>                   |
| 0,85 (No. 20)             | 28 – 42              |  |                                       |
| <b>0,425 (No. 40)</b>     | <b>20 – 32</b>       | <b>30</b>  | <b>50 – 30 = 20</b>                   |
| 0,25 (No. 60)             | 15 – 25              |  |                                       |
| 0,15 (No. 100)            | 11 – 18              |  |                                       |
| 0,075 (No. 200)           | 6 – 9                |  |                                       |

Tamaños seleccionados para una muestra de 1 000 g que cumple con la especificación.

| Material                            | % retenido | Peso retenido g = Masa (% retenido) |
|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|
| <b>Pasa ¾" - retiene ½"</b>         | 5          | <b>50</b>                           |
| <b>Pasa ½" - retiene ¼"</b>         | 15         | <b>150</b>                          |
| <b>Pasa ¼" - retiene No. 10</b>     | 30         | <b>300</b>                          |
| <b>Pasa No. 10 - retiene No. 40</b> | 20         | <b>200</b>                          |
| <b>Pasa No. 40</b>                  | 30         | <b>300</b>                          |
| Suma                                | 100%       | 1 000 g                             |

Tamaños seleccionados para una muestra de 1 000 g que no cumple con la especificación.

| Material                            | % retenido | Peso retenido g = Masa (% retenido) |
|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|
| <b>Pasa ½" - retiene ¼"</b>         | 30         | <b>300</b>                          |
| <b>Pasa ¼" - retiene No. 10</b>     | 30         | <b>300</b>                          |
| <b>Pasa No. 10 - retiene No. 40</b> | 30         | <b>300</b>                          |
| <b>Pasa No. 40</b>                  | 10         | <b>100</b>                          |
| Suma                                | 100%       | 1 000 g                             |

- Pesar las masas calculadas.
- Medir en un frasco de precipitado el volumen que ocupa la muestra y calcular su  $\gamma$  suelta seca
- Trazar las gráficas de especificación y de la muestra, en una gráfica semilogarítmica.

## PRÁCTICA No. 6: ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE MORTERO HIDRÁULICO.

**PROPÓSITO.** Elaborar especímenes para determinar la resistencia de un mortero hidráulico empleando plastocemento o cemento portland.

### 1. DEFINICIONES:

- Mortero Hidráulico. Mezcla de un aglomerante más arena, el aglomerante utiliza agua para obtener consistencia plástica.

### 2. MATERIALES Y EQUIPO:

- **Arena**, de preferencia de cuarzo de grano redondeado y despolvado clasificada como con una granulometría definida.
- **Balanza – Cuchara de albañil, - Mezcladora – Mesa de fluidez - Pesas - Pisón – Probeta**
- **Moldes cúbicos o cilíndricos de 50 mm de lado - Flexómetro- Máquina de prueba - Guantes de plástico.**

### 3. PROCEDIMIENTO:

- Se pesan las cantidades indicadas de materiales para el número de especímenes que se pretendan elaborar.

| Materiales                                  | Caso 1. CUBOS | Caso 2. CILINDROS |
|---|---------------|-------------------|
| Número de especímenes                       | 3             | 3                 |
| Gramos de cemento                           | 400           | 780               |
| Gramos de arena graduada                    | 900           | 1860              |
| Mililitros de agua para el cemento Portland | 200           | 390               |

La cantidad necesaria de agua de mezclado puede variar en caso de utilizar una arena diferente a la arena de cuarzo recomendada. Se recomienda para este caso que la arena este en condición saturada y superficialmente seca para mantener una rel  $a/c = 0,50$

- Agregar toda el agua al tazón y posteriormente el cemento. Poner la mezcladora a funcionar durante 30 segundos a 1ª velocidad.
- Agregar la arena lentamente durante un periodo de mezclado de 30 segundos.
- Detener la mezcladora y dejar reposar el mortero durante 90 segundos, durante los primeros 5 segundos quitar con una espátula el mortero adherido a las paredes del tazón, devolviéndolo la mezcla, después durante el resto del intervalo, cubrir el tazón con una tapa o un trapo húmedo.
- Termíñese la operación de mezclado por un minuto a 2ª. Velocidad.
- Realice la prueba de fluidez, colocando el molde al centro de la mesa de fluidez y una 1ª capa de mortero de aproximadamente 25 mm de espesor que se compacta 20 veces con el pisón. Se llena el molde y se compacta como se especificó en la 1ª capa, enrasar la superficie superior del molde.
- Al transcurrir un minuto después de haber terminado el mezclado levantar el molde y dejar caer el platillo 14 veces en 15 segundos, de una altura. La fluidez es el incremento del diámetro de la base del mortero expresado como porcentaje del diámetro de la base original, se realizan al menos cuatro mediciones del diámetro.
- Regresar el material al recipiente y se continua el mezclado durante 15 segundos a 2ª velocidad.
- Se coloca en los compartimientos del molde una capa de mortero de 25 mm aproximadamente y se compacta con el pisón, 32 veces en 10 s girando el pisón 90 grados después de ocho golpes.
- Terminado el apisonamiento de la 1ª. capa, los compartimientos se vuelven a llenar utilizando el resto del mortero y compactar como se realizó en la 1ª. capa. Se termina enrasando los especímenes.
- Se almacenan los especímenes en un cuarto húmedo, cubiertos con un material no absorbente.
- Después de 20 a 24 h se desmoldan y se dejan en curado a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  y 90% de humedad mínimo, hasta la edad de ensaye a compresión a 7 días.

### 4. CÁLCULOS. Determine la estructura del mortero hidráulico y su masa unitaria.

**Ejemplo:** Calcule la estructura teórica de un mortero hidráulico que utilizó las sig. cantidades de materiales.

Sol. Efectuando los cálculos para determinar el peso volumétrico y la estructura del material.

| Material         | Masa (g)<br>$W_i$    | Densidad<br>$D_i$ | Volumen<br>$V_i = \frac{W_i}{D_i}$                                  | % de volumen<br>$\%V_i = \frac{V_i}{V_t} (100)$                        |
|------------------|----------------------|-------------------|---|--|
| Arena            | 650                  | 2.45              | $V_{are} = \frac{W_c}{D_c} = \frac{650}{2.45} = 265.3 \text{ cm}^3$ | $\%V_{are} = \frac{V_{are}}{V_t} = \frac{265.3}{494.7} (100) = 53.6\%$ |
| Cemento Portland | 250                  | 3.15              | $V_c = \frac{W_c}{D_c} = \frac{250}{3.15} = 79.4 \text{ cm}^3$      | $\%V_c = \frac{V_c}{V_t} = \frac{79.4}{494.7} (100) = 16\%$            |
| Agua             | 150                  | 1.0               | $V_w = \frac{W_w}{D_w} = \frac{150}{1} = 150.00 \text{ cm}^3$       | $100 - \%V_c - \%V_w = 100 - 16 - 30.4 = 33.6\%$                       |
|                  | $W_t = 1050\text{g}$ |                   | $V_t = V_{are} + V_c + V_w = 494.7 \text{ cm}^3$                    | $V_t = 100\%$  |

**La estructura del mortero de los materiales secos considerando 0% de aire:**

|               |
|---------------|
| Agua 30,4%    |
| Cemento 16.0% |
| Arena 53,5%   |

Los cálculos de materiales para  $1 \text{ m}^3$  de mortero son

Agua  $1000 V_w D_w = 1000 (0,304) 1 = 304 \text{ kg}$

Cemento  $1000 V_{are} D_{are} = 1000 (0,16) 3.15 = 504 \text{ kg}$

Arena  $1000 V_{are} D_{are} = 1000 (0,536) 2,45 = 1313.2 \text{ kg}$

Sumando, la masa unitaria del material sería  $2121.2 \text{ kg/m}^3$

5. **CONCLUSIONES.** A partir de una mezcla elaborada en el laboratorio de la cual se elaboraran especímenes cúbicos para determinar su resistencia a 7 y 28 días, se puede determinar la proporción para  $1 \text{ m}^3$  y estimar su masa volumétrica teórica. En este caso para  $1 \text{ m}^3$  de mortero hidráulico se requerirán de 304 kg de agua, 505 kg de cemento portland y 1313.2 kg de arena; la masa volumétrica estimada es de  $2121.2 \text{ kg/m}^3$

7. **BIBLIOGRAFÍA.** Norma NMX-C-061 ONNCCE-2010. Determinación de la resistencia a compresión en cementantes hidráulicos.

## PRÁCTICA No. 7: ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE MORTERO POLIMÉRICO.

**PROPÓSITO.** Elaborar especímenes para determinar la resistencia de un mortero polimérico.

1. **INTRODUCCIÓN:** Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros. Por su origen, los polímeros se clasifican en Naturales y Sintéticos:

**NATURALES:** Son aquellos que provienen de la naturaleza y no son intervenidos por el hombre. Ejemplo: La celulosa, El almidón, Caucho natural, la seda.

**SINTÉTICOS:** Son creados por el hombre a partir de elementos propios de la naturaleza. Son creados para funciones específicas y poseen características para cumplir estas mismas. Ejemplo: nylon, el poliestireno, el policloruro de vinilo (PVC), el polietileno.

### 2. MATERIALES Y EQUIPO:

- Arena Silica - Resina MT-3012 - Catalizador Butanox M50-A - Alcohol de polivinil - Guantes
- Balanza – Cuchara de albañil - Moldes cúbicos de 50 mm de lado – Mascarilla antigases o ventilador

### 3. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE LA MEZCLA:

- Se coloca el alcohol de polivinil en los moldes, para que actúe como película desmoldante.
- Se pesan 60 gramos de resina y 210 gramos de arena silica.
- Se agrega la arena silica con la resina, mezclando hasta que se cubran las partículas totalmente.
- Se agrega el catalizador en diferentes proporciones (20 gotas y 15 gotas),
- Se toma el tiempo para identificar el tiempo de gelado (o endurecimiento) y el tiempo de exotermia (calentamiento del material). Terminando con un mezclado durante 2 minutos.
- Se coloca el material en los compartimientos de los moldes y se coloca en la mesa vibratoria durante 15 minutos.
- Después de 20 a 24 h se desmoldan y se dejan secar a temperatura ambiente para ensayar a compresión a 7 días y 28 días.

