

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA CIVIL



**DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL
MODULO DE ELASTICIDAD Y EL MODULO DE RUPTURA
PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO CON
MATERIALES EN CONDICIONES LOCALES**

PRESENTADO POR

**ADOLFO MENDOZA ALVAREZ
EVELYN YAMILET MOLINA ORANTES
VALERIA MARISOL MOYA TURCIOS**

PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 2004

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :

DRA. MARIA ISABEL RODRIGUEZ

SECRETARIA GENERAL :

LICDA. LIDIA MARGARITA MUÑOZ VELA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO :

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUIN HERNANDEZ

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

ING. LUIS RODOLFO NOSIGLIA DURAN

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO CIVIL

Título :

**DETERMINACION DE LA CORRELACION ENTRE EL MODULO
DE ELASTICIDAD Y EL MODULO DE RUPTURA PARA
PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO CON
MATERIALES EN CONDICIONES LOCALES**

Presentado por :

**ADOLFO MENDOZA ALVAREZ
EVELYN YAMILET MOLINA ORANTES
VALERIA MARISOL MOYA TURCIOS**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

**ING. SUSAN ELIZABETH CAMPOS DE ORELLANA
ING. EDGAR ALFREDO GAVIDIA PAREDES**

Docente Director Externo:

ING. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRIGUEZ

San Salvador, Febrero de 2004.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

ING. SUSAN ELIZABETH CAMPOS DE ORELLANA

ING. EDGAR ALFREDO GAVIDIA PAREDES

Docente Director Externo:

ING. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRIGUEZ

RECONOCIMIENTOS

A la “Universidad de El Salvador”, nuestra Alma Mater, por habernos formado durante toda la carrera. A nuestros catedráticos, por guiarnos en el camino correcto y brindarnos sus conocimientos consejos y recomendaciones.

A nuestra coordinadora de Tesis, Ing. Susan Elizabeth Campos de Orellana, por su colaboración, orientación y comprensión. Gracias por estar siempre pendiente en todas las etapas de nuestro proyecto.

A nuestros asesores: Ing. Edgar Alfredo Gavidia Paredes e Ing. Carlos Antonio Quintanilla Rodríguez, a quienes agradecemos la orientación y el tiempo dedicado en la preparación de nuestro trabajo de Graduación.

A las instituciones que colaboraron desinteresadamente en el desarrollo de nuestro trabajo de investigación, principalmente al Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto, Concretera Salvadoreña y, al personal que laboran en ellas, de manera especial a los ingenieros José Guillermo Flores, Jorge Cruz, Rafael Alejandro González y Don Roberto, por mostrarse siempre dispuestos a contribuir en nuestro objetivo.

También hacemos extensivo nuestro reconocimiento al profesor Ramón Evelio López, Don Emiliano Espinoza y Luis Felipe Mendoza Alvarez, por haber colaborado desinteresadamente en diversas actividades durante todo el proceso.

Gracias.

DEDICATORIA

Agradezco:

A La Santísima Trinidad y a La Virgen Maria, por proveerme la salud y sapiencia necesaria para alcanzar este triunfo.

A mi padre Dr. Adolfo Mendoza Vásquez, quien se ha inmolado por sus tres hijos, permitiendo que el primero de ellos logre coronar su carrera. Papá lo quiero y admiro mucho.

De igual forma dedico este grado académico a mi madre Elsy Alvarez de Mendoza, mujer abnegada y pura, que desde que nací me ha brindado su cariño y dedicación incondicional. Quiero que sepa mamá que este título universitario es suyo.

A mis hermanos Jaime Miguel y Luis Felipe, partícipes del sacrificio y empeño de mis padres, sabedores que es también de ellos este triunfo.

A mi compañera de tesis Valeria, ejemplo de asiduidad en su labor diaria.

Adolfo.

DEDICATORIA

Con todo mi corazón quiero dedicar este logro a Dios y a la Virgen de la Paz, por ser mi luz y refugio a lo largo de mi camino, y por manifestarse a través de mis queridos padres Guillermo Moya Berrios y Antonia Luisa Turcios de Moya, quienes con su trabajo y comprensión han sabido esperar a su última hija en su realización personal.

Guillermo, hermano, quiero dedicarte este trabajo porque con tu ejemplo, me bastó para decidirme y seguir tus pasos en este camino; a ti también Carito, por ser esa hermana tan especial que siempre me ha apoyado.

Quiero dedicar además este insignificante pero valioso trabajo a mi primer sobrino Guillermito porque con su presencia ha alegrado mis días, a mi abuelita Eva, a mis tíos, a mis primos, a mi compañero de tesis Adolfo por acompañarme en esta ardua labor y, a todas las demás personas que de alguna u otra manera, han contribuido para que culmine este trabajo. **Gracias a todos.**

Valeria Moya.

DEDICATORIA

Agradezco:

A Dios Todopoderoso y a la Santísima Virgen María por iluminar mi mente, brindarme salud y la fortaleza necesaria para sobrellevar los obstáculos presentados a lo largo de mi carrera.

A MIS PADRES: José Antonio Molina Guevara y Ángela Orantes de Molina, a quienes dedico el triunfo alcanzado. Gracias por su sacrificio, amor y cuidado; lo que soy se los debo ustedes.

A MIS HERMANOS: Goretty Mérisi y Marco Antonio Molina Orantes por haber hecho sentir que en ellos siempre encontraría unos **Segundos Padres**; gracias por el apoyo moral, espiritual y económico. Este triunfo les pertenece también.

A MI FAMILIA: A mis tíos Miguel Antonio Orantes y Francisca Estela Molina de Orantes, a mis primos Miguel de Jesús y Raúl Edgardo Orantes.

Evelyn Yamilet Molina Orantes

RESUMEN

Esta investigación ha sido desarrollada con el propósito de dar una alternativa a los diseñadores de pavimentos de concreto hidráulico, proporcionando un factor de diseño más preciso. El componente al que nos referimos es la correlación entre el Módulo de Elasticidad y Módulo de Ruptura del concreto.

La idea de realizar este estudio, nace del hecho que al optimizar cada uno de los factores que intervienen en el diseño se eficiente lo proyectado en el mismo, consecuentemente; puedan reflejarse sustanciales disminuciones en los costos constructivos de los pavimentos de concreto hidráulico.

Este Trabajo de Graduación ha sido estructurado en cinco capítulos: en el primero, emergen respectivamente los Antecedentes, Planteamiento del Problema, Objetivos, Alcances, Limitaciones y Justificación del trabajo. En el segundo capítulo, se expone la teoría concerniente a diversas áreas de interés como son: el cemento, materiales pétreos, agua para mezcla, generalidades del concreto, diseño de mezclas para concreto de peso normal, literatura de los Módulos de Elasticidad, Ruptura y Poisson, así como también generalidades sobre pavimentos de concreto hidráulico.

En el tercer capítulo se exponen los ensayos de laboratorio practicados en los agregados pétreos, especímenes cilíndricos y prismáticos.

El Cuarto capítulo está conformado por el análisis estadístico de los resultados obtenidos a través de las pruebas. Este análisis incluye la elaboración de cartas de control que sirven para examinar las variaciones producidas por diversos factores, así como también los métodos estadísticos para obtener la ecuación que relaciona los módulos en estudio.

Las conclusiones y recomendaciones del caso son escritas en el capítulo cinco, para finalizar con la bibliografía y anexos; en estos últimos, se agregan todos los resultados de los ensayos de los agregados, procedentes del Río Jiboa y la Cantera San Diego, proveedores de Concretera Salvadoreña. También se incluye la secuencia fotográfica que muestra la elaboración, curado, transporte y ensayo de los especímenes utilizados para nuestro propósito.

El cemento empleado para la mezcla de concreto es regido por la norma ASTM C 1157, Tipo HE, conocido comercialmente en nuestro país como CESSAPAV, el cual fue patrocinado por el Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC).

El trabajo de laboratorio se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil de nuestra Universidad, así como también en el Laboratorio de la empresa Concretera Salvadoreña.

INDICE GENERAL

CONTENIDO.	PAGINA.
CAPITULO I: GENERALIDADES.	1
1.1 Introducción.	1
1.2 Antecedentes.	2
1.3 Planteamiento del Problema.	4
1.4 Objetivos.	6
1.4.1 Objetivo General.	6
1.4.2 Objetivos Específicos.	6
1.5 Alcances y Limitaciones.	7
1.5.1 Alcances.	7
1.5.2 Limitaciones.	8
1.6 Justificación.	9
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.	11
2.1 Introducción.	11
2.2 Cemento.	12
2.2.1 Generalidades.	12
2.2.2 Cementos Hidráulicos.	12
2.2.3 Principales características físicas de los cementos.	14
2.3 Cementantes del Concreto Hidráulico.	17
2.3.1 Propiedades Especiales de los Cementos Hidráulicos.	19
2.3.2 Cementos Producidos Actualmente en El Salvador.	22
2.4 Materiales Pétreos Utilizados en Pavimentos de Concreto Hidráulico.	22
2.4.1 Características de los Agregados y sus Efectos en el Concreto.	26
2.5 Agua para Concreto.	28
2.5.1 Consideraciones Generales.	28
2.5.2 Efectos del Agua en el Concreto.	31
2.6 Concreto.	32

2.6.1. Generalidades.	32
2.6.2 Evolución de los Cambios de Estado del Concreto.	35
2.6.3 Propiedades del Concreto.	38
2.6.3.1 Concreto Fresco.	38
2.6.3.2 Concreto Endurecido.	41
2.7 Diseño de Mezclas de Concreto de Peso Normal.	46
2.7.1 Generalidades.	46
2.7.2 Métodos de Dosificación.	50
2.7.2.1 Método de Diseño a Partir de Datos de Campo.	51
2.7.2.2 Método de Diseño por Mezclas de Prueba.	54
2.7.2.3 Procedimiento General para la Dosificación de Mezclas de Concreto.	55
2.8 Módulo de Elasticidad (E_c).	66
2.9 Módulo de Ruptura (Resistencia de tensión por Flexión).	77
2.10 Relación de Poisson.	83
2.11 Definición de Pavimento.	86
2.11.1 Terminología, Función y Características de las Capas de un Pavimento.	88
2.11.2 Clasificación de los Pavimentos.	92
2.11.3 Juntas en los Pavimentos Rígidos.	94
2.11.3.1 Tipos de Juntas.	96
2.11.3.2 Mecanismos de Transmisión de Cargas.	103
2.11.3.3 Tipos de Pavimentos Rígidos.	104
 CAPITULO III: REALIZACION DE ENSAYOS DE LABORATORIO.	 115
3.1 Introducción	115
3.2 Pruebas para controlar la calidad de los agregados.	116
3.2.1 Practica Estándar para reducción de las Muestras de Agregado al Tamaño de Prueba. ASTM Designación: C 702-01.	116

3.2.2 Método de Ensayo Estándar para Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado. ASTM Designación C 566 – 97.	125
3.2.3 Método de Ensayo Estándar para Análisis por Malla de Agregados Grueso y Fino. ASTM Designación: C136-01.	131
3.2.4 Método de Prueba Normal para Resistencia al Desgaste de Agregado Grueso de Tamaño Pequeño por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles. ASTM Designación: C 131 – 03.	143
3.2.5 Método estándar para la Sanidad de Agregados Usando Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio. ASTM designación C-88- 99 ^a .	149
3.2.6 Método estándar para la Prueba de Partículas Planas y Alargadas en Agregado Grueso. ASTM Designación D4791-89.	159
3.2.7 Método de Ensayo Estándar para la determinación de Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino para Concreto. ASTM Designación: C 40 – 99.	165
3.2.8 Método de Ensayo Estándar para Densidad Bruta (Peso Unitario) y Vacíos en los Agregados. ASTM Designación: C 29 / C 29M – 97.	171
3.2.9 Método de Ensayo Estándar para la determinación Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), y Absorción del Agregado Grueso. ASTM Designación C 127 – 01.	184
3.2.10 Método de Ensayo Estándar para Gravedad Especifica y Absorción del Agregado Fino ASTM Designación C 128 – 00.	199
3.3 Prueba para Controlar la Calidad del Cemento.	216
3.3.1 Consistencia Normal y Tiempo de Fraguado Inicial del Cemento por medio de las Agujas de Vicat. ASTM Designación C – 187 y ASTM, Designación C – 191, Respectivamente.	216
3.4 Ensayos para Controlar la Calidad del Concreto.	223
3.4.1 Método de prueba estándar para determinar revenimiento de concreto de cemento hidráulico. ASTM Designación C143/C143M – 00	223

3.4.2	Práctica Normalizada para la Elaboración y Curado en el Campo de Especímenes de Prueba de Concreto. ASTM Designación C 192-91.	228
3.4.3	Práctica Estándar para Uso de Tapas no Adheridas en la Determinación del Esfuerzo de Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido. ASTM Designación: C 1231-00.	243
3.4.4	Método de Ensayo Estándar para Determinar Esfuerzos de Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto. ASTM Designación: C39/C39M-01.	248
3.4.5	Método Normal de Prueba para Obtener el Módulo de Elasticidad y la Relación de Poisson en Concreto a Compresión ASTM Designación: C 469-02.	256
3.4.6	Método de Ensayo Estándar para la Resistencia a Flexión del Concreto (Usando Viga Simplemente apoyada con carga en los tercios medios del claro). ASTM Designación C 78 – 02.	265
3.5	Diseño de mezclas de concreto.	271
3.5.1.	Diseño de mezcla para Modulo de Ruptura $MR = 40 \text{ Kg/cm}^2$	271
3.5.2	Diseño de mezcla para un Modulo de Ruptura $MR = 45 \text{ Kg/cm}^2$.	275
3.6	Sinopsis de la elaboración de especímenes de concreto en laboratorio.	279
3.6.1	Módulo de Elasticidad.	279
3.6.2	Módulo de Ruptura.	279
3.6.3	Ejemplo de Cálculo de los Módulos Elasticidad, Ruptura y Poisson.	280
CAPÍTULO IV ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS.		295
4.1	Introducción.	295
4.2	Cartas de Control.	296
4.2.1	Gráfica de Control de Medias.	297
4.2.2	Construcción de las Cartas de Control.	298
4.2.3	Criterios para estimar situaciones fuera de control.	299

4.3 Construcción de las cartas de control para el Módulo de Ruptura y el Módulo de Elasticidad.	300
4.4 Métodos Estadísticos utilizados para el cálculo de la correlación entre el Modulo de Ruptura y el Modulo de Elasticidad del concreto.	306
4.4.1 Regresión.	306
4.4.1.1. Cálculo de la ecuación de regresión por el método de los mínimos cuadrados.	309
4.4.2 Correlación.	313
4.4.2.1 Tipos de correlación.	313
4.4.2.2 Cálculo del coeficiente de correlación por el método producto – momento de Karl Pearson.	317
4.5 Cálculo de diseño de espesores de pavimentos de concreto hidráulico	320
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	326
5.1 Introducción.	326
5.2 Conclusiones.	326
5.3 Recomendaciones.	331
BIBLIOGRAFÍA.	335
ANEXOS	

INDICE DE FIGURAS

Fig 2.1 Distribución adecuada de los ingredientes en la masa de concreto.	33
Fig. 2.2 Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usados en el concreto sin aire incluido.	34
Fig. 2.3 Curva de evolución del fraguado del Concreto.	36
Fig. 2.4 Tipos de segregación que se puede producir en el concreto.	40
Fig. 2.5 Cilindro de concreto sometido a compresión.	42
Fig. 2.6 Secuencia general de pasos para la dosificación de mezcla de concreto.	65
Fig. 2.7 Representación esquemática de las deformaciones de un espécimen cilíndrico de concreto a compresión axial, durante y después de la aplicación de carga.	66
Fig. 2.8 Representación gráfica característica de la correlación entre esfuerzos y deformaciones del concreto sometido a un proceso de carga axial a compresión y descarga.	67
Fig. 2.9 Gráficas esfuerzos - deformaciones de los agregados, la pasta de cemento y el concreto, determinadas individualmente.	68
Fig 2.10 Declinación de la curva esfuerzo – deformación unitaria del concreto conforme evoluciona el crecimiento de grietas.	70
Fig. 2.11 Criterio para definir el Módulo de Elasticidad Estático a compresión del concreto (ASTM C 469).	71
Fig. 2.12 Grafica esfuerzo deformación unitaria, completas, para concretos de diferentes Resistencias a compresión.	74
Fig. 2.13 Comparación de expresiones propuestas para estimar el módulo de elasticidad del concreto en función de su resistencia a compresión.	77
Fig. 2.14 Representación esquemática de los procedimientos usuales para determinar la resistencia a tensión del concreto.	79
Fig. 2.15 Influencia del contenido unitario de agregados en la Relación de Poisson del concreto.	85
Fig 2.16 Sección Típica de un Pavimento.	88

Fig. 2.17 Capas que forman un pavimento flexible.	93
Fig. 2.18 Capas que forman un Pavimento Rígido.	94
Fig. 2.19 a Vista en planta del Pavimento de Concreto sin Juntas.	95
Fig. 2.19 b Vista de sección de losa en comportamiento alabeo diurno y nocturno.	96
Fig. 2.20. A) Profundidad del Corte y Sellado de Juntas. (Sección transversal).	
B) Junta Machihembrada (Sección transversal del Pavimento).	97
Fig. 2.20 C) Junta Longitudinal de Construcción.	98
Fig. 2.21 Junta Transversal de Contracción.	99
Fig. 2.22 Junta Transversal de Expansión.	100
Fig. 2.23 Junta Transversal de Construcción.	100
Fig. 2.24 Juntas Especiales.	101
Fig. 2.25 Sellos de Compresión Preformados.	102
Fig. 2.26 Mecanismo de Transmisión de carga por medio de la trabazón de agregados.	103
Fig. 2.27 Mecanismo de Transmisión de carga por medio de pasadores.	104
Fig. 2.28 Mecanismo de Transmisión de carga por medio de junta machihembrada	105
Fig 2.29 a) Pavimento de concreto simple.	
b) Pavimento de concreto simple con dovelas, llamadas también pasadores.	107
Fig 2.30 Pavimento de concreto compactado.	109
Fig 2.31 a) Pavimento con refuerzo discontinuo distribuido no estructural.	
b) Pavimento con refuerzo continuo sin función estructural.	111
Fig 2.31 c) Pavimento de concreto con refuerzo estructural.	
d) Sección transversal de un pavimento de concreto con fibras de acero.	112
Fig 2.32 Pavimento Pretensado.	113
Fig 2.33 Pavimento Prefabricado.	114
Fig 3.1 Cuarteador mecánico para agregado grueso.	120
Fig 3.2 Cuarteador mecánico para agregado fino.	120
Fig 3.3 Pasos para el cuarteo manual sobre una superficie plana.	122
Fig 3.4 Pasos para el cuarteo manual sobre una lona.	123

Fig 3.5 Tamices Certificados de abertura cuadrada, usados para el ensayo granulométrico.	134
Fig 3.6 Tamizado. (Ro - Tap).	137
Fig 3.7 Maquina de Abrasión Los Ángeles.	144
Fig 3.8 Botella de gravedad especifica de vidrio. (Picnómetro) 100 ml y 25 ml.	150
Fig 3.9 Calibrador proporcional.	160
Fig 3.10 Calibrador proporcional. Fuente: ASTM C 4791-89.	160
Fig. 3.11 Carta de colores.	167
Fig. 3.12 Recipiente estandarizado para la obtención del peso volumétrico.	174
Fig 3.13 Picnómetro para arena y grava fina.	203
Fig 3.14 Cono y pison para la determinación de la absorción de arena.	203
Fig 3.15 Aparato de vicat.	217
Fig 3.16 Conjunto portátil para ensayo de asentamiento.	255
Fig 3.17 Moldes Cilíndricos de acero. (6 x 12 “).	230
Fig 3.18 Moldes de alta resistencia para viga.	231
Fig 3.19 Vibrador de concreto fresco.	232
Fig 3.20 Máquina de Ensayo Universal.	250
Fig. 3.21 Dispositivos sensibles compresómetro para cilindros de concreto.	258
Fig. 3.22 Compresómetro ideal para la determinación del Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson.	259
Fig. 3.23 Ensayo de flexión en vigas aplicando carga al tercio medio.	265
Fig. 4.1 Carta de Control para E_c ($MR = 40 \text{ kg/cm}^3$).	303
Fig. 4.2 Carta de Control para E_c ($MR = 45 \text{ kg/cm}^3$).	304
Fig. 4.3 Carta de Control para MR ($MR = 45 \text{ kg/cm}^3$).	305
Fig. 4.4 Carta de Control para MR ($MR = 40 \text{ kg/cm}^3$).	306
Fig. 4.5 Diagrama de dispersión que muestran varios grados de relación entre dos variables.	315
Fig. 4.6 Gráfico de correlación $MR - E_c$.	319

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.0 Número de kilómetros construidos de pavimentos rígidos en vías Urbanas y carreteras de nuestro país.	9
Tabla 1.1 Metros cúbicos de concreto hidráulico en vías urbanas de nuestro País.	9
Tabla 2.1. Normas para los cementos hidráulicos.	16
Tabla 2.2 Cementos con adiciones activas bajo la Norma ASTM C – 595.	21
Tabla 2.3 Cementos con adiciones activas según la Norma ASTM C – 1157.	21
Tabla 2.4 Algunos cementos producidos actualmente en El Salvador.	22
Tabla 2.5 Principales aspectos del concreto influidos por los agregados.	28
Tabla 2.6 Peso promedio observado en concretos frescos.	46
Tabla 2.7 Factor de modificación para la desviación estándar, cuando se dispone de menos de 30 ensayos.	53
Tabla 2.8 Resistencia a la compresión promedio requerida, cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar.	54
Tabla 2.9 Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción.	56
Tabla 2.10 Contenido aproximado de aire en el concreto para varios grados de exposición.	58
Tabla 2.11 Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado.	59
Tabla 2.12 Correspondencia entre al relación agua/cemento y la resistencia a compresión del concreto.	61
Tabla 2.13 Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación agua/cemento.	62
Tabla 2.14 Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.	64
Tabla 3.1 Tamaño de Muestra para Agregado Grueso.	127
Tabla 3.2 Limites de graduación del agregado fino.	133
Tabla 3.3 Tamaño de la muestra de ensayo de agregado grueso.	134
Tabla 3.4 Requisitos de la norma ASTM C-33 para granulometría de	

agregados gruesos.	135
Tabla 3.5 Información requerida y Forma de cálculo para granulometría de agregados.	138
Tabla 3.6 Graduación de la muestra de ensayo	145
Tabla 3.7 Carga Abrasiva según granulometría de ensaye.	146
Tabla 3.8 Rango de tamaño por cada fracción a ensayar.	152
Tabla 3.9 Tamaño de muestra de agregado grueso según granulometría.	153
Tabla 3.10 Mallas para determinar perdidas según tamaño de agregado en el ensayo de sanidad.	155
Tabla 3.11 Tamaño en el que se conformara la mezcla de prueba.	161
Tabla 3.12 Colores estándar Gardner.	169
Tabla 3.13 Capacidad del Depósito Medidor	174
Tabla 3.14 Requisitos para Depósitos Medidores	175
Tabla 3.15 Valores de densidad según la temperatura.	177
Tabla 3.16 Masa mínima de la muestra para el ensayo.	191
Tabla 3.17 Tabla de precisión y rango aceptable entre dos resultados.	209
Tabla 3.18 Número de capas requeridas por el espécimen.	235
Tabla 3.19 Número de golpes de varilla apisonadora en moldes cilíndricos.	236
Tabla 3.20 Requisitos para uso de almohadillas de Neopreno.	244
Tabla 3.21 Edad de los especímenes y tolerancias permitidas para su ruptura.	253
Tabla 3.22 Factor de corrección para la relación longitud y diámetro menores a 1.8.	255
Tabla 3.23 Valores máximos de deformación en probetas ensayadas.	262
Tabla 3.24 Cantidades de especímenes elaborados para determinar el Módulo de Elasticidad.	279
Tabla 3.25 Cantidades de especímenes elaborados para determinar el Módulo de Ruptura.	279
Tabla 3.26 Determinación de E_c (Para $MR = 40 \text{ kg/cm}^2$).	283

Tabla 3.27 Determinación de E_c (Para $MR = 45 \text{ kg/cm}^2$).	286
Tabla 3.28 Determinación de MR (Para $MR = 40 \text{ kg/cm}^2$).	289
Tabla 3.29 Determinación de MR (Para $MR = 45 \text{ kg/cm}^2$).	292
Tabla 4.1 Cálculo de parámetros para construcción de las Cartas de Control para E_c ($MR = 40 \text{ kg/cm}^3$)	302
Tabla 4.2 Cálculo de parámetros para construcción de las Cartas de Control para E_c ($MR = 45 \text{ kg/cm}^3$)	303
Tabla 4.3 Cálculo de parámetros para construcción de las Cartas de Control para MR ($MR = 45 \text{ kg/cm}^3$)	304
Tabla 4.4 Cálculo de parámetros para construcción de las Cartas de Control para MR ($MR = 40 \text{ kg/cm}^3$)	305
Tabla 4.5 Datos para el cálculo de la ecuación de regresión.	309
Tabla 4.6 Datos para el cálculo de coeficiente de correlación.	317

CAPITULO I: GENERALIDADES.

1.1 Introducción.

El diseño y construcción de pavimentos de concreto hidráulico destinados a soportar diversas intensidades de tráfico se orienta hacia una optimización del conjunto de características estructurales (capacidad estructural para soportar solicitaciones de carga, durabilidad, etc.) y funcionales (confort, seguridad, resistencia al deslizamiento, regularidad superficial, baja generación de ruido, etc), combinada con una significativa disminución de los costos de construcción. Fundamentalmente, la maximización de la parte económica se consigue mediante el empleo de equipos, técnicas y nuevos estudios, permitiendo un incremento de los rendimientos y funcionalidad, sin sacrificar la calidad.

Como parte de los nuevos estudios e investigaciones que se realizan para lograr lo propuesto en el párrafo anterior, se ha tomado a bien el estudio de los factores o aspectos que intervienen en el diseño de los pavimentos rígidos. Uno de estos factores es la relación que existe entre el Modulo de Elasticidad (E_c) y el Módulo de Ruptura (MR), mismos que son incluidos en la obtención de los espesores de pavimentos de concreto hidráulico.

De aquí que a través de éste trabajo de graduación, se pretende llevar a cabo un estudio amplio y detallado en la búsqueda de una correlación local más adecuada entre

estos módulos, generando mayor confianza y economía en el diseño. Esto se lograría por medio de un estudio focalizado, a saber: la utilización de equipo y materiales existentes en nuestro país y así obtener la relación matemática local que vincula el módulo de ruptura y elasticidad del concreto. Para obtener dicha relación, se llevarán a cabo pruebas de laboratorios de algunos materiales áridos locales necesarios para el diseño, además, el correspondiente proporcionamiento de la mezcla a utilizar para la elaboración de especímenes.

La realización de este trabajo de graduación se llevará a cabo en cuatro capítulos, con el orden siguiente: Generalidades, Marco Teórico Conceptual, Realización de ensayos de laboratorio, análisis e interpretación de los resultados de las pruebas y, determinación de la correlación entre el E_c y el MR.

1.2 Antecedentes.

Los ingenieros y técnicos en carreteras tienen conocimiento sobre la tecnología de pavimentos de concreto hidráulico, utilizando dicha tecnología con mucho éxito a través del tiempo; prueba de ello son los pavimentos construidos hace más de 70 años en ciudades como San Salvador y Santa Ana, el tramo de la carretera CA-1 entre La Cuchilla y el kilómetro 34, con más de 30 años, soportando cargas muy superiores a las de diseño.

Entre los parámetros utilizados por el Método de diseño AASHTO, se encuentran los siguientes:

- ⚡ Cargas por tráfico.
- ⚡ Capacidad de soporte de las capas de apoyo.
- ⚡ Condiciones ambientales.
- ⚡ Nivel de confianza y desviación estándar.
- ⚡ Coeficiente de transferencia de carga.
- ⚡ Pérdida de serviciabilidad del diseño.
- ⚡ Módulo de Elasticidad (E_c) y Módulo de Ruptura (MR) del concreto.

Vale la pena mencionar que el último ítem apuntado es empleado por la mayoría de métodos de diseño de pavimentos de concreto hidráulico.

Hasta la fecha, existe documentación local limitada del tema en cuestión; sin ser acorde a la realidad de nuestro ambiente. Particularmente, sólo algunos informes de proyectos carreteros contemplan fórmulas basadas en los resultados obtenidos*. Por lo que es necesario contar con un estudio completo referente a la correlación existente entre el MR y E_c , misma que constituye un pilar fundamental en el cálculo de espesores de losas para pavimentos. Actualmente, para el diseño estructural de pavimentos la relación E_c -MR se fundamenta en documentos extranjeros como: La Asociación Americana de Transporte y Carreteras Oficiales (AASHTO, publicación de 1993),

* Entre ellas Investigaciones realizadas por el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC).

Asociación del Cemento Pórtland (PCA) y el Instituto Americano del Cemento (ACI), auxiliándose de las Normas Americanas para Pruebas de Materiales (conocida por sus siglas en inglés como ASTM) entre otras.

1.3 Planteamiento del Problema.

La red vial de El Salvador muestra una acelerada recuperación y expansión a la vez después de finalizado el conflicto armado de los años 80's, década en que nuestras carreteras sufrieron serios daños en toda su estructura, abonándole también la falta de mantenimiento adecuado y el uso de dichas vías después de haber finalizado su período de diseño. Además, los problemas políticos y sociales que experimentó el país ocasionaron en forma indirecta el abandono y descuido de las mismas, lo que propició un mayor deterioro.

A raíz de lo anterior nuestro país se vió envuelto en un estado de crisis que trajo consigo una maltratada economía, aspecto que condujo a la búsqueda de alternativas que dieran soluciones más apegadas a la realidad de la época; lo que implicó la optimización en todas las áreas involucradas en el desarrollo del país; siendo una de ellas, como se mencionó anteriormente, las vías de transporte terrestre.

Para realizar cambios significativos en dichas estructuras (pavimentos), es necesario el uso de técnicas ya sea para la rehabilitación, reparación o construcción de nuevas vías; realizando alternativas varias para el mejoramiento estructural y funcional

de pavimentos, específicamente para los de Concreto Hidráulico que son objeto de este estudio.

Actualmente, no se puede pasar desapercibida la importancia de la optimización de los diferentes rubros que se incluyen en el diseño y construcción de los pavimentos rígidos, al igual que en otras áreas de la ingeniería civil; por ello es menester el estudio detallado de los factores involucrados, con el fin de aprovechar al máximo los materiales y demás factores que participan en dicho proceso. Es por eso que surge la idea de realizar estudios especializados; como por ejemplo tenemos la relación existente entre el Módulo de Ruptura y el Módulo de Elasticidad que redundará en la economía de materiales a utilizar en el proceso constructivo de los pavimentos rígidos.

El problema entonces consiste en determinar la correlación de los módulos apuntados, con la utilización de material y mano de obra local, traduciéndose en la optimización de los recursos, para el caso: materiales pétreos, productos cementantes, mayor eficiencia en equipos y mano de obra, entre otros; esto se puede lograr con una difusa investigación que nos permita establecer una correlación entre los Módulos E_c y MR , con menos incertidumbre, para ser utilizada en el diseño de pavimentos. En nuestro medio éste tipo de investigación ha sido poco desarrollada, debido que hasta años recientes se han utilizado resultados de estudios extranjeros, considerados aceptables y aplicables; por lo que llevando a cabo indagaciones acerca del tema, y realizando los estudios para condiciones propias de nuestro país, se puede llegar a establecer una

correlación menos aproximada, y que se traduce en la reducción de costos del proyecto de diseño y construcción de carreteras elaboradas a base de concreto hidráulico.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General

- ⌘ Determinar la correlación entre el Módulo de Elasticidad (E_c) y el Módulo de Ruptura (MR) con materiales en condiciones locales para pavimentos de concreto hidráulico.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- ⌘ Realizar ensayos de laboratorio a los componentes más importantes que forman parte del concreto hidráulico: materiales áridos y cementante, con la finalidad de determinar sus características intrínsecas.
- ⌘ Determinar las proporciones en que cada material participa, de acuerdo a un diseño de mezcla, para una resistencia dada.
- ⌘ Elaborar cilindros y viguetas de los cuales se obtengan resultados consistentes con el diseño de mezcla, y que sustenten la correlación buscada.
- ⌘ Basándose en un análisis estadístico, elaborar las tablas necesarias para obtener la ecuación que relacione los Módulos E_c y MR del concreto.

1.5 Alcances y Limitaciones

1.5.1 Alcances.

- ⌘ Este estudio comprenderá la determinación de la correlación entre el E_c y MR del concreto, con la finalidad de ser incluida en el diseño de espesores de pavimentos de concreto hidráulico, tomando en consideración las publicaciones más recientes de AASHTO.
- ⌘ Elaboración de un documento que sirva de apoyo a los interesados en el área de diseño de pavimentos de concreto hidráulico.
- ⌘ Para determinar la correlación entre el E_c y MR del concreto se empleará arena del “Río Jiboa” y grava de la cantera “San Diego” principales abastecedores del Área Metropolitana de San Salvador.
- ⌘ La investigación se realizará con las resistencias a flexión de 40 kg/cm^2 (tráfico de mediana intensidad) y 45 kg/cm^2 (tráfico de alta intensidad); siendo estas las más utilizadas en el diseño de pavimentos de concreto hidráulico.
- ⌘ Se elaboraran treinta (30) ensayos consecutivos, para completar una muestra representativa, (entendiéndose como ensayo la resistencia promedio de dos especímenes tomados de una misma muestra), esto implica la fabricación de cilindros de prueba, los cuales serán ensayados para obtener la resistencia a compresión (f'_c) y el Módulo de Elasticidad (E_c); de igual forma se elaboraran

vigas que serán ensayadas a flexión para obtener el Módulo de Ruptura (MR), ambos a los 28 días.

- ⌘ Para la elaboración de viguetas y cilindros, se utilizará cemento CESSAPAV Tipo HE, el cual está regido por la norma ASTM C 1157, tomando en consideración que su producción tiene la finalidad de ser utilizado para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico y, en lo referente al agua, ésta procederá del agua potable que se le suministra a la Universidad de El Salvador.

1.5.2 Limitaciones.

- ⌘ La información en el ámbito local sobre una correlación entre el E_c y el M_r , es reducida, pues la única experiencia documentada es la que se ha obtenido de los datos recopilados a través de las pruebas de laboratorio (vigas y cilindros) realizadas en el proyecto “Rehabilitación de Autopista San Salvador-Comalapa-Aeropuerto, utilizando sobrecapas de Concreto Hidráulico (Whitetopping).
- ⌘ Debido a lo limitado del recurso bibliográfico local, se deberá recurrir a publicaciones como la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, basada en las Especificaciones AASHTO 1993, diversos comités ACI, documentos de la PCA etc, ya que nuestro país no cuenta con una guía específica para el diseño de las estructura citadas en la que se hayan estudiado y analizado datos de materiales locales.

- ✦ Disponibilidad de equipo de laboratorio para la ejecución de las pruebas necesarias para nuestro propósito en el tiempo requerido.

1.6 Justificación

En nuestro país se han construido pavimentos de concreto desde la década de los 20's hasta los 70's; cobrando auge nuevamente en la década de los 90's y 2000 en las vías urbanas, como se observa a continuación:

PAVIMENTOS RIGIDOS EN VIAS URBANAS Y CARRETERAS DE EL SALVADOR	
AÑOS	TOTAL DE KILÓMETROS CONSTRUIDOS
1920 – 1930	4.00
1960 – 1970	4.00
1970 – 1980	14.62
1998 – 1999	48.0

Tabla 1.0 Número de kilómetros construidos de pavimentos rígidos en vías urbanas y carreteras de nuestro país. Fuente: Diseño de Pavimentos de Concreto Hidráulico Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC)

PAVIMENTOS RIGIDOS EN VIAS URBANAS	
AÑOS	M ³ DE CONCRETO HIDRAULICO
1999 – 2001	20,679.

Tabla 1.1 Metros cúbicos de concreto hidráulico en vías urbanas de nuestro País Fuente: Diseño de Pavimentos de Concreto Hidráulico Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC)

NOTA: Los datos sobre pavimentos rígidos de nuestro país se han separado, debido a que en los años 1999 - 2001 los pavimentos construidos están expresados en m².

El desarrollo experimentado en el área de Pavimentos de concreto Hidráulico para los últimos años, hace necesaria la optimización en la aplicación de cada uno de los métodos de diseño, ya que la demanda en el uso de este tipo de pavimento lo requiere. Es por lo anterior que impera la necesidad de la realización de estudios más exhaustivos y prolijos, tanto en el diseño como en la construcción de estos

Es en este sentido que se justifica para este trabajo de graduación el análisis y posterior determinación de un componente importante del diseño, como lo es la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura, a partir de la utilización de materiales locales.

La citada correlación se pretende obtener a través de pruebas de laboratorio y documentos que tratan sobre temas relacionados con la misma.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.

2.1 Introducción.

Para determinar experimentalmente la correlación entre el Módulo de Ruptura y Módulo de Elasticidad, utilizado en el diseño de pavimentos de concreto hidráulico, resulta importante el conocimiento de ciertas áreas involucradas en el tema, además es conveniente aplicar algunos términos que requieran una definición previa y que en el presente capítulo se establecerán.

En este trabajo se abarcan temas inherentes al trabajo de investigación, por ejemplo: Conceptos básicos de pavimentos, generalidades acerca de cada uno de los componentes involucrados en la elaboración del concreto, proporcionamiento de mezclas de concreto hidráulico y principalmente el estudio básico e individual de cada uno de los módulos inmersos en la correlación.

La teoría expuesta se apoya en diversos gráficos y tablas que aparecen en el orden conveniente y asociados a cada uno de los temas que se estudian.

2.2 Cemento.

2.2.1 Generalidades.

En los primeros años del siglo diecinueve, el Británico Joseph Aspdin fue el primero en obtener una patente para fabricar un cemento a base del calentamiento de una mezcla de caliza finamente molida y arcilla, cuyo producto en polvo se endurecía al mezclarse con agua. Dicho producto fue nombrado “Cemento Pórtland” debido a su similitud con las rocas que se encuentran en la Isla de Pórtland.

Lo anterior fue el inicio de la industria de los cementos hidráulicos, la que ha ido perfeccionando sus procesos de producción y mejorando la selección de los materiales necesarios para su fabricación, de tal manera que el producto cementante cumpla ciertas características químicas y físicas a partir de un cuidadoso control de calidad.

2.2.2 Cementos Hidráulicos.

Son todos aquellos conglomerados que amasados con el agua, fraguan y endurecen, tanto expuestos al aire como sumergido en agua, presentando un proceso de reacción química que se conoce como hidratación.

El cemento Portland, se fabrica a partir de materiales minerales calcáreos tales como la caliza y materiales arcillosos con alto contenido de alúmina y sílice.

Con frecuencia es necesario adicionar productos como el óxido de hierro para mejorar la composición química de las materias primas principales. La mezcla de materias primas ha de hacerse de tal forma que cada uno de los componentes químicos básicos, se encuentren en proporciones previamente fijadas. El clínker que se obtiene calcinando la mezcla cruda, deberá poseer una cantidad correcta de los minerales fundamentales, es decir; de silicato tricálcico (C_3S), silicato dicálcico (C_2S), aluminato tricálcico (C_3A) y aluminoferrito tetracálcico (C_4AF).

En términos prácticos, se concede que los silicatos de calcio son los componentes más deseables, porque al hidratarse son los responsables de la resistencia mecánica y otras propiedades del concreto. El aluminato tricálcico es el compuesto que se hidrata con mayor rapidez, por lo que propicia mayor velocidad en el fraguado y en el desarrollo del calor de hidratación en el concreto. El aluminoferrito tetracálcico es un compuesto relativamente inactivo, pues contribuye poco a la resistencia del concreto.

Otro aspecto importante relativo a la composición química del clínker, se refiere a los álcalis, óxidos de sodio y potasio, cuyo contenido suele limitarse para evitar reacciones dañinas con ciertos agregados en el concreto (esto ha dado motivo para el establecimiento de un requisito químico opcional, aplicable a todos los tipos de cemento Pórtland, que consiste en ajustar el contenido de álcalis totales, expresado como Na_2O , a un máximo de 0.60 % cuando se requiere emplear el cemento junto con agregados reactivos).

Al obtener el clínker, éste se enfría y se tritura hasta lograr un polvo fino, el cual es mezclado con yeso para tener como producto final el cemento Portland. En algunos casos, además del yeso, se suman otros materiales con características especiales como por ejemplo puzolanas, que son materiales eminentemente sílico-aluminosos, que carecen de toda actividad hidráulica y propiedades cementantes por sí solos, conteniendo constituyentes que a temperaturas ordinarias y en presencia de agua, se combinan con el hidróxido de calcio para formar compuestos permanentemente insolubles en agua y estables, los que se comportan como conglomerantes hidráulicos

2.2.3 Principales características físicas de los cementos.

A pesar de que el cemento representa solamente entre 6% y 15% en peso de la mezcla, sus propiedades influyen grandemente en el comportamiento del mismo en cuanto a trabajabilidad y resistencia.

Algunas de las propiedades físicas importantes de este material cementante son las presentadas a continuación:

Finura: Dicha propiedad influye en el calor de hidratación, en la ganancia de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla de concreto. Los materiales cementantes más finos reaccionan de forma más rápida al contacto con el agua, con un correspondiente incremento en la ganancia de resistencias tempranas. También influye en la trabajabilidad, ya que a mayor finura del cemento se incrementa el área superficial. La

finura del cemento estará definida por el tamaño de la partícula del material; esta propiedad se expresa como: Retenido en tamiz No.325 (45 μm); Blaine: Superficie específica cm^2/g .

Hidratación: Es la reacción que se produce entre el agua y los componentes del cemento. Los factores determinantes en este proceso son el clinker, yeso, finura, temperatura y cantidad de agua.

Tiempo de Fraguado: Se refiere al cambio que sufre la pasta de cemento del estado fluido al estado rígido. Dicho valor es un índice del rango en el cual la reacción de hidratación está ocurriendo y se desarrolla la resistencia. Los productos formados por la hidratación constituyen un gel formando inicialmente una pasta más o menos fluida o plástica. El fraguado se produce en dos fases:

Fraguado inicial: Se da cuando la masa empieza a perder plasticidad, aun cuando incluso se nota cierta consolidación.

Fraguado final: Cuando por si solo y sin que se someta la pasta a presiones o cargas, esta conserva su forma.

Resistencia Mecánica: La resistencia del mortero o el concreto endurecido, esta con relación a las características del cemento usado. Dicha propiedad se determina a través de la resistencia a la compresión en cubos de mortero preparados, usando una arena de graduación estandarizada.

Clasificación de los cementos en función del desarrollo de su resistencia:

Alta resistencia inicial: en 72 horas alcanzan valores superiores a 4000 psi.

Endurecimiento rápido: son los que teniendo una resistencia considerable a 28 días, a la edad de 3 días han desarrollado al menos un 60% de su resistencia.

Endurecimiento lento: hasta los 7 días su crecimiento es lento, luego incrementa rápidamente pero de manera especial de los 28 a 90 días.

Algunas normas internacionales establecen ciertos requisitos que deben cumplir los cementos hidráulicos para garantizar su calidad. De acuerdo a lo establecido en la subsección 701.01 de Standar Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highways Projects, Edición 1996 (FP-96), el cemento hidráulico debe cumplir lo indicado en la especificación que le corresponde, según la tabla siguiente:

TIPO	ESPECIFICACIÓN
Cemento Pórtland	AASHTO M 85
Cemento Hidráulico Mezclado	AASHTO M 240
Cemento para Mampostería	ASTM C 91

Tabla 2.1. Normas para los cementos hidráulicos. FUENTE: Ministerio de Obras publicas. Unidad de Investigación y Desarrollo Vial. Especificaciones FP'96

Así también, las Especificaciones de la American Society for Testing and Materials (ASTM), establecen ciertos requisitos que deben cumplir los cementos hidráulicos para garantizar su calidad, las cuales se indican a continuación:

- a) ASTM C 91, Standar Specification for Masonry Cement.

- b) ASTM C 150, Standar Specification for Portland Cement.
- c) ASTM C 595, Standar Specification for Blended Hydraulic Cements.
- d) ASTM C 1157, Standar Performance Specification for Blended Hydraulic Cement.

Dichas normas, poseen dos tipos de especificación: las prescritas y las de comportamiento o desempeño. Las primeras, proporcionan límites en la composición química y restricciones en los ingredientes utilizados para la fabricación del cemento, que están indirectamente relacionados con el comportamiento. Mientras que las especificaciones por comportamiento o desempeño, únicamente limitan aspectos relacionados con las propiedades físicas, tales como tiempo de fraguado, resistencia y durabilidad, por lo que no restringen el uso de materiales o las proporciones de los mismos. Las normas ASTM C 150 y ASTM C 595 contienen ambos tipos de especificación. En cambio la norma ASTM C 1157, emitida en 1992, evalúa la calidad de los cementos combinados únicamente con base a su desempeño o comportamiento y en 1998 fue ampliada para evaluar los cementos Portland.

2.3 Cementantes del Concreto Hidráulico.

Los cementantes que se utilizan para la fabricación del concreto son hidráulicos, es decir, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, aún estando inmersos en ella, característica que los distingue de los cementantes aéreos que solamente fraguan y endurecen en contacto con el aire.

Los principales cementantes hidráulicos son las cales y cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas. De acuerdo con el grado de poder cementante y los requerimientos específicos de las aplicaciones, estos cementantes pueden utilizarse en forma individual o combinados entre sí. Al referirse específicamente al concreto convencional, como se emplea en la construcción, resultan excluidas las cales hidráulicas, por lo cual, sólo procede considerar los cementos, las escorias, los materiales puzolánicos y sus respectivas combinaciones. Por otra parte, bajo la denominación genérica de cementos hidráulicos, existen diversas clases de cemento con diferente composición y propiedades, entre los cuales tenemos los siguientes:

Cementos Pórtland: Son cementos que se obtienen por molienda conjunta de clínker y de la cantidad adecuada del regulador de fraguado.

Cementos Portland con Adiciones Hidráulicamente Activas: Son los cementos que se obtienen por molienda conjunta de clínker de cemento Portland y regulador del fraguado, en proporción igual o superior al 80% en peso, y escoria siderúrgica, puzolana o ambas en proporción igual o menor al 20% en peso.

Cementos Puzolánicos: Son los cementos que se obtienen por la molienda conjunta de clínker de cemento Portland y regulador del fraguado, en proporción inferior al 80% en peso y puzolana en proporción superior al 20% en peso.

Cementos Aluminosos: Son los cementos que se obtienen por la molienda de un clínker muy rico en aluminio.

Cementos de Mampostería: Son los cementos que se obtienen por la molienda de clínker de cemento Portland y regulador del fraguado con o sin adiciones hidráulicamente activas en proporción igual o superior al 60% en peso; y materiales plastificantes, tales como caliza o cal hidratada y otros materiales que mejoren una o más propiedades tales como la trabajabilidad, la retención de agua y el contenido de aire del mortero.

Cementos Blancos: Son cementos que, perteneciendo a los tipos de Portland o compuestos, presentan como propiedad adicional la de la blancura, determinada por la medida de su reflectancia luminosa direccional que no será menor del 70% del valor que corresponde al óxido magnésico en polvo, calidad reactiva para análisis. Su característica principal radica, en la ausencia del óxido férrico y otros minerales minoritarios con poder colorante.

2.3.1 Propiedades Especiales de los Cementos Hidráulicos.

En determinados casos el diseño de la obra podría requerir estructuras de concreto que para una mayor garantía, requiera de un cemento con propiedades especiales o adicionales, tales como: Alta resistencia inicial, Resistencia a los sulfatos, Bajo calor de Hidratación, etc.

El reporte del Comité ACI 225 define que las propiedades del Concreto dependen de la calidad y cantidad de sus constituyentes. En estos casos se justifica aún más la correcta selección del tipo de cemento. Dichos concretos pueden ser fabricados con: Cemento Portland, para lo cual es indispensable disponer de clínker especial;

Cemento Portland con adiciones activas, que para el caso se debe tener en cuenta que las adiciones crecientes hacen que las resistencias iniciales a la compresión y el calor de hidratación descienda; por el contrario, las resistencias químicas aumentan.

Los cementos Portland son especificados en la norma ASTM C-150, donde se clasifican en cinco tipos diferentes:

TIPO	CARACTERÍSTICA
I	Uso general.
II	Moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.
III	Alta resistencia inicial (Resistencia a la compresión).
IV	Bajo calor de hidratación.
V	Alta resistencia a los sulfatos.

Algunos cementos con adiciones activas regidos según la norma ASTM C – 595 se describen en la tabla siguiente:

TIPO	CARACTERÍSTICAS
-------------	------------------------

IS	Cemento Portland Siderúrgico, de uso general en la construcción de concreto
S	Cemento Siderúrgico, de uso en construcciones de concreto donde no son requeridas altas resistencias a edades tempranas
IP(MS)	Cemento Portland Puzolánico con moderada resistencias a los sulfatos
IS(MS)	Cemento Portland Siderúrgico con moderada resistencia a los sulfatos.
I (PM)	Cemento Portland modificado con puzolana, de uso general
IP	Cemento Portland puzolánico, de uso general
P	Cemento Puzolanico, de uso en construcciones donde no requiere altas resistencias
I(SM)	Cemento Portland Modificado con escoria de uso general en las construcciones de concreto.

Tabla 2.2. Cementos con adiciones activas bajo la Norma ASTM C – 595
Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000

También se tienen otros tipos de cementos con adiciones activas, pero regidos bajo la norma ASTM C – 1157, los cuales se describen en la tabla 2.3

TIPO	CARACTERÍSTICAS
GU	De uso general en la construcción
HE	De alta resistencia inicial
MS	De moderada Resistencia a los sulfatos
MH	De moderado calor de hidratación
LH	De bajo calor de hidratación

Tabla 2.3. Cementos con adiciones activas según la Norma ASTM C – 1157
Fuente: Manual de Tecnología del concreto. Sección I (CFE)

2.3.2 Cementos Producidos Actualmente en El Salvador.

En el proceso para definir y especificar el concreto potencialmente idóneo para cada aplicación en particular, es de trascendental importancia la selección del cemento apropiado, ya que de este dependerán significativamente las características y propiedades de la matriz cementante y por consiguiente del concreto.

Algunos cementos que actualmente se producen en nuestro país, se presentan en la tabla 2.4; la cual contiene el tipo, la norma y el nombre comercial del mismo.

TIPO	NORMA ASTM	NOMBRE COMERCIAL
Portland tipo I	C – 150	Cessa 5000
Cemento Hidráulico tipo GU	C – 1157	Maya
Portland Puzolánico tipo IP	C – 595	Cessa
Albañilería tipo M	C – 91	Cuscatlán
Cemento hidráulico tipo HE	C – 1157	Cessapav
Cessa tipo V	C - 150	Cessa

Tabla 2.4. Algunos cementos producidos actualmente en El Salvador. Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000

2.4 Materiales Pétreos Utilizados en Pavimentos de Concreto Hidráulico.

En las mezclas de concreto hidráulico convencional, los agregados suelen representar entre 60 y 75 % aproximadamente del volumen absoluto de todos los componentes; de allí, la notable influencia que las características de los agregados ejercen en las del concreto.

Una característica importante del concreto es su peso unitario, porque es índice de propiedades que a su vez influyen decisivamente en el empleo que se le da. Como es evidente, dicha característica del concreto depende principalmente del peso específico de los agregados que lo integran.

Procede hacer notar, que tanto los concretos ligeros como el concreto pesado, requieren de agregados especiales y tienen usos específicos que resultan fuera del campo de aplicación que se considera convencional, en el que casi todo el concreto que se utiliza es de peso normal. Nuestro país está formado en más del 90% por rocas volcánicas, el resto lo forman las sedimentarias, y éstas se encuentran localizadas en el norte de Santa Ana. La litología del país se clasifica como sigue:

Rocas volcánicas:

Por la composición química y mineralógica comprende rocas efusivas, riolíticas y dacíticas en mayor proporción, andesíticas y basálticas así como también materiales piroclásticos, en una mayor escala.

Rocas sedimentarias de origen orgánico:

Formadas generalmente por pequeños depósitos de diatómitas y lignitos.

Rocas de carácter intrusivo:

Clasificadas petrográficamente como granitos, granodioritas, monzonitas y dioritas.

Las rocas ígneas están compuestas por silicatos en forma cristalina y son debidas a las masas pastosas provenientes del interior de la tierra; no se presentan nunca en estratos, son macizas y generalmente atraviesan rocas.

Las rocas sedimentarias proceden de rocas eruptivas transformadas o disueltas, se aglomeran de nuevo en su propio lecho o fueron acarreadas a otras partes donde quedaron en forma suelta o coherente

Las rocas metamórficas generalmente se presentan estratificadas, provienen de rocas eruptivas y sedimentarias que han sufrido transformaciones posteriores, por reacciones superficiales o por la acción de elevadas temperaturas y presión.

La clasificación petrográfica ayuda a determinar las propiedades de un agregado, pero no ofrece ninguna base para predecir la actuación del concreto, pues no hay minerales universalmente deseables. Por otra parte, los agregados se clasifican como ligeros, de peso normal y pesado.

Agregado de peso ligero como los esquistos, lutitas, arcillas expandidas, pizarras, escorias esponjosas, piedra pómez volcánica entre otras; son utilizadas para producir concretos ligeros con peso volumétrico de 1.44 a 1.92 ton/m³.

Los agregados más comúnmente empleados como arena, grava, piedra triturada y escorias de altos hornos, producen concreto de peso normal de 2.16 a 2.56 ton/m³.

Materiales como la magnetita, barita, limonita, hierro, partículas de acero que son usadas para escudos de concreto contra radiación, producen concretos pesados con un peso volumétrico de 6.4 ton/m³.

En particular, el agregado de peso normal es el que se utiliza generalmente por ser práctico, dada la facilidad con que se obtienen estos agregados, y por que se pueden alcanzar resistencias satisfactorias sin un tratamiento especial.

De acuerdo a su tamaño, los agregados se clasifican en finos y gruesos. Los primeros comúnmente consisten en arena natural; la ASTM, los define como el material que pasa la malla #4 (4.76 mm) y se retiene en la malla # 200 (0.074 mm), las partículas entre 0.074 y 0.002 mm se clasifican como limos, y los más pequeños se denominan arcillas. Los agregados gruesos, son una combinación de gravas naturales o rocas trituradas y de acuerdo a la ASTM son el material que se retiene en la malla # 4 (4.76 mm).

Los agregados deben cumplir con ciertas características antes de ser utilizados, sus partículas deben ser durables, limpias, resistentes y libres de productos químicos, recubrimiento de arcilla y de otros materiales finos que puedan afectar la adherencia con la pasta, las partículas desmenuzables o que tiendan a resquebrajarse deben evitarse.

Las principales características a observar en los agregados para concreto son las siguientes:

- ⌘ Gravedad específica
- ⌘ Porosidad y absorción del agregado
- ⌘ Forma y textura de las partículas
- ⌘ Granulometría

- ⌘ Módulo de finura
- ⌘ Sanidad del agregado
- ⌘ Impurezas orgánicas
- ⌘ Humedad
- ⌘ Resistencia a la abrasión

2.4.1 Características de los Agregados y sus Efectos en el Concreto.

El examen de las características de los agregados y de su influencia en el comportamiento del concreto, no sólo es útil para establecer criterios de selección entre dos o más opciones de suministro, sino también para definir y especificar los tratamientos de beneficio y acondicionamiento a que pueden someterse los agregados que presentan deficiencias, cuando por ser opciones únicas o por otras razones deben utilizarse.

A manera de síntesis en la tabla No 2.5, se relacionan las principales características de los agregados y los correspondientes aspectos del comportamiento del concreto en que se ejerce mayor influencia, tanto para el caso del concreto recién mezclado como ya en estado endurecido.

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS	ASPECTOS INFLUIDOS EN EL CONCRETO	
	CONCRETO FRESCO	CONCRETO ENDURECIDO
Granulometría	Manejabilidad	Resistencia mecánica
	Requerimiento de agua	Cambios volumétricos
	Sangrado	Economía
Limpieza (materia orgánica, limo, arcilla y otros finos indeseables	Requerimiento de agua	Durabilidad
	Contracción plástica	Resistencia mecánica
		Cambios volumétricos
Densidad (gravedad específica)	Peso unitario	Peso unitario
Sanidad	Requerimiento de agua	Durabilidad
Absorción y porosidad	Pérdida de revenimiento	Durabilidad
	Contracción plástica	Permeabilidad
Forma de partículas	Manejabilidad	Resistencia mecánica
	Requerimiento de agua	Cambios volumétricos
	Sangrado	Economía
Textura superficial	Manejabilidad	Durabilidad
	Requerimiento de agua	Resistencia al desgaste
		Economía
Tamaño máximo	Segregación	Resistencia mecánica
	Peso unitario	Cambios volumétricos
	Requerimiento de agua	Peso unitario
		Permeabilidad
	Economía	
Reactividad con los álcalis		Durabilidad
Módulo de elasticidad		Módulo de elasticidad
		Cambios volumétricos
Resistencia a la abrasión		Resistencia a la abrasión
		Durabilidad

CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS	ASPECTOS INFLUIDOS EN EL CONCRETO	
	CONCRETO FRESCO	CONCRETO ENDURECIDO
Resistencia mecánica (por aplastamiento)		Resistencia mecánica
Partículas friables y terrones de arcilla	Contracción plástica	Resistencia mecánica
		Durabilidad
		Reventones superficiales
Coeficiente de expansión térmica		Propiedades térmicas

Tabla 2.5: Principales aspectos del concreto influidos por los agregados. Fuente: Manual de Tecnología del concreto. Sección I (CFE)

2.5 Agua para Concreto.

2.5.1 Consideraciones Generales.

En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas.

Aunque en estas aplicaciones, las características del agua tienen efectos de diferente importancia sobre el concreto, es usual que se recomiende emplear agua de una sola calidad en ambos casos. Así normalmente, en las especificaciones para concreto se

hace referencia en primer término a los requisitos que debe cumplir el agua para elaborar el concreto, porque sus efectos son más importantes, y después se indica que el agua que se utiliza para curarlo debe ser del mismo origen, o similar, para evitar que se subestime esta segunda aplicación y se emplee agua de curado con características inadecuadas.

En determinados casos se requiere, con objeto de disminuir la temperatura del concreto al ser elaborado, que una parte del agua de mezclado, se administre en forma de hielo molido. En tales casos, el agua que se utilice para fabricar el hielo debe satisfacer las mismas especificaciones de calidad que el agua de mezclado.

Como componentes del concreto convencional, el agua suele representar entre 10 y 25 por ciento del volumen del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo del agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera. Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aún en proporciones reducidas, puede tener efectos adversos significativos en el concreto.

Los requisitos de calidad del agua de mezclado para concreto no tienen ninguna relación obligada con el aspecto bacteriológico (como es el caso de las aguas potables), sino que básicamente se refieren a sus características físico – químicas y a sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto.

Cuando la obra se localiza en las inmediaciones de un centro de población, es pertinente distinguir entre el agua para uso doméstico y para uso industrial. La primera por lo general, reúne condiciones físico – químicas de potabilidad, salvo eventuales fallas en el aspecto bacteriológico, que pueden hacerla impropia para el consumo humano, pero no afectan al concreto. El agua para uso industrial por lo común no es potable, no sólo bacteriológicamente, sino también en el aspecto físico – químico, pues frecuentemente proviene del tratamiento de aguas negras o es agua reciclada de procesos industriales, por lo cual puede contener sustancias dañinas al concreto. Por tal motivo, siempre es necesario verificar la calidad del agua de uso industrial, a menos que tenga antecedentes de uso con buen éxito en la fabricación de concreto.

En sitios alejados de los centros de población, podemos encontrar los pozos, manantiales, corrientes superficiales (arroyos y ríos), almacenamientos naturales (lagos y lagunas) y almacenamientos creados artificialmente (vasos de presas). Salvo que existan antecedentes de uso del agua en la fabricación de concreto con buenos resultados, debe verificarse invariablemente su calidad antes de emplearla.

En cuanto al agua de mar, su principal inconveniente al ser juzgada como agua de mezclado para concreto, consiste en su elevado contenido de cloruros (mas de 20,000 ppm) que la convierten en un medio altamente corrosivo para el acero de refuerzo, y esto la hace inaceptable para su empleo en el concreto reforzado. Refiriéndose a las características físicas – químicas del agua para concreto, no parece haber consenso

general en cuanto a las limitaciones que debe imponerse, sin embargo, en lo que sí parece haber acuerdo, es que no debe tolerarse la presencia de sustancias que son francamente dañinas como: grasas, aceites, azúcares y ácidos, por ejemplo. La presencia de alguna de estas sustancias, que por lo demás no es común, debe tomarse como un síntoma de contaminación que requiere eliminarse antes de considerar la posibilidad de emplear el agua.

2.5.2 Efectos del Agua en el Concreto.

En diversas especificaciones y práctica recomendadas, al establecer la calidad necesaria para el agua de mezclado, se pone más énfasis en la valuación de los efectos que produce en el concreto, que en la cuantificación de las sustancias indeseables e impurezas que contiene. Esto aparentemente se justifica, porque tales reglamentaciones están dirigidas principalmente a construcciones urbanas, industriales o similares, cuyo concreto se produce en localidades donde normalmente se dispone de suministro de agua para uso industrial o doméstico.

Los efectos indeseables que el agua de mezclado de calidad inadecuada pueda producir en el concreto a corto plazo, normalmente se relacionan con el tiempo de fraguado y las resistencias iniciales, los de mediano plazo con las resistencias posteriores (28 ó más días) y los de largo plazo pueden consistir en el ataque de sulfatos, la reacción álcali – agregado y la corrosión del acero de refuerzo.

2.6 Concreto.

2.6.1. Generalidades

El concreto es la mezcla íntima de cantidades predeterminadas de cemento, agua y agregados, éstos materiales que son básicos para la elaboración del concreto, se les conoce como ingredientes. El cemento es el producto de la pulverización de materiales calcinados que en presencia del agua o de la humedad, reaccionan proporcionándole poderes aglutinantes. Los agregados son materiales pétreos, que sirven como relleno, generalmente de resistencia en el concreto. Los agregados se dividen, según el tamaño de sus partículas, en: agregado grueso o grava; que son aquellos cuyas partículas son mayores de 4.76 mm (tamiz No 4) y, agregados finos o arenas, aquellos, cuyas partículas son menores de dicha cantidad. El agua que se emplea, es la común y corriente que cumple con ciertos requisitos de calidad, al igual que el resto de los ingredientes.

Además de los materiales básicos, se le pueden integrar otros, líquidos o en polvo, llamados aditivos, con el fin de modificar una o varias de las características del concreto, que se desean y que no es posible lograrlo con ajustes sencillos en la cantidades de los ingredientes o con la selección adecuada de los mismos.

Una vez obtenida la mezcla de concreto, ésta se lleva a un molde determinado y por la operación de compactación o consolidación, se le reduce la cantidad de vacíos a un mínimo, quedando únicamente pequeñas burbujas de aire atrapado, que no es

conveniente extraer, debido a que cualquier práctica inadecuada provocaría disturbios en el producto final. En la Fig. 2.1, se observa el concreto bien terminado, presentando una estructura interna muy peculiar, en la que los diversos tamaños de los agregados quedan distribuidos uniformemente dentro de la masa, lo más próximos entre sí y rodeados completamente por los granos de cemento, que van a asegurar su aglutinamiento perfecto, durante las reacciones con el agua.

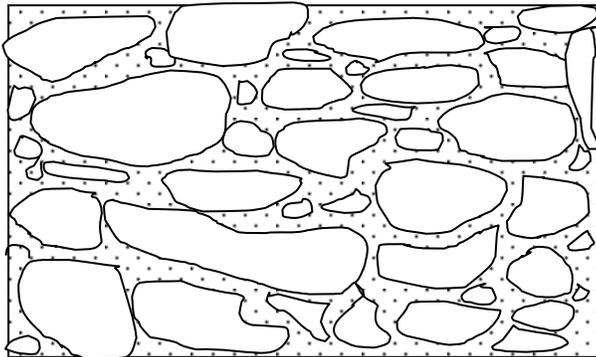


Fig 2.1 Distribución adecuada de los ingredientes en la masa de concreto. Fuente: Fabricación del concreto. (Ingenieros Civiles Asociados)

Puesto que el cemento es el ingrediente más costoso y el agua es función inversa a las características positivas del concreto, estos materiales deben llevarse a un mínimo, de acuerdo a los requisitos para la calidad deseada en el producto final.

Cuando las mezclas son pobres, o bajas en cemento (Fig. 2.2 a) los agregados alcanzan más del 75% del volumen total del concreto, contra un volumen absoluto de 7% del cemento y 16% del agua. Cuando las mezclas son ricas o altas en contenido de cemento (Fig. 2.2 b), los agregados intervienen con más del 60% en volumen, contra 15% del cemento y 21% del agua. Estas situaciones, muestran el intervalo de las

cantidades en volumen, que intervienen en el concreto común o concreto normal. Es importante observar que el aire atrapado, no es mayor del 3% en volumen y, dado a que los agregados representan la mayoría de todos los ingredientes, su selección debe ser muy cuidadosa, porque de su calidad dependerá mucho el comportamiento futuro del concreto.

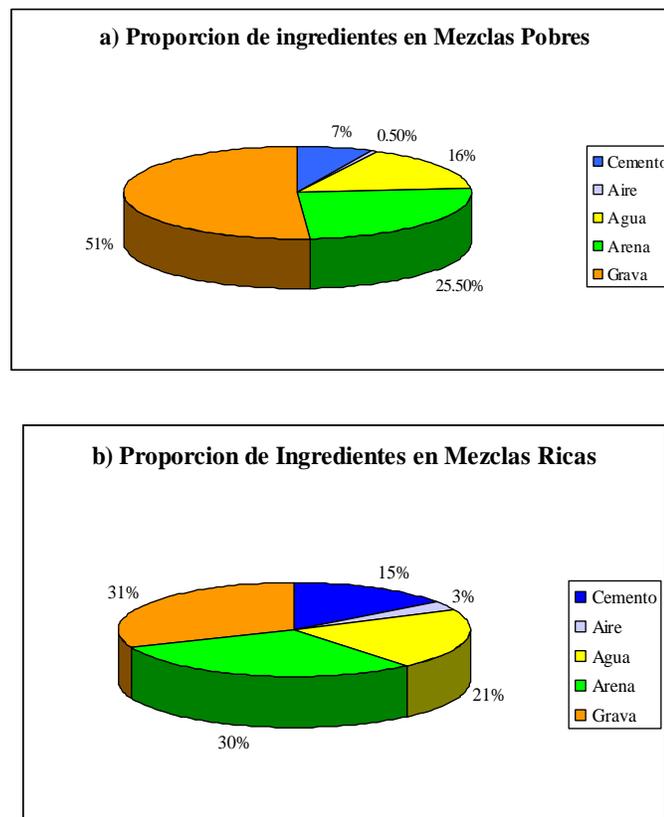


Fig. 2.2 Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usados en el concreto sin aire incluido. Fuente: Fabricación del Concreto. (Ingenieros Civiles Asociados)

2.6.2 Evolución de los Cambios de Estado del Concreto.

El concreto hidráulico convencional, recién elaborado, es un material que en pocas horas se transforma y cambia de estado, desde su condición inicial de masa blanda e informe hasta la de cuerpo rígido que toma la forma del molde en que se coloca, y después continúa evolucionando para adquirir con el tiempo sus propiedades definitivas como cuerpo duro y resistente.

Al concreto recién mezclado se le considera en estado fresco, mientras conserva suficiente blandura para ser moldeado, en tanto que al concreto ya colocado, se le considera como un material en curso de endurecimiento progresivo. Para dar el uso y tratamiento adecuados al concreto en ambos estados, es necesario reconocer sus respectivas características y propiedades, y los factores que las modifican, a fin de poder ajustarlas según convenga.

El proceso de solidificación y endurecimiento del concreto es el resultado de las reacciones químicas que se producen entre el cemento y el agua, reacciones que de manera global y de principio a fin corresponden al proceso de hidratación del cemento, el cual para fines prácticos se considera dividido en dos etapas, la del fraguado y la del endurecimiento propiamente dicho.

La etapa del fraguado, que normalmente dura pocas horas, corresponde al cambio de estado en que el concreto deja de ser un material blando para convertirse en

un cuerpo rígido pero frágil, es decir, el concreto recién fraguado es un material solidificado que prácticamente no posee resistencia mecánica.

Se considera que la etapa del verdadero endurecimiento, o de adquisición de resistencia mecánica, se inicia cuando termina el fraguado y se prolonga durante un lapso que dura meses, e incluso años.

En la fig.2.3 se muestra la curva de evolución del fraguado, que nos ilustra la forma en que se tipifica arbitrariamente cada etapa del proceso de cambio en la mezcla de concreto.

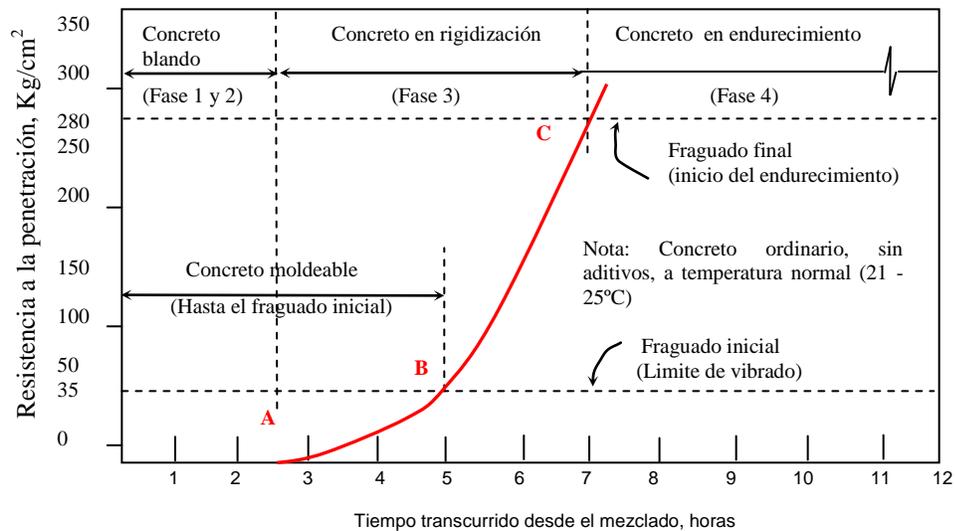


Fig. 2.3 Curva de evolución del fraguado del concreto. . Fuente: Manual de Tecnología del concreto. Sección IV. (CFE)

En esta figura se marcan tres puntos sobre la curva de evolución del fraguado. El punto A define el tiempo a partir del mezclado en que el concreto comienza a oponer resistencia a la penetración, es decir, empieza a adquirir rigidez.

El punto B corresponde al tiempo en que el concreto alcanza una resistencia a la penetración igual a 35 kg/cm^2 (500 lb/pulg^2), valor representativo de rigidez que por definición (ASTM C 403) se designa como "fraguado inicial". Finalmente, el punto C marca el tiempo en que el concreto manifiesta una resistencia a la penetración igual a 280 kg/cm^2 (4000 lb/pulg^2), que a su vez representa un estado de rigidez identificado como "fraguado final".

De acuerdo con lo anterior, puede considerarse que el estado fresco del concreto persiste hasta que se produce el fraguado inicial, y que el lapso previo a éste, es el tiempo máximo de que se dispone para realizar todas las operaciones correspondientes al mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto en los moldes. Es por tanto necesario, al referirse al concreto fresco, examinar los cambios de comportamiento que manifiesta en ese lapso y los efectos que dichos cambios pueden tener en la realización de esas operaciones.

2.6.3 Propiedades del Concreto.

Para poder definir las propiedades del concreto es conveniente separarlo en dos estados en que se presenta la masa que lo forma:

2.6.3.1 Concreto Fresco.

En este estado se identifican cuatro propiedades inherentes al concreto, las que se presentan a continuación:

Consistencia.

Es la habilidad relativa para fluir que tiene el concreto fresco, es decir, es el comportamiento de la masa en diferentes condiciones de humedad. Cuando la masa es muy fluida, se dice que tiene una “consistencia aguada”; cuando es de fluidez media, se le conoce como “consistencia plástica” y, cuando es poco fluida (rígida), tiene una “consistencia seca”.

Plasticidad.

Es la propiedad, por la cual, la masa se puede deformar, tomando las geometrías más caprichosas, sin perder su calidad original.

Fraguado.

Debido a las pérdidas del agua libre de la mezcla principalmente por la avidéz de agua del cemento, en sus primeras reacciones y ayudada en mayor o menor grado por la

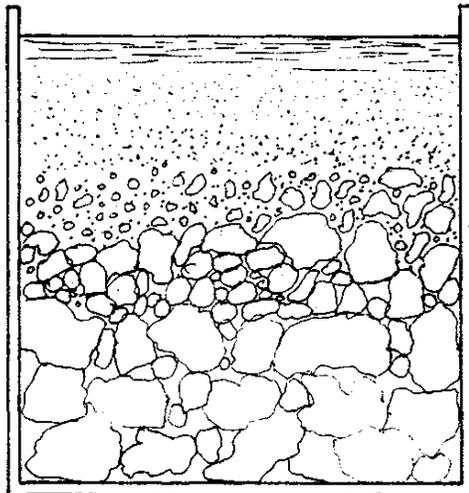
evaporación y por el desecamiento, la masa pierde gradualmente su fluidez y su plasticidad, transformándose en una masa rígida y resistente a la penetración, el fraguado del concreto, medido como la resistencia a la penetración, se divide en dos etapas, arbitrariamente definidas como “fraguado inicial” y “fraguado final”. Algunos cementos pueden presentar un “fraguado falso” (ASTM C 451). Se produce en un tiempo entre 1 y 5 minutos, comprobándose su aparición por la considerable pérdida de plasticidad sin que se desarrolle calor de hidratación en gran abundancia poco tiempo después del mezclado, pudiéndose eliminar fácilmente con un remezclado. Los tiempos del fraguado inicial y del final, son del orden de horas y dependen del tipo de cemento y aditivos que se estén empleando.

Manejabilidad.

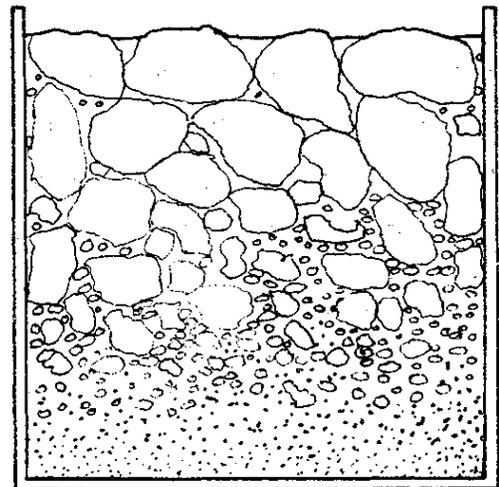
Es la facilidad que ofrece la masa de concreto para mezclarse, colocarse y acabarse. Esta propiedad es la más importante del concreto fresco, desde el punto de vista práctico, porque además de reunir a todas las propiedades anteriores, es la que físicamente se aprovecha en las aplicaciones del concreto.

Es muy importante advertir que durante las operaciones de mezclado, transportación, colocación y acabados, el concreto está sujeto a dos fenómenos nocivos; a saber: debido a una dosificación deficiente de los ingredientes o al descuido de las operaciones a las que se somete el concreto, los ingredientes se pueden separar en tamaños o en pesos específicos perdiéndose la uniformidad y la calidad del concreto, a

este fenómeno se le conoce como “segregación” (Fig. 2.4) y, poco después de la colocación y durante los acabados, se puede presentar el “sangrado”, que consiste en una forma de segregación del agua, en la que tiende a subir a la superficie de la masa debido al fenómeno de capilaridad y a la incapacidad de retención de los sólidos; gran parte de esta agua, logra llegar a la superficie y otra parte queda atrapada pero segregada debajo de los agregados gruesos.



Segregación Normal: Los agregados de mayor tamaño o peso específico se separan y se depositan en el fondo.



Segregación Inversa: Los agregados de mayor tamaño o peso específico se separan y ascienden hacia la superficie.

Fig. 2.4 Tipos de segregación que se pueden producir en el concreto

Este fenómeno, produce un concreto muy poroso, con una falta parcial del contacto directo de los agregados con la pasta y con una cantidad de agua mayor en la superficie de concreto, que causaría problemas futuros en el comportamiento del concreto.

Por lo tanto, se puede decir que un concreto fresco es manejable, cuando ofrece la facilidad necesaria para ser procesado, moldeado y acabado, en condiciones específicas, sin presentar segregación, ni sangrado.