4. **CÁLCULOS:** Calcule la estructura teórica de un mortero polimérico considerando la densidad de la arena silica de 2.4 y de la resina de 1.1.

| Material     | Masa (g)<br>$W_i$ | Densidad<br>$D_i$ | Volumen<br>$V_i = \frac{W_i}{D_i}$                     | % de volumen<br>$\%V_i = \frac{V_i}{V_t}(100)$              |
|--------------|-------------------|-------------------|--|---|
| Arena Silica | 200               | 2.4               | $V_{are} = \frac{200g}{2.4g/cm^3} = 83.3 \text{ cm}^3$ | $\%V_{are} = \frac{83.3g}{143.3g/cm^3} \times 100 = 58.1\%$ |
| Resina       | 60                | 1.0               | $V_{res} = \frac{60g}{1g/cm^3} = 60.00 \text{ cm}^3$   | $100 - \%V_{are} = 100 - 58.1 = 41.9\%$                     |
|              | $W_t = 1050g$     |                   | $V_t = V_{are} + V_{res} = 143,3 \text{ cm}^3$         | $V_t = 100\%$   |

La estructura del mortero de los materiales secos considerando 0% de aire:

|              |
|--------------|
| Resina 41.9% |
| Arena 58.1%  |

**Los cálculos de materiales para  $1 \text{ m}^3$  de mortero son**

$V_{res}$  Arena  $1000 V_{are} D_{are} = 1000 (0,581) 2.4 = 1394.4 \text{ kg}$

Resina  $1000 V_{res} D_{res} = 1000 (0,419) 1 = 419 \text{ kg}$

$V_{are}$  Sumando, la masa unitaria del material sería.  $1813 \text{ kg/m}^3$

5. **CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.** A partir de una mezcla elaborada en el laboratorio de la cual se elaboraran especímenes cúbicos para determinar su resistencia a 7 y 28 días, se puede determinar la proporción para  $1 \text{ m}^3$  y estimar su masa volumétrica teórica. En este caso  $1 \text{ m}^3$  de mortero polimérico se requerirán 1394,4 kg de arena y 419 kg de resina, la masa volumétrica estimada es de  $1813 \text{ kg/m}^3$



## PRÁCTICA No. 8: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES DE MORTERO HIDRÁULICO Y POLIMÉRICO.

**PROPÓSITO.** Determinar la resistencia a compresión a 7 y 28 días de especímenes de mortero polimérico e hidráulico, comparando sus resultados.

**1. EQUIPOS:** Vernier con división de escala mínima de 0.1 mm, Bascula con división de escala mínima de 0.1 g, Maquina de compresión con división de escala mínima de 50 kg, Micrómetro con división mínima de 0.01 mm

### 2. PROCEDIMIENTO DE ENSAYE A COMPRESIÓN.

1. Medir y pesar 2 especímenes, para calcular la masa unitaria del material.
2. Identificar la cara para aplicación de carga, planas que coincidan con las paredes del molde
3. Aplicar la carga y medir la deformación. Obtener datos para gráfica  $\sigma$ - $\epsilon$

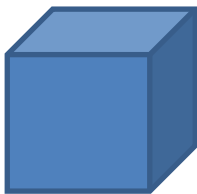
### 3. CALCULOS.

#### 3.1. MORTERO HIDRÁULICO:

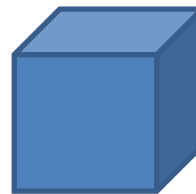
3.1.1. Las dimensiones del espécimen ensayados a 28 días fueron:

E-1: 4.94cm x 5.19cm en su base, con una altura de 5.07cm.

E-2: 4.94cm x 5.20cm en su base, con una altura de 4.98cm



Masa E-1: 270,2 g



Masa E-2: 265.5 g

$$\text{Cubo 1 } W_T = 270.2 \text{ g}, \quad V_T = 130 \text{ cm}^3, \quad \gamma_1 = \frac{270.2 \text{ g}}{130 \text{ cm}^3} (1000) = 2078.5 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cubo 2 } W_T = 265.5 \text{ g}, \quad V_T = 127.93 \text{ cm}^3, \quad \gamma_2 = \frac{265.5 \text{ g}}{127.93 \text{ cm}^3} (1000) = 2075.4 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Obteniendo un promedio: } \gamma_{prom} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2} = 2076.95 \text{ kg/m}^3$$

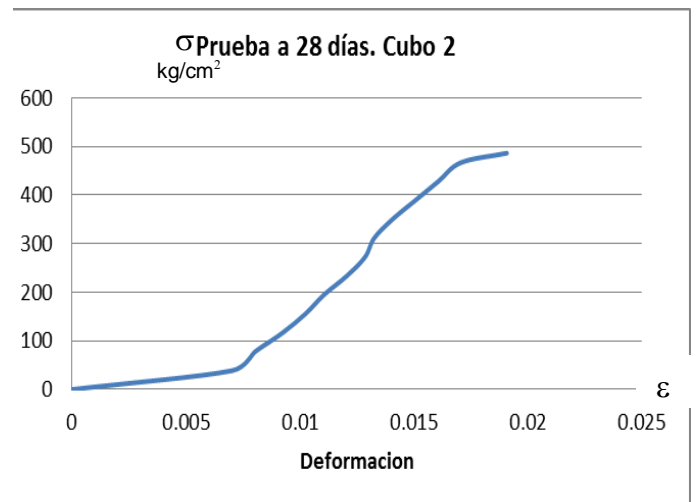
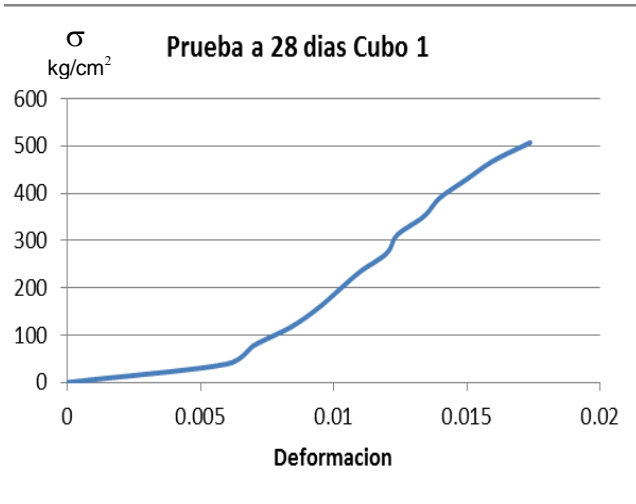
#### 3.1.2. Aplicación de carga midiendo deformación, para obtener la grafica $\sigma$ - $\epsilon$

Después de haber dejado en curado el cubo de mortero durante 28 días, se realizó un ensaye a compresión con el fin de determinar su resistencia, de esta prueba se obtuvieron los siguientes datos.

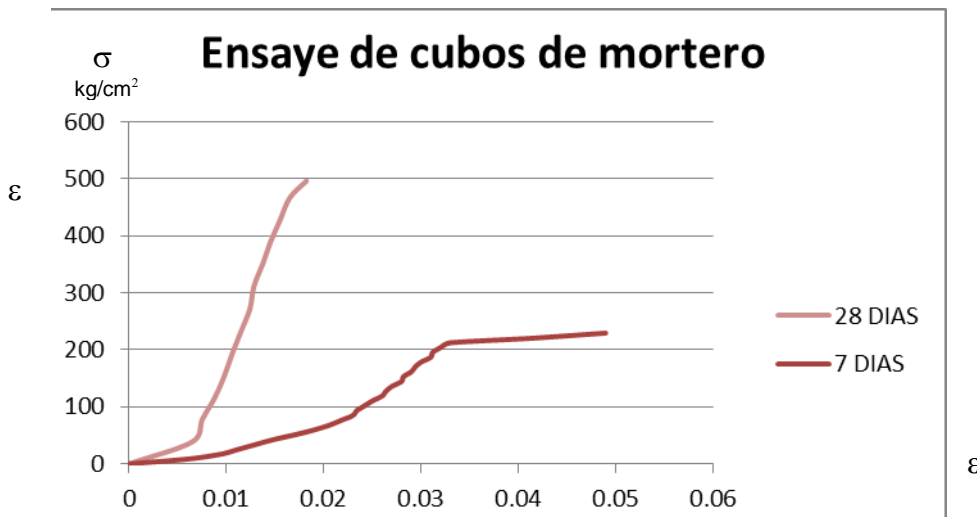
| Las dimensiones del espécimen fueron E-1: 4.94cm x 5.19cm en su base, con una altura de 5.07cm |            |                  |                   |            |
|--|------------|------------------|-------------------|------------|
| Tiempo   | Carga (Kg) | Deformación (mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | $\epsilon$ |
| 0  | 0          | 0                | 0                 | 0          |
| 10   | 1000       | 0.30             | 39.00             | 0.0060     |
| 14   | 2000       | 0.35             | 78.00             | 0.0070     |
| 17   | 3000       | 0.42             | 117.00            | 0.0084     |
| 20   | 4000       | 0.47             | 156.01            | 0.0094     |
| 22   | 5000       | 0.51             | 195.01            | 0.0102     |
| 24   | 6000       | 0.55             | 234.01            | 0.0110     |
| 26   | 7000       | 0.6              | 273.01            | 0.0120     |
| 28   | 8000       | 0.62             | 312.01            | 0.0124     |
| 30   | 9000       | 0.67             | 351.01            | 0.0134     |
| 32   | 10000      | 0.7              | 390.02            | 0.0140     |
| 35   | 11000      | 0.75             | 429.02            | 0.0150     |
| 37   | 12000      | 0.8              | 468.02            | 0.0160     |
| 41   | 13000      | 0.87             | 507.02            | 0.0174     |

| Las dimensiones del 2° espécimen fueron 4.94cm x 5.20cm en su base, con una altura de 4.98cm |            |                  |                   |            |
|--|------------|------------------|-------------------|------------|
| Tiempo   | Carga (Kg) | Deformación (mm) | Esfuerzo (kg/cm2) | $\epsilon$ |
| 0  | 0          | 0                | 0                 | 0          |
| 12   | 1000       | 0.35             | 38.91             | 0.0070     |
| 15   | 2000       | 0.4              | 77.82             | 0.0080     |
| 18   | 3000       | 0.46             | 116.73            | 0.0092     |
| 20   | 4000       | 0.51             | 155.64            | 0.0102     |
| 23   | 5000       | 0.55             | 194.55            | 0.0110     |
| 25   | 6000       | 0.6              | 233.46            | 0.0120     |
| 27   | 7000       | 0.64             | 272.37            | 0.0129     |
| 29   | 8000       | 0.66             | 311.28            | 0.0133     |
| 31   | 9000       | 0.7              | 350.19            | 0.0141     |
| 33   | 10000      | 0.75             | 389.11            | 0.0151     |
| 36   | 11000      | 0.8              | 428.02            | 0.0161     |
| 39   | 12000      | 0.85             | 466.93            | 0.0171     |
| 42   | 12500      | 0.95             | 486.38            | 0.0191     |