2.6.3.2 Concreto Endurecido.

Son seis las propiedades del concreto en su estado endurecido:

- a) Impermeabilidad.
- b) Durabilidad.
- c) Resistencias mecánicas: compresión, tensión, flexión, cortante, fatiga, impacto, abrasión, cavitación.
- d) Cambios volumétricos: contracción, expansión, deformación elástica, deformación plástica
- e) Resistencia al fuego y a la radiactividad.
- f) Propiedades térmicas, acústicas y eléctricas.

De todas estas propiedades, las que más interesan a este trabajo, debido a su participación medular en las áreas de pavimentos y concreto propiamente dicho, son las que se apuntan a continuación: resistencias a la compresión, flexión y abrasión, cambios volumétricos y, en agregado a éstas el peso unitario del concreto.

Resistencia a la compresión. Se puede definir como la máxima resistencia medida en un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2) a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo $f'c$. Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas sobre especímenes de mortero o de concreto; a menos que se especifique de otra manera, los ensayos a compresión de mortero se realizan sobre cubos de 5 cm, en tanto que los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que miden 15 cm de diámetro y 30 cm de altura (Fig. 2.5).

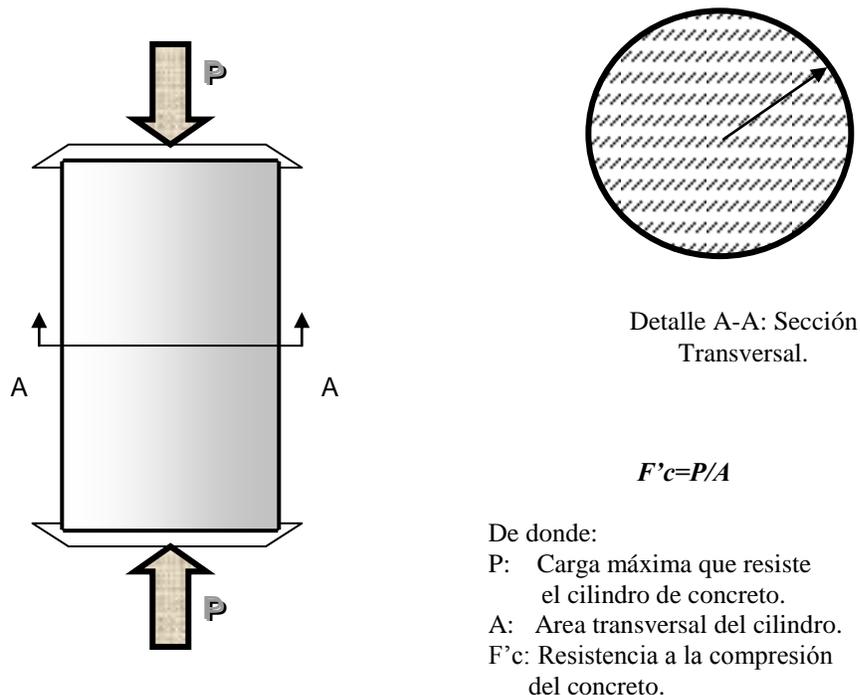


Fig. 2.5 Cilindro de concreto sometido a compresión. Fuente: Fabricación del concreto. (Ingenieros Civiles Asociados)

La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de puentes, de edificios y otras estructuras.

Resistencia a la flexión: Se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como un índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamada Módulo de Ruptura, para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 3.18 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión.

Resistencia al desgaste: Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas están sujetos al desgaste; por tanto, en estas aplicaciones el concreto debe tener una resistencia elevada a la abrasión. Los resultados de pruebas indican que la resistencia a la abrasión o desgaste está estrechamente relacionada con la resistencia a compresión del concreto. Un concreto de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un concreto de resistencia a compresión baja. Como la resistencia a la compresión depende de la relación agua-cemento y del curado, una relación agua-cemento baja, así como un curado adecuado son necesarios para obtener una buena resistencia al desgaste. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento utilizado también tienen fuerte influencia en la resistencia al desgaste. Un agregado duro es más resistente a la abrasión

que un agregado blando o esponjoso, y una superficie que ha sido tratada con llana de metal resiste más el desgaste que una que no lo ha sido.

Estabilidad Volumétrica. El concreto endurecido presenta ligeros cambios de volumen debido a variaciones en la temperatura, en la humedad y en los esfuerzos aplicados. Estos cambios de volumen o de longitud pueden variar desde aproximadamente 0.01% hasta 0.08%.

El concreto que se mantiene continuamente húmedo se dilatará ligeramente. Cuando se permite que seque, el concreto se contrae. El principal factor que influye en la magnitud de la contracción por secado, es el contenido de agua del concreto recién mezclado. La contracción por secado, aumenta directamente con los incrementos de este contenido de agua. La magnitud de la contracción también depende de otros factores, como las cantidades de agregado empleado, las propiedades del agregado, tamaño y forma de la masa de concreto, temperatura y humedad relativa del medio ambiente, método de curado, grado de hidratación, y tiempo. El contenido de cemento tiene un efecto mínimo o nulo sobre la contracción por secado para contenidos de cemento entre 280 y 450 kg/m³.

Cuando el concreto se somete a esfuerzos, se deforma elásticamente; los esfuerzos sostenidos resultan en una deformación adicional llamada fluencia. La velocidad de la fluencia (deformación por unidad de tiempo) disminuye con el tiempo.

Peso Unitario: El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2,240 a 2,400 kg/m³. El peso unitario (densidad) del concreto varía, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. En la Tabla 2.6 se dan valores del peso unitario del concreto fresco.

El peso del concreto seco iguala al peso del concreto recién mezclado menos el peso del agua evaporable. Una parte del agua de mezclado se combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando al cemento en gel de cemento. También un poco de agua permanece retenida herméticamente en poros capilares y no se evapora bajo condiciones normales.

La cantidad de agua que se evaporará al aire a una humedad relativa del 50% es aproximadamente de 2% a 3% del peso del concreto, dependiendo del contenido inicial de agua del concreto, de las características de absorción de los agregados, y del tamaño de la estructura.

Tamaño máximo del agregado, mm	Contenido de aire, por ciento	Agua (kg/m ³)	Cemento (kg/m ³)	Peso Unitario (kg/m ³)				
				Gravedad específica de agregados (Estado saturado superficialmente seco)				
				2.55	2.60	2.65	2.70	2.75
19	6.0	168	336	2,195	2,227	2,259	2,291	2,323
38	4.5	145	291	2,259	2,291	2,339	2,371	2,403
76	3.5	121	242	2,307	2,355	2,387	2,435	2,467
152	3.0	97	167	2,355	2,387	2,435	2,467	2,515

Tabla 2.6 Peso promedio observado en concretos frescos. Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto. (IMCYC)

2.7 Diseño de Mezclas de Concreto de Peso Normal.

2.7.1 Generalidades.

El conocimiento de las propiedades del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido tiene como finalidad primordial la de determinar el diseño de la mezcla.

Para el proporcionamiento de los ingredientes de una mezcla de concreto, se han sugerido muchos métodos dentro los cuales se cuentan: los analíticos, semi analíticos y empíricos. Estos métodos han evolucionado desde los volumétricos arbitrarios (por ejemplo mezclas 1:2:4), al método de peso y volumen absoluto actual, propuesto por el

Instituto Americano del Concreto, elaborado por el Comité ACI 211, siendo el más conocido y ampliamente usado.

El anterior se fundamenta en el principio básico de la relación agua/cemento desarrollado por Abrams; consiste en seguir en forma ordenada una secuencia de pasos, para determinar la cantidad de cada material en peso y volumen para 1m^3 de concreto.

Sin embargo, el método ACI ha sido concebido de tal manera que el proporcionamiento de los agregados se hace teniendo en cuenta que estos cumplen con las recomendaciones granulométricas de la norma ASTM C 33.

El objetivo que se persigue en el diseño de mezclas de concreto, es determinar la combinación más práctica y económica de materiales disponibles, para producir un concreto que satisfaga sus requerimientos bajo condiciones particulares de uso.

Una mezcla se debe diseñar tanto para estado fresco como para estado endurecido. Las principales exigencias que se deben cumplir para lograr una dosificación apropiada en estado fresco son las de manejabilidad y economía, y para el concreto endurecido son las de resistencia, durabilidad, acabado y en algunos casos el peso volumétrico.

Por lo común, las propiedades del concreto fresco se rigen por el tipo de estructura a erguir (losas, vigas, muros, zapatas, etc.) y por las técnicas de colocación y transporte (bomba, banda transportadora, carretilla, etc.); así mismo, las propiedades del concreto en estado endurecido quedan especificadas por el ingeniero calculista ya que él proporciona datos tales como la resistencia a los esfuerzos, durabilidad y otros, para que respondan a las condiciones de los proyectos o de los reglamentos. Con estos dos grupos de requisitos y teniendo en cuenta además el grado de control que se ejerce sobre la obra, se puede determinar las proporciones de la mezcla.

El costo de la elaboración de una mezcla de concreto, está constituida básicamente por el costo de los materiales, equipo y mano de obra. La variación en el costo de los materiales se debe a que el precio del cemento, es mayor que el de los agregados, y de allí, que el proporcionamiento debe minimizar la cantidad de cemento sin sacrificar la resistencia y demás propiedades del concreto. La diferencia en costo entre los agregados generalmente es secundaria; sin embargo, en algunas localidades o con algún tipo de agregado especial pueden ser suficientes para que influya en la selección y dosificación. El costo del agua usualmente no tiene ninguna influencia, mientras que el de los aditivos puede ser importante por su efecto potencial en la dosificación del cemento y los agregados.

El costo de la mano de obra depende de la trabajabilidad de la mezcla y de los métodos de colocación y compactación. Una mezcla poco trabajable con un equipo de

compactación deficiente, aumenta los costos de mano de obra y aún, con un equipo de colocación eficiente (por ejemplo en la construcción de pavimentos) el costo de colocación de mezclas muy secas es alto.

Datos Previos.

Antes de dosificar una mezcla de concreto, además de conocer los datos de la obra o estructura que se va a construir y de las condiciones de transporte y colocación, también se deben conocer las propiedades de los materiales con los que se va a preparar la mezcla.

Los datos que se deben conocer de la obra son:

- ↵ Máxima relación agua/cemento
- ↵ Tamaño máximo nominal del agregado
- ↵ Asentamiento (consistencia) recomendado
- ↵ Mínimo contenido de cemento
- ↵ Dimensión mínima del elemento a construir
- ↵ Espaciamiento del acero de refuerzo
- ↵ Condiciones a que estará expuesta la estructura
- ↵ Resistencia a la flexión mínima necesaria por consideraciones estructurales
- ↵ Resistencia a la compresión mínima necesaria por consideraciones estructurales
- ↵ Densidad mínima para presas de gravedad y estructuras similares

Generalmente la totalidad de estos datos se obtienen de los planos y especificaciones de la obra.

De las propiedades de los materiales que se van a utilizar se debe conocer:

- ⌘ Granulometría de gravas y arenas
- ⌘ Módulo de finura de la arena
- ⌘ Tamaño máximo de la grava
- ⌘ Densidad aparente de la grava y de la arena
- ⌘ Absorción de la grava y de la arena
- ⌘ Peso unitario compacta de la grava
- ⌘ Humedad de los agregados inmediatamente antes de hacer las mezclas
- ⌘ Densidad del cemento

2.7.2 Métodos de Dosificación.

Se puede apreciar que para el diseño de mezcla se recurre tanto a datos reales como a datos empíricos o de experiencia, y que con la ayuda de tablas, gráficas y ábacos, se obtiene una guía para alcanzar combinaciones óptimas de los materiales.

Una mezcla de concreto, se puede proporcionar a partir de experiencias de campo (datos estadísticos), o de mezclas de prueba de concreto.

2.7.2.1 Método de Diseño a Partir de Datos de Campo.

Cualquier diseño de mezclas que se encuentre en uso o que haya sido usado previamente, podrá ser empleado en un nuevo proyecto, solo si los datos de los ensayos de resistencia y las desviaciones estándar demuestran que las mezclas son aceptables; también se deben satisfacer los aspectos referentes a la durabilidad. Los datos estadísticos deberán representar a los mismos materiales, proporciones y condiciones de colado que serán empleados en el nuevo proyecto. Los datos usados para el proporcionamiento, también deberán provenir de un concreto con un $f'c$ dentro de 70 Kg/cm^2 de la resistencia requerida para el trabajo propuesto. Así mismo, los datos deberán representar al menos 30 ensayos consecutivos o dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen al menos 30 ensayos (entendiéndose como ensaye la resistencia promedio de dos cilindros tomados de una misma muestra). Si sólo se dispone de 15 a 29 ensayos consecutivos, se puede obtener una desviación estándar ajustada, multiplicando la desviación estándar (S) por los 15 a 29 ensayos y por un factor de modificación que se puede tomar de la Tabla 2.7; los datos deberán representar 45 días de ensayos o más. Lo anterior se expone en el ACI 318.

La desviación estándar se emplea en las ecuaciones respectivas siguientes:

$$F'_{cr} = f'c + 1.34 S$$

$$F'_{cr} = f'c + 0.33 S - 35$$

En donde:

F'_{cr} = Resistencia a compresión promedio del concreto, requerida como base para la selección de las proporciones del concreto, Kg/cm²

$f'c$ = Resistencia a la compresión específica en el concreto, Kg/cm²

S = Desviación estándar, Kg/cm²

Para que las proporciones del concreto se consideren aceptables, la resistencia a compresión promedio del registro de pruebas, deberá igualar o rebasar la resistencia a compresión promedio requerida por el ACI 318, f'_{cr} . El valor de f'_{cr} para las proporciones elegidas de la mezcla, será igual al mayor de las ecuaciones anteriores.

La desviación estándar de los ensayos de resistencia de una mezcla de concreto con al menos 30 ensayos consecutivos, se puede determinar como sigue:

$$S = [\sum (x_i - X)^2 + (n - 1)]^{1/2}$$

En donde:

x_i = Ensayo individual de resistencia (resistencia promedio de dos cilindros a 28 días).

X = Promedio de n resultados de ensayos de resistencia.

S = Desviación estándar, Kg/cm²

n = Número de ensayos de resistencias consecutivos.

Si se hace uso de dos registros para obtener al menos 30 ensayos, la desviación estándar usada, deberá ser el promedio estadístico de los valores calculados de cada registro de ensayos con la fórmula siguiente:

$$S = \left[\frac{((n_1 - 1) (S_1)^2 + (n_2 - 1)(S_2)^2)}{(n_1 + n_2 - 2)} \right]^{1/2}$$

En donde:

S = Desviación estándar del promedio estadístico, donde dos registros de ensayos se utilizan para estimar la desviación estándar.

S_1 y S_2 = Desviaciones estándar calculadas a partir de dos registros de ensayos 1 y 2, respectivamente, Kg/cm²

n_1, n_2 = Número de ensayos en los registros de ensayos 1 y 2, respectivamente.

Si se disponen de menos de 30 ensayos, pero al menos 15, la desviación estándar calculada se incrementa por el factor dado en la Tabla 2.7

Número de ensayos	Factor de modificación para la desviación estándar.
Menos de 15	Use la tabla 2.8
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o mas	1.0

Tabla 2.7 Factor de modificación para la desviación estándar, cuando se dispone de menos de 30 ensayos. Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto. (IMCYC)

Cuando los registros de los ensayos de resistencia de campo no satisfacen los requisitos expuestos, se puede obtener el F'_{cr} con la Tabla 2.8.

Resistencia a la compresión especificada, $f'c$, Kg/cm ²	Resistencia a la compresión requerida promedio, F'_{cr} , Kg/cm ²
Menos que 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 85$
Mayor que 350	$f'c + 100$

Tabla 2.8 Resistencia a la compresión promedio requerida, cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar. Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto. (IMCYC)

Uno o varios registros de resistencia de campo, o los resultados de los ensayos de las mezclas de prueba deberán usarse como documentación, mostrando que la resistencia promedio de la mezcla es igual o mayor que el F'_{cr} .

2.7.2.2 Método de Diseño por Mezclas de Prueba.

Si los datos estadísticos o los registros de ensayos son insuficientes o no se encuentran disponibles, la mezcla deberá ser proporcionada por medio del método de mezclas de prueba. La mezcla aceptada, deberá tener una resistencia a la compresión que satisfaga o rebase a F'_{cr} . Se deberán probar tres mezclas de prueba, usando tres relaciones agua/cemento distintas, o tres diferentes contenidos de cemento. Entonces, se puede graficar una curva de relación agua/cemento vrs. resistencia y las proporciones se pueden interpolar a partir de los datos.

Las mezclas de prueba deberán tener un revenimiento y un contenido de aire dentro de 2 cm y 0.5 %, respectivamente, del máximo permitido. A los 28 días o a la edad de ensaye designada, se determinará la resistencia a compresión del concreto ensayando los cilindros compresión.

Se deberán seleccionar primero los siguientes parámetros: resistencia requerida, contenido de cemento mínimo o relación agua/cemento máxima, tamaño máximo de agregado, contenido de aire, y revenimiento deseado. Entonces, se elaboran las mezclas de prueba variando las cantidades relativas de agregados fino y grueso así como otros ingredientes. Las proporciones de la mezcla adecuada, se seleccionan tomando como base las consideraciones de trabajabilidad y de economía.

2.7.2.3 Procedimiento General para la Dosificación de Mezclas de Concreto.

Elección del revenimiento.

El concreto debe ser fabricado para tener siempre una trabajabilidad, consistencia y plasticidad adecuadas para las condiciones de trabajo. La trabajabilidad es una medida de lo fácil o difícil que resulta colocar, consolidar y darle acabado al concreto; en tanto, la prueba de revenimiento es una medida de la consistencia que posee el concreto para determinadas proporciones de cemento y de agregados sin aditivos; entre más alto es el revenimiento más agua contiene la mezcla. En consecuencia, el revenimiento es un

indicador de la trabajabilidad cuando se evalúan mezclas similares; sin embargo, no debe usarse para comparar mezclas de proporciones totalmente distintas. Se requieren distintos revenimientos para los diferentes tipos de construcción con concreto; cuando no se especifica, se puede seleccionar un valor aproximado de la tabla 2.9 para aquellos concretos que se consolidan por vibración mecánica.

Revenimiento (cm)		Construcción de Concreto
Máximo	Mínimo	
7.5	2.5	Zapatas y muros de cimentación reforzados
7.5	2.5	Muros de subestructuras, cajones y zapatas sin refuerzo
10.0	2.5	Vigas y muros reforzados
10.0	2.5	Columnas de edificios
7.5	2.5	Pavimentos y losas
5.0	2.5	Concreto masivo

Tabla 2.9 Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción.
Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, (IMCYC)

Elección del tamaño máximo nominal.

El tamaño máximo nominal está limitado por las dimensiones de la estructura teniéndose presente que en ningún caso, debe exceder de un quinto de la menor dimensión entre los lados de la fortaleza, de un tercio del espesor de las losas, ni de las tres cuartas partes del espaciamiento libre entre varillas individuales de refuerzo. Estas

restricciones se pueden evitar, si a juicio del ingeniero, la trabajabilidad y los métodos de compactación son tales, que el concreto se puede colocar sin que se produzcan vacíos.

Por otra parte, los agregados con una buena granulometría y con mayor tamaño máximo nominal tienden a formar masas más compactas y con menos vacíos que los de menor tamaño máximo nominal; en consecuencia, si se aumenta el tamaño máximo nominal de los agregados en una mezcla de concreto para un revenimiento dado, tanto el contenido de agua como de cemento se disminuyen, con lo que se consiguen concretos más económicos y con menor retracción por fraguado.

Sin embargo, cuando se desea obtener concreto de alta resistencia, se debe reducir el tamaño máximo nominal de los agregados, debido a que estos producen mayores resistencias con una determinada relación agua/cemento.

Estimación del contenido de aire.

Con el objeto de tener un mejor criterio acerca de la cantidad de aire en el concreto, en la Tabla 2.10. se enseñan los valores recomendados para varios grados de exposición. Es importante anotar que cuando se prevea que la estructura no estará expuesta a ambientes severos, se pueden lograr efectos benéficos con la incorporación de aire a la mezcla, mejorando su manejabilidad y cohesión, con la mitad de los valores de contenido de aire que se recomienda para concretos con aire incluido.

Agregado grueso		Porcentaje Promedio de aire Atrapado	Porcentaje promedio total de aire recomendado para los siguientes grados de exposición		
Pulg.	mm.		Suave	Moderado	Severa
3/8	9,51	2,7	4,5	6,0	7,5
1/2	12,50	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19,10	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25,40	1,7	3,0	4,5	6,0
1 ½	38,10	1,5	2,5	4,5	5,5
2	50,80	1,0	2,0	4,0	4,0
3	76,10	0,3	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

*Tabla 2.10: Contenido aproximado de aire en el concreto para varios grados de exposición.
Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, (IMCYC)*

Estimación de la cantidad de agua de mezclado.

Resumiendo algunos aspectos estudiados anteriormente, se puede anotar que la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que se requiere para producir un revenimiento dado, depende del tamaño máximo del agregado, la forma y textura de las partículas así como de la gradación de los agregados, de la cantidad de aire incluido y de los aditivos reductores de agua (cuando son utilizados).

Como se puede apreciar, son muchos los factores que intervienen para determinar este parámetro y de allí que su estimación exacta sea muy complicada. Sin embargo, se han desarrollado algunos estudios que tienen en cuenta algunos de los factores más importantes que proporcionan valores que pueden ser mayores o menores a los requisitos reales del agua en la mezcla, pero que ofrecen suficiente aproximación para una primera mezcla de prueba.

Un importante criterio suministrado por el ACI se muestra en la Tabla 2.11. Los valores que se indican se hayan en función del revenimiento, tamaño máximo de los agregados y del contenido de aire en la mezcla.

Revenimiento (cm)	Agua, kg/m ³ de concreto, para los tamaños máximos indicados.*							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2***	3***	6***
Concreto sin aire incluido								
2.5 a 5	208	199	187	178	163	154	130	113
7.5 a 10	228	217	202	193	178	169	145	125
15 a 18	243	228	214	202	187	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto (%).	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 a 5	181	175	166	160	148	142	122	107
7.5 a 10	202	193	181	175	163	157	134	119
15 a 18	216	205	193	184	172	166	154	-
Contenido de aire total promedio recomendado (%):								
Baja	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Severa	7.5	6.0	6.0	6.0	6.0	5.0	4.5	4.0
<p>*Estas cantidades de agua de mezclado son para emplearse en el cálculo de los factores de cemento para las mezclas de prueba. Son valores máximos para agregados gruesos de razonable buena forma con granulometrías dentro de los límites marcados por las especificaciones aceptadas.</p> <p>**Los valores de los revenimientos para los concretos que contienen agregados mayores que 1 1/2" están basados en pruebas de revenimiento hechas después de haber removido por cribado húmedo las partículas mayores de 1 1/2" .</p> <p>+ el contenido de aire en las especificaciones de obra en las especificaciones de obra deberá especificarse para ser entregado dentro de -1 a +2 puntos porcentuales del valor anotado en la tabla para las exposición moderada y severa.</p>								

Tabla 2.11. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado. Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, (IMCYC)

Es necesario hacer hincapié en que el valor encontrado en la Tabla 2.11, hay que sumarle el agua de absorción de los agregados o restarle el agua libre de los mismos. Esto se debe a que la cantidad de agua calculada, asume que los agregados son lisos y no absorbentes, o sea que están en la condición saturada y superficialmente seca (SSS).

De allí, la importancia de medir el contenido de humedad de los agregados con la mayor exactitud posible, inmediatamente antes de colocarlos en la mezcladora.

Elección de la relación agua/cemento (a/c).

La relación agua/cemento (a/c), medida en peso, es uno de los factores más importantes en el diseño de mezclas y por lo tanto se le debe prestar mucha atención a su selección. La relación agua/cemento requerida, se determina básicamente por requisitos de resistencia, durabilidad, impermeabilidad y acabado.

Puesto que los diferentes agregados y cementos producen generalmente resistencias distintas con la misma relación agua/cemento y además cuando no se le ejerce un control a la durabilidad, la selección de la relación agua/cemento, se debe hacer con base en el desarrollo de gráficas, en donde se relacione la resistencia a la comprensión y la relación agua/cemento, pudiéndose sintetizar los resultados como se muestra en la Tabla 2.12.

RESISTENCIA A LA	RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO
-------------------------	-----------------------------------

	Concreto sin inclusor de aire	Concreto con inclusor de aire
175 (2500)	0.65	0.56
210 (3000)	0.58	0.50
245 (3500)	0.52	0.46
280 (4000)	0.47	0.42
315 (4500)	0.43	0.38
350 (5000)	0.40	0.35
* La resistencia se basa en cilindros de 15 x 30 cm con un curado húmedo durante 28 días a 23 °C ±1.6 °C de conformidad con la sección 9b de la norma ASTM C 31		

*nto y la resistencia a
s de Concreto. (IMCYC)*

De otro lado, cuando se prevean condiciones severas de exposición, la elección de la relación agua/cemento debe ser lo más baja posible, aún cuando los requisitos de resistencia puedan cumplirse con un valor más alto. En la Tabla 2.13 sirve como guía básica para escoger la relación agua/cemento adecuada para diversas condiciones de exposición.

Condiciones de Exposición	Relación agua/cemento máxima (en peso) para concreto de peso normal.
Concreto protegido contra la exposición a la congelación y deshielo o la aplicación de productos químicos descongelantes	Escoja la relación agua/cemento basándose en los requisitos de resistencia, trabajabilidad y acabados.
Concreto que se pretende sea hermético: concreto expuesto a agua dulce.	0.50
Concreto expuesto a agua de mar.	0.45
Concreto expuesto a la congelación y deshielo en condición húmeda*	
Guarniciones, cunetas, guardarieles, o secciones delgadas.	0.45
Otros elementos	0.50
En presencia de productos químicos descongelantes.	0.45
Como protección para la corrosión del concreto reforzado expuesto a sales descongelantes, aguas salobres, agua de mar o a rocío proveniente de estas fuentes.	0.40**
*concreto con aire incluido	
** Si el recubrimiento mínimo requerido por el ACI 318 se incrementa en 3mm, entonces a/c se puede incrementar a 0.45 para concreto de peso normal.	

Tabla 2.13 Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación agua/cemento. Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto. (IMCYC)

Cálculo del contenido de cemento.

El cálculo de la cantidad de cemento por metro cúbico de concreto es muy sencillo. Simplemente, como ya se tiene la relación agua/cemento y el contenido de agua calculados en los dos pasos anteriores, se despeja el contenido de cemento (c). O sea,

$$C = \frac{a}{a/c}$$

Frecuentemente, se incluye en las especificaciones un contenido mínimo de cemento que sirve para asegurar una durabilidad y acabado satisfactorio, una mayor resistencia al desgaste en las losas y una apariencia apropiada de las superficies verticales. Esto es importante, a pesar de que los requisitos de resistencia se satisfagan con menores contenidos de cemento.

Verificación de las especificaciones granulométrica.

Un buen concreto en sus dos etapas fresco y endurecido depende en gran medida de la granulometría de los agregados. Por este motivo, antes de dosificar las cantidades de arena y grava es necesario verificar que su distribución de tamaños esté comprendida dentro de un rango preestablecido y no obtener proporciones de agregado grueso y fino, no conveniente. La verificación se lleva a cabo elaborando una curva granulométrica de los agregados con que se dispone y se compara con la recomendación que proporciona la norma ASTM C 33

Contenido de agregado grueso

La cantidad de agregado grueso se puede estimar con la Tabla 2.14, figurando los volúmenes de los agregados en condición de varillado en seco, tal como lo describe la

norma ASTM C 29. Estos volúmenes se seleccionan a partir de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado Para concretos menos trabajables, como en el caso de pavimentos de concreto hidráulico, el volumen de agregado grueso se puede aumentar en un 10%.

Tamaño máximo de agregado mm (pulg)	Volumen de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de agregado fino			
	2.4	2.6	2.8	3.0
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.7 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19.0 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25.4 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
38.1 (1 ½)	0.75	0.73	0.71	0.69
50.8 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
76.2 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
152.4(6)	0.87	0.85	0.83	0.81

*Tabla 2.14 Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.
Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto. (IMCYC)*

Contenido de agregado fino.

A excepción del agregado fino, ya se conocen las cantidades de todos los ingredientes del concreto. En el método de volúmenes absolutos, el volumen del agregado fino se determina sustrayendo el volumen absoluto de los ingredientes conocidos a un metro cúbico.

En la siguiente figura se ilustra en forma general la dosificación de las mezclas de concreto.

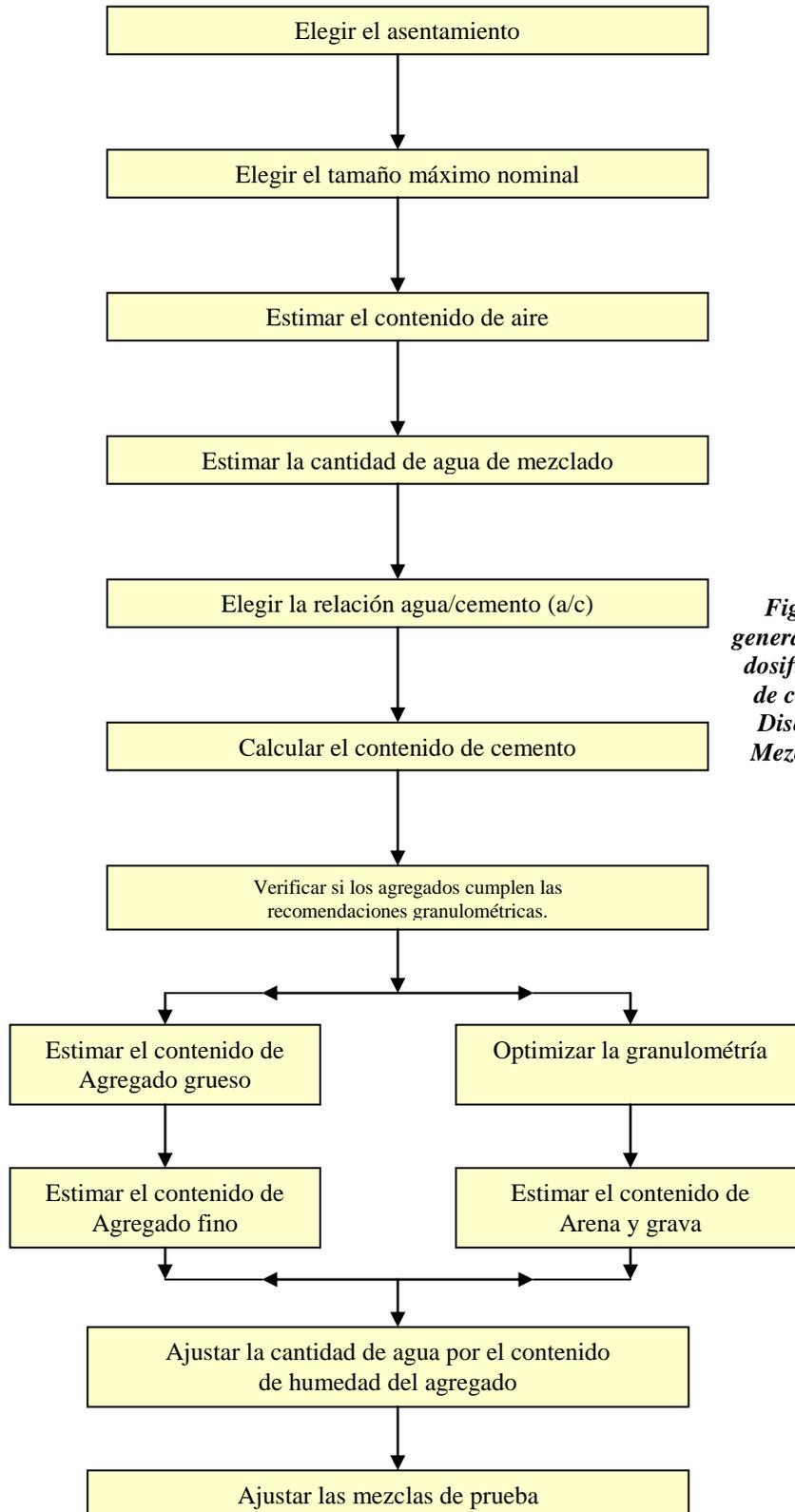


Fig. 2.6 Secuencia general de pasos para la dosificación de mezcla de concreto. Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, (IMCYC)

2.8 Módulo de Elasticidad (E_c)

Cuando un espécimen de concreto endurecido se somete por primera vez a una carga de compresión axial, que se incrementa progresivamente a velocidad uniforme hasta un valor inferior al de ruptura y después se retira a la misma velocidad, ocurre lo que se indica esquemáticamente en la Fig. 2.7.

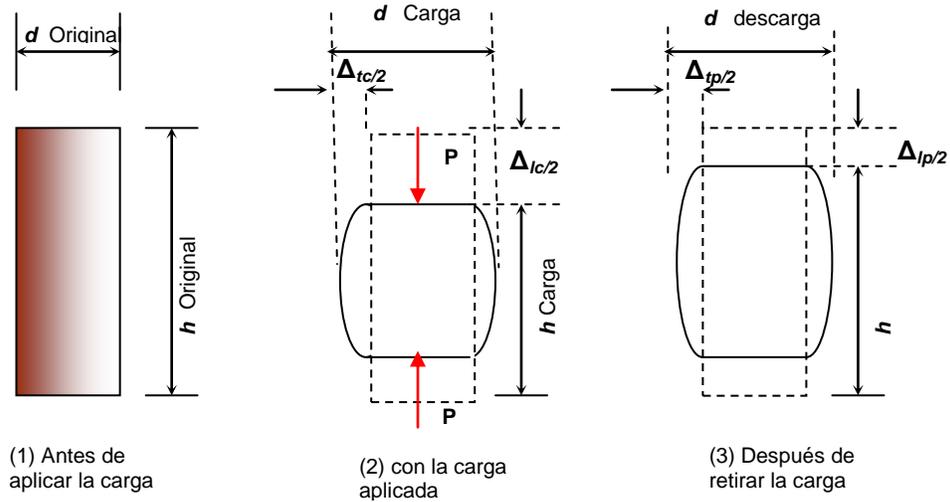


Fig. 2.7 Representación esquemática de las deformaciones de un espécimen cilíndrico de concreto a compresión axial, durante y después de la aplicación de carga. Fuente: Manual de Tecnología del concreto. Sección III (CFE)

En el esquema (1) de esta figura, se representa un espécimen cilíndrico de diámetro d y altura h , antes de aplicarle la carga; una vez aplicada la carga hasta llegar al valor P , (que produce una deformación longitudinal Δ_{lc} y una deformación transversal simultánea Δ_{tc} , según se muestra en el esquema (2); después de retirar completamente la

carga, el espécimen no recupera totalmente sus dimensiones originales, quedándole una deformación permanente, tanto en dirección longitudinal (Δ_{lp}) como en dirección transversal (Δ_{tp}), como se hace notar en el esquema (3).

Si durante el proceso de carga y descarga completo en el espécimen, se miden las deformaciones parciales (δ) a diferentes niveles del esfuerzo aplicados (σ) se pueden obtener pares de datos (esfuerzo y deformación) que al ser representadas en un sistema de ejes ortogonales, con las deformaciones como abscisas y los esfuerzos longitudinales como ordenadas, producen una gráfica como la indicada en la Fig 2.8, la cual identifica la manera como evolucionan las deformaciones longitudinales del espécimen en el curso de este proceso de carga y descarga.

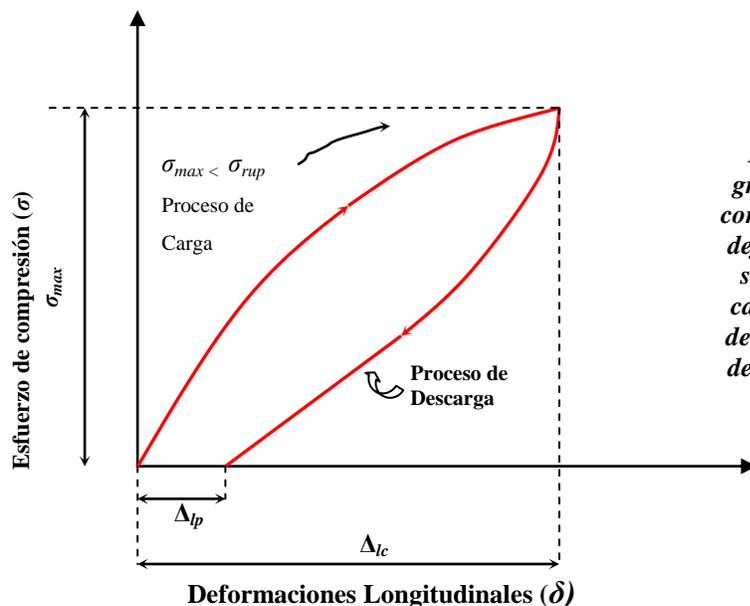


Fig. 2.8 Representación gráfica característica de la correlación entre esfuerzos y deformaciones del concreto sometido a un proceso de carga axial a compresión y descarga. . Fuente: Manual de Tecnología del concreto. Sección III (CFE)

En esta figura se observa, que el concreto no se comporta como un material elástico, pues además de que conserva una deformación permanente (Δ_{IP}), la línea que representa la relación entre esfuerzos y deformaciones sólo exhibe un reducido tramo inicial de proporcionalidad, al comenzar la aplicación de la carga, y después se manifiesta como una curva debido a que las deformaciones aumentan progresivamente en mayor proporción que los esfuerzos. Para explicar el comportamiento del concreto endurecido en este aspecto, es frecuente considerarlo como un material consistente de dos fases, es decir, un conjunto de partículas duras y resistentes (los agregados) dispersos en una matriz relativamente más débil (la pasta de cemento hidratada), y que la respuesta del conjunto (el concreto) a la aplicación de esfuerzos deriva de lo que ocurre en la región del contacto entre ambas fases. En apoyo de esta consideración, en la Fig. 2.9, se indican las formas que ordinariamente presentan las gráficas esfuerzo deformación unitaria, determinadas individualmente para agregados de buena calidad, la pasta de cemento hidratado y el concreto que los contiene.