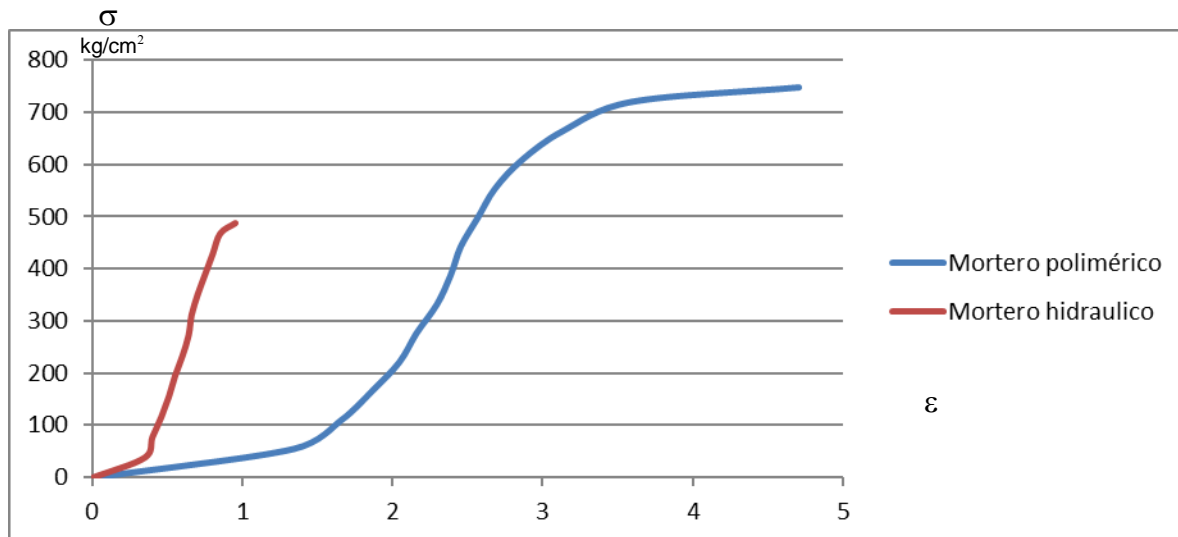
### Comparativo de gráficas $\sigma$ - $\epsilon$ a 28 días



En la siguiente grafica se presentan los resultados obtenidos al ensayar a compresión tres cubos de mortero a diferentes edades uno a 7 días y los otros 2 a 28 días. La grafica de los cubos de 28 días se obtuvo de promediar el resultado de los dos cubos ensayados.

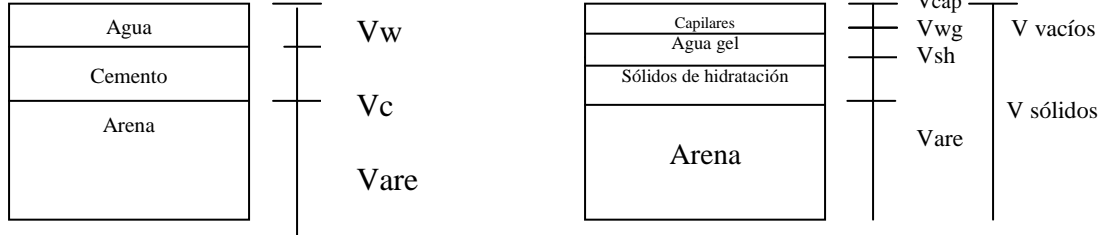


Comparativa de las gráficas  $\sigma$ - $\epsilon$  de mortero polimérico y mortero hidráulico a 28 días.



3.4. Calcular la masa volumétrica teórica del mortero hidráulico y la porosidad del material considerando despreciable el volumen de aire atrapado.

3.5. Realizar la estructura del mortero de los materiales secos y del cemento hidratado



#### 4. BIBLIOGRAFÍA.

- Norma NMX-C-061 ONNCCE-2001. Determinación de la resistencia a compresión en cementantes hidráulicos.

**Ejemplo: Calcule la porosidad de un mortero hidráulico utilizando Modelo de Powers, para una mezcla elaborada en el laboratorio con 250 gramos de cemento portland, 150 mililitros de agua y 650 gramos de arena: considere una densidad relativa del cemento portland de 3.15, densidad relativa del agua de 1 y densidad relativa de la arena de 2.45**

Sol. Efectuando los cálculos para determinar el peso volumétrico y la estructura del material.

| Material         | Masa (g)<br>$W_i$    | Densidad<br>$D_i$ | Volumen<br>$V_i = \frac{W_i}{D_i}$                                  | % de volumen<br>$\%V_i = \frac{V_i}{V_t} (100)$                        |
|------------------|----------------------|-------------------|---|--|
| Arena            | 650                  | 2.45              | $V_{are} = \frac{W_c}{D_c} = \frac{650}{2.45} = 265.3 \text{ cm}^3$ | $\%V_{are} = \frac{V_{are}}{V_t} = \frac{265.3}{494.7} (100) = 53.6\%$ |
| Cemento Portland | 250                  | 3.15              | $V_c = \frac{W_c}{D_c} = \frac{250}{3.15} = 79.4 \text{ cm}^3$      | $\%V_c = \frac{V_c}{V_t} = \frac{79.4}{494.7} (100) = 16\%$            |
| Agua             | 150                  | 1.0               | $V_w = \frac{W_w}{D_w} = \frac{150}{1} = 150.00 \text{ cm}^3$       | $100 - \%V_c - \%V_w = 100 - 16 - 30.4 = 30.4\%$                       |
|                  | $W_t = 1050\text{g}$ |                   | $V_t = V_{are} + V_c + V_w = 494.7 \text{ cm}^3$                    | $V_t = 100\%$  |

Utilizando las formulas propuestas en el modelo de Powers, con los porcentajes calculados.

Volumen de agua no evaporable  $V_{wne} = 0.23 W_c = 0.23 V_c D_c = 0.23(16\%)(3.15) = 11.592\%$

Volumen de Sólidos de hidratación  $V_{sh} = V_c + 0.75 V_{wne} = 16\% + 0.75 (11.592\%) = 24.694\%$

Volumen de agua gel  $V_{wg} = 0.389 V_{sh} = 0.389 (24.694) = 9.6\%$

**Volumen de Capilares**  $V_{cap} = V_c + V_w - V_{sh} - V_{wg} = 16 + 30.4 - 24.694 - 9.6 = 12.206 \text{ cm}^3$

**Porosidad en el mortero**  $n = \frac{V_{cap} + V_{wg}}{V_t} = \frac{12.206\% + 9.6\%}{100\%} = 21.806\%$

**Relación a/c**  $= W_w / W_c = 150 / 250 = 0.6$

|                |                                    |                             |
|----------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Agua<br>30.4%  | Capilares 12.206%<br>Agua gel 9.6% | Porosidad<br>$n = 21.806\%$ |
| Cemento<br>16% | Sólidos de hidratación<br>24.694%  |                             |
| Arena<br>53.6% | Arena<br>53.6%                     |                             |

**Por lo tanto, para un mortero hidráulico con rel a/c = 0.6 y la porosidad es del 21.8%**

## PRÁCTICA No. 9 - 10: PRUEBA MARSHALL EN CONCRETO ASFÁLTICO.

**PROPÓSITO.** *Elaborar una mezcla de concreto asfáltico y ensayar de especímenes, de acuerdo al Método Marshall.*

### 1. INTRODUCCIÓN.

El método Marshall está limitado al proyecto y control de elaboración de mezclas asfálticas hechas en planta estacionaria, en caliente, utilizando cemento asfáltico. En esta prueba se determinarán los valores de estabilidad y de flujo en especímenes cilíndricos, compactados axialmente con un sistema determinado y probados a 60 °C. El valor de la estabilidad se determinará midiendo la carga necesaria para producir la falla del espécimen, aplicada en sentido normal a su eje. La deformación vertical producida en el espécimen por dicha carga será el valor de flujo. El valor de estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada, y está afectada principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado, principalmente, el valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado. El valor de flujo representa la deformación requerida, en el sentido del diámetro del espécimen, para producir su fractura. Este valor es una indicación de la tendencia de la mezcla para alcanzar una condición plástica, y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta a deformarse bajo la acción de fuerzas.

**2. MATERIALES Y EQUIPO:** - Balanza con tolerancia  $\pm 0,1$  g - Termómetro. - Compactador y pisón - Estufa - Molde de 4" de diámetro - Máquina Marshall - Guantes de carnaza. - Área ventilada o ventilador.

#### Procedimiento para elaborar los especímenes.

- ✧ Calentar el material pétreo con la granulometría calculada a 175° C y el cemento asfáltico a 140° C
- ✧ Mezclar el material pétreo y 70 g a 85 g de asfalto (7% a 8,5% en peso del agregado), hasta obtener una mezcla uniforme, la temperatura de la mezcla debe ser mayor a 130 °C.
- ✧ La mezcla del material se coloca en el molde previamente calentado y se compacta 75 veces en cada cara con un pisón de compactación con superficie circular de apisonado de 98.4 mm de diámetro, equipado con una pesa deslizante de 4.536 kg, cuya altura de caída es de 45.7 cm (máquina).
- ✧ El molde que contiene la pastilla se coloca en agua para que se enfríe. Y posteriormente se retira del molde aplicando unos ligeros golpes con el pisón.

### DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y PORCENTAJE DE VACIOS.

#### 3.1. PROCEDIMIENTO

- Se medirá la altura  $h_e$  y se pesará el espécimen  $W_e$
- Se cubrirá el espécimen con parafina y se pesará  $W_{ep}$
- Se determinará la masa del espécimen cubierto con parafina en agua.  $W_{ep+w}$

#### 4.1. CÁLCULOS:

Se deberán de considerar los siguientes datos para cálculos:

Densidad de la parafina  $D_p = 0,9$   
 Densidad de los materiales pétreos  $D_{mp} = 2,3$   
 Densidad del cemento asfáltico  $D_{ca} = 1,02$

$$\text{Masa Volumétrica Marshall } \gamma = \frac{W_e}{W_{ep} - W_{ep+w} - V_p}$$

Masa de parafina  $W_p = W_{ep} - W_e$   
 Volumen de parafina  $V_p = W_p / D_p$

Masa de cemento asfáltico  $W_{ca}$   
 Masa del material pétreo  $W_{mp}$   
 Masa total de la mezcla  $W_t = W_{ca} + W_{mp}$

% de cemento asfáltico por peso de mezcla  $\% CA = W_{ca} / W_t$

% de material pétreo por peso de mezcla  $\% MP = 100 - \% CA$  ó  $\% MP = W_{mp} / W_t$

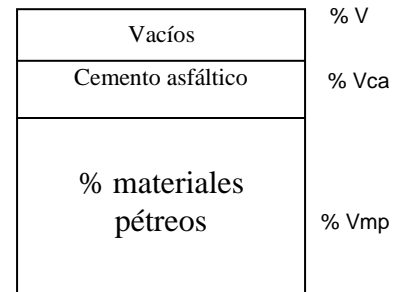
% Volumen de cemento asfáltico  $V_{ca} = \frac{\% CA \cdot \gamma}{D_{ca}}$

% Volumen de materiales pétreos  $V_{mp} = \frac{\% MP \cdot \gamma}{D_{mp}}$

% de vacíos =  $100 - V_{ca} - V_{mp}$

EN MASA

EN VOLUMEN



## DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD Y FLUJO.

### **3.2. PROCEDIMIENTO**

- ◇ Se retirará la parafina de los especímenes.
- ◇ Se sumergirá el espécimen en el tanque de saturación con el agua a la temperatura de 60°C con  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  de tolerancia y se mantendrá en esta condición durante 20 a 30 minutos.
- ◇ Mientras los especímenes se encuentran en el tanque de saturación se limpiará la superficie del anillo seccionado y se lubricarán los postes guía de tal manera que la sección superior del anillo deslice libremente; se ajustará a cero el extensómetro del anillo de carga.
- ◇ Terminado el período de inmersión se sacará el espécimen del tanque y se secará en la superficie. Se colocará el espécimen entre las 2 secciones de la cabeza de prueba y se centrará el conjunto en la máquina de compresión.
- ◇ Se colocará el medidor de flujo en el poste guía y se ajustará a cero su carátula.
- ◇ Se aplicará la carga al espécimen a una velocidad constante de 50 mm/min hasta que la falla del espécimen ocurra. La carga máxima aplicada para producir la falla del espécimen a la temperatura de 60°C, se deberá registrar como el valor de estabilidad Marshall. Mientras la prueba se lleve a efecto se deberá sostener firmemente el medidor de flujo sobre el poste guía y se removerá tan pronto se haya aplicado la carga máxima, anotándose la deformación sufrida por el espécimen, esta lectura en mm expresa el valor de flujo.
- ◇ Se promediarán los valores de estabilidad y de flujo de los 3 especímenes elaborados con el mismo contenido de asfalto, debiendo desecharse para el cálculo el valor que desentone notablemente.
- ◇ La prueba anteriormente descrita deberá completarse dentro de un período de 30 segundos, contados a partir del momento en que los especímenes sean sacados del tanque de saturación.

Nota: Cuando se realicen tres especímenes para cada porcentaje de asfalto y se tengan al menos cuatro diferentes porcentajes, la determinación del porcentaje óptimo de asfalto se hará de acuerdo con el criterio que a continuación se indica:

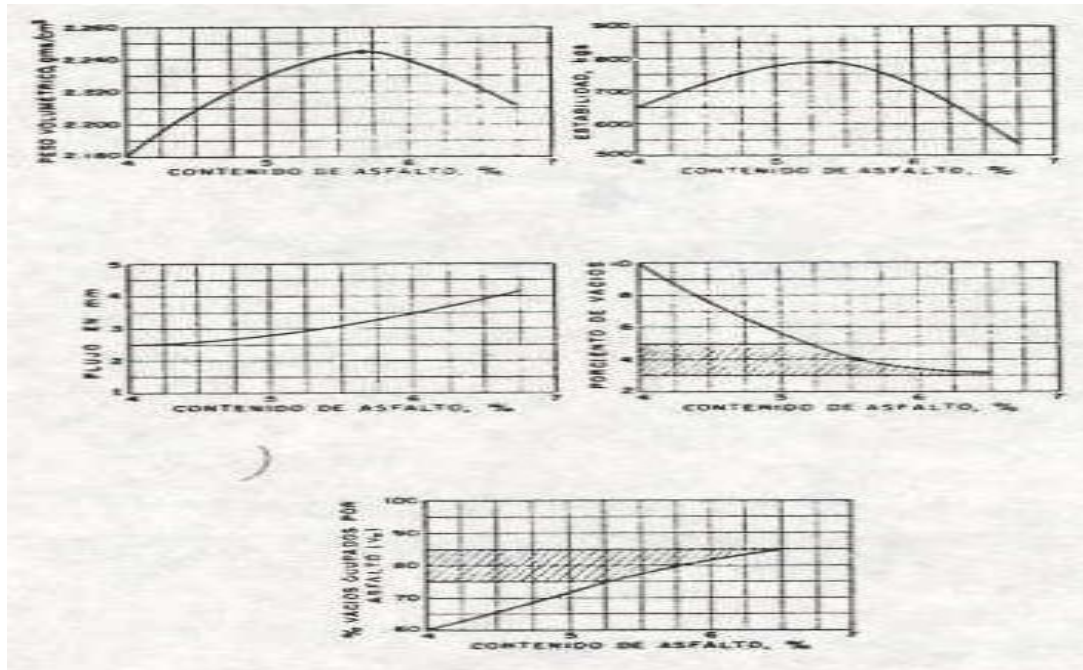
- ◇ Se calculará el promedio del peso volumétrico de los especímenes de prueba elaborados con un mismo porcentaje de asfalto, desechando para el cálculo del promedio los valores que muestren una gran diferencia.
- ◇ Se calculará la densidad teórica máxima y % de vacíos para cada contenido de asfalto.
- ◇ Se corregirán los valores de la estabilidad de los especímenes que no tengan la altura especificada de 63.5 mm, multiplicando los valores obtenidos por los factores de corrección que se dan en la tabla siguiente:

| Altura del espécimen, mm. | Factor de corrección | Altura del espécimen, mm. | Factor de corrección |
|---------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
| 55                        | 1,27                 | 63,5                      | 1,00                 |
| 56                        | 1,23                 | 64,0                      | 0,98                 |
| 57                        | 1,20                 | 65,0                      | 0,96                 |
| 58                        | 1,16                 | 66,0                      | 0,94                 |
| 59                        | 1,13                 | 67,0                      | 0,92                 |
| 60                        | 1,10                 | 68,0                      | 0,90                 |
| 61                        | 1,07                 | 69,0                      | 0,88                 |
| 62                        | 1,04                 | 70,0                      | 0,86                 |
| 63                        | 1,01                 | 71,0                      | 0,84                 |

### **4.2. CÁLCULOS**

- A) Se dibujarán las gráficas siguientes:
- ◇ Peso volumétrico-contenido de asfalto.
  - ◇ Estabilidad-contenido de asfalto.
  - ◇ Flujo-contenido de asfalto.
  - ◇ Porcentaje de vacíos-contenido de asfalto.
  - ◇ Vacíos ocupados por asfalto (Vo) – contenido de asfalto.
- B) De los datos obtenidos de las gráficas referidas anteriormente, se calculará el contenido óptimo de asfalto, promediando los siguientes valores:
- ◇ El contenido de asfalto que corresponde al mayor peso volumétrico.
  - ◇ El contenido de asfalto que corresponde a la máxima estabilidad.
  - ◇ El contenido de asfalto que corresponde al valor medio del % de vacíos (señalados en la siguiente tabla)
  - ◇ El contenido de asfalto que corresponde al valor medio del % de vacíos ocupado por el asfalto, (señalados en la tabla siguiente).
  - ◇ Se recomienda que la mezcla cuyo contenido de cemento asfáltico corresponda al promedio de los valores anteriormente indicados, reúna los requisitos que se dan en la siguiente tabla:

|   | Tipo de Mezcla  | Presión de contacto de las llantas |                       |
|---|---|------------------------------------|-----------------------|
|   |   | 7 kg/cm <sup>2</sup>               | 14 kg/cm <sup>2</sup> |
| Estabilidad                               |   | 700 kg                             | 900 kg                |
| Flujo                                     |   | 2- 4 mm                            | 2 - 4 mm              |
| Por ciento de Vacíos                      | Con agregados de tamaño máximo de 19.05 mm, ( $\frac{3}{4}$ " ) | 3 - 5                              | 3 - 5                 |
|   | Con agregados de tamaño máximo de 6.35 mm, ( $\frac{1}{4}$ " )  | 5 - 7                              | 6 - 8                 |
| Por ciento de vacíos ocupados por asfalto | Con agregados de tamaño máximo de 19.05 mm, ( $\frac{3}{4}$ " ) | 78 - 85                            | 75 - 82               |
|   | Con agregados de tamaño máximo de 6.35 mm, ( $\frac{1}{4}$ " )  | 65 - 75                            | 65 - 72               |



**Ejemplo:**

Inicialmente se mezclaron 1050 g de material pétreo y 68 g cemento asfáltico AC-20, se compacto de acuerdo al procedimiento establecido utilizando 75 golpes en cada cara. El espécimen compactado midió una altura de 61 mm y peso  $W_e = 1060$  g. Al cubrirlo con parafina el espécimen peso 1080 g y el peso del espécimen con parafina en agua fue de 550 g. Determinar el porcentaje de aire

Solución:

| Datos de la mezcla  | Masa   | Porcentaje en masa                              | Densidad de los materiales pétreos | $D_{mp} = 2,30$ |
|---------------------|--------|---|------------------------------------|-----------------|
| Material pétreo     | 1050 g | $\% MP = \frac{1050}{1118} \times 100 = 93,9\%$ |                                    |                 |
| Cemento Asfáltico   | 68 g   | $\% CA = 100 - 93,9 = 6,1\%$                    | Densidad del cemento asfáltico     | $D_{ca} = 1,02$ |
| Masa Total Mezclada | 1118 g |   |                                    |                 |

Datos del espécimen compactado con 75 golpes  
 Masa del espécimen  $W_e = 1060$  g  
 Masa del espécimen+parafina  $W_p = 1080$  g  
 Masa del espécimen cubierto con parafina en agua.  $W_{ep+w} = 545$  g