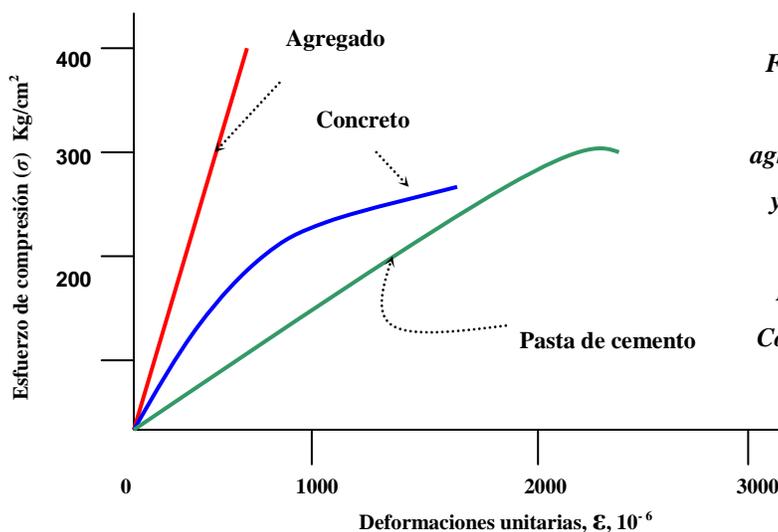


Fig. 2.9 Gráficas esfuerzos - deformaciones de los agregados, la pasta de cemento y el concreto, determinadas individualmente. Fuente: Manual de Tecnología del Concreto, Sección III, (CFE).

De acuerdo con esta presentación, en los agregados la gráfica es prácticamente una línea recta hasta el punto de ruptura y la que corresponde a la pasta también lo es, hasta un nivel aproximado de 90 a 95 por ciento de su esfuerzo de ruptura, y ambos componentes exhiben una falla de tipo frágil; no obstante ello, la unión de estos materiales para construir el concreto, conduce a un material compuesto cuya gráfica es una línea casi desde el principio, y que en la falla se manifiesta menos frágil.

Lo que con frecuencia se admite que ocurre en el concreto, es que existan microfisuras y otras discontinuidades en la zona de contacto pasta – agregado desde antes que el concreto reciba su primera carga, lo que se traduce en una adhesión imperfecta entre ambos componentes y en la posibilidad de que se produzcan concentraciones de esfuerzo en esa zona.

A continuación, conforme se aplica la primera carga, las microfisuras comienzan a extenderse, después se propagan a través de la pasta y terminan por hacer fallar el concreto. En estas condiciones, las deformaciones en el concreto tienden a incrementar más que los esfuerzos medios aplicados, salvo en un breve intervalo inicial, en el que las microfisuras preexistentes permanecen prácticamente estables y se manifiesta proporcionalidad entre esfuerzos y deformaciones. En la fig 2.10 se delimitan cuatro intervalos del nivel de esfuerzos en la gráfica esfuerzo–deformación unitaria del concreto, que se identifican con cuatro diferentes etapas en el proceso de crecimiento y propagación de las grietas durante la aplicación de carga continua hasta la ruptura.

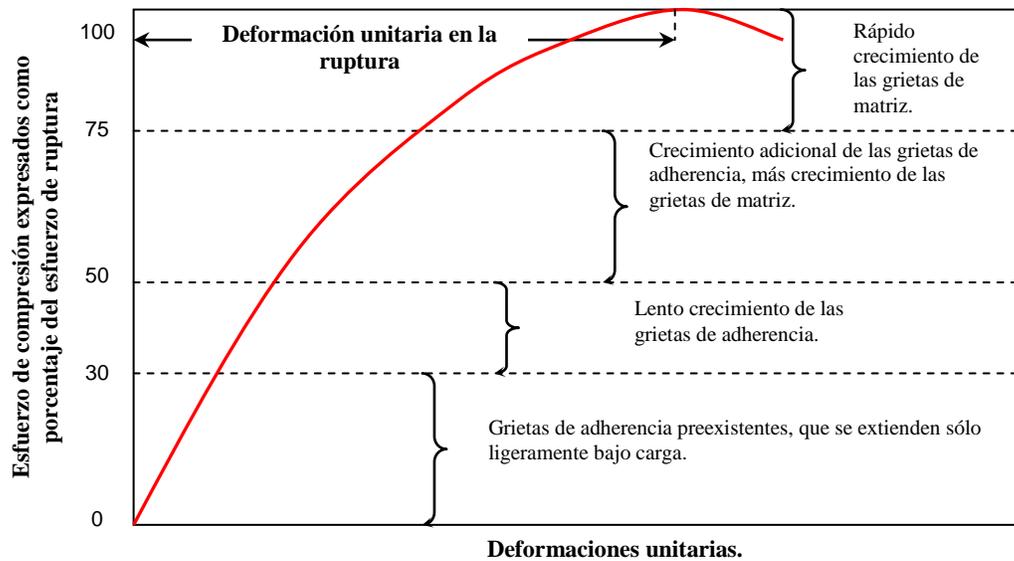


Fig. 2.10 Declinación de la curva esfuerzo – deformación unitaria del concreto conforme evoluciona el crecimiento de grietas. Fuente: Manual de Tecnología del Concreto, Sección III, (CFE).

En los materiales elásticos cuya gráfica esfuerzo – deformación unitaria es una línea recta, el Módulo de Elasticidad define la relación de proporcionalidad que existe entre ambas variables, es decir, se identifica con la pendiente de esa recta.

Debido a la forma como se manifiesta la relación entre los esfuerzos y las deformaciones en el concreto, no es posible asignarle estrictamente hablando, un Módulo de Elasticidad; sin embargo para materiales así, cuya gráfica es una curva, suelen considerarse otras variantes del módulo de elasticidad, que pueden referirse a la pendiente de la tangente en el origen o en otro sitio, de la secante entre el origen y otro punto, o de la cuerda entre dos puntos sobre la curva.

En el caso del concreto, abarcando un intervalo inicial de esfuerzo adecuado a los valores de diseño, de modo que al trabajar el concreto dentro de ese intervalo pueda suponerse razonablemente elástico.

Conforme a la norma ASTM C 469 el Módulo se define por la pendiente de la cuerda AB, tal como se indica en la Fig. 2.11.

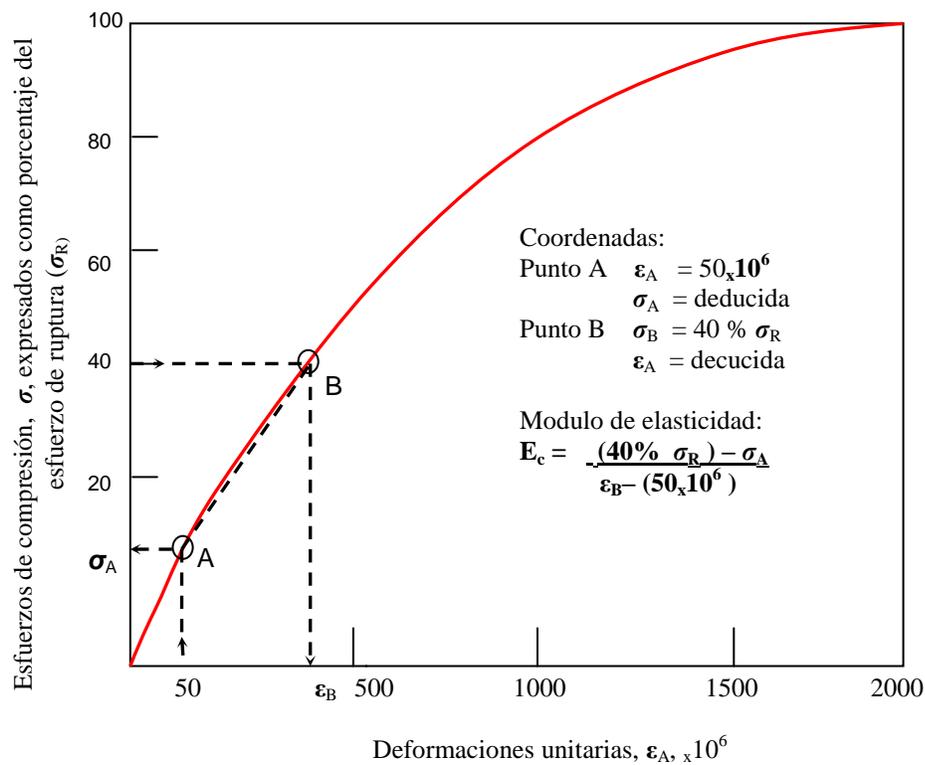


Fig. 2.11 Criterio para definir el Módulo de Elasticidad Estático a compresión del concreto (ASTM C 469) . Fuente: Manual de Tecnología del concreto. Sección III (CFE)

En el método de prueba ASTM C 469, se define el procedimiento para determinar el Módulo de Elasticidad estático a compresión del concreto, ensayando especímenes cilíndricos elaborados normalmente conforme a los métodos ASTM C 192 y C 31 y también núcleos extraídos de la estructura conforme al método ASTM C 42. el criterio que se aplica, según lo indicado en la Fig 2.11 consiste básicamente en definir dos puntos (A y B) sobre la curva esfuerzo-deformación unitaria del concreto ensayado, a fin de calcular la pendiente de la cuerda AB definida de esa manera. Las coordenadas del punto A, son: una abscisa fija (ϵ_A) igual a una deformación unitaria de 50 millonésimas, y una ordenada (σ_A) determinada a partir de esa deformación, las coordenadas del punto B son: una ordenada fija (σ_B) igual a un esfuerzo equivalente al 40 por ciento del esfuerzo de ruptura del concreto que se ensaya; y una abscisa (ϵ_B) determinada a partir de ese esfuerzo. Una vez conocidas estas coordenadas, el Módulo de Elasticidad se determina calculando la tangente del ángulo que la cuerda AB forma con el eje horizontal.

El Módulo de Elasticidad del concreto, puede variar en función de diversos factores, tales como: el estado de humedad y de compactación del concreto, la relación agua / cemento y edad de la pasta y las características de los agregados, principalmente. En relación con la humedad del concreto, se dice que en estado saturado exhibe un módulo de elasticidad más altos que en estado seco (contrariamente a lo que ocurre con la resistencia a compresión) y que este incremento en el módulo, puede ser del orden de un 3 %. En este aspecto, cabe hacer la consideración de que en estado seco las

microfisuras y discontinuidades preexistentes no contiene agua y por ello el concreto se deforma con más facilidad, lo cual a veces se manifiesta por una excesiva deformación al iniciar la carga del espécimen. Se supone que, para evitar la eventual influencia de un secado superficial o de cualquier reajuste que pueda ocurrir en el espécimen al comenzar a cargarlo, el módulo se calcula por la pendiente de la cuerda a partir del punto A (ver fig. 2.11) en vez de hacerlo por la pendiente de la secante al origen, a fin de no tomar en cuenta las posibles deformaciones anormales al principio de la carga.

Tanto la relación agua/cemento de la pasta como su edad, son factores que determinan la resistencia a compresión del concreto en el momento de su ensaye, por consiguiente; su influencia en el módulo de elasticidad puede considerarse agrupada al examinar la relación que normalmente se manifiesta entre la resistencia a compresión y el Módulo de Elasticidad del concreto.

Con el uso de agregados de buena calidad, el Módulo de Elasticidad del concreto tiende a incrementarse a medida que aumenta su resistencia a compresión, según se observa en las graficas esfuerzo - deformación unitaria que se muestran en la fig 2.12 para concretos con diferentes grados de resistencia; en donde se aprecia también que al aumentar su resistencia a compresión el concreto tiende a perder “ductilidad”, esto es, su forma de falla se vuelve más frágil, dado el aumento de pendiente que exhiben consecutivamente las ramas descendentes de dichas gráficas.

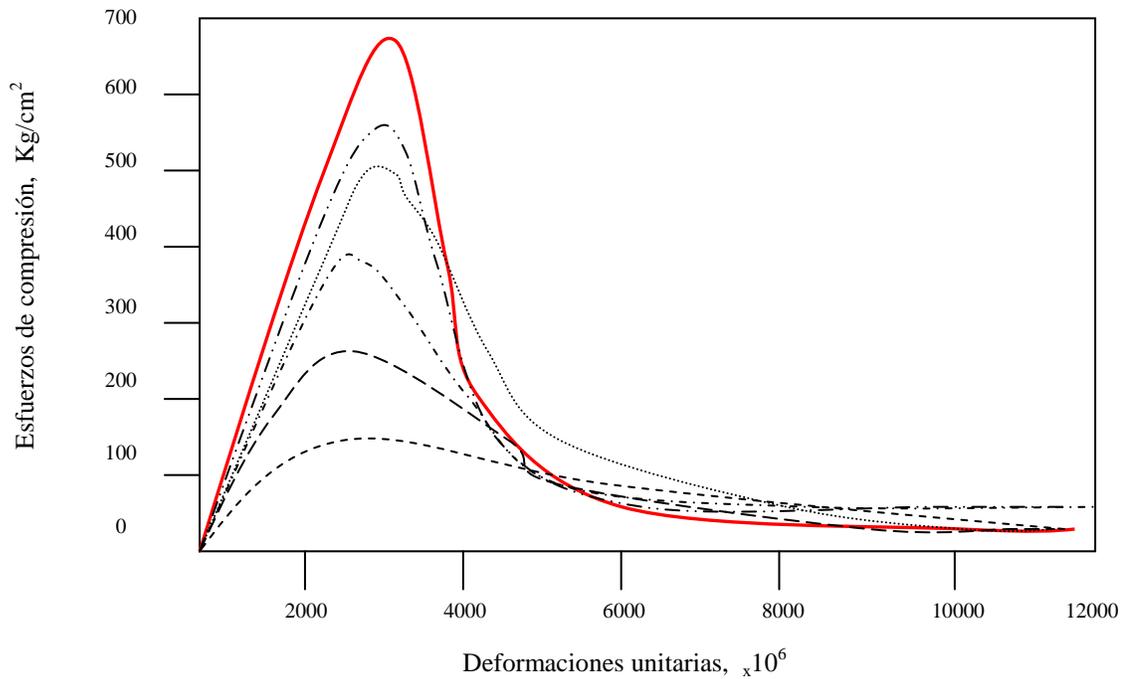


Fig. 2.12 Grafica esfuerzo deformación unitaria, completas, para concretos de diferentes resistencias a compresión. . Fuente: Manual de Tecnología del concreto. Sección III (CFE)

Cuando se requiere definir el Módulo de Elasticidad del concreto para fines de diseño, es posible estimarlo directamente en el concreto de uso previsto o estimarlo mediante expresiones empíricas que lo relacionan con la resistencia a compresión, si bien en la mayoría de los casos se opta por lo segundo. Para esta finalidad, en el Reglamento ACI 318 se recomienda la siguiente expresión, en unidades del mismo sistema ingles, que es aplicable a concretos con peso unitario entre 90 y 55 lb/pie³ (entre 1.5 y 2.5 ton/m³) aproximadamente.

$$E_c = 33 w_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

O su equivalente en unidades del sistema métrico.

$$E_c = 0.1303 w_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \quad (2)$$

En donde:

E_c = Módulo de Elasticidad estático a compresión, determinado a la edad de proyecto
en lb/pul² o en Kg/cm²

w_c = Peso unitario del concreto endurecido, en condición seca al aire.

f'_c = Resistencia a compresión del proyecto en lb/pul² o en Kg/cm².

Procede señalar, que el hecho de incluir como variable el peso unitario del concreto, es una forma de reconocer la influencia que sobre el módulo de elasticidad ejercen el peso específico de los agregados y su proporción en el concreto.

Por otra parte, en el informe del comité ACI 363 relativo a los concretos de alta resistencia, se cuestiona la aproximación con que puede estimarse el Módulo de Elasticidad mediante la expresión anterior, cuando la resistencia a compresión del concreto es mayor de 400 Kg/cm², y se plantea la posibilidad de una mejor estimación con el uso de la siguiente expresión, que es aplicable en el intervalo de resistencias entre 3000 y 1200 lb/pul² (entre 200 y 850 Kg/cm²) aproximadamente, aunque sólo para concreto de peso “normal” al que puede suponerse un peso unitario entre 140 y 155 lb/pie² (entre 2.2 y 2.5 Ton/m³):

$$E_c = 40000 \sqrt{f'_c} + 1.0 \times 10^6 \quad (3)$$

Expresada en unidades del sistema ingles, o su equivalente en unidades del sistema métrico:

$$E_c = 10615 \sqrt{f'_c} + 70423 \quad (4)$$

En las cuales E_c y f'_c están considerados en lb/pul² o en Kg/cm² en ambas expresiones respectivamente.

En la fig. 2.13, se representa gráficamente la correlación entre la resistencia a compresión y el Módulo de Elasticidad del concreto; definida mediante las expresiones anteriores, para concreto de peso unitario en el intervalo normal, esto es de 2.2 a 2.5 ton/m³. En dicha figura se observa que efectivamente, para resistencias a compresión superiores a 400 Kg/m², el cálculo del Módulo de Elasticidad con la expresión (3) del reglamento ACI 318 produce valores más altos que los obtenidos con la expresión antes mencionada; lo que parece justificar el señalamiento del informe ACI 363, en el sentido de que la primera, sobreestima el Módulo de Elasticidad en los concretos de alta resistencia.

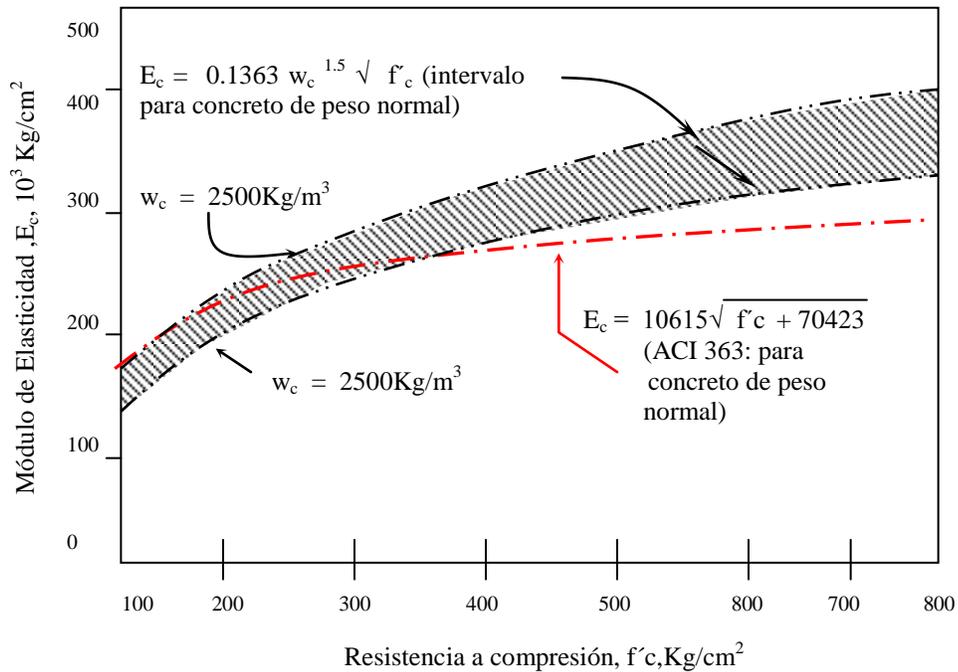


Fig. 2.13 Comparación de expresiones propuestas para estimar el Módulo de Elasticidad del concreto en función de su resistencia a compresión. Fuente: Manual de Tecnología del Concreto, Sección III, (CFE).

2.9 Módulo de Ruptura (Resistencia de Tensión por Flexión)

En estructuras que trabajan predominantemente a flexión, como es el caso de los pavimentos de concreto hidráulico, el diseño estructural se realiza con base en la resistencia del concreto a tensión o flexión.

Existen dos ensayos, para determinar la resistencia de concreto a tensión por flexión. En ambos ensayos se utiliza el mismo tipo de espécimen prismático, que se prueba a flexión como viga libremente apoyada, pero con la diferencia del modo como

se le aplica la carga: en un caso, la flexión se produce con una carga concentrada en el centro del claro, y en el otro con dos cargas concentradas iguales, aplicadas en los tercios del claro. Ambos modos de ensayo, se encuentran normalizados conforme a los métodos de prueba ASTM C 293 y ASTM C 78 respectivamente; sin embargo, en la práctica se prefiere el segundo (con cargas iguales en los tercios del claro) porque en esta condición de carga, todo el tercio central del espécimen queda sometido al momento máximo de flexión y al correspondiente esfuerzo máximo de tensión, creando un estado constante de esfuerzo, que da oportunidad para que la falla ocurra dentro de este tramo central, según se representa en el esquema de la Fig 2.14.

La resistencia a tensión del concreto determinada por flexión, suele manifestar valores más elevados que por los obtenidos por tensión directa e indirecta, debido a la distribución no uniforme de esfuerzos en la sección de falla, que restringe la propagación de las grietas y las simplificaciones teóricas que se hacen para el cálculo del esfuerzo máximo, a los cuales se suma en este caso, cierto efecto de trabazón entre la pasta de cemento y el agregado grueso, particularmente, cuando este se ha constituido por fragmentos producto de la trituración de una roca de buena calidad. Por todo ello, frecuentemente se dice que en esta forma de ensayo se sobrestima la resistencia a tensión del concreto; no obstante, por considerar la representatividad de las condiciones operativas del concreto en las estructuras que trabajan a flexión, como es el caso de los pavimentos rígidos, se le considera la forma apropiada para definir y verificar la resistencia de diseño de estas estructuras.

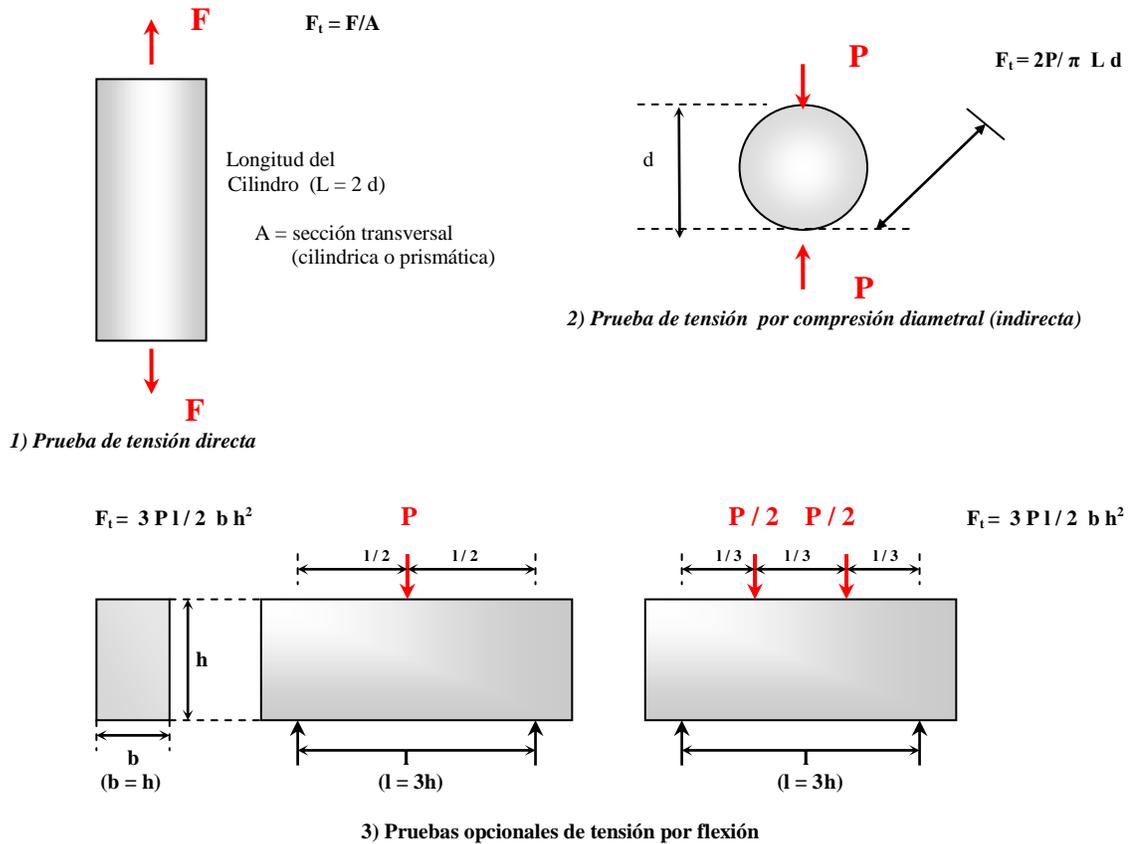


Fig. 2.14 Representación esquemática de los procedimientos usuales para determinar la resistencia a tensión del concreto. Fuente: Manual de Tecnología del concreto. Sección III (CFE)

Conforme al método normal de prueba (ASTM C 78), el ensaye debe realizarse en especímenes de forma prismática y sección rectangular que cumplan con los requisitos dimensionales establecidos para su elaboración en los métodos ASTM C 31 y ASTM C 192, como sigue:

La sección puede ser rectangular o cuadrada, y si es rectangular el peralte h no debe exceder a 1.5 veces el ancho b ; la longitud del espécimen (viga) debe ser por lo menos 50 mm mayor que el triple del peralte, a fin de que el claro de prueba sea exactamente igual a $3h$; el ancho b , debe ser igual o mayor que tres veces el tamaño máximo del agregado que contenga el concreto.

No obstante, con el fin de eliminar variables y hacer el resultado de esta prueba mas comprensible, en dichos métodos se considera como espécimen estándar la viga de sección cuadrada de 152 x 152 mm o (6 x 6 pulg) y longitud igual a 508 mm (20 pulg), que es aplicable a todo concreto cuyo tamaño máximo de agregado no exceda a 51 mm (2 pulg). Cabe hacer notar, que cuando se trata de ensayar a flexión especímenes prismáticos extraídos de la estructura (generalmente losas de pavimento) el método ASTM C 42 también recomienda el uso de la viga estándar de 152 x 152 mm, pero admite el empleo de vigas con menores dimensiones, condicionadas al espesor de la losa y al tamaño máximo del agregado.

El ensaye a tensión por flexión, consiste esencialmente en colocar la viga en posición horizontal, apoyada libremente en sus extremos, y transmitirle en todo el ancho de la viga dos cargas iguales en los tercios del claro, como se muestra en el esquema 3 de la fig. 2.14, tomando precauciones para que tanto las reacciones en los apoyos como las cargas en los tercios actúen verticalmente, y colocando en las líneas de contacto de concreto con el dispositivo de apoyo y de transmisión de carga, sendas tiras de material

compresible (usualmente cuero) para evitar la concentración de esfuerzos cuando en la superficie de concreto hay desviaciones mayores de 0.038 mm con respecto a una superficie plana.

La aplicación de carga debe iniciarse sin choque y puede conducirse con cierta rapidez hasta llegar aproximadamente a la mitad de la carga máxima prevista, y después debe continuarse a una velocidad constante que produzca un aumento en el esfuerzo máximo a tensión comprendido entre 8.8 y 12.3 kg/cm²/min, que para el caso de la viga estándar de 152 x 152 mm corresponde a una velocidad de carga, comprendida entre 11 y 16 Kg/seg aproximadamente.

Este proceso de carga debe prolongarse hasta que se produzca la falla de la viga, a fin de registrar la carga máxima alcanzada como dato para calcular el esfuerzo máximo de tensión producido por flexión, en el plano inferior de la viga a cuyo esfuerzo máximo se le denomina Módulo de Ruptura por Flexión del Concreto. En condiciones normales la falla de la viga debe ocurrir dentro del tercio central y el Módulo de Ruptura (MR) se determina por la expresión:

$$MR = \frac{P l}{b h^2}$$

Donde:

P = carga máxima en kilogramos.

l = claro en cm.

b = ancho en cm.

h = peralte en cm.

Si la sección de falla ocurre fuera del tercio central (pero sin exceder más del 5% del claro) el método recomienda calcular el método de ruptura por la expresión:

$$MR = \frac{3 P a}{b h^2}$$

Donde:

a = distancia media entre la línea de fractura y el apoyo mas próximo, medida sobre la superficie a tensión de la viga (cm.).

Finalmente, si la sección de falla queda fuera del tercio central, a una distancia que exceda 5% del claro el resultado del ensaye debe desecharse.

El estado de humedad del espécimen del concreto en el momento de ensayarlo a tensión por flexión, influye en la magnitud de su Módulo de Ruptura de la siguiente manera: si el espécimen se ensaya completamente seco, su resistencia a tensión por flexión suele ser mayor que si se ensaya completamente saturado, pero si se le ensaya parcialmente seco, su resistencia a tensión por flexión tiende a disminuir (con respecto a su estado saturado) en una proporción significativa que puede llegar a representar una pérdida de resistencia hasta del 40%, lo cual se atribuye a los esfuerzos de tensión que son inducidos en el concreto a causa de la contracción que experimente cuando pierde humedad. Para prevenir este efecto adverso a la resistencia a tensión por flexión, en los

métodos de prueba ASTM C 31 y C 192 se hace notar la necesidad de evitar cualquier secado superficial de las vigas antes de su ensaye.

2.10 Relación de Poisson.

Cuando un espécimen cilíndrico de concreto se somete a una carga axial que produce una distribución uniforme de esfuerzos de compresión en la sección transversal, se deforma de la manera que se representó esquemáticamente en la fig. 2.7, según la cual se manifiestan simultáneamente deformaciones longitudinales y transversales. En términos generales ambas deformaciones siguen tendencias similares cuando se les relaciona con los esfuerzos correspondientes, es decir, presentan un intervalo inicial relativamente elástico en un nivel de esfuerzos inferior al 30 ó 40 por ciento del esfuerzo de ruptura, y después se incrementa a mayor velocidad que los esfuerzos hasta alcanzar la falla del espécimen.

La proporción en que el espécimen se deforma transversalmente con respecto a lo que se deforma longitudinalmente se conoce como Relación de Poisson y, de acuerdo con la consideración precedente, aunque esta relación no se conserva constante dentro del intervalo pseudoelástico puede dársele el mismo tratamiento que al Módulo de Elasticidad, es decir, se le puede considerar un valor medio representativo dentro de dicho intervalo. De esta manera, en los ensayos conducidos conforme al método de prueba ASTM C-469, la Relación de Poisson se calcula a partir de las deformaciones

transversales medidas a la mitad de la altura del espécimen, según la expresión que se muestra a continuación:

$$\mu = \frac{\epsilon_{tB} - \epsilon_{tA}}{\epsilon_B - 0.000050}$$

En la cual ϵ_{tB} es la deformación transversal producida por un esfuerzo equivalente al 40% del esfuerzo de ruptura, y ϵ_{tA} es la deformación transversal que se manifiesta con el esfuerzo que produce una deformación longitudinal de 50 millonésimas (ver fig. 2.11).

De manera global suele considerarse que la Relación de Poisson (μ) puede oscilar entre 0.11 y 0.27, aproximadamente, y que para los concretos de peso normal su intervalo de graduación más frecuente es entre 0.15 y 0.20. Sin embargo, estos son valores de carácter general que pueden requerir ser confirmados en casos específicos donde esta propiedad del concreto requiera ser considerada con más precisión, o bien cuando exista duda acerca del comportamiento de los agregados en este aspecto.

De igual modo que ocurre con el Módulo de Elasticidad la influencia de los agregados en la Relación de Poisson del concreto es muy significativa, tanto por lo que se refiere a las características intrínsecas de las rocas que los constituyen, como por la proporción que representan en la mezcla. En cuanto a la influencia de la proporción de agregados en la mezcla, en la figura 2.15 se indica la manera como tiende a reducirse la

Relación de Poisson a medida que aumenta el contenido unitario de agregados en el concreto, cuando estos son de buena calidad. Es decir, conforme aumenta la proporción de agregados (y se reduce la pasta) el concreto resulta menos deformable, y este es un medio que puede utilizarse cuando se requiere incrementar el Módulo de Elasticidad y reducir la Relación de Poisson del concreto.

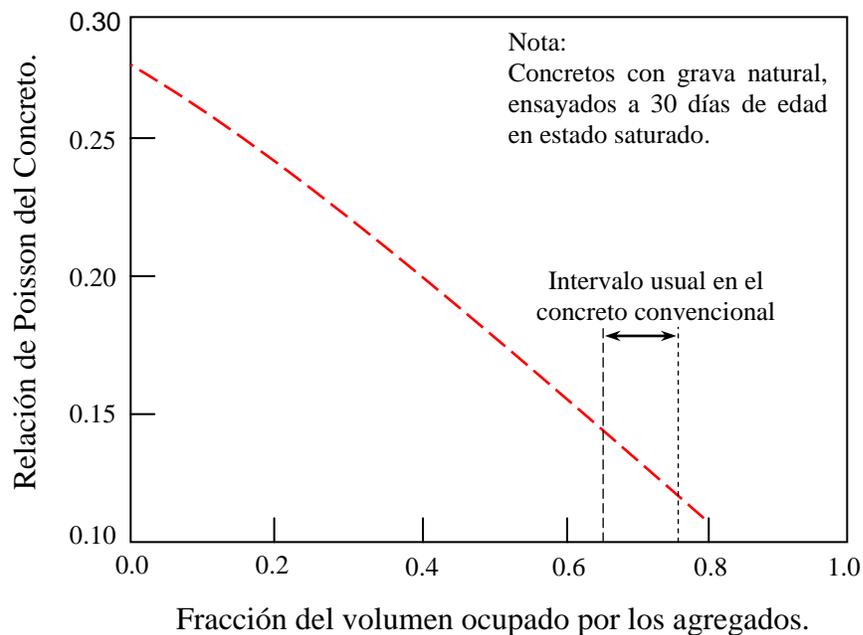


Fig. 2.15: Influencia del contenido unitario de agregados en la Relación de Poisson del concreto. Fuente: Manual de Tecnología del Concreto, sección III, Comisión Federal de Electricidad.

Por lo que respecta a la influencia del grado de resistencia del concreto sobre la Relación de Poisson, no parece haber una tendencia definida; y así, por ejemplo, en el informe ACI 363 se dice que en el intervalo elástico la Relación de Poisson de los concretos de alta resistencia es comparable a los concretos de baja resistencia, es decir,

no hay una variación importante en la Relación de Poisson del concreto por el sólo efecto de su cambio de resistencia.

Por otra parte, bajo el efecto de grandes esfuerzos la Relación de Poisson aumenta rápidamente debido al agrietamiento que ocurre internamente en el espécimen, sin embargo, con lo anterior ya no se produce adherencia continua en el mismo.

Los datos relacionados con la Relación de Poisson bajo carga sostenida son escasos. Generalmente, la Relación de Poisson no se ve afectada, lo que indica que las deformaciones longitudinal y lateral causadas por la fluencia tienen la misma relación que las deformaciones elásticas correspondientes.

2.11 Definición de Pavimento.

Se llama “pavimento”, a toda superficie especialmente construida sobre el suelo o sobre una obra, para estacionamiento o circulación de vehículos o personas, con el objeto de hacer posible su uso en toda estación climática; está conformado por un conjunto de capas con materiales seleccionados que reciben directamente las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad.

De acuerdo con las teorías de esfuerzos y las medidas de campo que se realizan, los materiales con que se construyen los pavimentos deben tener la calidad suficiente

para resistir cargas de tráfico. Por lo mismo, las capas localizadas a mayor profundidad pueden ser de menor calidad, en relación con el nivel de esfuerzos que recibirán, aunque el pavimento también transmite los esfuerzos a las capas inferiores y los distribuye de manera conveniente, con el fin de que éstas los resistan.

Los materiales que forman las terracerías también deben cumplir normas, por lo general no muy rigurosas. Esto permite que los terraplenes se construyan con economía, al utilizar los materiales extraídos de los cortes adyacentes. La calidad y los espesores de las capas inferiores de las terracerías influyen en la estructuración del pavimento. Así, con estos dos parámetros, el ingeniero debe estructurar el pavimento, para lo cual usará los materiales regionales y con ellos resolverá los diferentes problemas que se le presenten, en la forma más económica posible.

El pavimento debe proporcionar la superficie de rodamiento para que los vehículos transiten con “rapidez, comodidad y seguridad”, siendo éstas cualidades relativas y dependientes principalmente del tipo de camino. Así por ejemplo, en una autopista los usuarios exigen velocidades altas quizás mayores a los 80 Km/h, con un alineamiento horizontal y vertical que les brinde seguridad y comodidad; sin embargo, en caminos de segundo orden se maneja en ocasiones a 20 Km/h debido a que en los alineamientos horizontal y vertical se utilizaron especificaciones máximas. En ambos casos, estas condiciones son las requeridas y los usuarios se adaptan a ellas.

2.11.1 Terminología, Función y Características de las Capas de un Pavimento.

La terminología utilizada para la designación de las diferentes capas que componen un pavimento suele no ser única y dependerá de las condiciones propias y de los cambios en las lenguas (aún en un mismo idioma) de los países. Para la diversa terminología utilizada en la construcción de un pavimento, ya sea éste de tipo hidráulico o asfáltico, tomaremos como referencia la Fig. 2.16

Pavimento.

Toda estructura que descansa sobre el terreno de fundación y que se haya formada por algunas o todas las siguientes capas: subrasante, sub base, base, capa de rodamiento y sello.

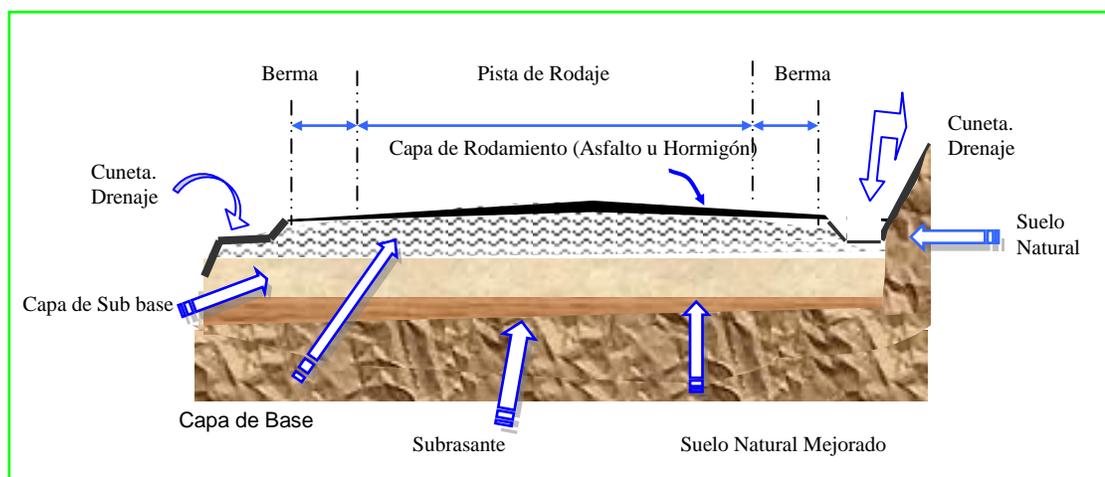


Fig 2.16: Sección Típica de un Pavimento. Fuente: Material Didáctico. Diseño y construcción de pavimentos de concreto hidráulico. UES 2001

Suelo Natural o de Fundación del Pavimento.