Masa de parafina  $W_p = W_{ep} - W_e = 1080 - 1060 = 20$  g  
 Densidad de la parafina  $D_p = 0,9$  Volumen de parafina  $V_p = \frac{W_p}{D_p} = \frac{20}{0,9} = 22,22 \text{ cm}^3$

Cálculo de la Masa Volumétrica Marshall  $\gamma = \frac{W_e}{W_{ep} - W_{ep+w} - V_p} = \frac{1060}{1080 - 550 - 22,22} = 2,067 \text{ g/cm}^3 = 2067 \text{ kg/m}^3$

Cálculos de % en volumen de los materiales

% Volumen de cemento asfáltico  $V_{ca} = \frac{\% CA \gamma}{D_{ca}} = \frac{6,1\% (2,067)}{1,02} = 12,4\%$

% Volumen del material pétreo  $V_{mp} = \frac{\% MP \gamma}{D_{mp}} = \frac{93,9\% (2,067)}{2,30} = 84,4\%$

% de vacíos =  $100 - V_{ca} - V_{mp} = 100 - 12,4 - 84,4 = 4,2$

Representación

|   |
|---|
| Vacíos $V_a = 4,2\%$                    |
| Cemento asfáltico<br>$V_{ca} = 12,4\%$  |
| Materiales pétreos<br>$V_{mp} = 84,4\%$ |

**5. BIBLIOGRAFÍA:**

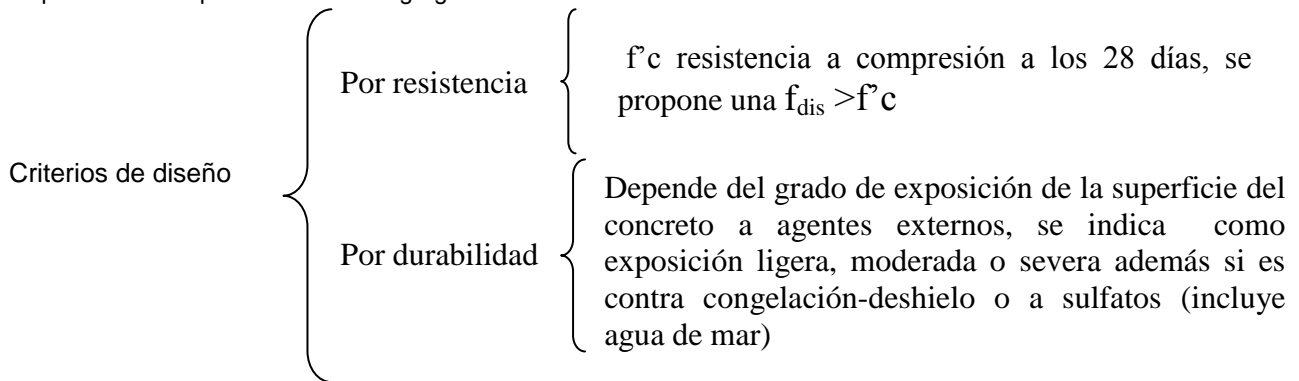
- CAPÍTULO 5.10 PROCEDIMIENTO DE MARSHALL PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE ESTABILIDAD Y FLUJO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS, TOMO IX, PARTE PRIMERA. MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES, NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, PAG. 354-365.

## PRÁCTICA No. 11. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO.

**PROPÓSITO.** Realizar los cálculos para una dosificación de concreto hidráulico, utilizando la Metodología del ACI-318.

**INTRODUCCIÓN.** El objetivo de diseñar una mezcla de concreto consiste en determinar la combinación más práctica y económica de los materiales con los que se dispone, para elaborar una mezcla con trabajabilidad aceptable en estado fresco y en estado endurecido, con la durabilidad, resistencia y presentación uniforme.

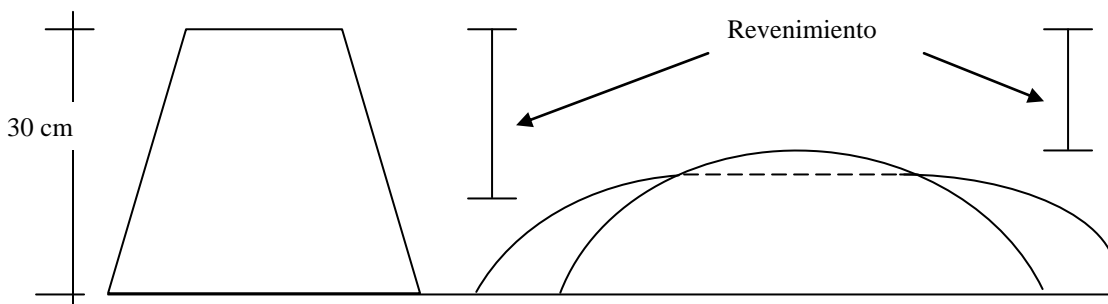
El método presentado se basa en la metodología definida por D.A. Abrams, DESIGN OF CONCRETE MIXTURES, Bulletin No. 1, Structural Materials Research laboratory, Lewis Institute, Chicago 1918, utilizando la relación agua-cemento en masa, pues la resistencia y otras propiedades deseables en el concreto se relacionan linealmente con este índice. Los tipos de concreto hidráulico establecidos en la metodología del ACI-318 son concreto sin aire incluido y concreto con aire incluido, y se puede realizar para tamaños de agregados de 3/8"



| Clasificación       | Tipo                         | Usos  | Beneficios   | Información Técnica  |
|---------------------|------------------------------|---|--|--|
| Por su consistencia | <b>Fluido</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rellenos</li> <li>• Estructuras con abundante acero de refuerzo</li> <li>• Bombeo a grandes alturas</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilita las operaciones de colocación y acabado</li> <li>• Facilita las operaciones de bombeo</li> <li>• Propicia el ahorro en mano de obra</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revenimiento superior a 19 cm, es decir tiene una consistencia fluida</li> <li>• Resistencia a la compresión igual a las logradas por los concretos convencionales.</li> </ul>  |
|                     | <b>Normal o convencional</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Todo tipo de estructuras de concreto</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tener una consistencia de mezcla adecuada para cada tipo de estructura, en atención a su diseño</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revenimiento entre 2.5 y 19 cm, lo cual considera las zonas de consistencia semi-fluida /12.5 a 19 cm, plástica / 7.5 a 12.5 cm, semi-plástica 2.5 a 7.5 cm</li> <li>• Resistencia a la compresión igual a las logradas por los concretos convencionales</li> </ul> |
|                     | <b>Masivo</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Colados en elementos de gran dimensión</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ahorro en materia prima y mano de obra</li> <li>• Bajo desarrollo en el calor de hidratación</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revenimiento entre 2.5 y 5 cm</li> <li>• Resistencia a la compresión igual a las logradas por los concretos convencionales</li> </ul>   |
|                     | <b>Sin revenimiento</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concretos que no se colocan bajo los métodos convencionales empleados en la industria de concreto premezclado</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo consumo de cemento.</li> <li>• Facilita las operaciones de colocación</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revenimiento máximo de 2.5 cm</li> <li>• Resistencia a la compresión máximas de 150 kg/cm<sup>2</sup></li> </ul>  |

### DEFINICIONES.

**Revenimiento.** Es una medida de la consistencia del concreto fresco en término de la disminución de altura de un molde tronco-cónico de 30 cm de altura.



| DESIGNACIÓN CONSISTENCIA | REVENIMIENTO (CM) |
|--------------------------|-------------------|
| Fluida                   | >20               |
| Semifluida               | 20 a 12.5         |
| Plástica                 | 12.5 a 7.5        |
| Semiplástica             | 7.5 a 2.5         |
| Dura                     | 2.5 a 0           |

### CÁLCULOS

Para la dosificación de una mezcla de concreto hidráulico, se requiere indicar: revenimiento, criterio de diseño, con o sin aire incluido y conocer el armado (cantidad y distribución del acero de refuerzo) del elemento a colar y las propiedades físicas de los materiales a emplear. La metodología establecida consiste en los siguientes pasos:

1. **Elección del revenimiento.** De acuerdo al tipo de elemento por colar, se propone una fluidez para poder ser transportado y colocado.

| Tipo de construcción                                 | Revenimiento en cm |        |
|--|--------------------|--------|
|  | Máximo             | Mínimo |
| Zapatas reforzadas y Muros de cimentación            | 8                  | 2      |
| Zapatas, campanas y muros de subestructura sencillos | 8                  | 2      |
| Vigas y muros reforzados                             | 10                 | 2      |
| Columnas de edificios                                | 10                 | 2      |
| Pavimentos y losas                                   | 8                  | 2      |
| Concreto masivo.                                     | 5                  | 2      |



2. **Elección del Tamaño máximo del agregado.** Se revisa de acuerdo a las dimensiones geométricas de las cimbras, escogiendo el tamaño máximo posible de acuerdo a los siguientes criterios.

El tamaño máximo del agregado no debe ser superior a:

- $\frac{1}{5}$  dimensión mínima
- $\frac{3}{4}$  separación mínima entre varillas
- $\frac{3}{4}$  espesor del recubrimiento
- $\frac{1}{3}$  espesor de la losa



2. **Determinación del agua de mezclado (Ww) y aire atrapado (Va).** Se elige de acuerdo al revenimiento y tamaño máximo del agregado comercial definido para concreto sin aire incluido ò con aire incluido.