Aquel que sirve de fundación al pavimento después de haber sido terminado el movimiento de tierras.

Subrasante.

La subrasante, es la parte de una carretera que sirve para el soporte de las capas de un pavimento, por tanto, debe cumplir características estructurales para que, los materiales seleccionados que se colocan sobre ella se acomoden en espesores uniformes y su resistencia debe ser homogénea en toda la superficie para evitar fallas en los pavimentos.

En algunos casos, esta capa está formada sólo por la superficie natural del terreno; en otros casos, cuando en estado natural el material de corte del lugar es de muy baja calidad, se tendrá que hacer un proceso de mejoramiento, estabilización y luego darle el grado de compactación necesario para obtener la subrasante adecuada.

La subrasante es uno de los elementos principales que debe tomarse en cuenta cuando se diseña una estructura de pavimento.

Sub-base.

La capa de sub-base, es la porción de estructura de pavimento flexible entre la subrasante y la capa de base. La sub-base, comúnmente consta de una capa compactada

de material granular, ya sea tratada o no tratada, o una capa de suelo tratada con mezcla conveniente. Además de su posición en el pavimento, comúnmente se distingue del material de la capa de base por requerimientos menos estrictos de la especificación; por ejemplo, resistencias, tipos de agregados y gradación, plasticidad, etc.

La capa de sub-base se usa por razones económicas en aquellos lugares en que los materiales de sub-base son más baratos que los materiales de más alta calidad. Sin embargo, la sub-base puede omitirse, si la estructura requerida de pavimento es relativamente delgada o si los suelos de la sub-rasante son de alta calidad sin problema de humedad cualquiera que sea el caso, la capa de base puede construirse directamente sobre la subrasante.

Base.

La capa de base, es la porción de la estructura de pavimento flexible o rígido colocada inmediatamente después de la capa superficial. Se construye sobre la capa de sub-base, o si ésta no se usa, se coloca directamente sobre la subrasante. Su principal función es servir como una porción estructural del pavimento. La base, comúnmente consta de agregados como piedra triturada, escoria triturada o grava triturada o sin triturar y arena, o la combinación de estos materiales.

Los agregados pueden usarse tratados o no tratados con aglomerantes estabilizadores como cemento Pórtland, asfalto o cal. En general, las especificaciones

para los materiales de la capa base son considerablemente más estrictas que las de los materiales de sub-base en los requerimientos para resistencia, estabilidad, dureza, tipos de agregados y gradación.

Las funciones de la capa de base son las siguientes.

- a. Recibir, resistir y repartir las cargas del tránsito a través de la capa de base.
- b. Transmitir, y distribuir adecuadamente las cargas a las capas subyacentes.
- c. Impedir que la humedad ascienda por capilaridad.
- d. En caso de haber alguna filtración de agua desde la superficie, ésta permite que descienda hasta la capa subrasante en la que por el efecto del bombeo, o sobre elevación, sea desalojada hacia el exterior.

Capa de Rodamiento.

La que se coloca encima de la base y está destinada a soportar el rodamiento de vehículos. Generalmente está constituida por concreto hidráulico, mezcla bituminosa o adoquinado.

Sello.

Capa que se suele colocar para sellar el pavimento y está formada por una mezcla bituminosa.

Cordón – Cuneta

Franja de material (generalmente de concreto) destinado a la construcción del pavimento, que se coloca con sección trapezoidal a lo largo de la calle o camino a pavimentar; cuya función es recibir el agua que escurre por la superficie de rodadura y los taludes del corte.

Berma de hombros.

Son las fajas contiguas a la calzada, comprendidas entre sus orillas y las líneas definidas por los hombros del camino.

2.11.2 Clasificación de los Pavimentos.

Existen dos tipos principales de pavimentos: flexibles y rígidos, éstos se construyen de acuerdo a las necesidades de cada proyecto y lugar, así:

Pavimentos Flexibles.

En éste tipo de pavimentos una carpeta asfáltica proporciona la superficie de rodamiento; las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales; y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. Las capas que forman un pavimento flexible son: carpetas asfálticas, base, sub-base y riego asfáltico las cuales se construyen sobre la capa subrasante (ver Fig. 2.17).

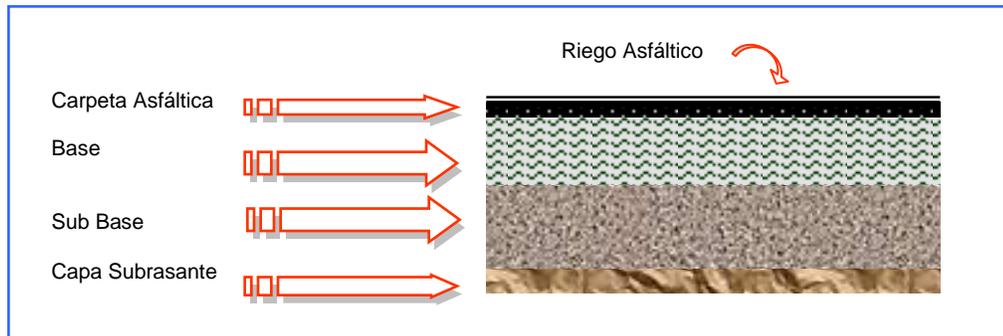


Fig. 2.17: Capas que forman un pavimento flexible.

Fuente: Material Didáctico. Diseño y construcción de pavimentos de concreto hidráulico. UES 2001

Pavimentos Rígidos.

La superficie de rodamiento de los pavimentos que son de nuestro interés, o sea de un pavimento rígido, es proporcionada generalmente por las “losas de concreto hidráulico”, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas. Este tipo de pavimentos no puede plegarse a las deformaciones inferiores sin que se presente la falla estructural.

Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la Subrasante, es necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina en la losa. La sección transversal de un pavimento rígido esta constituida por la losa de concreto hidráulico y la sub base (Fig. 2.18) que se constituyen sobre la capa subrasante.

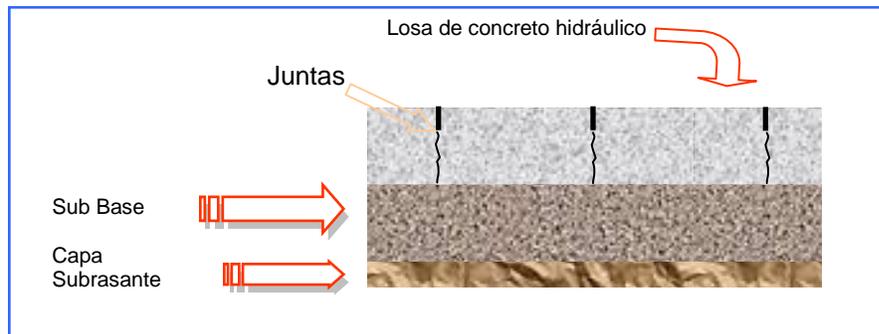


Fig. 2.18: Capas que forman un Pavimento Rígido.

Fuente: Material Didáctico. Diseño y Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico. UES 2001

Este tipo de pavimento puede construirse con o sin refuerzo estructural y en algunos casos podría, llevar una carpeta de desgaste por mezclas bituminosas, además, la rodadura constituye la capa de mayor responsabilidad estructural y funcional y las capas inferiores tienen por misión asegurar un apoyo uniforme y estable para el pavimento.

Además de los pavimentos anteriormente mencionados, existe un gran número de pavimentos de tipo especial, tales como aquellos formados por adoquines, ladrillos, bloques de madera etc, empleados algunas veces en calles y plazas. La mayoría de estos pavimentos especiales se observan únicamente fuera de nuestro país.

2.11.3 Juntas en los Pavimentos Rígidos.

Un pavimento de concreto sin juntas sería ideal, sin embargo las propiedades de los materiales y la acción meteorológica requiere del empleo de juntas para reducir los problemas de retracción del concreto, dilatación térmica, discontinuidad en la construcción de las losas y alabeo (ver Fig. 2.19a y 2.19b), que se convierten con

frecuencia en las zonas más débiles de la estructura. Las juntas se utilizan para acomodar el movimiento restringido o para tener un punto de terminación.

Las principales condiciones que debe cumplir una junta son:

- a) Localización adecuada, de tal manera que controle eficazmente el agrietamiento potencial causado por los factores mencionados anteriormente.
- b) Transmisión adecuada de las cargas a la losa adyacente a fin de evitar fallas por deformación excesiva o pérdida en la calidad del rodamiento.
- c) Protección adecuada de la subrasante contra el agua. La Junta debe ser impermeable, de tal manera que el agua no pueda infiltrarse a través de ella.

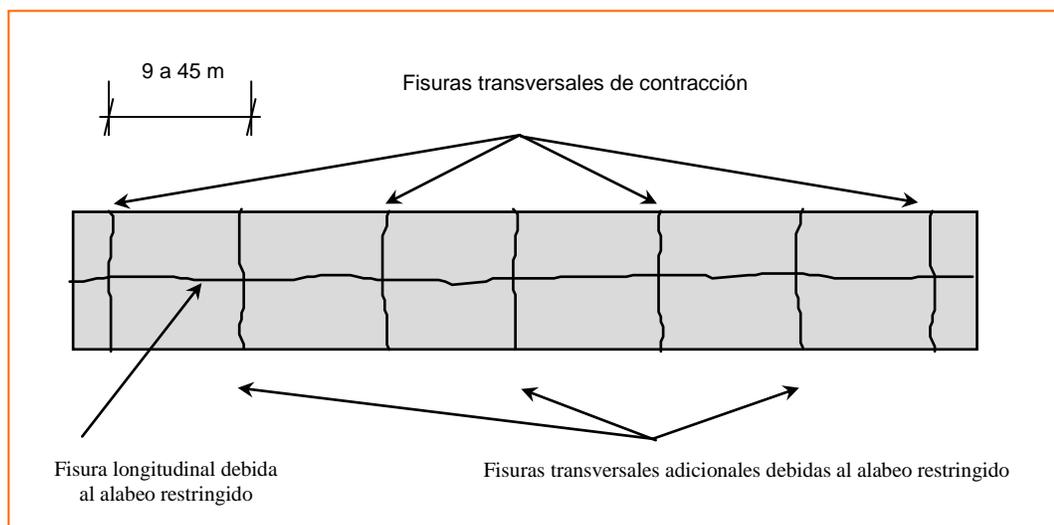
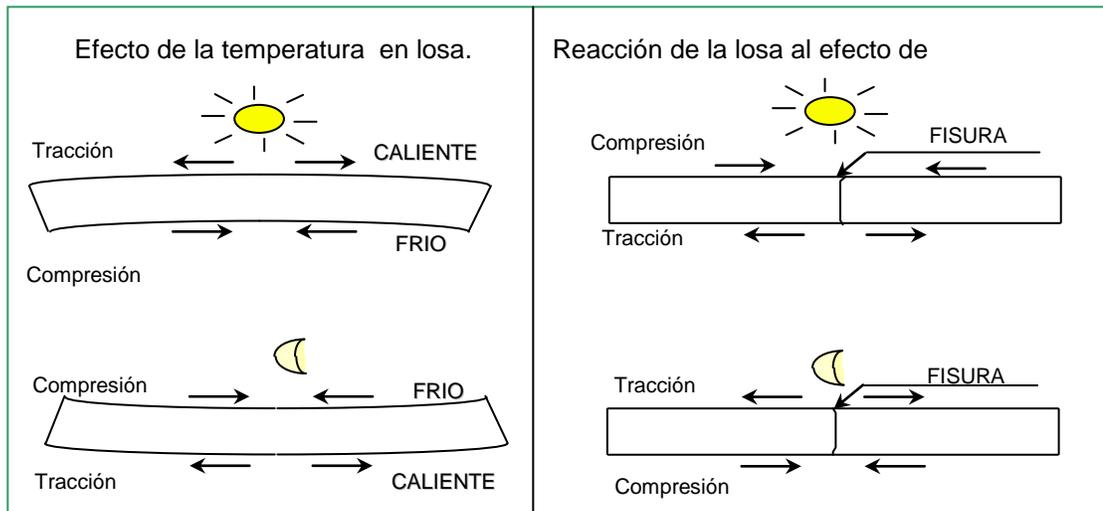


Fig. 2.19 a Vista en planta del Pavimento de Concreto sin Juntas. Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000



*Fig. 2.19 b Vista de sección de losa en comportamiento alabeo diurno y nocturno.
Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000*

2.11.3.1 Tipos de Juntas.

Junta Longitudinal

El papel principal de la junta longitudinal es controlar el agrietamiento producido por el alabeo.

Si el pavimento se construye en su ancho completo y en una sola operación, la junta debe ser hecha con una ranura que separe los carriles; la transmisión de cargas se hace por trabazón de agregados y es usual colocar barras de anclaje que mantengan unidas las caras de las juntas. Estas barras de anclaje no se diseñan para transmitir cargas verticales ni momento flector, por lo que son de diámetros pequeños (No. 4 o No. 5); puede usarse acero liso, aunque es más recomendable el corrugado y no es necesario su uso cuando existe confinamiento lateral del pavimento (Fig. 2.20).

Si el pavimento se construye en un sentido a la vez (caso más frecuente), la junta longitudinal es también junta de construcción, del tipo "machihembrado", con barras de anclaje cuando no existe confinamiento lateral.

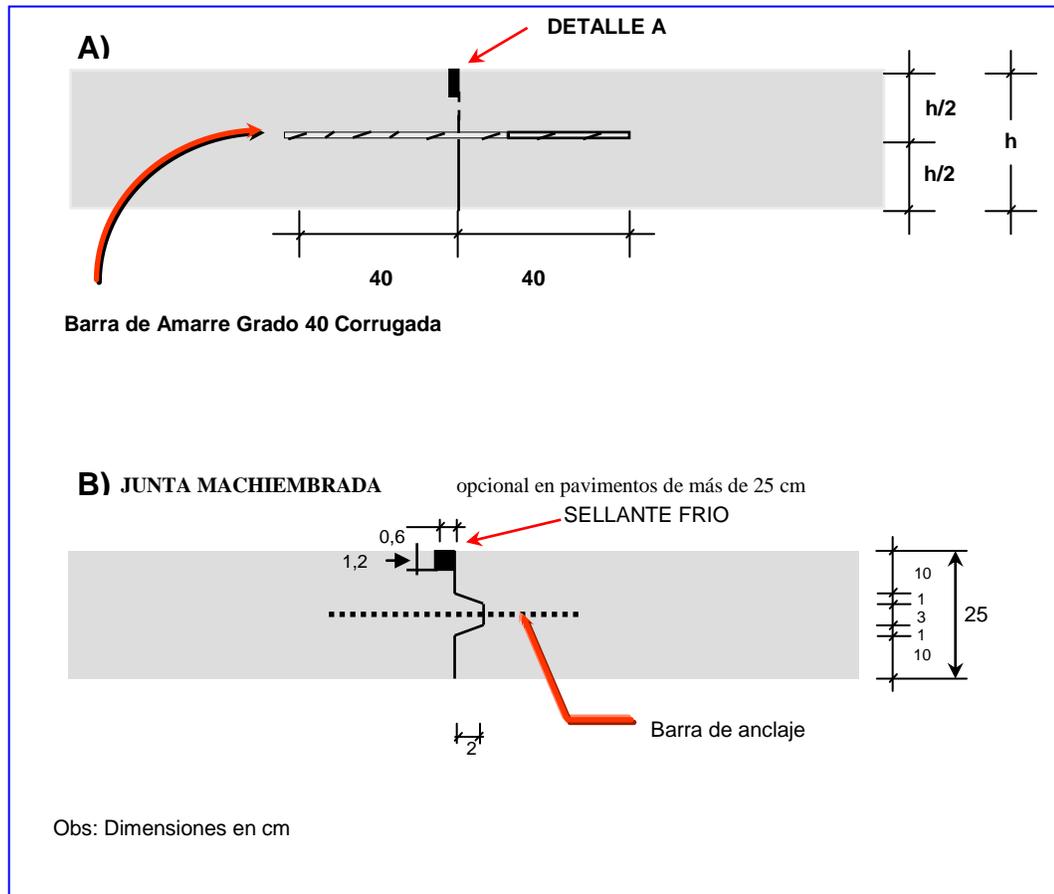


Fig. 2.20. A) Profundidad del Corte y Sellado de Juntas. (Sección transversal). B) Junta Machihembrada (Sección transversal del Pavimento). Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000

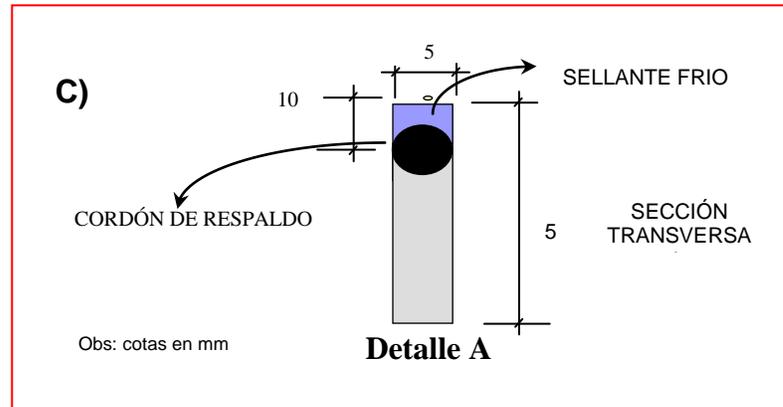


Fig. 2.20 C Junta Longitudinal de Construcción. Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000

Juntas Transversales

Las juntas transversales pueden ser de contracción, expansión, alabeo o construcción. Las de contracción se programan para que coincidan con alguna de las anteriores.

Juntas de Contracción. Son también juntas de alabeo, o sea que controlan las grietas causadas por la retracción del fraguado del concreto y por el alabeo del pavimento. La separación entre las juntas y el tipo de transmisión de cargas deben proyectarse de acuerdo con las recomendaciones de la PCA. (Fig. 2.21)

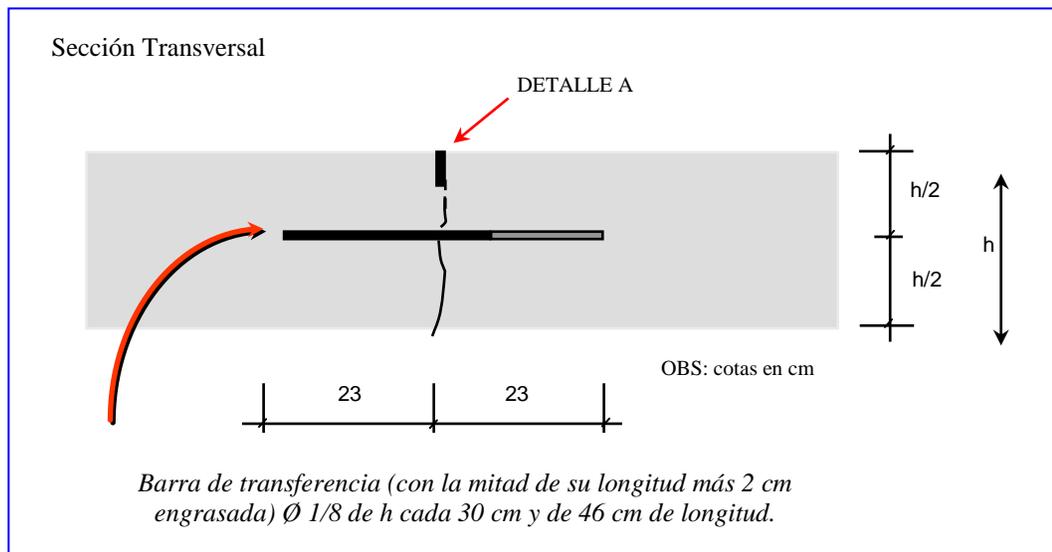


Fig . 2.21 Junta Transversal de Contracción. Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000

Juntas de Expansión. Su objeto es disminuir los esfuerzos de compresión, proporcionando un espacio entre losas que permita el movimiento del pavimento cuando se expande. Cuando el espaciamiento de las juntas de contracción es adecuado no se necesitan juntas de expansión, excepto en objetos fijos o intersecciones asimétricas. Cuando el pavimento empalma con otras estructuras viales existentes (cruces de ferrocarriles), se construye una junta en la cual se aumenta el espesor de la losa para absorber los esfuerzos de borde ocasionados por el tráfico. Contra estructuras que confinen el pavimento se coloca una junta de expansión sin pasadores con ancho de 1.5 a 2.0 cms; alrededor de los pozos de visita y tragantes se coloca una junta sin pasadores de 0.5 a 0.6 cm. de ancho.(Fig. 2.22)

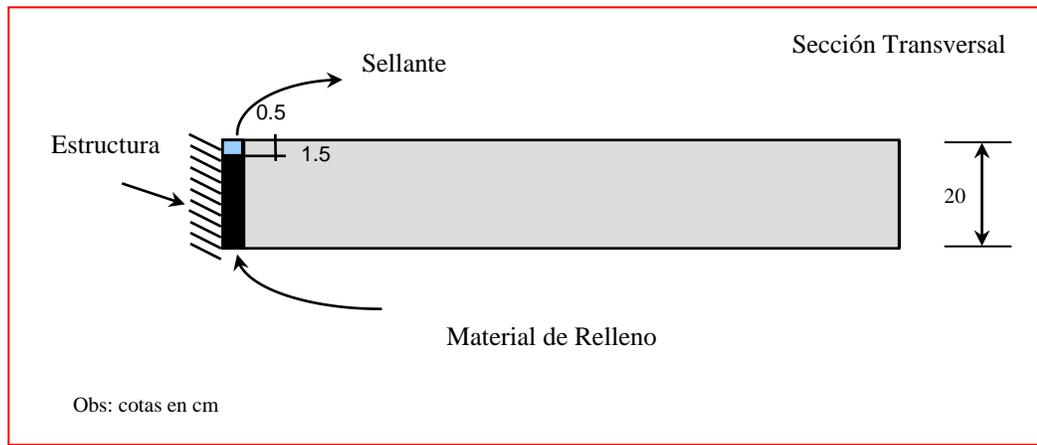


Fig. 2.22 Junta Transversal de Expansión. Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000

Juntas de Construcción. Las juntas longitudinales de construcción se dan cuando el equipo solamente permite la construcción del pavimento carril por carril y se hace coincidir con la longitudinal de alabeo. Las juntas transversales de construcción se proyectan para que coincidan con las juntas de contracción; la transferencia de carga se lleva a cabo por medio de pasadores de acero liso. Cuando la interrupción del colado es imprevista es necesario colocar una junta de construcción. (Fig 2.23)

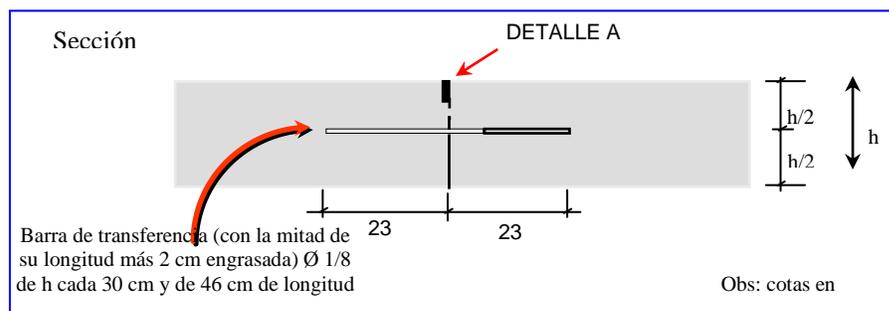


Fig. 2.23: Junta Transversal de Construcción. Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000

Juntas Especiales

Las juntas de aislamiento deben usarse donde se requiera libertad completa de movimiento vertical y horizontal entre la losa y los elementos contiguos. Las Juntas de aislamiento deben usarse en las uniones con los muros, columnas, bases de equipos, zapatas u otros puntos de restricción como desagües, pozos de inspección, sumideros y escaleras. (fig 2.24)

Las juntas de aislamiento se forman insertando un rellenedor premoldeado para la junta entre la losa y el elemento adyacente. El material de la junta deberá extenderse en toda la profundidad de la losa y no debe sobresalir encima de ella.

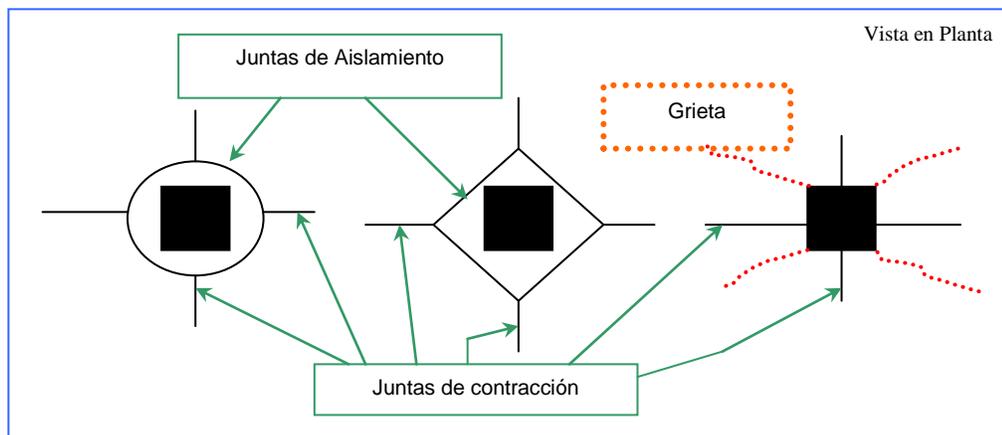


Fig. 2.24 Juntas Especiales. Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000

Relleno de juntas.

Donde existan condiciones de humedad, requisitos de higiene o de control de polvo, o donde el piso está sujeto al tráfico de vehículos pequeños y ruedas de metal por ejemplo las de montacargas, se deben rellenar y proteger las juntas de contracción y construcción con un epóxico semirígido que le de un soporte adecuado a los bordes de la junta de modo que tenga suficiente resistencia al desgaste. (Fig 2.25)

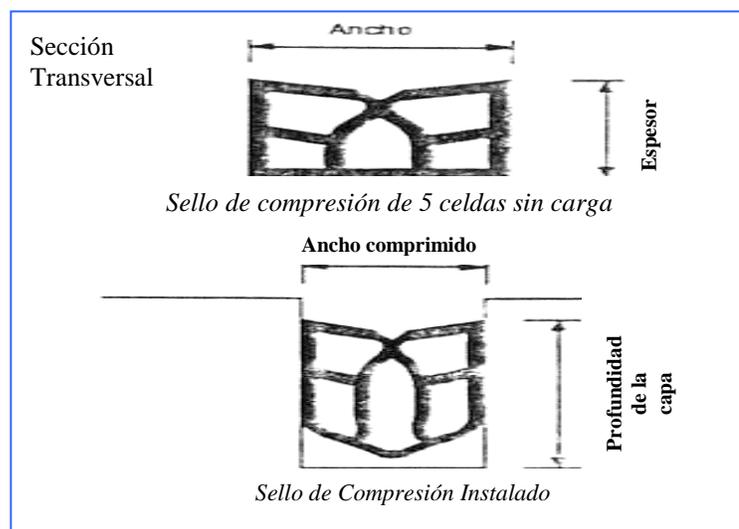
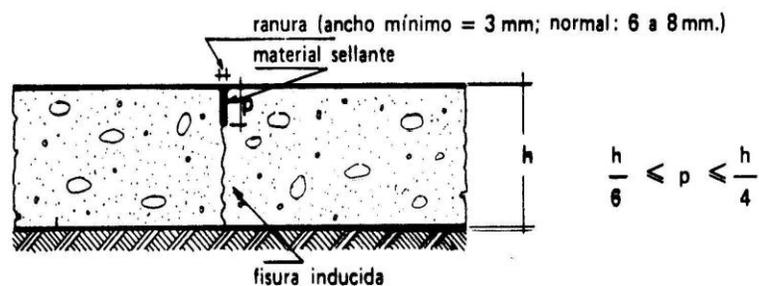


Fig. 2.25 Sellos de Compresión Preformados. Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000

2.11.3.2 Mecanismos de Transmisión de Cargas.

La transmisión de las cargas del tráfico de una losa a otra adyacente a través de las juntas, puede llevarse a cabo por los medios siguientes:

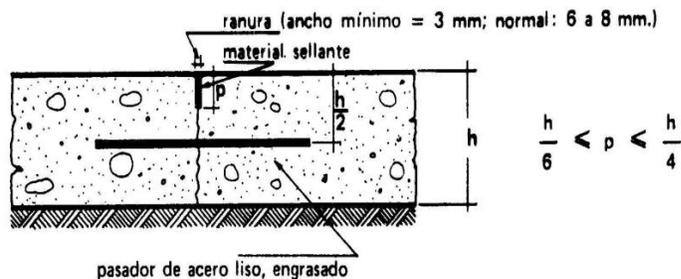
a) Trabazón de Agregados. El sistema consiste en efectuar una ranura en la superficie del concreto, de tal manera que la sección quede disminuida y permita el agrietamiento, extendiéndose a la parte cementante y dejando intactos los agregados cuya trabazón proporciona la resistencia al cortante necesaria para la transmisión de cargas. Funciona efectivamente cuando la abertura de la Junta es menor de 0.5 mm., utilizando una sub base de suelo cemento. (Fig 2.26)



*Fig. 2.26 Mecanismo de Transmisión de carga por medio de la trabazón de agregados.
Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000*

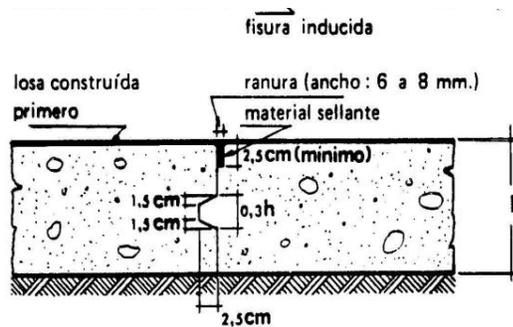
b) Pasadores: Para condiciones de tráfico pesado y/o clima severo, es necesario complementar la eficiencia de la trabazón de agregados mediante el empleo de barras de acero liso, denominadas pasadores, que conectan entre si las losas separadas por junta.

Este tipo de mecanismos transmite tanto fuerzas de cizalladura como momento flector, pero debe permitir el libre movimiento horizontal de las losas, por lo cual al menos una mitad del pasador debe engrasarse a fin de evitar su adherencia con el concreto que lo rodea. (Fig 2.27)



*Fig. 2.27 Mecanismo de Transmisión de carga por medio de pasadores.
Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000*

c) Juntas Machi-Hembradas. Este mecanismo transmite satisfactoriamente fuerzas de cizalladura, pero no momentos flectores, está indicado en las juntas longitudinales de construcción y alabeo y muy raramente en las juntas transversales. (Fig 2.28)



*Fig. 2.28 Mecanismo de Transmisión de carga por medio de junta machihembrada.
Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000*

Los sistemas de transferencia de carga disminuyen las tensiones de deformación en las losas de concreto, presiones de consolidación en el soporte y el mantenimiento, y a su vez aumentan la durabilidad, comodidad y seguridad del rodamiento.

2.11.3.3 Tipos de Pavimentos Rígidos.

Los pavimentos Rígidos pueden agruparse en cinco categorías:

- a. Pavimentos de Concreto con Juntas Simples (JPCP).
- b. Pavimentos de Concreto Compactado (CCP).
- c. Pavimentos de Concreto Armado (JRCP y CRCP).
- d. Pavimentos de Concreto Pretensado.
- e. Pavimentos de Concreto Prefabricados

A continuación se describen las características de cada categoría de pavimento y los diferentes tipos que engloba.

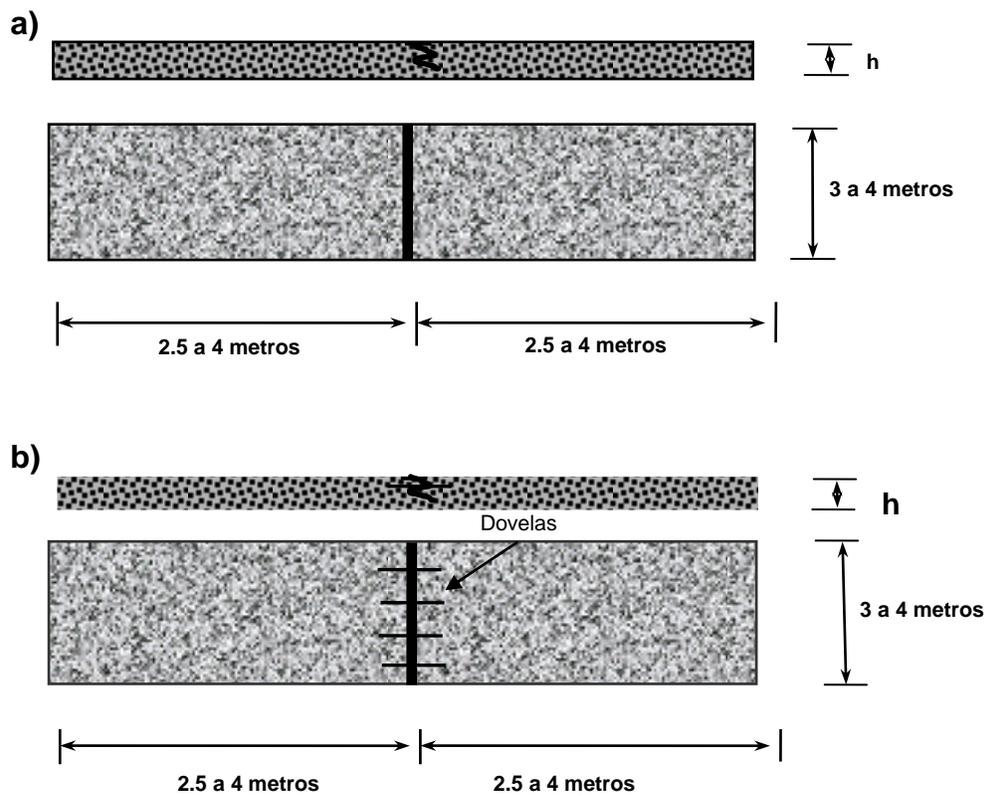
a) Pavimentos de concreto con juntas simples (JPCP)

Los más empleados actualmente por su adaptabilidad técnica y económica a diferentes condiciones son los Pavimentos con Juntas Simples (JPCP). Estos pavimentos son, en general, de construcción más sencilla y de menor costo, por lo que los otros tipos de pavimentos sólo suelen emplearse en determinadas circunstancias, que luego se comentan. Se disponen en ellos juntas transversales de contracción y juntas longitudinales de alabeo entre carriles o cuando la anchura de construcción es superior a 5 m, resultan así, generalmente, losas rectangulares, preferiblemente casi cuadradas, salvo en intersección, ramales y otras superficies de ancho variable en que han de tener en cualquier caso forma relativamente regular, sin ángulos agudos. Ambos tipos de juntas, longitudinales y transversales, puede ser también de construcción.

En las juntas longitudinales se disponen con frecuencia barras de unión de acero corrugado para mantener unidas las losas contiguas. Permiten el alabeo debido al gradiente térmico, pero impiden la abertura de la junta entre carriles de circulación y el escalonamiento bajo tráfico. En cualquier caso, la incidencia de estos fenómenos suele ser poco frecuente en las juntas longitudinales.

Las juntas transversales suponen una solución de continuidad del pavimento, ya que los movimientos verticales, especialmente bajo la acción de los ejes de los vehículos pesados, son diferentes en las juntas que en el interior de la losa. El método más usual para mejorar la transmisión de cargas entre losas contiguas, consiste en la

disposición de pasadores que son barras lisas de acero no adheridas al concreto, situadas a la mitad de espesor (h), paralelas entre ellas mismas y al eje de la vía. Estos pasadores aseguran la continuidad de la rodadura a largo plazo bajo tráfico pesado, pues prácticamente imposibilitan el escalonamiento del pavimento en las juntas. (Fig 2.29)



*Fig 2.29. a) Pavimento de concreto simple.
b) Pavimento de concreto simple con dovelas, llamadas también pasadores. Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000*

b) Pavimentos de Concreto compactado con Rodillo (CCP)

Entre los pavimentos de concreto en masa pueden incluirse los pavimentos de concreto compactado con rodillo. Se trata de un concreto con un bajo contenido de agua (la relación agua / cemento es de 0.35 – 0.40) que ha de compactarse energicamente con rodillos vibratorios y neumáticos, de forma similar a como se hace con una grava cemento. El contenido de cemento es, sin embargo, análogo al de un concreto de pavimentos no inferior a 300 kg/m^3 , empleándose en general cementos mixtos del tipo V con elevado contenido de cenizas volantes (superior al 50%).

En este caso, la extensión del concreto se realiza con extendedora de mezcla bituminosa o moto niveladora, con lo que todas las fases de la puesta en obra pueden realizarse con la maquinaria más habitual en la construcción de carreteras. Una vez compactado y protegido superficialmente con un riego (puede ser el mismo empleado para el curado), el concreto compactado puede habilitarse casi inmediatamente al tráfico, por lo que resulta adecuado para carreteras bajo tráfico.

En carreteras secundarias puede dejarse que se fisure libremente por retracción. En carreteras principales, se deben formar en fresco juntas transversales distanciadas 2.5 a 4 m para que las fisuras en superficie sean rectilíneas.

Su comportamiento es similar al de los pavimentos tradicionales de concreto vibrado. Necesitan en cambio, un tratamiento superficial o una capa de rodadura bituminosa para protegerlos de la acción directa del tráfico, por lo que pueden también considerarse como pavimentos mixtos, con una eventual reflexión de las juntas en superficie que conviene impedir o minimizar.(fig. 2.30)

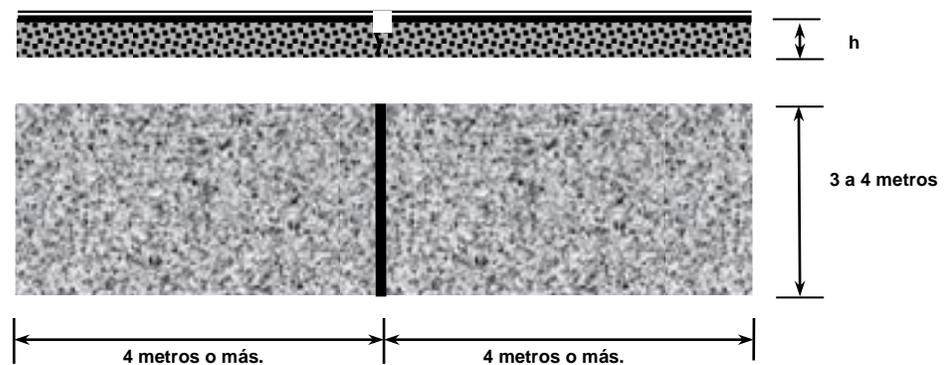


Fig 2.30 Pavimento de concreto compactado. Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000

c) Pavimentos de Concreto Armado (JRCP y CRCP)

A este grupo pertenecen los pavimentos de concreto armado con juntas, los pavimentos continuos de concreto armado y los pavimentos armados con fibras de acero.

Pavimentos de concreto armado con juntas: fueron concebidos en una época en que las juntas constituían un punto débil y un problema de conservación, por lo que

parecía conveniente reducir su número, aumentando la longitud de las losas. La misión de las armaduras no es estructural, pues sería antieconómico, sino es la de mantener acopladas las fisuras transversales que inevitablemente aparecen en losas largas. De este modo se asegura la transmisión de cargas en las fisuras, se impide la intrusión de agua y finos y se evita la abertura en V de las grietas en superficie bajo la acción del tráfico; además, se emplean mallazos electrosoldados (alambres de unos 6mm de diámetro) o barras corrugadas, que se colocan de 5 – 7 cm de la superficie.

A veces suelen emplearse losas armadas en zonas que son susceptibles de asientos diferenciales, como en las losas de aproximación a los puentes. El concepto es en principio correcto, en el sentido que el mallazo aporta una cierta seguridad respecto a eventuales agrietamientos. Sin embargo debe ser sólo eso, un seguro ante un riesgo, debiéndose extremar además todas las medidas usuales para evitar los asientos (materiales adecuados, compactación, drenaje, etc).

Pavimentos continuos de concreto armado: constituyen en cambio una extrapolación feliz de la técnica antes mencionada, dado que llegan a suprimirse las juntas transversales a costa de aumentar la cuantía de la armadura de acero de alto límite elástico.

Pavimentos continuos de concreto armado con fibras de acero: tienen determinadas aplicaciones, en que el elevado costo de este tipo de concreto es

compensado por sus características: aumento de la resistencia a tracción y a la fatiga, mejor comportamiento a flexo tracción, fisuración controlada, resistencia al impacto, durabilidad, etc.

Con este material se puede reducir el espesor del pavimento del orden de un 30% y aumentar el espaciamiento de las juntas, por lo que en algunos casos puede resultar competitivo: recubrimientos o refuerzos adheridos de pavimentos existentes, pavimentos de puentes, pavimentos sometidos a cargas, muy pesadas, etc.(Fig. 2.31).

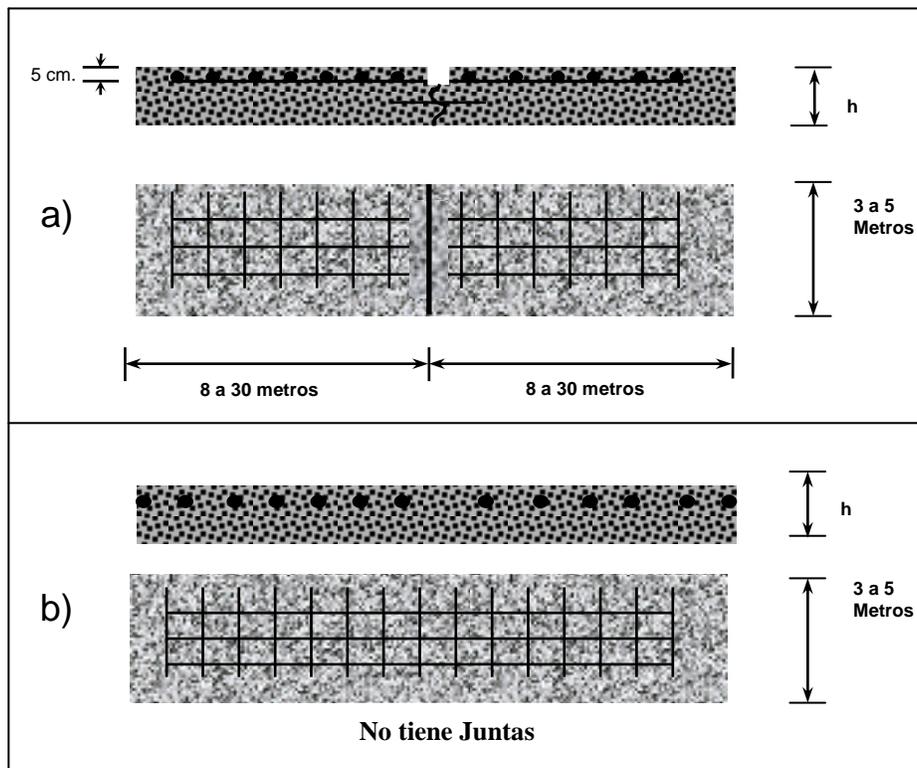


Fig 2.31 a) Pavimento con refuerzo discontinuo distribuido no estructural. b) Pavimento con refuerzo continuo sin función estructural.

Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000

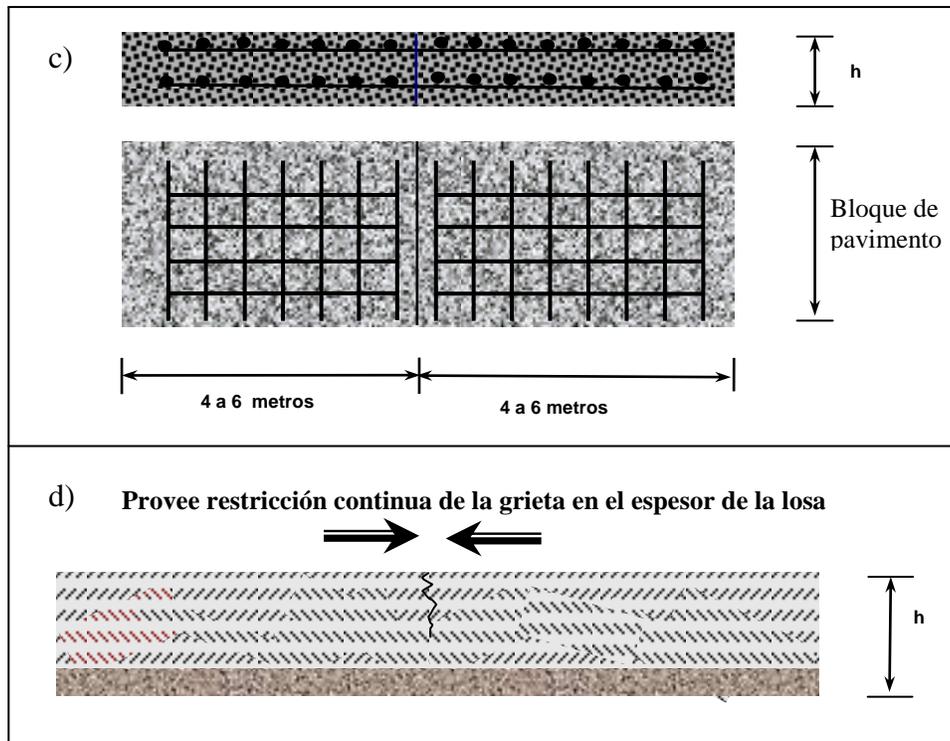


Fig 2.31 c) Pavimento de concreto con refuerzo estructural. d) Sección transversal de un pavimento de concreto con fibras de acero. Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000

d) Pavimentos de Concreto Pretensado

Gracias a la compresión que se introduce, se pueden construir losas de gran longitud, y reducir el espesor de la losa en un 50% .Se han ensayado varios sistemas de pretensado interno, mediante cables o alambres, y de pretensado externo, mediante gatos planos hidráulicos y juntas neumáticas. Las juntas tienen un diseño especial para soportar las mayores variaciones de abertura y con algunos sistemas hay que disponer estribos para resistir los empujes horizontales. (Fig. 2.32)

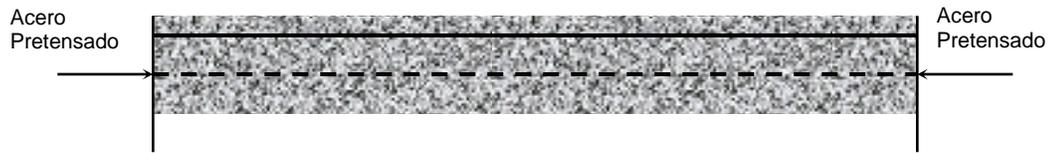


Fig 2.32 Pavimento Pretensado. Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000

e) Pavimentos de Concreto Prefabricados.

Las placas de concreto armado de forma cuadrada o rectangular, desde (1.5 x 1.5)m a (3 x 3) m y (12 a 16) cm de espesor, son empleadas en algunos países para pavimentos industriales sometidos a cargas muy pesadas.

Los adoquines o bloques de concreto tienen unas dimensiones que permiten ser manejados con una sola mano (por ejemplo, 20 x 10 cm) y tienen formas muy variadas, según que haya o no cierto encaje entre bloques. Tienen un espesor de 6 – 12 cm y se apoyan en una capa de asiento de arena de 30 - 50 mm, con función drenante.

En las juntas entre bloques se introduce arena por vibración con la que se consigue una cierta imbricación incluso sin encaje. Aun así este tipo de pavimento de concreto no puede ya considerarse como un pavimento rígido.

Se emplea fundamentalmente en zonas urbanas, portuarias, industriales, etc., tanto para tráfico ligero como para el más pesado que pueda existir. Aparte de las

posibilidades estéticas que ofrecen los bloques con sus formas y colores, la posibilidad de montar y desmontar el pavimento puede ser una ventaja cuando la probabilidad es grande de que se produzcan asientos importantes, haya que abrir zanjas para instalar o reparar servicios, o bien se trate de un pavimento temporal. También encuentra aplicación en pavimentación de áreas reducidas, como en las gasolineras. En carreteras en cambio no suele tener interés, dado su costo y las exigencias del usuario actual en lo referente a la calidad de rodadura a alta velocidad.(Fig. 2.33)

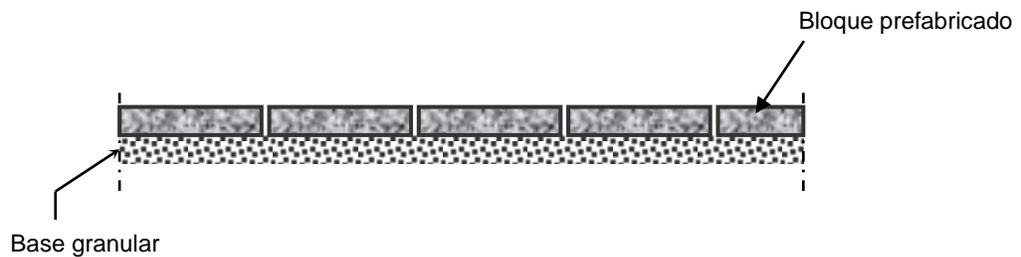


Fig 2.33. Pavimento Prefabricado. Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000

CAPITULO III: REALIZACION DE ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1 Introducción.

Existen diversos documentos que estriban sus estudios en los resultados de los diferentes ensayos efectuados a los materiales que los componen.

En este capitulo se presenta la investigación de los diferentes componentes, ensayos, pruebas y cálculos realizados a los materiales, con la finalidad de conocer el comportamiento y las características que los gobiernan.

Se presenta a continuación de manera difusa, cada una de los ensayos realizados, la norma que los rige, procedimientos, etc. En Anexos se agregan las tablas con los resultados de los cálculos de cada una de las pruebas efectuadas y además, las fotografías que ilustran los procedimientos llevados a cabo en laboratorio.

CAPITULO III. REALIZACION DE ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1 Introducción.

Existen diversos documentos que estriban sus estudios en los resultados de los diferentes ensayos efectuados a los materiales que los componen.

En este capitulo se presenta la investigación de los diferentes componentes, ensayos, pruebas y cálculos realizados a los materiales, con la finalidad de conocer el comportamiento y las características que los gobiernan.

Se presenta a continuación de manera difusa, cada una de los ensayos realizados, la norma que los rige, procedimientos, etc. En Anexos se agregan las fotografías que ilustran los procedimientos llevados a cabo en laboratorio.

3.2 Pruebas para Controlar la Calidad de los Agregados.

3.2.1 Practica Estándar para reducción de las Muestras de Agregado al

Tamaño de Prueba. ASTM Designación: C 702-01

Introducción.

Esta práctica describe tres métodos para la reducción de muestras de agregado al tamaño apropiado para la prueba empleando técnicas que están encaminadas a minimizar las variaciones en características medibles entre la muestra seleccionada para ensayo y la muestra total. Las especificaciones para agregados requieren el muestreo de material para ensayo.

Otros factores tales como muestras más grandes, tienden a ser más representativas de la muestra total. Esta práctica proporciona procedimientos para reducir la muestra total obtenida en el campo o producidas en el laboratorio al tamaño conveniente para realizar un número de ensayos para describir el material y medir su calidad de tal manera que la porción de la muestra más pequeña sea representativa de la muestra total suministrada. La falla en el seguimiento cuidadoso de los procedimientos en esta práctica puede resultar en suministrar una muestra no representativa que será usada en ensayos subsecuentes. Los métodos de prueba individuales proporcionan una mínima cantidad de material a ser ensayado.

Bajo ciertas circunstancias, la reducción en tamaño de una muestra previo al ensayo no es recomendada. Diferencias sustanciales en la muestra de prueba

seleccionada pueden suscitarse sin advertirse, como por ejemplo en el caso de un agregado que relativamente tiene pocas partículas alargadas en la muestra. Las leyes de oportunidad dictan que esas pocas partículas pueden ser desigualmente distribuidas en medio de la muestra de ensayo de tamaño reducido. Similarmente, si la muestra de ensayo es examinada para ciertos contaminantes, se detectan como unos pocos y discretos fragmentos en solamente pequeños porcentajes.

Precaución: Debe ser usada en la interpretación de los resultados de la muestra de ensayo de tamaño reducido. Hay posibilidad de inclusión o exclusión de una sola o dos partículas en la muestra seleccionada para el ensayo y puede influenciar importantemente la interpretación de las características de la muestra original. En estos casos, la muestra original entera debe ser ensayada.

Documentos Referenciados.

Estándares ASTM:

C 125 Terminología Relativa de Concreto y Agregados para Concreto.

C 128 Método de Ensayo para Gravedad Especifica y Absorción del Agregado Fino

D 75 Práctica para Muestreo de Agregados.

Selección del Método.

Agregado Fino - Reduzca el tamaño de las muestras de agregado fino que están en una condición saturada superficialmente secas (Nota 1) por un partidor mecánico de acuerdo al Método A. Reduzca el tamaño de las muestras que tengan humedad libre en la superficie de las partículas por cuarteo de acuerdo al Método B, o tratado como un

apilamiento miniatura, como se describe en el Método C.

Si se desea el uso del Método B o Método C y la muestra no tiene humedad libre en la superficie de la partícula, la muestra puede ser humedecida para alcanzar esta condición, mezcle completamente, y entonces efectuar la reducción de la muestra.

Si se desea usar el Método A y la muestra tiene humedad libre en la superficie de las partículas, la muestra entera puede ser secada para al menos la condición superficialmente seca, usando temperaturas que no excedan la especificada por alguno de los ensayos contemplados, y entonces realizar la reducción de la muestra. Alternativamente, si la muestra húmeda es muy grande, se puede hacer una reducción preliminar usando un partidor mecánico, teniendo una abertura de conductos de 38 mm (1 ½ pulg) o mayor para reducir la muestra a no menos de 5000 g. Seque la porción así obtenida y reduzca la muestra a tamaño de prueba usando el Método A.

Nota 1 - El método para determinar la condición de saturado superficialmente seco esta descrito en el Método de Ensayo C 128. Como una aproximación rápida, si el agregado fino retiene su forma cuando es moldeado en la mano, puede considerarse que esta más húmedo que la condición saturado superficialmente seco.

Agregado Grueso y Mezclas de Agregado Grueso y Fino Reduzca la muestra usando un partidor mecánico de acuerdo con el Método A (método preferido) o por cuarteo de acuerdo con el Método B. El apilamiento miniatura. Método C no es permitido para agregado grueso o mezclas de agregados grueso y fino.

Muestreo

La muestra de agregado obtenido en el campo será tomada de acuerdo con la Práctica D 75, o como sea requerido por métodos de ensayo individual. Cuando solamente son contemplados los ensayos para análisis mecánico, el tamaño de la muestra de campo listada en la Práctica D 75 usualmente es adecuado. Cuando ensayos adicionales serán practicados, el usuario debe cerciorarse de que el tamaño inicial de la muestra de campo es adecuado para cubrir todos los ensayos programados. Similar procedimiento debe ser usado para agregados producidos en el laboratorio.

MÉTODO A: CUARTEO MECÁNICO

Equipo y Herramientas.

- ✦ *Partidor de Muestras* - El partidor de muestras debe tener un número igual de conductos, pero no menos que un total de ocho para agregado grueso, o doce para agregado fino, el cual descarga alternadamente a cada lado del partidor. Para agregado grueso mezclas de agregado, el ancho mínimo del conducto individual será aproximadamente 50 % mayor que el tamaño máximo de las partículas en la muestra a ser partida (Nota 2). Para agregado fino seco en el cual la muestra entera pasa la malla de 9.5 mm (3/8"), un partidor teniendo conductos de 12.5 a 20 mm (1/2 a 3/4") de ancho deberán ser usados. El partidor estará equipado con dos receptáculos para recibir las dos mitades de la muestra después de partirla. También estará equipada con una tolva o cucharón de fondo recto el cual tiene un ancho igual o ligeramente menor que el ancho del conjunto de conductos,

mediante el cual la muestra puede ser alimentada a una velocidad controlada. El partidor y equipo accesorio será diseñado en tal forma que la muestra fluya suavemente sin restricción o pérdida de material (ver Fig. 3.1 y Fig. 3.2)

⚡ *Misceláneo.*

Nota 2 - Partidores Mecánicos comúnmente están disponibles en tamaños adecuados para agregado grueso que tiene un tamaño máximo de las partículas no mayor que 37.5 mm (1 ½ pulg.).



Fig 3.1 Cuarteador mecánico para agregado grueso.
Fuente: ASTM C 702-01

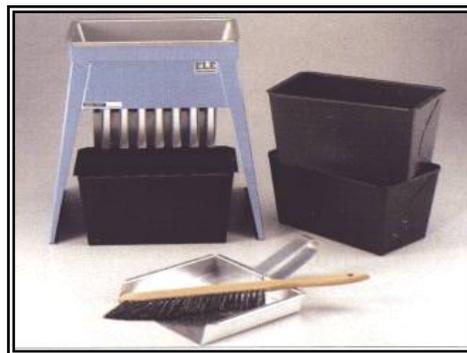


Fig 3.2 Cuarteador mecánico para agregado fino.
Fuente: ASTM C 702-01

Procedimiento

1. Coloque la muestra original en la tolva o cucharón alimentador, distribuyéndola uniformemente en toda su longitud, para que cuando se introduzcan en los conductos, aproximadamente igual cantidad fluya a través de cada conducto. La proporción de velocidad a la cual la muestra es introducida debe ser tal que permita un flujo continuo por los conductos hacia los receptáculos inferiores. Se vuelve a introducir la porción de la muestra de uno de los receptáculos en el partidor cuantas veces sea necesario para reducir la muestra al tamaño requerido para el ensayo. Reserve la porción de material recolectado en el otro receptáculo para reducción de tamaño en otras pruebas a desarrollar, cuando se requiera.

MÉTODO B: CUARTEO MANUAL

Equipo y Herramientas.

El equipo consistirán de una regla, un cucharón fondo plano y borde recto, pala o cuchara de albañil, una escoba o brocha, y una lona de aproximadamente 2 x 2.5 m (6 x 8 pies).

Procedimiento.

1. Puede usarse cualquiera de los procedimientos descritos en los literales 1.1 o 1.2 o una combinación de ambos.
 - 1.1 Coloque la muestra original sobre una superficie dura, limpia y nivelada en donde no se produzca pérdida de material ni adición accidental de material

extraño. Mezcle el material completamente, traspaleando la muestra entera al menos tres veces. En el último traspaleo, forme con la muestra una pila cónica, depositando cada palada en la parte superior de la pila. Cuidadosamente aplane la pila cónica, presionando con una pala la parte superior del cono hasta obtener un espesor y diámetro uniforme, de tal forma que cada cuarto de la pila contenga el material que originalmente se encontraba en el. El diámetro deberá ser aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor. Divida con una pala o cuchara, la masa aplanada, en cuatro partes iguales y remueva los cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino, cepillando los espacios vacíos para limpiarlo; Mezcle y cuartee sucesivamente el material restante hasta reducir la muestra al tamaño requerido (Fig. 3.3)

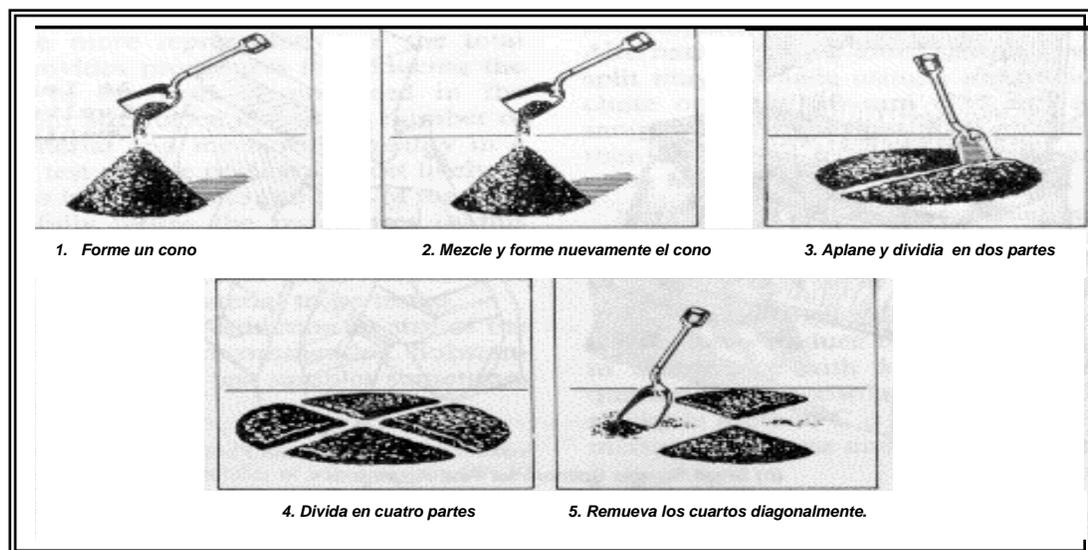


Fig 3.3 Pasos para el cuarteo manual sobre una superficie plana.
Fuente: ASTM C 702-01

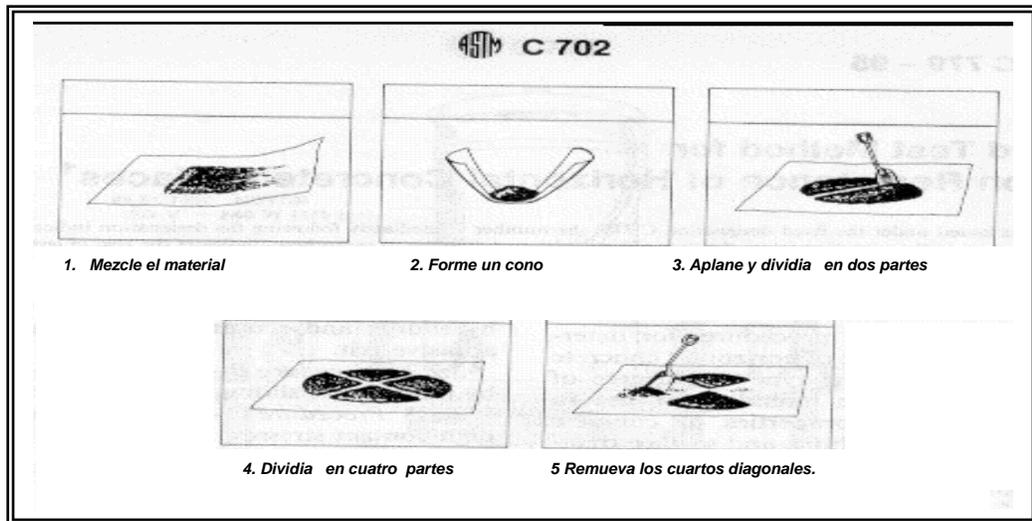


Fig 3.4 Pasos para el cuarteo manual sobre una lona. Fuente: ASTM C 702- 01

1.2 Como una alternativa al procedimiento descrito en 1.1, cuando el piso es irregular, la muestra de campo puede ser colocada en una lona y mezclarla con una pala como se describe en 1.1. o levantando alternamente cada esquina de la lona y llevándola sobre la muestra hacia la esquina diagonalmente opuesta, provocando que el material se revuelva. Aplane la pila como me descrito en 1.1.

MÉTODO C: APILADO EN MINIATURA

Equipo y herramientas.

El equipo consistirá de una regla, pala o cuchara para mezclar el agregado, un muestreador pequeño o cucharón pequeño o cuchara para muestreo.

Procedimiento.

Coloque la muestra original de agregado fino húmedo sobre una superficie dura, limpia y nivelada, donde no se produzca pérdida de material ni adición accidental de material extraño. Mezcle el material completamente traspaleando la muestra entera al menos tres veces. En el último traspaleo forme con la muestra una pila cónica, depositando cada palada en la parte superior de la pila. Si se desea, aplane la pila cónica, presionando con una pala la parte superior del cono hasta obtener un espesor y diámetro uniforme, de tal forma que cada cuarto de la pila contenga el material que originalmente se encontraba en el. Obtenga una muestra para cada ensayo seleccionado al menos cinco porciones de material localizados al azar del apilamiento miniatura, utilizando uno de los dispositivos muestreadotes descritos en equipo y herramienta.

3.2.2 Método de Ensayo Estándar para Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado. ASTM Designación C 566 - 97

Introducción.

Este método de ensayo cubre la determinación del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado por secado, la humedad superficial y la humedad en los poros del agregado. Algunos agregados pueden contener agua que está químicamente combinada con los minerales en el agregado. Dicha agua no es evaporable y no está incluida en el porcentaje determinado por este método de ensayo.

Este método de ensayo es suficientemente exacto para propósitos usuales, tales como ajuste en peso de las cantidades de materiales en una revoltura de concreto. Este generalmente mide la humedad en la muestra de ensayo, determinando la que existe en el agregado suministrado. En casos donde el agregado es alterado por calor o donde se requieran medidas más refinadas, el ensayo puede ser dirigido usando un horno de temperatura controlada.

Partículas grandes de agregado grueso, especialmente aquellos más grandes que 50 mm requerirán mayor tiempo para que la humedad viaje del interior de la partícula a la superficie. El uso de este método de ensayo será determinado por tentativas. El método de secado rápido proporciona suficiente exactitud para el uso pretendido.

Documentos Referenciados.

Estándares ASTM:

C 29/C 29M Método de Ensayo Peso Unitario y Vacíos en los Agregados

C 125 Terminología Relativa al Concreto y Agregados para Concreto

C 127 Método de Ensayo para Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso

C 128 Método de Ensayo para Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino

C 670 Práctica para Preparar la Declaración de Precisión para Métodos de Ensayo en
Materiales de Construcción

D 75 Práctica para Muestreo de Agregados

E 11 Especificación para Mallas Tejidas de Alambre para Propósitos de Ensayo

Material y Equipo

- ↻ Balanza -Una balanza o báscula exacta, legible y sensitiva con 0.1 % de la carga de ensayo en cualquier punto con el rango de uso. Dentro de un intervalo igual al 10 % de la capacidad del dispositivo pesado, la indicación de carga deberá tener una exactitud con 0.1 % de la diferencia en peso.
- ↻ Horno.
- ↻ Recipiente para la muestra.
- ↻ Agitador (Una cuchara metálica o espátula de tamaño conveniente.)

Muestreo

El muestreo será realizado acorde con la Práctica D 75, excepto el tamaño de la muestra.

Asegúrese que el contenido de humedad de la muestra de agregado a ensayar sea representativo de la que tiene el material en el sitio, teniendo una masa no menos que la cantidad listada en la Tabla 3.1. Proteja la muestra contra la pérdida de humedad antes de determinar la masa.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado mm (pulg.)	Masa de Peso Normal Muestra de Agregado min. Kg.
4.75 (0.187) (No. 4)	0.5
9.5 (3/8)	1.5
12.5 (1/2)	2
19.0(3/4)	3
25.0 (1)	4
37.5 (1 1/2)	6
50(2)	8
63 (2 1/2)	10
75(3)	13
90 (3 1/2)	16
100 (4)	25
150 (6)	50

Tabla 3.1 Tamaño de Muestra para Agregado Grueso.

Fuente: ASTM C 566-97

Procedimiento

1. Pese la muestra con una aproximación de 0.1 %
2. Seque la muestra completamente en el recipiente, por medio de la fuente de calor seleccionada, teniendo el cuidado de evitar la pérdida de alguna partícula. El calentamiento muy rápido puede causar que algunas partículas exploten,

causando la pérdida de material. Use un horno de temperatura controlada cuando el calor excesivo pueda alterar las características del agregado, o cuando se requiere mayor precisión en la medida. Si se usa una fuente de calor diferente al horno de temperatura controlada, agite la muestra durante el secado para acelerar la operación y evite sobrecalentamiento localizado. Cuando se use un horno de microondas, la agitación de la muestra es opcional.

Cálculos.

Calcule el contenido de humedad total como sigue:

$$\omega\% = 100 \frac{m - d}{d}$$

Donde:

ω = contenido de humedad de la muestra, (%)

m = masa de la muestra original, (g)

d = masa de la muestra seca, (g)

El contenido de humedad superficial es igual a la diferencia entre el contenido de humedad total y la absorción, con todos los valores basados en pesos secos. La absorción puede ser determinada de acuerdo con el Método de Ensayo C 127 o Método de Ensayo C 128.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

PORCENTAJE DE HUMEDAD PARA EL AGREGADO GRUESO. ASTM C-566-97

Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales**

Procedencia **CONCRETERA SALVADOREÑA
Cantera San Diego**

Fecha: 22/5/2003
Hoja: 1/1

Ensayo No	1	2
Peso de grava húmeda (g)	392.6	450.3
Peso seco de grava secada al horno (g)	389.1	446.3
W de humedad %	0.89	0.88

Humedad % promedio: 0.89

Observaciones

Reporte de Humedad del agregado grueso

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

PORCENTAJE DE HUMEDAD PARA EL AGREGADO FINO. ASTM C-566-97

Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales**

Procedencia **CONCRETERA SALVADOREÑA**
Rio Jiboa

Fecha: 22/5/2003
Hoja: 1/1

Ensayo No	1	2
Peso de grava humeda (g)	150.2	162.3
Peso seco de grava secada al horno (g)	138.0	149.2
W de humedad %	8.84	8.78

Humedad % promedio: 8.81

Observaciones

Reporte del contenido de humedad del agregado Fino.

3.2.3 Método de Ensayo Estándar para Análisis por Malla de Agregados

Grueso y Fino. ASTM Designación: C136-01

Introducción.

Este método de ensayo cubre la determinación de la distribución del tamaño de las partículas del agregado grueso y fino mediante tamizado.

Una muestra de agregado seco de masa conocida es separada a través de una serie de mallas de aberturas progresivamente menor para la determinación de los tamaños de las partículas.

Este método de ensayo es usado para determinar la graduación de materiales propuestos para usarse como agregado en distintos tipos de mezclas y para proporcionar información necesaria en el control de la producción de dichas mezclas.

Es frecuente representar la granulometría del agregado haciendo uso de gráficos, asignando en el eje de las abscisas los tamaños de las aberturas de los tamices, y en el eje de las ordenadas los porcentajes que pasan las correspondientes mallas.

Tamaño de tamices

Los tamices o mallas estándar para determinar la gradación de los agregados finos son: No. 4, 8, 16, 30, 50 y 100.

Las cribas o mallas estándar para el análisis del agregado grueso son: 6", 3", 1 1/2", 3/4", 3/8" y No. 4;

Otros tamaños de tamices que se utilizan para agregado grueso son: 2 1/2", 2", 1" y 1/2".

Documentos Referenciados

Estándares ASTM:

C 117 Método de Ensayo de Material más Fino que la Malla No. 200 en Agregado Mineral por Lavado.

C 125 Terminología Relativa a Concreto y Agregados para Concreto.

C 702 Práctica para Reducir Muestras de Agregado a Tamaños de Ensayo.

D 75 Práctica para Muestreo de Agregados.

E 11 Especificación para Tejidos de Alambre y Mallas para Propósitos de Ensayo.

Material y equipo:

- ✦ Arena.
- ✦ Grava.
- ✦ Balanzas de 0.1 y 0.5 g de precisión.
- ✦ Juego de Mallas: 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", No 4, No 8, No 16, No 30, No 50, No 100, No 200, fondo y tapa.
- ✦ Agitador de Mallas Mecánico "RO-TAP".
- ✦ Un horno a temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- ✦ Juego de pesas: 500 grs., 1, 2, 5 y 10 kg.
- ✦ Un brochuelo.
- ✦ Recipientes de aluminio.
- ✦ Un cucharón de Aluminio.
- ✦ Una brocha, etc.

Especificaciones para Agregado Fino:

El tamaño de la muestra de ensayo, después de secado, debe ser 300 g como mínimo.

El Agregado fino tendrá una granulometría dentro de los límites prescritos en la norma ASTM C33; véase la siguiente Tabla 3.2:

GRADUACIÓN DEL AGREGADO FINO				
Abertura de Malla		Porcentaje que Pasa		
(9.51mm)	3/8 in		100	
(4.75 mm)	Nº 4	95	a	100
(2.36 mm)	Nº 8	80	a	100
(1.18 mm)	Nº 16	50	a	85
(600 µm)	Nº 30	25	a	60
(300 µm)	Nº 50	10	a	30
(150 µm)	Nº 100	2	a	10

Tabla 3.2 Límites de graduación del agregado fino.

Fuente: ASTM C-33

Los porcentajes mínimos mostrados en la tabla anterior para materiales que pasan las mallas Nº 50 y Nº 100, pueden reducirse a 5 y 0 respectivamente, con agregado a usar en concreto con aire incluido que contenga más de 237 Kg/m³ (400lb/yd³) de cemento, o en concreto sin aire incluido que contenga más de 297 Kg/m³, de cemento (500lb/yd³), o si se usa aditivo mineral adecuado para suplir las deficiencias en los porcentajes que pasan las mallas.

El agregado fino no tendrá más del 45% retenido entre dos mallas consecutivas de las indicadas en la tabla anterior.

Especificaciones para Agregado Grueso:



Fig 3.5 Tamices certificados de abertura cuadrada, usados para el ensayo granulométrico.

El tamaño de la muestra de ensayo de agregado grueso será conforme a lo siguiente:

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL, ABERTURAS CUADRADAS		TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO, MINIMO,
mm.	(pulg.)	kg. (lb)
9.5	(3/8)	1 (2)
12.5	(1/2)	2 (4)
19.0	(3/4)	5 (11)
25.0	(1)	10 (22)
37.5	(1 1/2)	15 (33)
50	(2)	20 (44)
63	(2 1/2)	35 (77)
75	(3)	60 (130)
90	(3 1/2)	100 (220)
100	(4)	150 (330)
125	(5)	300 (660)

Tabla 3.3 Tamaño de la muestra de ensayo de agregado grueso.

Fuente: ASTM C 33

Los requisitos de la norma ASTM C 33 para granulometría de agregados gruesos, permiten un amplio rango de granulometrías y una diversidad de tamaños granulométricos, como aparece a continuación:

REQUISITOS DE GRANULOMETRIA PARA AGREGADO GRUESO, SEGÚN ASTM C 33.

Tamaño nominal (mallas con aberturas cuadradas)	CANTIDADES MENORES QUE PASAN CADA MALLA DE LABORATORIO (ABERTURAS CUADRADAS), % EN PESO.												
	100 mm 4"	90 mm 3.54"	75 mm 3"	63 mm 2.5"	50 mm 2"	37.5 mm 1.5"	25 mm 1"	19 mm 3/4 "	12.5 mm 1/2 "	9.5mm 3/8 "	4.75 mm No 4	2.36 mm No 8	1.18 mm No 16
3.5 a 1.5 "	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
2.5 a 1.5 "	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
2 a 1 "	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
2 " a No 4	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-
1.5 a 3/4 "	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-
1.5 " a No 4	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
1 a 1/2 "	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-
1 a 3/8 "	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-
1 " a No 4	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-
3/4 a 3/8"	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-
3/4" a No 4	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	25 a 55	0 a 10	0 a 5	-
1/2" a No 4	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-
3/8" a No 8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Tabla. 3.4 Requisitos de granulometría para agregado grueso.

Procedimiento.

1. Seque la muestra a peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).

Nota 3 - Para propósitos de control, particularmente donde resultados rápidos son deseados, generalmente no es necesario secar el agregado grueso para el ensayo de análisis por malla. El resultado está ligeramente afectado por el contenido de humedad, a menos que: a) el tamaño máximo nominal sea menor que 12.5 mm (1/2 pulg.); b) el agregado grueso contenga apreciable material más fino que la malla de 4.75 mm (No. 4); o c) el agregado grueso es altamente absorbente (agregado de peso ligero, por ejemplo).

2. Seleccione las mallas con aberturas adecuadas para proveer la información requerida por la especificación. Use mallas adicionales como se desee o sea necesario para proporcionar otra información, tal como Módulo de Finura, o para regular la cantidad de material en una malla. Se colocan las mallas en orden decreciente de tamaño de abertura de arriba hacia abajo y colocando la muestra en la malla superior.
3. Se agitan las mallas manualmente o mediante un aparato mecánico por un período suficiente, para que cada una de las partículas tenga la misma oportunidad de alcanzar las aberturas de la malla durante la operación de tamizado y por un período suficiente, de tal manera que, después de completado, no más del 1 % por masa del material retenido en alguna malla individual pase esa malla durante 1 minuto de continuo tamizado manual ejecutado como sigue:
Agarre la malla individual con una mano, provista con un fondo y tapa, en una posición ligeramente inclinada. Se golpea el lado de la malla con rapidez y con un movimiento ascendente contra la palma de la otra mano a una razón alrededor

de 150 veces por minuto, se gira la malla aproximadamente un sexto de una revolución en intervalos de 25 golpes. En la determinación de la suficiencia de tamizado para tamaños mayores que la malla de 4.75 mm (No. 4), se limita el material en la malla a una simple capa de partículas; si es necesario, girar las partículas para determinar si pueden pasar a través de una abertura en particular; sin embargo, no forzar a las partículas a pasar a través de una abertura.