Tabla 3.1. Concreto sin aire incluido. Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire.

| Revenimiento / TMA  | 10 mm<br>( $\frac{3}{8}$ " ) | 12.5 mm<br>( $\frac{1}{2}$ " ) | 20 mm<br>( $\frac{3}{4}$ " ) | 25 mm<br>(1" ) | 40 mm<br>(1 ½" ) | 50 mm<br>(2" )* | 70 mm<br>(3" )* | 150 mm<br>(6" )* |
|---|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| De 3 cm a 5 cm<br>Tolerancia $\pm$ 1.5 cm                             | 205                          | 200                            | 185                          | 180            | 160              | 155             | 145             | 125              |
| De 8 cm a 10 cm<br>Tolerancia $\pm$ 2.5 cm                            | 225                          | 215                            | 200                          | 195            | 175              | 170             | 160             | 140              |
| De 15 cm a 18 cm<br>Rev > 10 cm Tolerancia $\pm$ 3.5 cm               | 240                          | 230                            | 210                          | 205            | 185              | 180             | 170             | ---              |
| <b>Cantidad aproximada de aire atrapado expresada como porcentaje</b> | <b>3</b>                     | <b>2.5</b>                     | <b>2</b>                     | <b>1.5</b>     | <b>1</b>         | <b>0.5</b>      | <b>0.3</b>      | <b>0.2</b>       |



**Tabla 3.2. Concreto con aire incluido.** Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire.

| Revenimiento / TMA   | 10 mm<br>( <sup>3</sup> / <sub>8</sub> " ) | 12.5 mm<br>( 1/2 " ) | 20 mm<br>( 3/4 " ) | 25 mm<br>( 1" ) | 40 mm<br>( 1 1/2 " ) | 50 mm<br>( 2" )* | 70 mm<br>( 3" )* | 150 mm<br>( 6" )* |
|--|--|----------------------|--------------------|-----------------|----------------------|------------------|------------------|-------------------|
| De 3 cm a 5 cm<br>Tolerancia + 1.5 cm  | 180  | 175                  | 165                | 160             | 145                  | 140              | 135              | 120               |
| De 8 cm a 10 cm<br>Tolerancia + 2.5 cm   | 200  | 190                  | 180                | 175             | 160                  | 155              | 150              | 135               |
| De 15 cm a 18 cm<br>Rev > 10 cm Tolerancia ± 3.5 cm  | 215  | 205                  | 190                | 185             | 170                  | 165              | 160              | ---               |
| <b>Cantidad aproximada de aire atrapado expresada como porcentaje, de acuerdo con el nivel de exposición de ambientes de congelamiento y deshielo.</b> |  |                      |                    |                 |                      |                  |                  |                   |
| <b>Exposición ligera</b>   | <b>4.5</b>                                 | <b>4.0</b>           | <b>3.5</b>         | <b>3.0</b>      | <b>2.5</b>           | <b>2.0</b>       | <b>1.5</b>       | <b>1.0</b>        |
| <b>Exposición moderada</b>   | <b>6.0</b>                                 | <b>5.5</b>           | <b>5.0</b>         | <b>4.5</b>      | <b>4.5</b>           | <b>4.0</b>       | <b>3.5</b>       | <b>3.0</b>        |
| <b>Exposición severa</b>   | <b>7.5</b>                                 | <b>7.0</b>           | <b>6.0</b>         | <b>6.0</b>      | <b>5.5</b>           | <b>5.0</b>       | <b>4.5</b>       | <b>4.0</b>        |

3. **Determinación de la rel<sup>a</sup>/<sub>c</sub>.** Se definen dos tipos de mezclas:

**a. POR RESISTENCIA. De acuerdo a su f'c** o resistencia a 28 días y curado en forma estandarizada. De acuerdo al Reglamento del ACI-318-99 establecen 3 criterios para satisfacer la resistencia media de un concreto, con un cierto valor de desviación estándar definido ( $\sigma$ ).

$f_{c_r} = f'c + 1.282 \sigma$  con una probabilidad de que 1 de cada 10 pruebas tenga una resistencia menor de f'c

$f_{c_r} = f'c + 1.343 \sigma$  con una probabilidad de que 1 de cada 100 pruebas tenga una resistencia menor de f'c

$f_{c_r} = f'c - 35 + 2.326\sigma$  con una probabilidad de que 1 de cada 100 pruebas tenga una resistencia menor de f'c - 35 kg/cm<sup>2</sup>

Se elige uno de los valores calculados de acuerdo a la incertidumbre definida, con este valor se determina por interpolación la relación agua-cemento de acuerdo al tipo de mezcla por diseñar.

Tabla 4.1. Correspondencia entre la rel<sup>a</sup>/<sub>c</sub> y la resistencia a compresión del concreto.

| Resistencia a la compresión a los 28 días, f <sub>c_r</sub> en kg/cm <sup>2</sup>  | Relación agua-cemento en masa |                            |
|--|-------------------------------|----------------------------|
|  | Concreto sin aire incluido    | Concreto con aire incluido |
| La resistencia se determina en cilindros de 15 x 30 cm curados con humedad al 95% mínimo a los 28 días temperatura de a 23°C ± 2°C |                               |                            |
| 420  | 0.41                          | ---                        |
| 350  | 0.48                          | 0.40                       |
| 280  | 0.57                          | 0.48                       |
| 210  | 0.68                          | 0.59                       |
| 140  | 0.82                          | 0.74                       |

**b. POR DURABILIDAD. De acuerdo al tipo de ambiente físico o químico.** Los elementos de concreto están sometidos a condiciones de servicio ambientales que pueden producir la pérdida irreversible de resistencia. Está relacionado con el agrietamiento del concreto, el tamaño, distribución y continuidad de los poros capilares que permiten la permeabilidad para la absorción de sales, ácidos, sulfatos (ataque químico) o a ciclos de congelamiento y deshielo (ataque físico). Para la dosificación se especifican:

- Tipo de cemento
- El grado de exposición: ligero, moderado o severo, y el tipo de agentes químicos
- Si es con aire incluido o sin aire incluido
- Cubrimiento mínimo del acero de refuerzo para evitar la corrosión, de acuerdo con la sig. Tabla:

|                       |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|
| Relación agua-cemento | 0.40 | 0.50 | 0.60 |
| Cubrimiento (cm)      | 5.0  | 7.5  | 10.0 |

Tabla 4.2. Correspondencia entre la rel<sup>a</sup>/<sub>c</sub> y la resistencia a compresión del concreto.

| Tipo de estructura  | Estructura continua o frecuentemente mojada y expuesta a congelación y deshielo | Estructura expuesta al agua de mar ò sulfatos. |
|---|---|--|
| Secciones esbeltas con menos de 3 cm de recubrimiento sobre el acero de refuerzo (barandales, guarniciones, umbrales, ménsulas, trabajos ornamentales ) | 0.45  | 0.40   |
| Todas las demás estructuras   | 0.50  | 0.45   |

4. **CÁLCULO de la cantidad de cemento para 1m<sup>3</sup> de concreto hidráulico.** Despejando de la formula

$$W_c = \frac{W_w}{rel\ a/c}$$

5. **Estimación del contenido de agregado grueso.** Se define el volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto, a partir de la siguiente tabla.

Tabla 6.1. Volumen de agregado grueso **Vol agr\***, para distintos módulos de finura de arena.

| Tamaño máximo del agregado<br>TMA       | Módulo de finura de la arena |      |      |      |
|---|------------------------------|------|------|------|
|   | 2.4                          | 2.6  | 2.8  | 3.0  |
| 10 mm ( <sup>3</sup> / <sub>8</sub> "   | 0.50                         | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 12.5 mm ( <sup>1</sup> / <sub>2</sub> " | 0.59                         | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 20 mm ( <sup>3</sup> / <sub>4</sub> "   | 0.66                         | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 25 mm (1"                               | 0.71                         | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 40 mm (1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "  | 0.77                         | 0.73 | 0.71 | 0.69 |
| 50 mm (2"                               | 0.78                         | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 70 mm (3"                               | 0.87                         | 0.80 | 0.78 | 0.76 |
| 150 mm (6"                              | 0.87                         | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

La cantidad de grava se determina con la formula **Wgrava = Vol agr γ compacto grava**

6. **CÁLCULO del agregado fino.** Se determina el volumen de cada material incluyendo el porcentaje de aire, y por diferencia se calcula para 1m<sup>3</sup> de concreto la cantidad de arena requerida en la mezcla.

| Material | Masa | Densidad | Volumen<br>$V = \frac{W}{1000D}$ |
|----------|------|----------|----------------------------------|
|          |      |          |                                  |

$$V_{arena} = 1 - V_w - V_c - V_{grava} - V_a$$

$$W_{arena} = 1000 D_{arena} V_{arena}$$

7. **Ajuste por humedad y absorción de arena y grava.** Las cantidades de arena y grava definidas en los pasos anteriores. Fueron determinadas considerando que los agregados están saturados y superficialmente secos, es decir, que no absorben agua, y la cantidad de agua es la requerida para dar el revenimiento y resistencia definidos.

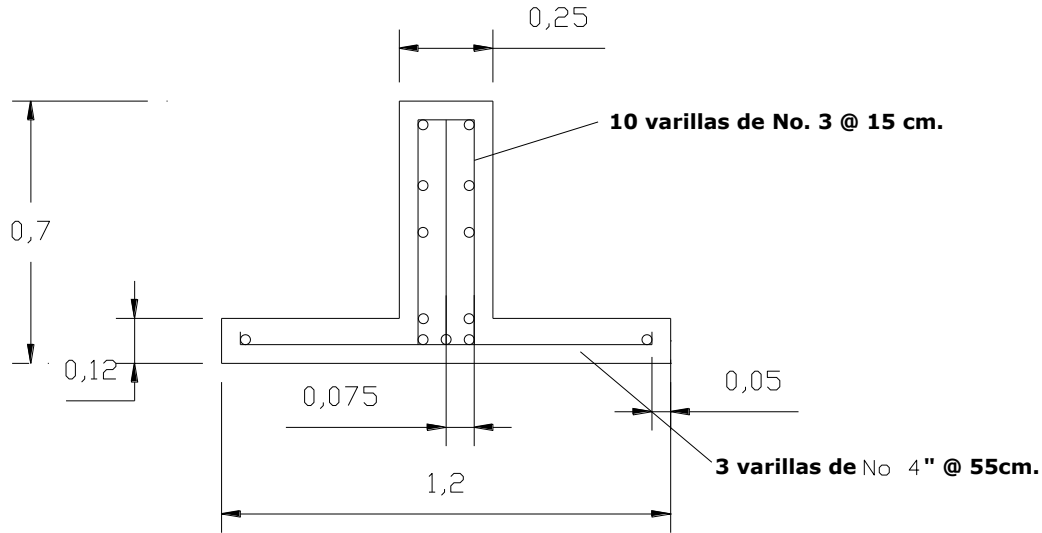
En la realidad, los agregados tienden a absorber agua si están secos ò pueden proporcionar agua a la mezcla si están saturados, por lo tanto se determinara el contenido de agua (w) de estos materiales para que tengan la condición saturada y superficialmente seca a partir del % de absorción.