Nota 4: Para el caso particular del agregado fino en que se use un agitador mecánico (RO-TAP), la muestra de prueba deberá tamizarse por un tiempo de 10 minutos y posteriormente se dejará reposar 3 minutos para que el polvo se asiente.



*Fig 3.6 Tamizador Mecánico.
(Ro - Tap)*

4. Determine el peso de material por cada tamaño de tamiz en una báscula o balanza. El peso total del material después de tamizado debe verificarse estrechamente con el peso original de la muestra colocada sobre las mallas. Si la cantidad difiere por más de 0.3 % basado en el peso original de la muestra seca, el resultado no debe ser usado para propósitos de aceptación.

Cálculos.

Antes de iniciar los cálculos se debe verificar si las sumas de los Pesos Retenidos Parciales son iguales a los respectivos pesos iniciales. Si no lo son, se procede a compensar por exceso o por defecto en la malla de mayor peso retenido o distribuyendo el error equitativamente en todos los Pesos Retenidos Parciales.

MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
xi	W1	$(W1/wtotal) \times 100 = p1$	P1	$100 - P1$
xi	W2	$(W2/wtotal) \times 100 = p2$	$P1 + P2$	$100 - (P1 + P2)$
xi	W3	$(W3/wtotal) \times 100 = p3$	$P1 + P2 + P3$	$100 - (P1 + P2 + P3)$
xi	W4	$(W4/wtotal) \times 100 = p4$	$P1 + P2 + \dots P4$	$100 - (P1 + P2 + \dots P4)$
xi	W5	$(W5/wtotal) \times 100 = p5$	$P1 + P2 + \dots P5$	$100 - (P1 + P2 + \dots P5)$
xi	W6	$(W6/wtotal) \times 100 = p6$	$P1 + P2 + \dots P6$	$100 - (P1 + P2 + \dots P6)$
xi	W7	$(W7/wtotal) \times 100 = p7$	$P1 + P2 + \dots P7$	$100 - (P1 + P2 + \dots P7)$
xi	Wn	$(Wn/wtotal) \times 100 = pn$	$P1 + P2 + \dots Pn$	$100 - (P1 + P2 + \dots Pn)$
Totales	Wtotal		100	

*Tabla 3.5 Información requerida y forma de cálculo para granulometría de agregados.
Fuente: ASTM C 136*

La composición granulométrica de las arenas suele representarse por su **Módulo de Finura (MF)**; éste es un valor adimensional, que se obtiene de la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en cada uno de los tamices que van del No. 4 al No.100 dividido por 100, (según la norma ASTM C 33) Un valor de Módulo de Finura menor de 2.3 es representativo de una arena demasiado fina y si es mayor de 3.1 como una arena demasiado gruesa para usarse en el concreto.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO ASTM C-136

Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales.**

Procedencia: **CANTERAS CONCRETERA SALVADOREÑA** Fecha: 2-Jun-03
Cantera San Diego Hoja: 1/1

Peso Inicial 5.000 Kg

MALLA	PESO RETENIDO (Compensado) (Kg)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
		PARCIAL	ACUMULADO	
1"	0	0	0	100
3/4"	0.0	0.74	1	99
1/2"	2.4	48.58	48	51
3/8"	2.1	42.64	43	8
No 4	0.4	8.03	8	100
Pasa No 4				
Suma	5.0	100.00		

Observaciones: *Tamaño Máximo Nominal 3/4"*

Reporte de granulometria en agregado grueso.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO FINO ASTM C-136

Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales.**

Procedencia: **CANTERAS CONCRETERA SALVADOREÑA** Fecha: 2-Jun-03
Rio Jiboa Hoja: 1/1

Peso Inicial 5.000 Kg

MALLA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA	
		PARCIAL	ACUMULADO		
3/8"	0.0	0.00	0	0	100
No 4	7.3	1.46	1	1	99
No 8	56.1	11.22	11	12	88
No 16	88.6	17.72	18	30	70
No 30	109.1	21.82	22	52	48
No 50	141.5	28.30	28	80	20
No 100	75.3	15.06	15	95	5
Fondo	22.1	4.42	5	100	0
Suma	500.0	94.12	100		

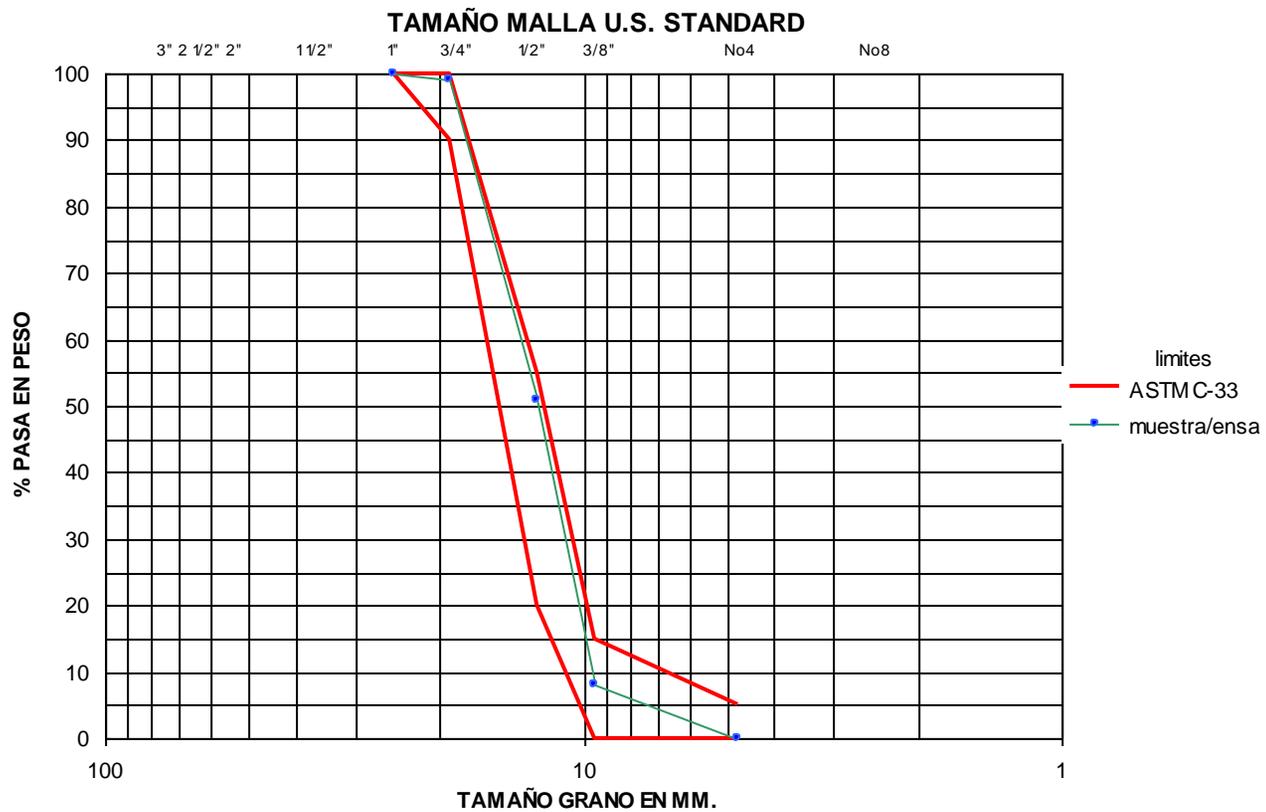
$M_f = \frac{\text{Sumatoria de porcentaje acumulado retenido desde la malla No 4 a No 100}}{100}$

$$M_f = \frac{270}{100} = 2.7$$

Observaciones:

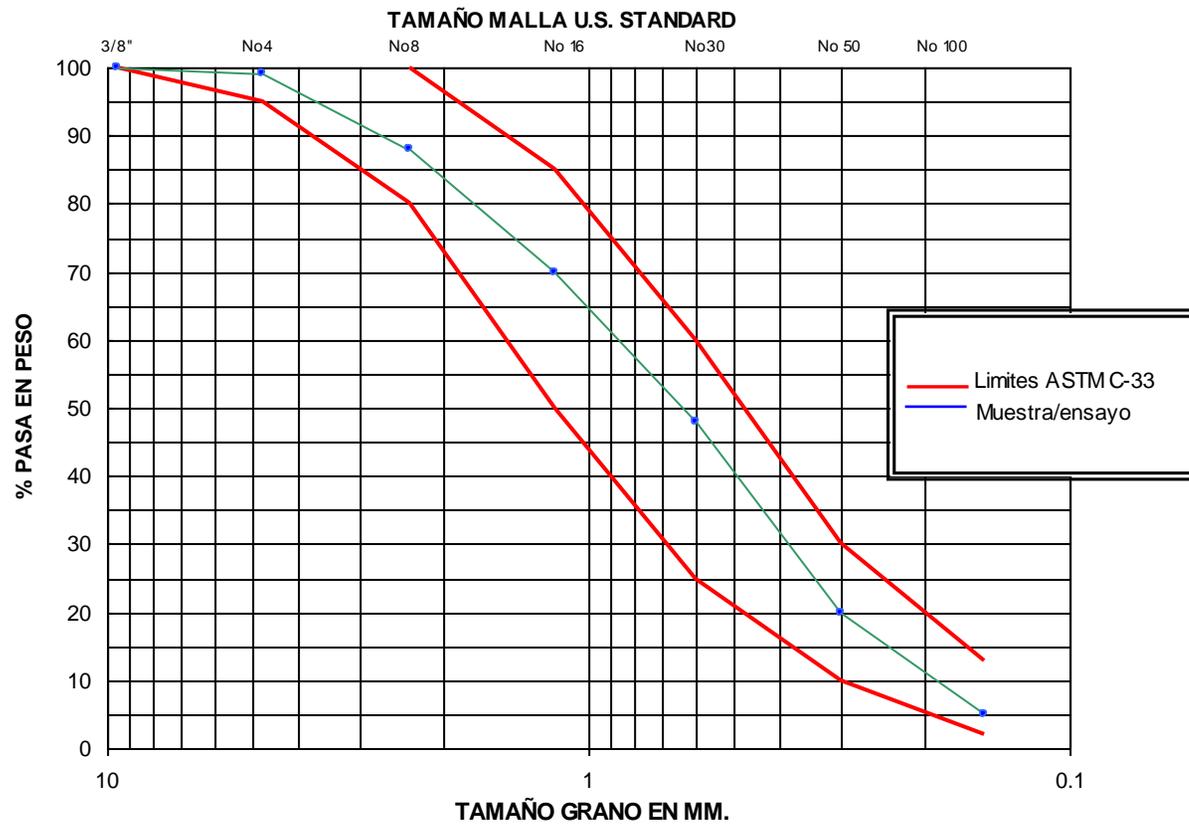
Reporte de granulometría en agregado fino.

Proyecto: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales.
Procedencia: Cantera San Diego



Reporte de curva granulométrica y especificación para agregado grueso.

Proyecto: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales.
Precedencia: Rio Jiboa



Reporte de curva granulométrica y especificación para agregado fino.

3.2.4 Método de Prueba Normal para Resistencia al Desgaste de Agregado Grueso de Tamaño Pequeño por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles. ASTM Designación: C 131 – 03.

Introducción.

Esta prueba se ha usado ampliamente como un indicador de la calidad relativa o competencia de varias fuentes de agregado de composiciones minerales análogas. La resistencia al desgaste se usa también para examinar la calidad del agregado; es esencial cuando éste se emplea para producir concretos sujetos a abrasión, como ocurre en los pisos para servicio pesado o en pavimentos.

Este método de prueba cubre el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaño igual o menor a 1½" (37.5 mm) por resistencia al desgaste utilizando la Máquina de Los Ángeles. Esta prueba da una idea clara del porcentaje de desgaste que puede sufrir una roca como parte de una estructura que resista fuerzas tangenciales.

Documentos de Referencia.

Normas de ASTM:

C 125 Terminología que Relativa a concreto y Agregados para concreto

C 136 Método de Ensayo estándar para el análisis por malla de agregado grueso y fino.

C 535 Método de la Prueba para la Resistencia al desgaste de Agregado Grueso de Gran Tamaño por Abrasión e Impacto en la máquina de Los Ángeles.

C 702 Practica Estándar para reducción de las Muestras de Agregado al Tamaño de Prueba.

D 75 Práctica Estándar para Muestreo de agregados.

Equipo y Herramientas.

- ↵ Agregado grueso
- ↵ Máquina de los Ángeles
- ↵ Juego de tamices con tamaño de mallas de acuerdo con el tamaño máximo del agregado.
- ↵ Esferas de acero de aproximadamente 46.8 mm de diámetro y peso de 420 g.
- ↵ Balanza con exactitud dentro de 0.1% de la carga de prueba, o por encima del rango requerido por la misma.
- ↵ Cuchara de albañil
- ↵ Bandeja, brochas, etc.



Fig 3.7 Máquina de Abrasión Los Ángeles

Procedimiento.

1. Se obtienen una muestra del campo representativo del banco a usar, según la norma ASTM D 75, y se reduce ésta al tamaño de muestra adecuado de acuerdo con la Práctica C 702.
2. La muestra de prueba deberá ser lavada y secada a una temperatura entre los 110 ± 5 °C o hasta obtener peso constante.
3. Se separa el agregado en fracciones haciendo uso de los tamices y combinarlos de acuerdo a la granulometría de la Tabla 3.6, que más cercana corresponda al agregado a utilizar, registrando el peso de la muestra, antes de ensayarlo con una precisión de 1g en cada malla.

TAMAÑO MÍNIMO MALLA (ABERTURA CUADRADA)		PESO DE TAMAÑO INDICADOS (g)			
		GRANULOMETRÍA			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
1½" (37.5 mm)	1" (25.0 mm)	1250 ± 25			
1" (25.0 mm)	¾" (19.0 mm)	1250 ± 25			
¾" (12.5 mm)	½" (12.5 mm)	1250 ± 10	2500 ± 10		
½" (12.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8" (9.5 mm)	¼" (6.3 mm)			2500 ± 10	
¼" (6.3 mm)	No.4 (4.75 mm)			2500 ± 10	
No.4 (4.75 mm)	No.8 (2.36 mm)				5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Tabla 3.6 Graduación de la muestra de ensayo

Fuente: ASTM C 131-03

Determinación de la carga abrasiva:

- i) La carga abrasiva consta de esferas de acero de 46.8 mm de diámetro y peso por unidad de 420 g.
- ii) El peso de la carga abrasiva dependerá de la granulometría de la muestra de prueba según se muestra en la tabla 3.7:

GRANULOMETRÍA	NO. DE ESFERAS	PESO DE LA CARGA
A	12	5000 ± 25 g
B	11	4584 ± 25 g
C	8	3330 ± 20 g
D	6	2500 ± 15 g

*Tabla 3.7 Carga Abrasiva según granulometría de ensaye.
Fuente: ASTM C 131-03*

- 4. Se coloca la muestra de prueba y la carga abrasiva en la Maquina de Los Ángeles, haciéndola girar a una velocidad de 30 a 33 r.p.m. hasta completar 500 revoluciones; la maquina deberá mantener una velocidad periférica sustancialmente uniforme.
- 5. Descargar el material de la maquina, debiendo separar la muestra preliminar con una malla más gruesa que la # 12, la proporción que pasa se cribará en la malla # 12.

6. El material grueso retenido en la malla # 12 se lava y se seca al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta peso constante con un gramo de precisión.

Cálculos:

$$\textit{Porcentaje de desgaste} = \frac{(W_{\text{Inicial}} - W_{\text{Final}})}{W_{\text{Inicial}}} \times 100$$

Donde:

W_{Inicial}: Peso Inicial de la muestra.

W_{final}: Peso Final de la muestra.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE DESGASTE DE AGREGADO GRUESO. ASTM C-131

Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales.**

Procedencia **CANTERAS CONCRETERA SALVADOREÑA** Fecha: 25-May-2003
Cantera San Diego Hoja: 1/1

Tipo de granulometría: **TIPO B, (según la tabla 3.6)**
Numero de esferas: **11 (Según tabla 3.7)**
Carga abrasiva en gr.: **4584 ± 25 : 4140**

MALLAS	PESOS (g)
Pasa la malla de 3/4" y se retiene en la malla 1/2 "	2500
Pasa la malla de 1/2" y se retiene en la malla 3/8 "	2500
Peso total de la muestra:	5000
w_{final} (peso después de la prueba retenido en la malla N 12)	4140

% Desgaste:

$$D = \frac{w_{inic} - w_{final}}{w_{inic}} \leq 50$$

% DESGASTE: **17%**

Observaciones: _____

Reporte del Desgaste del agregado grueso

3.2.5 Método estándar para la Sanidad de Agregados Usando Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio. ASTM designación C-88- 99ª.

Introducción.

El concreto de cemento Pórtland es durable en la mayoría de los ambientes naturales, sin embargo durante su servicio, el concreto queda expuesto a sustancias que lo atacan. La mayoría de soluciones ácidas, desintegran rápida o lentamente al concreto de cemento Pórtland, dependiendo del tipo y la concentración del ácido. Esta prueba se usa para determinar la desintegración producida por soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Es necesario hacer notar que los resultados de las pruebas que se obtiene con las sales, difieren considerablemente por lo que se debe tener especial cuidado en fijar adecuadamente los límites en cualquier especificación en la que se incluyan requisitos relacionados con esta prueba.

Bajo esta prueba, el agregado de granulometría conocida se somete a inmersión en una solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio y secado al horno.

Durante la prueba en los poros del agregado se forman cristales de sal que tienden a romper las partículas de manera similar a la acción del hielo.

La reducción del tamaño de las partículas del agregado demostrada por el análisis granulométrico después de cinco ciclos de exposición debe cumplir que la pérdida no exceda al 12% para el agregado grueso sometido a sulfato de sodio y el 18% para el sulfato de magnesio, para el agregado fino las perdidas ocurridas después de

cinco ciclos del ensayo de sanidad no deberán exceder al 10% para sulfato de sodio y el 15% cuando se use sulfato de magnesio. Según lo prescrito en la norma ASTM C- 33.

Equipo y Herramientas.

- ⌘ Balanzas: una de 20 kg y otra de 2,610 g de capacidad, con 1.0 g y 0.1g de aproximación, respectivamente.
- ⌘ Mallas. según las características definidas en ASTM E 11-87. Para este propósito se recomienda usar las siguientes: 1", ¾", ½", N° 4, N° 8, N° 30, N° 50 y N° 200.
- ⌘ Agitador mecánico.
- ⌘ Picnómetro. (Fig. 3.8)

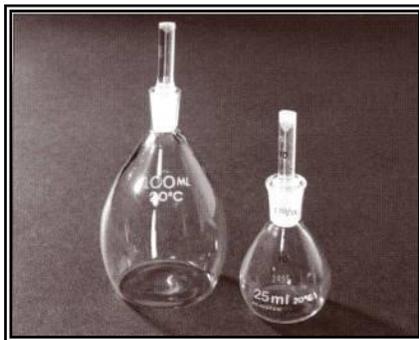


Fig 3.8 Botella de gravedad específica de vidrio. (Picnómetro) 100 ml y 25 ml.

- ⌘ Horno eléctrico.
- ⌘ Espátulas, brochas, charolas, papel periódico, palas manuales, carretilla de mano y baldes o recipientes de lavado.
- ⌘ Materiales.

Procedimiento

Solución requerida.

Se prepara la solución de sulfato de sodio (Na_2SO_4) o sulfato de magnesio para la inmersión de la muestra de agregados 48 h antes de su utilización, periodo durante el cual debe mantenerse a una temperatura de 22 °C. La preparación de la solución para la inmersión de la muestra de ensayo debe ser suficiente para lograr los cinco ciclos de inmersión requeridos durante el ensayo. La temperatura del agua para la preparación de esta solución debe ser entre 25 °C y 30 °C.; para su preparación se añade suficiente sulfato de sodio hasta lograr la saturación de la misma, esto se producirá cuando se presenten cristales de sal (sulfato de sodio) agregada en exceso. Durante la adición de la sal, deberá existir un agitador vigoroso a intervalos continuos.

Nota: 5 Normalmente 215 g de sulfato de sodio por litro de agua son suficientes para lograr la saturación de la solución. Para reducir la evaporación y prevenir la contaminación, se debe guardar la solución con una cubierta cerrada antes de su utilización por el periodo ya mencionado. Inmediatamente antes de la sumersión esta debe agitarse vigorosamente. La solución deberá tener una gravedad específica no menos de 1.151 y no mayor de 1.174.

Preparación de las muestras.

Condiciones generales.

Las muestras de ensayo deberán estar limpias (lavadas por la malla N° 100), secas a peso constante, representativa y cumplir con los requerimientos planteados a continuación. Además, se debe conocer previamente la granulometría natural del material a ensayar según ASTM C 136.

Muestra de agregado fino.

El agregado fino para el ensayo, deberá ser tamizado a través de la malla 3/8”.

La muestra tamizada deberá ser de un tamaño suficiente para obtener no menos de 100 g. por cada malla, según cada uno de los siguientes tamaños:

Pasa la malla	Se retiene en la malla
N°30	N°50
N°16	N°30
N°8	N°16
N°4	N°8
3/8”	N°4

*Tabla 3.8 Rango de tamaño por cada fracción a ensayar.
Fuente: ASTM C 88-99a*

Muestra de agregado grueso.

La muestra de agregado grueso no deberá contener material mas fino que la

Malla N° 4, debiendo estar formada por los siguientes tamaños:

Tamaños del agregado entre	Peso en g.
3/8" a N°4	300 ± 5
3/4" a 3/8" consistentes en: 1/2" a 3/8" 3/4" a 1/2"	330 ± 10 670 ± 5 1500 ± 10
1 1/2" a 3/4" consistentes en: 1" a 3/4" 1 1/2" a 1"	1500 ± 50 500 ± 30 1000 ± 50
2 1/2" a 1 1/2" consistentes en: 2" a 1 1/2" 2 1/2" a 2"	5000 ± 300 2000 ± 200 3000 ± 300

Tabla 3.9 Tamaño de muestra de agregado grueso según granulometría.
Fuente: ASTM C 88-99a

Cuando el agregado a ensayar contiene cantidad de finos y gruesos, en cuya granulometría se reporta más del 10% en peso de material retenido en la malla 3/8" y más de 10% de material que pasa la malla N° 4, se deberán ensayar separadamente las fracciones sobre y bajo la malla N° 4, según los procedimientos respectivos para gruesos y finos.

Ejecución del ensayo

1. Se introduce la muestra de ensayo en la solución preparada de sulfato de sodio o de magnesio durante un periodo de tiempo no menor de 16h y no mayor de 18h. La muestra debe permanecer cubierta totalmente por la solución en profundidad no menor de 1/2", una vez se ha depositado la muestra en la solución, se cubre el recipiente para reducir la evaporación y prevenir que la solución se contamine

con sustancias extrañas. La temperatura de la inmersión deberá ser de $21 \pm 1^\circ\text{C}$.

Secado de la muestra después de la inmersión.

1. Después del periodo de inmersión, se remueve la muestra de agregados de la solución, permitiéndole que drene durante 15 ± 5 min con el propósito de introducirla a secado dentro del horno en las condiciones descritas adelante. La temperatura del horno deberá ser de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. La muestra deberá secarse hasta obtener peso constante, el cual se considerara cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas es menor del 0.1% del peso seco de la muestra total de agregados. Al final del período de secado, se enfría la muestra a temperatura ambiente, para luego introducirla en otra porción nueva de solución.

Nota 6 - El proceso descrito anteriormente se repite hasta cumplir cinco ciclos completos de inmersión y secado.

2. Una vez terminados los cinco ciclos de saturación – secado y con la muestra a temperatura ambiente, se procede a lavarla hasta dejarla libre de solución de sulfato de sodio o magnesio. El lavado debe ser continuo y efectuarse con agua circulante a una temperatura de $43 \pm 6^\circ\text{C}$. con las muestras en sus recipientes. Esto puede colarse colocando cada recipiente dentro de un tanque lavado, y haciendo que el agua con la temperatura indicada, llene ésta y luego se derrame sobre el mismo. En la operación de lavado las partículas, de las muestras no deberán estar sujetas a impacto o abrasión, ya que pueden tender a quebrarse.

3. Después que el sulfato de sodio o magnesio ha sido removido, se seca cada fracción de la muestra de ensayo hasta peso constante, dentro de un horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.; se tamiza cada porción del agregado fino sobre la misma malla sobre la cual esta fue retenida antes de iniciar el ensayo y el agregado grueso sobre las mallas indicadas en la tabla 3.10 según el tamaño apropiado de las partículas. Para el agregado fino, el método y duración del tamizado podrá ser el mismo que se usa durante la preparación de la muestra de ensayo, es decir 15 min. Para agregado grueso el tamizado deberá ser manual, con agitación suficiente para asegurar que todos los tamaños han tenido la oportunidad de estar en contacto con la malla en donde se encuentre. No se debe usar extramanipulación para romper las partículas u obligarlas a que pasen cualquiera de las malla.

Tamaño de agregado	Malla usada para determinar la pérdida.
2 ½" a 1 1/2"	1 ¼
1/2" a 3/4"	5/8
¾" a 3/8"	5/16
3/8" a N°4	N° 5 (4mm)

Tabla 3.10 Mallas para determinar perdidas según tamaño de agregado en el ensayo de sanidad.

Fuente: ASTM C 88-99a

Examen cualitativo.

Para realizar el ensayo cuantitativo de la muestra gruesa (mayor de la malla $\frac{3}{4}$ "), ensayada se separan las partículas de cada muestra de ensayo en grupos de acuerdo a la acción producida por el ensayo y se registra el número de partículas que muestran señales de degradación en cada porción obtenida. Muchos tipos de acciones pueden presentarse. En general, estas pueden clasificarse como desintegración, hendiduras, desmenuzamientos, agrietamientos.

Cálculos.

Se pesa el material retenido sobre cada malla y se registra cada cantidad. La pérdida producida en cada malla (porcentaje que pasó la malla después del ensayo), se expresa como un porcentaje de la gradación original en cada malla del material ensayado. La pérdida total se expresa como la suma total de las pérdidas parciales en cada una de las mallas utilizadas. Este ensayo contiene los cálculos relativos a la granulometría de un material, es decir, el cálculo del porcentaje retenido parcial, porcentajes acumulados parciales, los porcentajes que pasan cada malla y los cálculos relativos al porcentaje de pérdida para cada malla fina después del ensayo, expresado como un porcentaje pasante original de cada fracción. En caso de materiales con cantidades apreciables de gruesos y finos, se deberá reportar por separado los resultados de pérdida obtenidos de ensayo de cada una de las fracciones que separe la malla N° 4. El valor porcentual representa la sanidad del material pétreo ensayado.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE SANIDAD EN AGREGADO GRUESO. ASTM C-88

Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales.**

Procedencia: **CANTERAS CONCRETERA SALVADOREÑA** Fecha: 2-Jun-03
Cantera San Diego Hoja: 1/1

Retenido en la malla	Peso de la muestra antes de la prueba(g)	Peso de la muestra despues de la prueba(g)	Diferencia	% en peso de pérdidas en los cinco ciclos.
Malla No. 4	100	93.90	6.10	6.10%
Malla 1/2"	670	668.30	1.70	-
Malla 3/8"	330	329.80	0.20	-
Sub total	1000	998.10	1.90	0.19%
Totales	1100	1092.00	8.00	6.29%

Observaciones: _____

Reporte de Sanidad en agregado grueso.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE SANIDAD DE AGREGADO FINO. ASTM C-88

Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales.**

Procedencia: **CANTERAS CONCRETERA SALVADOREÑA**
Rio Jiboa

Fecha: 2-Jun-03
Hoja :1/1

Retenido en la malla	Peso de la muestra antes de la prueba(g)	Peso de la muestra despues de la prueba(g)	Diferencia	% en peso de perdidas en los cinco ciclos.
Malla No. 8	100	98.50	1.50	0.38
Malla No. 50	100	95.50	4.50	1.13
Malla No. 30	100	82.10	17.90	4.48
Malla No. 16	100	90.60	9.40	2.35
Totales	400	366.70	33.30	8.33

Observaciones: _____

Reporte de sanidad en el agregado fino.

3.2.6 Método Estándar para la Prueba de Partículas Planas y Alargadas en Agregado Grueso. ASTM Designación D4791-89

Introducción

Este método comprende el procedimiento de laboratorio para determinar las partículas planas y alargadas de la fracción retenida en la malla No 4.

Las partículas de agregado grueso se miden para determinar las proporciones de anchura al espesor y de la longitud a anchura. Las partículas planas o largas de agregados, en algunos casos de construcción pueden interferir con consolidación y además puede influir en la manejabilidad del concreto.

La forma de las partículas y la textura superficial de un agregado influyen en las propiedades del concreto, en el caso de concreto hidráulico, las partículas de superficies rugosas o las planas y alargadas requieren mas agua para producir un concreto manejable que los agregados redondeados o con partículas cuboides. por tanto las partículas del agregado que son angulares requieren mas cemento para mantener la misma relación agua-cemento. Las partículas de los agregados deben ser cortas, gruesas y libres de cantidades excesivas de piezas en forma de placas y alargadas.

Material y Equipo.

- ⌘ Pie de Rey
- ⌘ Calibrador proporcional. Los dispositivos de la figura 3.9 y 3.10 son un ejemplo

de un aparato conveniente para este método de la prueba. Consiste en un bastidor con dos puntos fijos y un brazo oscilante montados entre ellos para que las aperturas entre los brazos y los postes mantengan una proporción constante. La posición del eje puede ser ajustado para proporcionar la proporción deseada de dimensiones de la apertura. La Fig. 3.9 ilustra un dispositivo en que las proporciones de 1:2, 1:3, y 1:5 puede ponerse.

✦ Balanzas 0.5% de la masa de la muestra.

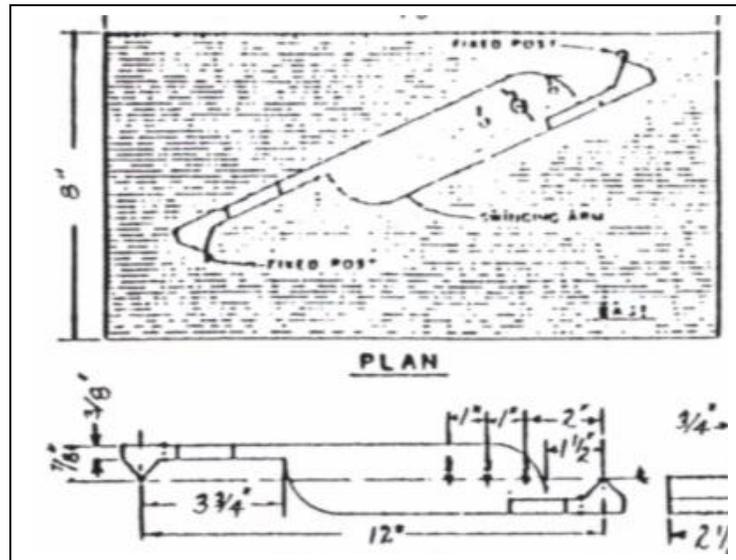


Fig. 3.9 Calibrador proporcional.

Fuente: ASTM C 4791-89

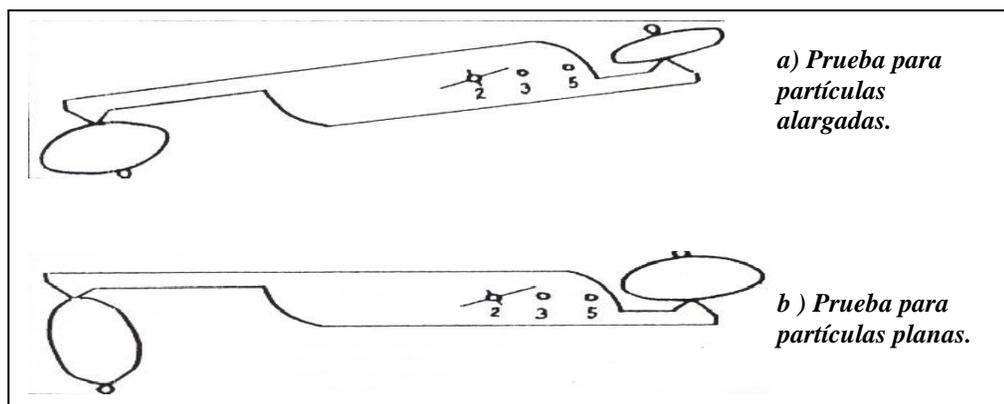


Fig 3.10 Calibrador proporcional. Fuente: ASTM C 4791-89

Procedimiento.

1. Muestree el agregado grueso de acuerdo con la Práctica D 75.
2. Mezcla completamente la muestra y lo reduce a una cantidad conveniente; usar los procedimientos aplicables y descritos en la Práctica C 702. La muestra para la prueba se conformará como se muestra a continuación:

Máximo nominal. Aberturas cuadradas, mm (plg.)	Mínima masa de muestra de ensayo kg. (lb)
9.5 (3/8)	1(2)
12.5(1/2)	2(4)
19.0(3/4)	5(11)
250(1)	10(22)
37.5(1 1/2)	15(33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35(77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100(220)
100 (4)	150(330)
112 (4 1/2)	200(440)
125 (5)	300 (660)
150 (6)	500(1100)

Tabla 3.11 Tamaño en el que se conformará la mezcla de prueba.
Fuente: ASTM C 4791-89

Si los resultados se requieren por peso, la muestra deberá secarse a una temperatura

de $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ($110 \pm 5^{\circ}\text{C}$) durante 24 horas.

Si la determinación se hará por conteo de las partículas, el secado no será necesario.

Se verificará que la cantidad retenida en cada malla a partir de la de 3/8", sea como mínimo el 10% del peso de la muestra original, de lo contrario ese tamaño de partículas no será ensayado.

3. Las porciones retenidas mayores del 10% de la muestra original, serán reducidas de tamaño de acuerdo a la C 702, hasta obtener aproximadamente 100 partículas para cada una de ellas.
4. De cada una de las porciones, se medirá cada partícula y se clasificará como: plana alargada o ninguna de la anteriores
5. Use el dispositivo del calibrador proporcional, mostrado en Fig. 3.10 como sigue:

Prueba de la Partícula plana: la abertura más grande del calibrador debe ser igual a la anchura de la partícula. También, el espesor de la partícula debe coincidir en la abertura más pequeña del ranurador. *Prueba de la Partícula alargada:* la abertura más grande del calibrador debe ser igual a la longitud de la partícula. También, se tipifica como partícula alargada, si puede ponerse la anchura de ésta dentro de la abertura más pequeña del ranurador.

Después que las partículas han sido clasificadas en el grupo descrito en el numeral anterior determínese la proporción de cada grupo por conteo o a través de masa,

como se requirió.

Cálculos.

Calcular el porcentaje de partículas planas y alargadas aproximando el resultado al 1% para cada uno de los tipos retenidos a partir de la malla 3/8”.

$$L = \frac{W_1}{W_t} \times 100$$

Donde:

L = porcentaje de las partículas planas o alargadas.

W_1 = Peso de las partículas planas o alargadas.

W_t = Peso de la 100 partículas (correspondientes a cada malla).

Para el cálculo del promedio, asumir que el porcentaje que corresponde al tamaño de la malla no ensayada (menor del 10% de la muestra total), es igual al porcentaje de las partículas planas y alargadas de la malla próxima superior o inferior o el promedio de ambas. El porcentaje de partículas plana y alargada que permite la norma es del 3% según ASTM C 33.

Nota 7 - El cálculo también puede realizarse haciendo un porcentaje por el número de partículas, para conocer el porcentaje respecto al total de partículas planas y alargadas.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**ENSAYO DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS
 EN AGREGADO GRUESO. ASTM D-4791**

Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales**

Fecha: 30/5/2003

Procedencia **CANTERAS CONCRETERA SALVADOREÑA
 Cantera San Diego**

Hoja: 1/1

M A L L A	% EN PESO RETENIDO PARCIAL (g)	PESO DE 100 PARTICULAS (g)	PESO DE PARTICULAS PLANAS (g)	% DE PARTICULAS PLANAS	PESO DE PARTICULAS ALARGADAS (g)	% DE PARTICULAS ALARGADAS	% PARTICULAS PLANAS PONDERADAS	TOTAL DE PARTICULAS PLANAS %	% PARTICULAS ALARGADAS PONDERA	TOTAL DE PARTICULAS ALARGADAS %
3/4"	0.742	*		3.55		1.19	0.0263	2.463	0.0088	0.6
1/2"	48.582	627.90	22.3	3.55	7.5	1.19	1.725		0.58	
3/8"	42.642	287.57	4.8	1.66	0.0	0.0	0.7117		0.0	
Pasa la malla 3/8"	8.034									
Total	100									

Observaciones: * La cantidad de estas partículas representa menos del 10% del peso total en granulometría, por lo que no se ensayará, pero deben estar representadas en la prueba; para tal efecto el valor del % será el que corresponda al valor inmediato superior o inferior.

Reporte de Partículas planas y alargadas en agregado grueso.

3.2.7 Método de Ensayo Estándar para la Determinación de Impurezas Orgánicas en Agregado Fino para Concreto. ASTM Designación: C 40 – 99.

Introducción

Este método de ensayo cubre los procedimientos para una determinación aproximada de la presencia de impurezas orgánicas perjudiciales en el agregado fino que serán usados en morteros de cemento hidráulico o concreto. Un procedimiento utiliza una solución como color estándar y la otra utiliza vidrios de color estándar.

Este método de ensayo es usado para hacer una determinación preliminar de la aceptabilidad del agregado fino con respecto a los requerimientos de la Especificación C 33 relativos a impurezas orgánicas.

El valor principal de este método de ensayo es suministrar una precaución sobre la presencia de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas. Cuando una muestra sometida a este ensayo muestra un color más oscuro que la solución de referencia, es prudente ejecutar el ensayo ASTM C 87 para determinar el efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia a compresión del mortero.

Documentos Referenciados.

Estándares ASTM:

C 33 Especificación para Agregados del Concreto.