Masa de los agregados húmedos (arena y grava): **W húmedo = W (1 + w)**

Agua por añadir  $W_w\ a\ ñadir = W_w - W_{arena\ húmeda}\ (w-abs) - W_{grava\ húmeda}\ (w-abs)$

Ejemplo: Dosificar 10 zapatas de concreto reforzado de una longitud de 5m., con la sección indicada en la figura.  $f'_c = 170 \text{ kg/cm}^2$ . 10% de desperdicio.

**Nota:**  
 $f'_c = 170 \text{ kg/cm}^2$ .  
 Dimensiones en Metros.



| DATOS DE LOS MATERIALES            |                        |                        |         |
|------------------------------------|------------------------|------------------------|---------|
|                                    | ARENA                  | GRAVA                  | CEMENTO |
| PVS Peso volumétrico seco suelto   | 1400 kg/m <sup>3</sup> | 1200 kg/m <sup>3</sup> | ---     |
| PVC Peso volumétrico seco compacto | 1500 kg/m <sup>3</sup> | 1300 kg/m <sup>3</sup> | ---     |
| TMA Tamaño máximo del agregado     | ---                    | (1 1/2") 38mm          | ---     |
| D Densidad                         | 2.3                    | 2.1                    | 3.15    |
| MF Módulo de finura                | 2.7                    | ---                    | ---     |

- Volumen por colar = (A)(L)(No. de piezas)(1 + Factor de desperdicio)  
 $= (0.289\text{m}^2)(5\text{m})(10)(1+0.10) = 15.895\text{m}^3$
- Separación entre varillas mínimo = 7.5cm
- Dimensión más angosta = 12 cm

### CÁLCULOS PARA DOSIFICAR EL CONCRETO HIDRÁULICO.

- 1) **Selección del revenimiento** Recomendado de 8 cm máx. – 2 cm mín. **Propuesto de 10 cm**
- 2) **Elección del tamaño máximo del agregado (TMA)**
  - 1/5 dimensión más angosta entre moldes:  $1/5(25 \text{ cm}) = 5 \text{ cm}$
  - 1/3 peralte de la losa:  $1/3(12 \text{ cm}) = 4 \text{ cm}$
  - 3/4 espacio efectivo entre varillas de acero de refuerzo:  $3/4(7.5 \text{ cm}) = 5.62 \text{ cm}$ 
    - **valor mínimo de 4cm; la grava por utilizar debe tener un tamaño menor, la grava propuesta se acepta.**

### 3) Cálculo del agua de mezclado

Utilizamos la tabla de concreto sin aire incluido.

- **175 lt por m<sup>3</sup> de concreto contenido de aire 1%**

### 4) Selección de la relación agua – cemento

Utilizamos por resistencia a la compresión a exposición ligera o moderada.

$$f'_c = 170 \text{ kg/cm}^2, \quad f_{dis} = 270 \text{ kg/cm}^2$$

- concreto sin aire incluido

- interpolando, obtenemos que para  $170 \text{ kg/cm}^2$ , **se tiene una rel a/c de 0.76**

### 5) Determinar la masa del cemento en la mezcla

$$\text{- rel } \frac{a}{c} = \frac{w_{\text{agua}}}{w_{\text{cemento}}}$$

$$\text{- } w_{\text{cemento}} = \frac{w_{\text{agua}}}{\text{rel } \frac{a}{c}} = \frac{175}{0.76} = 230.263 \text{ kg/m}^3$$

**6) Estimación del contenido de agregado grueso seco**

-  $MF_{\text{arena}} = 2.7$

-  $TMA = (1 \frac{1}{2}'' ) = 40 \text{ mm}$

- o Interpolando en la tabla de volumen de agregado grueso seco por volumen unitario de concreto, se obtiene un volumen de agregado de  $0.74 \text{ m}^3$ .

-  $W_{\text{grava}} = Vol_{\text{agr}} \cdot g_{\text{compacto grava}} = (0.74)(1300) = 962 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  valores cercanos a 1100 kg

**7) Estimación del agregado fino. Representación en volumen para  $1 \text{ m}^3$  de concreto**

|               | En peso                   | Densidad | Volumen |
|---------------|---------------------------|----------|---------|
| Agua          | 175 lt                    | 1.0      | 0.175   |
| Cemento       | 230.263 kg/m <sup>3</sup> | 3.15     | 0.073   |
| Grava         | 962 kg/m <sup>3</sup>     | 2.1      | 0.458   |
| Aire          | 1%                        | ----     | 0.01    |
| Suma $\Sigma$ |                           |          | 0.716   |

- Volumen de arena  $V_{\text{arena}} = 1 - \Sigma = 1 - 0.716 = 0.284 \text{ m}^3$

- Masa ó Peso de Arena  $W_{\text{arena}} = 1000 V_{\text{arena}} D_{\text{arena}} = 1000 (0.284)(2.3) = 653.2 \text{ kg}$

|       |                         |      |       |
|-------|-------------------------|------|-------|
| Arena | 653.2 kg/m <sup>3</sup> | 2.3  | 0.284 |
| Suma  | 2020.467                | ---- | 1.000 |

- o Teóricamente el peso unitario del concreto en estado fresco, con la dosificación propuesta es de  $2020.467 \text{ kg/m}^3$ .

- o Las cantidades en peso que se requieren del volumen por colar son ( $\times 11.74.32 \text{ m}^3$ ):

|         |              |
|---------|--------------|
| Agua    | 2781.625 lt  |
| Cemento | 3660.030 kg  |
| Grava   | 15290.99 kg  |
| Arena   | 10382.614 kg |

**CÁLCULO DE POROSIDAD.** Utilizando formulas simplificadas del modelo de Powers para volumen.

**Sólidos de Hidratación**  $V_{\text{sh}} = 1.543375 V_{\text{c}} = 1.543375 (0.073) = 0.112 \text{ m}^3$

**Agua Gel**  $V_{\text{wg}} = 0.6 V_{\text{c}} = 0.6 (0.073) = 0.044 \text{ m}^3$

**Capilares**  $V_{\text{cap}} = V_{\text{w}} - 1.143375 V_{\text{c}} = 0.175 - 1.143375 (0.073) = 0.092 \text{ m}^3$

Comprobando  $V_{\text{c}} + V_{\text{w}} = V_{\text{sh}} + V_{\text{wg}} + V_{\text{cap}}$   
 $0.073 + 0.175 = 0.112 + 0.044 + 0.092$   
 $0.248 = 0.248$

**Porosidad**  $n = \frac{V_{\text{a}} + V_{\text{cap}} + V_{\text{wg}}}{V_{\text{t}}} = \frac{0.01 + 0.092 + 0.044}{1} = 0.146 \text{ ó } 14.6\%$

**REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA.**

Materiales sin mezclar

|         |        |
|---------|--------|
| Aire    | 1%     |
| Agua    | 17.5 % |
| Cemento | 7.3 %  |
| Arena   | 28.4%  |
| Grava   | 45.8%  |

Concreto Hidráulico endurecido

|                        |        |
|------------------------|--------|
| Aire                   | 1%     |
| Capilares              | 9.2%   |
| Agua Gel               | 4.4%   |
| Sólidos de hidratación | 11.2 % |
| Arena                  | 28.4%  |
| Grava                  | 45.8%  |

## PRÁCTICA No. 12: ENSAYES EN CONCRETO HIDRÁULICO ENDURECIDO.

**PROPÓSITO.** Determinar las propiedades de compresión, tensión y flexión de especímenes de concreto endurecido.

### 1. INTRODUCCIÓN.

El concreto hidráulico es el material más comúnmente usado en obras de ingeniería civil. Existen métodos normalizados para realizar los ensayos y verificar las propiedades del concreto colocado en la obra.

Durante la etapa de colocación, se realizan algunos ensayos para determinar sus propiedades en estado fresco, como por ejemplo:

- NMX-C-161. Muestreo de concreto fresco.
- NMX-C-156. Determinación del revenimiento.
- NMX-C-157. Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método de presión.
- NMX-C-159. Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio.
- NMX-C-160. Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto.
- NMX-C-162. Determinación de la masa unitaria, cálculo de rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico.
- NMX-C-177. Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto mediante la resistencia a la penetración.
- NMX-C-435. Método para determinar la temperatura del concreto fresco.

Con los especímenes elaborados utilizando los métodos de prueba NMX-C-159 o NMX-C-160, se realizan ensayos para determinar sus propiedades en estado endurecido, esperando una edad de prueba de 7, 14 o 28 días, como por ejemplo:

- NMX-C-128. Determinación del módulo de elasticidad estático y de Poisson (a compresión).
- NMX-C-169. Obtención y prueba de corazones y vigas extraídos en concreto endurecido.
- NMX-C-205. Determinación de la resistencia del concreto a la congelación y deshielo acelerados.
- NMX-C-307. Resistencia al fuego.
- NMX-C-348. Determinación del manchado en el concreto.

### 2. EQUIPOS.

- Escala o flexómetro con división de escala de 1 mm como mínimo
- Bascula con división de escala mínima de 1 g
- Maquina con capacidad de 150 ton y escala mínima de 500 kg

### PROCEDIMIENTO.

#### 3.1. NMX-C-083. Determinación de la resistencia a compresión de cilindros de concreto y NMX-C-109. Cabeceo de especímenes cilíndricos.

- Se miden dos diámetros y dos alturas, obteniendo el promedio de cada dimensión.
- Se pesa el espécimen **W** en g
- Se calienta el mortero de azufre a una temperatura de 130 °C a 140, se coloca en los platos metálicos la cantidad necesaria para cabecear la parte superior e inferior de los especímenes.
- Alinea el espécimen con el centro de la placa de carga y aplica fuerza (P), registrando la deformación ( $\Delta$ ) que sufre el espécimen

#### 4.1. CÁLCULOS:

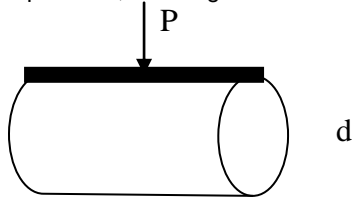
1. Masa unitaria:  $\lambda = \frac{W}{\Pi d^2 h}$  kg/m<sup>3</sup> 2. Esfuerzo compresión  $\sigma_c = \frac{P}{\Pi d^2}$  kgf/cm<sup>2</sup> 3.  $\epsilon = \frac{\Delta}{h}$  4.  $E = \frac{\sigma_c}{\epsilon}$  kgf/cm<sup>2</sup>

| TIEMPO<br>S | FUERZA o CARGA<br>P en kg | DEFORMACION<br>$\Delta$ en mm | ESFUERZO<br>$\sigma$ en Kg/cm <sup>2</sup> | DEFORMACIÓN<br>UNITARIA<br>$\Delta / L_p$ adimensional |
|-------------|---------------------------|-------------------------------|--|--|
|             |                           |                               |  |  |
|             |                           |                               |  |  |
|             |                           |                               |  |  |
|             |                           |                               |  |  |
|             |                           |                               |  |  |

**ANÁLISIS DE RESULTADO:** Compara los resultados obtenidos con las recomendaciones de las resistencias esperadas para diseño de estructuras de concreto NTC del RCDF.

**3.2. NMX-C-163. Determinación de la resistencia a la tensión por compresión diametral**

- Se miden dos diámetros y dos alturas, obteniendo el promedio de cada dimensión.
- Se pesa el espécimen **W** en g
- Alinea el espécimen con el centro de la placa de carga y aplica fuerza (P), registrando la deformación ( $\Delta$ ) que sufre el espécimen, de la siguiente manera.



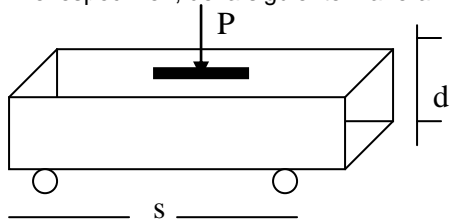
**4.2. CÁLCULOS:**

1. Masa unitaria:  $\lambda = \frac{W}{\Pi d^2 h}$  kg/m<sup>3</sup>    2. Esfuerzo tensión  $\sigma_t = \frac{2P}{\Pi L d}$  kgf/cm<sup>2</sup>    3.  $\epsilon = \frac{\Delta}{d}$     4.  $E = \frac{\sigma_t}{\epsilon}$  kgf/cm<sup>2</sup>

| TIEMPO<br>S | FUERZA o CARGA<br>P en kg | DEFORMACION<br>$\Delta$ en mm | ESFUERZO<br>$\sigma$ en Kg/cm <sup>2</sup> | DEFORMACIÓN UNITARIA<br>$\Delta / L_p$ adimensional |
|-------------|---------------------------|-------------------------------|--|---|
|             |                           |                               |  |   |
|             |                           |                               |  |   |
|             |                           |                               |  |   |
|             |                           |                               |  |   |
|             |                           |                               |  |   |

**4.3. NMX-C-163. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro.**

- Se miden el ancho (b), el largo (L) y el espesor (b) de la viga, obteniendo el promedio de cada dimensión.
- Se pesa el espécimen **W** en g
- Marca tres separaciones de 15 cm. a lo largo de la viga de tal manera que la distancia entre apoyos sea de tres veces el ancho (s)
- Alinea el espécimen con el centro de la placa de carga y aplica fuerza (P), registrando la deformación ( $\Delta$ ) que sufre el espécimen, de la siguiente manera.



s: separación entre apoyos  
d: peralte promedio del espécimen  
b: ancho promedio

**5.3. CÁLCULOS:**

1. Masa unitaria:  $\lambda = \frac{W}{\Pi d^2 h}$  kg/m<sup>3</sup>    2. Esfuerzo flexión  $\sigma_f = \frac{Ps}{bd^2}$  kgf/cm<sup>2</sup>    3.  $\epsilon = \frac{\Delta}{d}$     4.  $E = \frac{\sigma_f}{\epsilon}$  kgf/cm<sup>2</sup>

| TIEMPO<br>S | FUERZA o CARGA<br>P en kg | DEFORMACION<br>$\Delta$ en mm | ESFUERZO<br>$\sigma$ en Kg/cm <sup>2</sup> | DEFORMACIÓN UNITARIA<br>$\Delta / L_p$ adimensional |
|-------------|---------------------------|-------------------------------|--|---|
|             |                           |                               |  |   |
|             |                           |                               |  |   |
|             |                           |                               |  |   |
|             |                           |                               |  |   |
|             |                           |                               |  |   |

**ANÁLISIS DE RESULTADO:** Compara los resultados obtenidos con las recomendaciones de LAS NTC para diseño de estructuras de concreto del RCDF.

## PRÁCTICA No. 12: ENSAYE EN PIEZAS DE CERÁMICA.

**PROPÓSITO.** Determinar la resistencia a compresión y flexión de materiales cerámicos

### 1. INTRODUCCIÓN. Definiciones.

- **Bloque:** Es un componente para uso estructural de forma prismática, que se obtiene por moldeo del concreto y/o de otros materiales, puede ser macizo o hueco.
- **Piezas Macizas.** Son aquellas que tienen en su sección transversal más desfavorable un área neta de por lo menos 75% del área total y cuyas paredes no tienen espesores menores de 2 cm.
- **Piezas Huecas.** Son las que tienen en su sección transversal más desfavorable un área neta de por lo menos 45% del área bruta, además el espesor de sus paredes exteriores no es menor que 1.5 cm.
- **Piezas multiporadas.** Son las que tienen en su sección transversal más desfavorable un área neta menor 45% del área bruta.
- **Lote.** Es una cantidad específica de unidades de producto de características similares, que se fabrica bajo condiciones de producción uniformes y que se somete a inspección como un conjunto unitario.
- **Lote mínimo.** Es el constituido por 2 000 unidades de producto
- **Lotes individuales.** Son los constituidos por 2 001 a 10 000 unidades de producto.
- **Lotes parciales.** Para cantidades mayores, se deben formar lotes de 10,000 unidades de producto. Para cantidades menores de 2,000 unidades de producto, el muestreo debe efectuarse por convenio entre comprador y vendedor.

### 2. EQUIPOS:

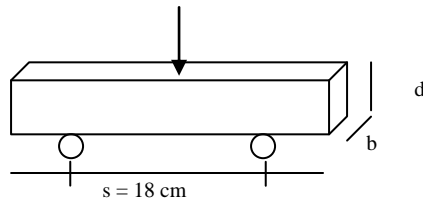
- Escala o flexómetro con división de escala de 1 mm como mínimo
  - Balanza con escala mínima de 0,1 g
  - Picnómetro
  - Máquinas para realizar el ensaye a flexión y a compresión
- El ensaye se realiza a temperatura ambiente como indica la norma NXM-C-036.

### 3. PROCEDIMIENTO Y CÁLCULOS.

- Se selecciona de un lote de 50,000 piezas fabricadas una muestra de 10 especímenes.
- Se introducen las muestras en un horno para secar a temperatura constante de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  durante 24 h.
- Se pesa el espécimen **W** en g y se mide la longitud total, ancho, espesor y huecos de cada espécimen en mm
- Se determina la masa volumétrica seca

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad \text{donde: } W : \text{Masaseca } V : \text{volumen sin considerar los hueco}$$

ENSAYE A FLEXIÓN. Se marca una línea en el centro de la longitud de la pieza, donde se aplicará la carga y se indica la zona donde se colocarán los apoyos que tendrán una separación de 18 cm



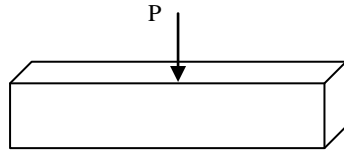
$$MR = \frac{3Ps}{2bd^2}$$

MR (Modulo de Ruptura)

- Se somete el espécimen a fuerza de flexión, se registra la carga y deformación bajo un parámetro de medición constante (carga, tiempo o deformación).

| TIEMPO<br>S | FUERZA o<br>CARGA<br>P en kg | DEFORMACION<br>$\Delta$ en mm | ESFUERZO<br>$\sigma$ en $\text{Kg/cm}^2$ | DEFORMACIÓN<br>UNITARIA<br>$\Delta / L_p$ adimensional |
|-------------|------------------------------|-------------------------------|--|--|
|             |                              |                               |  |  |
|             |                              |                               |  |  |
|             |                              |                               |  |  |
|             |                              |                               |  |  |
|             |                              |                               |  |  |

**ENSAYE A COMPRESIÓN.** Se cabecea con mortero de azufre piezas completas, la carga y la deformación por unidad de tiempo.



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

| TIEMPO<br>S | FUERZA o<br>CARGA<br>P en kg | DEFORMACION<br>$\Delta$ en mm | ESFUERZO<br>$\sigma$ en Kg/cm <sup>2</sup> | DEFORMACIÓN<br>UNITARIA<br>$\Delta / L_p$ adimensional |
|-------------|------------------------------|-------------------------------|--|--|
|             |                              |                               |  |  |
|             |                              |                               |  |  |
|             |                              |                               |  |  |
|             |                              |                               |  |  |
|             |                              |                               |  |  |
|             |                              |                               |  |  |
|             |                              |                               |  |  |

**ABSORCIÓN**

- Se identifican dos fragmentos de los especímenes ensayados a flexión, se pesan  $W_1$  y se colocan en un recipiente para ser saturados en agua fría. Después de haber estado saturadas en agua durante 24 h se sacan, se secan superficialmente y se pesan  $W_2$

- CÁLCULO de la absorción de cada espécimen en agua fría,

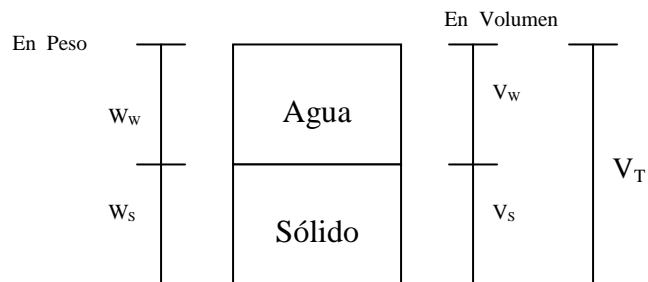
$$\% Abs = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

- Se introducen las piezas en agua en ebullición durante 5 h y se dejan enfriar durante 16 h. Se pesan los especímenes  $W_3$

- CÁLCULO de la absorción en ebullición de cada espécimen,  $\% Abs_{ebull} = \frac{W_3 - W_1}{W_1} \times 100$

- Coeficiente de saturación =  $\frac{W_2 - W_1}{W_3 - W_1} \times 100$

Representación de la estructura del material.



**4. BIBLIOGRAFÍA.**

- CAPITULO 10. MATERIALES PARA MAMPOSTERÍA, TOMO IX, PARTE PRIMERA. MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES, NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE LA SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.
- NMX-C-036-2013. INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-MAMPOSTERÍA-RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE BLOQUES, TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES Y ADOQUINES-MÉTODO DE ENSAYO.