C 87 Método de ensayo para Efecto de Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino sobre la Resistencia del Mortero.

C 125 Terminología Relativa a Concreto y Agregados para Concreto

C 702 Práctica para Reducir Muestras de Agregados a Tamaños de Prueba

C 1005 Especificación para Referencia de Masas y Dispositivos para Determinar la Masa para Uso en Ensayos Físicos de Cementos hidráulicos

D 75 Práctica para muestreo de Agregados

D 1544 Método de Ensayo para Color de Líquidos Transparentes (Escala de Colores Gardner)

Equipo y Herramientas

- ✦ Botellas de Vidrio. Botellas graduadas de vidrio incoloro con una capacidad nominal de 350 o 470 ml (12 o 16 onzas fluidas), de sección transversal aproximadamente ovalada, equipadas con tapón de hule o tapadera hermética, no soluble con el reactivo especificado. En ningún caso el espesor máximo exterior de las botellas, medido a lo largo de la línea de observación y usado para comparar el color, será mayor que 60 mm (2 ½ pulg.) o menor que 40 mm (1 ½ pulg.). Las graduaciones en las botellas serán en mililitros u onzas fluidas, excepto que las botellas sin marcar puedan ser calibradas y marcadas con graduación por el usuario; en tal caso, las marcas de graduación son requeridas en tres puntos únicamente, como sigue:

Nivel de Solución del Color de Referencia: 75 ml (2 ½ onzas fluidas)

Nivel del Agregado Fino - 130 ml (4 ½ onzas fluidas)

Nivel de Solución de NaOH - 200 ml (7 onzas fluidas)

⌘ *Reactivos y Referencia Estándar del Color de la Solución*

Reactivo, Solución de Hidróxido de Sodio (3 %). Disuelva 3 partes por masa de Hidróxido de Sodio grado reactivo (NaOH) en 97 partes de agua.

Referencia Estándar del Color de la Solución. Disuelva Dicromato de Potasio grado reactivo (K₂Cr₂O₇) en ácido sulfúrico concentrado (masa específica 1.84 g) a razón de 0.250 g/100 ml de ácido. La solución hecha para la comparación del color debe ser fresca, usando un calor moderado si es necesario para una solución más efectiva.

⌘ *Carta de colores. (Ver figura 3.11)*

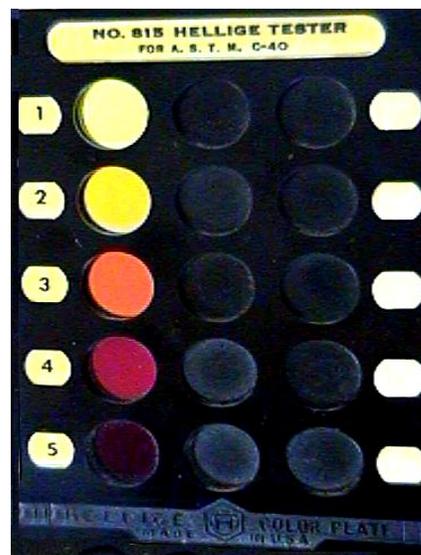


Fig. 3.11 Carta de Colores estándar Gardner.
Fuente: ASTM C 40-99

Muestreo

La muestra será seleccionada en completa concordancia con la Práctica D 75.

Muestra de Ensayo

La muestra de ensayo tendrá una masa de aproximadamente alrededor 450 g (1 lb) y será tomada de la muestra grande en concordancia con la Practica C 702.

Procedimiento

2. Llenar una botella de vidrio hasta el nivel de aproximadamente 130 ml (4 ½ onzas fluidas) con la muestra de agregado fino a ser ensayado.
3. Agregar la solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen de agregado fino y líquido, indicado después de agitarse, es aproximadamente 200 ml (7 onzas fluidas).
4. Tapar la botella, agitar vigorosamente, y entonces permita reposar por 24 horas.

Determinación del Color.

Procedimiento por Solución de Color Estándar: Al final del período de reposo de 24 horas, llene una botella de vidrio hasta el nivel de aproximadamente 75 ml (2 ½ onzas fluidas) con la solución fresca del color de referencia, previamente preparada con tiempo no mayor de 2 horas. Sostenga la botella con la muestra de ensayo y la botella con la solución del color estándar, lado por lado, y compare el color de la luz transmitida a través del líquido por encima de la muestra de ensayo con el color de la luz transmitida a

través de la solución de color estándar. Registre si es más clara, más oscura o igual que el color de la referencia estándar.

Procedimiento Estándar por Color del Vidrio - Para definir con más precisión el color del líquido de la muestra de ensayo, pueden usarse 5 vidrios de color estándar, usando los siguientes colores:

Color Estándar Gardner (No).	Placa orgánica No.
5	1
8	2
11	3 (Estándar)
14	4
16	5

Tabla 3.12 Colores estándar Gardner.
Fuente: ASTM C 40-99

El procedimiento de comparación descrito deberá ser usado, excepto cuando el número de la placa orgánica próxima al color del líquido sobre el espécimen de ensayo sea reportado. Cuando se use este procedimiento alternativo no será necesario preparar la solución para la referencia estándar del color.

Interpretación de Resultados.

Cuando una muestra sujeta a este procedimiento produce un color más oscuro que el color estándar de referencia, ó Placa Orgánica No. 3 (color Estándar Gardner No. 11), el agregado fino bajo ensayo deberá ser considerado con impurezas orgánicas perjudiciales, y nuevos ensayos deberán ser hechos antes de aprobar el agregado fino para su uso en el concreto.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO PARA IMPUREZAS ORGANICAS
EN LOS AGREGADOS FINOS PARA CONCRETO. ASTM C- 40

Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales**

Procedencia **CANTERAS CONCRETERA SALVADOREÑA**
Cantera San Diego

Fecha: 22-May-03

Hoja: 1/1

MUESTRA	COLOR	RESULTADO
1	N° 2	POCO CONTAMINADA
2	N° 1	ARENA LIMPIA
3	N° 2	POCO CONTAMINADA

Observaciones:

Ver clasificación de colores en teoría de esta prueba

Reporte de impurezas orgánicas en agregado fino

3.2.8 Método de Ensayo Estándar para Densidad Bruta (Peso Unitario) y

Vacíos en los Agregados. ASTM Designación: C 29 / C 29M – 97.

Introducción

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad bulk (peso unitario) del agregado en una condición compactada o suelta, y el cálculo de vacíos entre las partículas del agregado fino, grueso o una mezcla de ellos, basado en la misma determinación. Este método de ensayo es aplicable a agregados que no excedan las 5 pulg. (125 mm) de tamaño nominal máximo.

Nota 8 - Peso Unitario es la terminología tradicional usada para describir la propiedad determinada por este método de ensayo, el cual es peso por unidad de volumen (más correctamente masa por unidad de volumen: Densidad)

Este método de ensayo es frecuentemente usado para determinar los valores de la densidad bulk que son necesarios para su uso en muchos métodos de selección, proporcionamiento de mezclas de concreto, etc.

La densidad bulk también puede ser usada para determinar la relación masa/volumen utilizada en conversiones de unidades. Sin embargo, las relaciones entre el grado de compactación de agregados en una unidad de volumen o apilado y ejecutado en este método de ensayo son desconocidas. Además los agregados en unidades de transporte o apilado usualmente contienen humedad superficial o absorbida (la última de las cuales afecta el valor bruto) en tanto *este método de ensayo determina la densidad bruta sobre una base seca.*

Un procedimiento es incluido para calcular el porcentaje de vacíos entre las partículas de agregado basado en la densidad bruta determinada por este método de ensayo.

Documentos Referenciados.

Estándares ASTM:

C 125 Terminología Relativa a Concreto y Agregados para Concreto

C 127 Método de Ensayo para Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso

C 128 Método de Ensayo para Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino

C 138 Método de Ensayo para Peso Unitario y Contenido de Aire (Gravimétrico) del
Concreto

C 670 Practica para Preparar las Declaraciones de Precisión y Tendencia para Métodos
de Ensayo en Materiales de Construcción

C 702 Practica para Reducción de Muestras de Agregado a Tamaños de Ensayo

D 75 Práctica para Muestreo de Agregados

D 123 Terminología Relativa a Textiles

E 11 Especificación para Tejidos de Alambre y Mallas para Propósitos de Ensayo

Definiciones.

Densidad bulk: es la masa de un volumen unitario de material agregado en bruto, en el cual el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el de los vacíos entre las partículas. Expresado en lb/pie³ (Kg/m³).

Peso unitario: peso (masa) por unidad de volumen. (Término preferiblemente usado: densidad bulk).

Vacíos: en volumen unitario de agregado, es el espacio entre partículas en una masa de agregado no ocupada por materia mineral sólida.

Material y Equipo.

- ⌘ Balanza o báscula con una precisión de 0.1 % de la carga de ensayo y para cualquier punto dentro del rango de uso, con una graduación de al menos 0.1 lb (0.05 Kg).
- ⌘ Varilla Compactadora: Una varilla compactadora redonda acero, de 5/8 pulg. (16 mm) de diámetro y de aproximadamente de 24 pulg. (600 mm) de longitud teniendo un extremo o ambos redondeados a una punta hemisférica, con diámetro igual a 5/8 pulg. (16 mm).
- ⌘ Recipiente Volumétrico: Recipiente de forma cilíndrica, metálico (ver Fig.3.12), preferiblemente provisto con asas. Deberá ser impermeable, con la parte superior y la inferior planas y niveladas, suficientemente rígido para mantener su forma bajo uso pesado. El recipiente deberá tener una altura igual al diámetro, pero en ningún caso la altura será menor del 80 % ni mayor del 150% del diámetro. La capacidad del recipiente estará conforme a los límites de la Tabla 3.13 para el tamaño del agregado a ser ensayado. El espesor del metal en el recipiente será como se describe en la Tabla 3.14. La pared interior del depósito será una superficie continua y lisa.

Nota 9 - El borde superior es completamente plano, si una "medida" de 0.25 mm no puede ser insertada entre el borde y una pieza de vidrio con 0.06 mm de espesor puesta sobre el depósito. El fondo y el borde superior están satisfactoriamente paralelos si las inclinaciones entre las piezas de la placa de vidrio en contacto con el borde superior y fondo no exceden el 0.87 % en ninguna dirección.

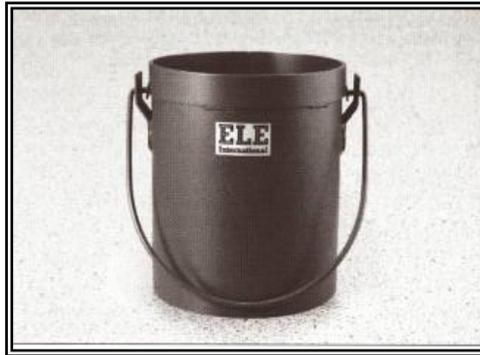


Fig. 3.12 Recipiente estandarizado para la obtención del peso volumétrico.

Fuente: ASTM C 29/C29M-97

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		CAPACIDAD DEL DEPÓSITO	
Pulgadas	mm	Pie ³	L(m ³)
1/2	12.5	1/10	2.8 (0.0028)
1	25.0	1/3	9.3 (0.0093)
1 1/2	37.5	1/2	14 (0.014)
3	75	1	28 (0.028)
4	100	2 1/2	70 (0.070)
5	125	3 1/2	100 (0.100)

Tabla 3.13 Capacidad del Depósito Medidor

Fuente ASTM C 29/C29M-97

Capacidad del Depósito Medidor	Espesor del Metal, mínimo		
	Fondo	Arriba 1 1/2" 38 mm	Pared Restante
< 0.4 pie ³	0.20 pulg.	0.10 pulg.	0.10 pulg.
0.4a 1.5 pie ³ incl.	0.20 pulg.	0.20 pulg.	0.12 pulg.
> 1.5 a 2.8 pie ³ incl.	0.40 pulg.	0.25 pulg.	0.15 pulg.
>2.8 a 4.0 pie ³ incl.	0.50 pulg.	0.30 pulg.	0.20 pulg.
<11L	5.0 mm	2.5 mm	2.5 mm
11 a 42 L, inclusive	5.0 mm	5.0 mm	3.0 mm
>42 a 80 L, incl.	10.0 mm	6.4 mm	3.8 mm
>80 a 133 L, incl	13.0 mm	7.6 mm	5.0 mm

Tabla 3.14 Requisitos para Depósitos Medidores

Fuente: ASTM C 29/C29M-97

- ⌘ Sí el depósito también es usado para ensayos de densidad bulk de mezclas de concreto fresco de acuerdo con el Método de Ensayo C 138, el depósito será hecho de acero u otro metal compatible que no este sujeto de inmediato al ataque de la pasta de cemento. Materiales reactivos tales como aluminio aleado es permitido, en donde como una consecuencia de la reacción inicial, se forma una película superficial, la cual protege al metal contra una posterior corrosión. Depósitos grandes con capacidad nominal de 1 pie³ (28 L) serán hechos de acero para rigidizar, o el espesor mínimo de metal listado en la Tabla 3.14 deberá ser incrementado.
- ⌘ *Pala o cucharón.* Una pala o cucharón de tamaño conveniente para llenar el depósito con agregado.
- ⌘ *Equipo de calibración:* Una pieza o placa de vidrio, preferiblemente con espesor

mínimo de 1/4 pulg (6 mm) y de al menos 1 pulg. (25 mm) más largo que el diámetro del depósito a ser calibrado. Un suministro de agua bombeada o grasa de chasis puede ser colocado en el borde del depósito para prevenir derrame o pérdida.

Procedimiento

Obtener la muestra de acuerdo con la práctica D 75, y reducir a tamaño de ensayo de acuerdo con la práctica C 702.

Muestra de Ensayo

El tamaño de la muestra deberá ser aproximadamente 125 a 200 % de la cantidad requerida para llenar el depósito medidor, y deberá ser manejado de tal manera que se evite la segregación. Secar la muestra de agregado a esencialmente masa constante, preferiblemente en un horno a $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ($110 \pm 5^\circ \text{C}$).

Calibración del Recipiente Volumétrico

Llene el depósito medidor con agua a temperatura ambiente y cúbrase con una pieza o placa de vidrio de tal manera que se eliminen las burbujas y exceso de agua.

Determine la masa del agua en el depósito usando la balanza.

Mida la temperatura del agua del depósito y determine su densidad usando la Tabla 3.15, interpolando si es necesario.

Temperatura		Lb/pe ³	Kg. / m ³
°F	°C		
60	15.6	62.366	999.01
65	18.3	62.336	998.54
70	21.1	62.301	997.97
73.4	23.0	62.274	997.54
75	23.9	62.261	997.32
80	26.7	62.216	996.59
85	29.4	62.166	995.83

*Tabla 3.15 Valores de densidad según la temperatura.
Fuente: ASTM C 29/C29M-97*

Calcúlese el volumen “V” del depósito medidor, dividiendo la masa de agua requerida para llenar el depósito medidor por su densidad. Alternativamente calcúlese el factor para el depósito medidor (1/V) dividiendo la densidad del agua por la masa requerida para llenar el recipiente medidor.

Nota 10 - Para el cálculo de la densidad bruta, el volumen del depósito medidor en unidades SI deberán ser expresados en m³, o el factor como 1/m³. Sin embargo, por conveniencia el tamaño del depósito medidor puede ser expresado en litros.

Los depósitos medidores deberán ser recalibrados al menos una vez al año o cuando haya una razón para cuestionar la precisión de la calibración-

Selección del Procedimiento.

El procedimiento de la pala para densidad bruta suelta deberá ser usado

solamente cuando sea estipulado específicamente. De otra manera, la densidad bruta compactada deberá ser determinada por el procedimiento de varillado para agregados que tienen un tamaño máximo nominal de 1 ½ pulg. (37.5 mm) o menos, o por el procedimiento de sacudimiento para agregados que tienen un tamaño máximo nominal mayor de 1 ½ pulg. (37.5 mm) y no excedan de 5 pulg. (125 mm).

Procedimiento de Varillado.

Llene el depósito hasta un tercio de su altura y nivele la superficie con los dedos. Varille la capa de agregados con 25 golpes de la varilla, igualmente distribuidos sobre la superficie. Llene el recipiente a dos tercios y vuelva a nivelar y varillar como se hizo antes. Finalmente, llene el recipiente hasta rebalsarlo y varille de nuevo en la forma previamente mencionada.

Nivele la superficie del agregado con los dedos o regla enrasadora en tal forma que ninguna pieza del agregado grueso sobresalga, balancee los huecos en la superficie por debajo del borde del recipiente. Al varillar la primera capa, no permita que la varilla toque el fondo del recipiente. Al varillar la segunda y tercera capa, aplique bastante fuerza pero no más de la necesaria para causar que la varilla penetre en la capa previa de agregados.

Nota 11: Al varillar tamaños grandes de agregados gruesos, pueden que no sea posible penetrar la capa que se esta consolidando, especialmente con agregados angulares. La intención del procedimiento será completada si se usa mayor fuerza.

Determine la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente sólo; registre los valores con una precisión de 0.1 lb. (0.05Kg.).

Procedimiento de Acomodamiento por Sacudida.

Llene el recipiente con tres capas aproximadamente iguales como se describió anteriormente, compactando cada capa y colocando el recipiente sobre una base firme, como un piso de concreto, y levante alternadamente los lados opuestos alrededor de 2 pulg. (50 mm) y luego deje caer el recipiente de modo que golpee secamente contra el piso. Por este procedimiento, las partículas de agregado se ordenarán formando una condición densamente compactada.

Compacte cada capa dejando caer 50 veces el recipiente de la manera indicada, 25 veces cada lado. Nivele la superficie del agregado con los dedos o con un enrasador de tal manera que ninguna pieza del agregado grueso se proyecte, balancee los huecos en la superficie por debajo del borde del recipiente.

Determine la masa del recipiente más su contenido y la masa del recipiente solo, y registre los valores con una precisión de 0.1 lb (0.05 Kg.).

Procedimiento de Paleo.

Llene el recipiente hasta rebasarla por medio de una pala o cuchara, descargando el agregado desde una altura que no exceda 2 pulg. (50 mm) por encima del borde del recipiente. Tenga cuidado para prevenir, tanto como sea posible, la segregación de las partículas de las cuales se compone la muestra. Nivele la superficie del agregado con los dedos o con un enrasador, de tal manera que ninguna pieza del agregado grueso se proyecte, balancee los huecos en la superficie por debajo del borde del recipiente.

Determine la masa del recipiente mas su contenido y la masa del recipiente sólo y registre los valores con una precisión de 0.1 lb (0.05 Kg.).

Cálculos.

Densidad bruta.

Calcule la densidad bruta para los procedimientos de varillado, acomodamiento por sacudida y paleo como sigue:

$$M = \frac{(G-T)}{V} \quad \text{o} \quad M = (G-T) \times F$$

Donde:

M = densidad bruta del agregado. lb/pie³ (Kg/m³)

G = masa del agregado mas recipiente. lb (Kg.)

T = masa del recipiente. lb (Kg.)

V = volumen del recipiente, pie (m³)

F = factor para el deposito medidor (1/ V)

La densidad bruta determinada por este método de ensayo es para agregados en condición de secado al homo. Si se desea la densidad bruta en términos de condición saturada superficialmente seco (SSS), use el procedimiento de este método de ensayo y calcule la densidad bruta SSS usando la siguiente fórmula:

$$M_{SSS} = M \left[1 + \left(\frac{A}{100} \right) \right]$$

Donde:

M_{SSS} = densidad bruta en condición SSS, lb/ pie³ (Kg/m³)

A = % de absorción determinado de acuerdo con el Ensayo ASTM C 127 ó

ASTM C 128

M = densidad bruta del agregado. lb/pie³ (Kg/m³).

Contenido de Vacíos.

Calcule el contenido de vacíos en los agregados usando la densidad bruta determinada por cualquiera de los procedimientos de varillado, acomodamiento o paleo, como sigue:

$$\% \text{ de Vacios} = 100 \frac{[(S \times W) - M]}{S \times W}$$

Donde:

M = densidad bruta del agregado. lb/ pie³ (Kg/m³)

S = gravedad específica bruta (base seca) determinada de acuerdo con el Método de Ensayo ASTM C 127 ó ASTM C 128

W = densidad del agua, 62.3 lb/pie³ (998 Kg/m³)

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE PESO VOLUMETRICO VARILLADO. ASTM C-29

Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales**

Procedencia: **CANTERAS CONCRETERA SALVADOREÑA**
Cantera San Diego

Fecha: 07-JUN-03

Hoja:1/1

Altura de molde= 0.2921 m
Diametro de molde=0.2032 m
Peso de molde =7.07 Kg
Volumen de molde = 0.0095 m³

Ensayo No	1	2	3
Peso de molde (Kg)	7.1	7.1	7.1
Peso de molde + material (Kg)	20.5	20.6	20.5
peso de material (Kg)	13.5	13.5	13.5
Volumen del molde (m ³)	0.0095	0.0095	0.0095
Peso volumetrico suelto (Kg/m ³)	1418.4	1418.9	1418.6

PVV prom. =1418.67 Kg/m³

Observaciones:

Reporte de Peso Volumétrico varillado del agregado grueso.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

ENSAYO DE PESO VOLUMETRICO SUELTO. ASTM C-29

Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales**

Procedencia **CANTERAS CONCRETERA SALVADOREÑA**
Cantera San Diego

Fecha: 4-6-03

Hoja: 1/1

Altura de molde = 0.2921 m
Diámetro de molde = 0.2032 m
Peso de molde = 7.07 Kg
Volumen de molde = 0.0095 m³

Ensayo No	1	2	3
Peso de molde (Kg)	7.1	7.1	7.1
Peso de molde + material (Kg)	19.6	19.6	19.5
peso de material (Kg)	12.5	12.6	12.5
Volumen del molde (m ³)	0.0095	0.0095	0.0095
Peso volumetrico suelto (Kg/m ³)	1317.6	1323.6	1312.3

PVS Prom = 1317.8 Kg/m³

Observaciones: _____

Reporte de Peso Volumétrico suelto en agregado grueso.

3.2.9 Método de Ensayo Estándar para la Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Agregado Grueso. ASTM Designación C 127 – 01.

Introducción.

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (no incluyendo el volumen de vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado grueso. Dependiendo del procedimiento usado, la densidad (Kg/m^3 , lb/pe^3) es expresada como secado al horno (SH), saturado superficialmente seco (SSS), o como densidad aparente. De igual forma, la densidad relativa (gravedad específica) una cantidad sin dimensiones, es expresada como SH, SSS, o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad SH o densidad relativa Son determinadas después de secar el agregado. La densidad SSS, densidad relativa SSS, y absorción son determinada después de saturar el agregado en agua para una duración prescrita.

Este método de ensayo es usado para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un número grande de partículas de agregados y proporciona un valor promedio representativo de la muestra. Distinción es hecha entre la densidad de las partículas de agregado como determinada por este método de ensayo, y la densidad bruta de agregados determinada por el Método de Ensayo C 29/ C 29M, los cuales incluyen el volumen de vacíos entre las partículas de agregados.

Este método de ensayo no pretende ser usado con agregados de peso ligero. Los

valores declarados en unidades SI serán considerados como el estándar para dirigir el ensayo. Los resultados del ensayo para densidad serán reportados en unidades SI o lb-pulg., como apropiados para el uso de los mismos. El texto de este método de ensayo referencia notas y pie de notas las cuales proporcionan un material explicatorio. Estas notas y pie de notas (excluyendo aquellas en tablas y figuras) no serán consideradas como requerimientos de este método de ensayo.

Una muestra de agregado es inmersa en agua por 24 ± 4 h para esencialmente llenar los poros. Entonces la muestra es removida del agua, y el exceso de agua en la superficie de las partículas secada y determinada su masa. Subsecuentemente, el volumen de la muestra es determinado por el método de desplazamiento de agua. Finalmente, la muestra es secada al horno y determinada la masa. Usando entonces los valores de masa obtenidos y las formulas en este método de ensayo, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción.

La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente usada para calculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas conteniendo agregados, incluyendo concreto de cemento Pórtland, concreto bituminoso y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas con base a un volumen absoluto. La densidad relativa (gravedad específica) es también usada en el cálculo de vacíos en los agregados en el Método de Ensayo C 29/C 29M. La densidad relativa (gravedad específica) (SSS) es usada si el agregado esta húmedo, esto es, si su absorción ha sido satisfecha. A la inversa, la densidad relativa (gravedad específica) (SH) es usada para cálculos cuando el agregado esta seco o se asume estar seco.

La densidad aparente y densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) pertenece al material sólido de partículas constituyentes no incluyendo el espacio de poros con las partículas que es accesible al agua.

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de poro con las partículas constituyentes, comparado con la condición seca, cuando es considerado que el agregado ha estado en contacto con agua por un periodo suficiente para poder satisfacer la absorción potencial. La norma para la determinación de la absorción en el laboratorio es obtenida después de sumergir el agregado seco por un período de tiempo prescrito. Los agregados explotados por debajo del nivel de agua comúnmente tienen un contenido de humedad mayor que la absorción determinada por este método de ensayo, si es usada sin oportunidad de secar antes de su uso.

A la inversa, algunos agregados los cuales no han sido mantenidos continuamente en una condición húmeda hasta ser usados, probablemente pueden contener una cantidad de humedad absorbida menor que la condición de inmersión durante 24 horas. Para un agregado que ha estado en contacto con agua y que tiene humedad libre en la superficie de las partículas, el porcentaje de humedad libre es determinado deduciendo la absorción del contenido de humedad total determinado por el Método de Ensayo C 566.

Los procedimientos generales descritos en este método de ensayo son convenientes para determinar la absorción de agregados que tienen condición diferente de 24 h de saturación, tales como agua hervida o saturación de vacíos. Los valores

obtenidos para absorción por otros métodos de ensayo serán diferentes de los valores obtenidos por la saturación prescrita, como será la densidad relativa (gravedad específica) (SSS). Los poros en agregados de peso ligero no están necesariamente llenos de agua después de la inmersión por 24 h. En efecto, la absorción potencial para muchos de tales agregados no es satisfecha después de algunos días de inmersión en agua. Por lo tanto este método de ensayo no está destinado para usarse con agregado de peso ligero.

Documentos Referenciados.

Estándares ASTM:

C 29/C 29M Método de Ensayo para Densidad Bulk (Peso Unitario) y Vacíos en los Agregados.

C 125 Terminología Relativa a Concreto y Agregados para Concreto.

C 128 Método de Ensayo para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), y Absorción del Agregado Fino.

C 136 Método de Ensayo para Análisis por Malla de Agregados Gruesos y Finos.

C 566 Método de Ensayo para Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado.

C 702 Practica para reducción de Muestras de Agregado a Tamaños de Ensayo.

D 75 Practica para Muestreo de Agregados

D 448 Clasificación para tamaños de Agregados en construcción de puentes.

Definiciones:

Absorción: Incremento en masa del agregado debido a penetración de agua en los poros de las partículas durante un período de tiempo prescrito, pero no incluye el agua adherida a la superficie externa de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

Secado al horno (SH): Relativo a las partículas de agregado, la condición en la cual el agregado ha sido secado por calentamiento en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ por tiempo suficiente para alcanzar una masa constante.

Saturado superficialmente seco (SSS): Relativo a las partículas de agregado. La condición en la cual los poros permeables de las partículas de agregado son llenados con agua a través de la sumergencia en un periodo de tiempo prescrito, pero sin agua libre en la superficie de las partículas.

Densidad, la masa por unidad de volumen de un material, Kg/m^3 o lb/ pie^3 .

Densidad (SH), la masa del agregado secado al horno por unidad de volumen de partículas de agregado, incluyendo el volumen de poros permeables e impermeables dentro de las partículas, pero no incluyen los vacíos entre las partículas.

Densidad (SSS), la masa del agregado saturado superficialmente seco por unidad de volumen de partículas de agregado, incluyendo el volumen de poros impermeables y agua llenando los vacíos en las partículas, pero no incluye los huecos entre las partículas.

Densidad aparente, la masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas del agregado.

Densidad relativa (gravedad específica), la relación de la densidad de un material a la densidad de agua destilada a una temperatura determinada; los valores son adimensionales.

Densidad relativa (gravedad específica) (SH), La relación de la densidad (SH) del agregado a la densidad de agua destilada a una determinada temperatura.

Densidad relativa (gravedad específica) (SSS), La relación de la densidad (SSS) del agregado a la densidad de agua destilada a una determinada temperatura.

Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente), la relación de la densidad aparente del agregado a la densidad del agua destilada a una determinada temperatura.

Para definición de otros términos relativos a agregados, consultar terminología en la norma ASTM C 125

Equipo y herramientas

- ⌘ Balanza - Un dispositivo para determinar la masa que sea sensitivo, legible, y preciso a 0.05 % de la masa de la muestra en algún punto del rango usado para este ensayo, ó 0.5 g, el que sea mayor. La balanza estará equipada con aparatos adecuados para suspender la muestra contenida en agua desde el centro de la plataforma o pan de la balanza.
- ⌘ Contenedor de Muestra - Una cesta de alambre de 3.35 mm (No. 6) o malla fina, o una cesta de abertura y altura iguales, con una capacidad de 4 a 7 litros para alojar un tamaño nominal máximo de agregado de 37.5 mm (1 ½ pulg.) o menor

y una canastilla más grande según sea necesario para ensayar agregados de tamaños máximo mayores. La canastilla será construida de tal forma que se evite atrapar aire cuando sea sumergida.

- ⚡ Tanque de agua - Un tanque de agua en el cual la canastilla es colocada suspendida debajo de la balanza.
- ⚡ Mallas - Una malla de 4.75 mm (No. 4) u otro tamaño como se necesite.

Muestreo.

Muestree el agregado de acuerdo con la Práctica D 75.

Mezcle completamente la muestra de agregado y redúzcalo a la cantidad aproximada necesaria usando los procedimientos aplicables de la Práctica C 702.

Rechace todo el material que pasa la malla de 4.75 mm (No. 4) por tamizado en seco y lavando completamente para remover el polvo y otros recubrimientos de la superficie. Si el agregado grueso contiene una cantidad sustancial de material más fino que la malla de 4.75 mm, use la malla de 2.36 mm (No. 8) en lugar de la malla de 4.75 mm. Alternativamente, separe el material más fino que la malla de 4.75 mm y ensaye el material fino de acuerdo con el Método de Ensayo C 128

Nota 12 - Si los agregados menores de 4.75 mm (No. 4) son usados en la muestra, verifique para asegurar que el tamaño de las aberturas en el contenedor de la muestra es menor que el agregado de tamaño mínimo.

La masa mínima de la muestra de ensayo a ser usada esta dada a continuación.

Es permitido ensayar el agregado grueso en algunas fracciones de tamaño. Si la muestra

contiene mas del 15 % retenido en la malla de 37.5 mm (1 ½ pulg), ensaye el material más grande que 37.5 mm en una o más fracciones de tamaño separadamente del menor tamaño de fracción. Cuando un agregado es ensayado en fracciones de tamaños separados, la masa mínima de la muestra de ensayo para cada fracción deberá ser la diferencia entre las masa prescritas para el tamaño máximo y mínimo de la fracción.

Si la muestra es ensayada en dos o más tamaños de fracción, determine la graduación de la muestra de acuerdo con el Método de Ensayo C 136, incluyendo las mallas usadas para separar el tamaño de la fracción para la determinación en este método. En el cálculo de porcentaje de material de cada tamaño de fracción, ignore la cantidad de material más fino que la malla de 4.75 mm (No. 4) (ó malla de 2.36 mm (No. 8)

Nota 13 - Cuando ensaye agregado grueso de tamaño máximo nominal grande se requerirán muestras de ensayo grandes, esto puede ser más conveniente para ejecutar el ensayo en dos o más submuestras, y los valores obtenidos combinados por computación.

Tamaño Máximo Nominal, mm (pulg.)	Masa Mínima de Prueba, Kg (lb)
12.5 (1/2) ó menos	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 1/2)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 1/2)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 1/2)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
125 (5)	75 (165)

Tabla 3.16 Masa mínima de la muestra para el ensayo.
Fuente: ASTM C 127-01

Procedimiento.

1. Seque la muestra de ensayo hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ$ C; enfriar al aire a temperatura del cuarto, por 1 a 3 horas para muestras de ensayo de 37.5 mm (1 ½ pulg.) de tamaño máximo nominal, o más tiempo para tamaños mayores hasta que el agregado se haya enfriado a una temperatura que sea manejable (aproximadamente 50° C). Posteriormente sumerja el agregado en agua a la temperatura del cuarto por un periodo de 24 ± 4 h.
2. En donde los valores de la absorción y la densidad relativa (gravedad específica) son usados en la cual los agregados se encuentran en su condición de humedad natural, el requisito del numeral anterior para secado inicial es opcional y si la superficie de las partículas en la muestra se han conservado continuamente húmedas antes de ser ensayadas, dicho requisito para 24 ± 4 h de saturación es también opcional.

Nota 14 - Valores para absorción y densidad relativa (gravedad específica) (SSS) puede ser significativamente mayor para agregados no secados al horno antes de la inmersión que para los mismos agregados tratados de acuerdo con numeral 1. Esto es especialmente cierto para partículas mayores de 75 mm puesto que el agua no es capaz de penetrar los poros hasta el centro de la partícula en el prescrito período de inmersión.

3. Remueva la muestra de ensayo del agua y enróllela en un paño o franela absorbente hasta que toda la película visible de agua sea removida. Seque las partículas grandes individualmente. Una corriente de aire es permitido para ayudar en la operación de secado. Tenga cuidado para evitar la evaporación de agua de los poros del agregado durante la operación de secado superficial.

Determine la masa de la muestra de ensayo en la condición saturado superficialmente seco. Registre ésta y las subsecuentes masas con una precisión de 0.5 g o 0.05 % de la masa de la muestra, la que sea mayor.

4. Después de determinar la masa al aire, inmediatamente coloque la muestra de ensayo saturada superficialmente seca en el contenedor de muestra y determine su masa aparente en agua a $23 \pm 2.0^\circ \text{C}$. Tenga cuidado de eliminar todo el aire atrapado antes de pesar, agitando el recipiente mientras es sumergido.

Nota 15 - La diferencia entre la masa al aire y la masa cuando la muestra es sumergida en agua es igual a la masa de agua desplazada por la muestra.

Nota 16 - El contenedor puede ser inmerso a una profundidad suficiente para cubrir la muestra de ensayo y él mismo, determinando la masa aparente en agua. El alambre del cual se suspende el contenedor debe ser del tamaño más pequeño posible para minimizar cualquier efecto posible de una longitud de inmersión variable.

5. Seque la muestra de ensayo a masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$, enfriar al aire a la temperatura del cuarto durante 1 a 3 h, o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea apropiada para manejar (aproximadamente 50°C), y determine la masa.

Cálculos.

Densidad Relativa (Gravedad Específica).

Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SH): Calcule la densidad relativa (gravedad específica) en la base de agregado secada al horno como sigue:

Densidad Relativa (gravedad específica) $(SH) = B / (B - C)$

Donde:

A = masa al aire de la muestra seca al horno, g

B = masa al aire de la muestra saturada superficialmente seca, g

C = masa aparente de la muestra saturada en agua, g

Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSS)

Calcule la densidad relativa (gravedad específica) en la base de agregado saturado superficialmente seco, así:

Densidad Relativa (Gravedad Específica)

$$(SSS) = B / (B - C)$$

Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente)

Calcule la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) como sigue.

Densidad Relativa Aparente (gravedad específica aparente) = A / (A - C)

Densidad:

Densidad (SH): Calcule la densidad en la base de agregado secado al horno

$$Densidad (SH), Kg/m^3 = 997.5 A / (B - C)$$

$$\text{Densidad (SH), lb/pie}^3 = 62.27 A / (B - C)$$

Nota - Los valores constantes usados en los cálculos (997.5 Kg/m³ y 62.27 lb/pie³) representan la densidad del agua a 23 °C.

Densidad (SSS)

Calcule la densidad en la base de agregado saturado superficialmente seco como sigue:

$$\text{Densidad (SSS), Kg/m}^3 = 997.5 B / (B - C)$$

$$\text{Densidad (SSS), lb/pie}^3 = 62.27 B / (B - C)$$

Densidad Aparente.

Calcule la densidad aparente como sigue:

$$\text{Densidad aparente, Kg/m}^3 = 997.5 A / (A - C)$$

$$\text{Densidad aparente, lb/pie}^3 = 62.27 A / (A - C)$$

Cuando la muestra es ensayada en fracciones separadas, calcule el valor promedio para densidad o densidad relativa (gravedad específica) del tamaño de la fracción calculada usando la siguiente ecuación:

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100G_1} + \frac{P_2}{100G_2} + \frac{P_n}{100G_n}}$$

Donde:

G = densidad promedio o densidad relativa (gravedad específica). Todas las formas de expresión de densidad o densidad relativa (gravedad específica) pueden ser promediadas en esta forma.

$G_1, G_2 \dots G_n$ = promedio de densidad o densidad relativa (gravedad específica) valores para cada fracción dependiendo del tipo de densidad o densidad relativa (gravedad específica) siendo promediada.

$P_1, P_2 \dots P_n$ = porcentajes de masa de cada fracción presente en la muestra original (no incluye materiales finos)

Absorción.

Calcule el porcentaje de absorción como sigue:

$$\text{Absorción \%} = (B-A)/A \times 100$$

Nota 17 - Algunas autoridades recomiendan usar la densidad del agua a 4 °C: 1000 Kg/m³ ó 1 g/cm³ ; 62.43 lb/pie³ para ser mas precisos.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA EN AGREGADO
GRUESO. ASTM C 127**

Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales**

Procedencia: **CANTERAS CONCRETERA SALVADOREÑA** Fecha: 3-Jun-03
Cantera San Diego Hoja: 1/2

Ensayo No	1	2
Peso de grava saturada con superficie seca (Kg)	4393.0	4384.0
Peso de grava sumergida (Kg)	2721.0	2720.0
Peso seco de grava (Kg)	4315.0	4306.0
Gravedad Específica Bulk (seca)	2.58	2.59
Gravedad Específica Bulk (SSS)	2.63	2.63
Gravedad Específica Aparente	2.71	2.72

	Promedios
Gravedad Específica Bulk (seco)	2.58
Gravedad Específica Bulk (SSS)	2.63
Gravedad Específica Aparente	2.71

Observaciones: _____

Reporte de la gravedad específica del agregado grueso

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO. ASTM C-128

Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales**

Procedencia: **CONCRETERA SALVADOREÑA**
Cantera San Diego

Fecha: 22/5/2003

Hoja: 2/2

Ensayo No	1	2
Peso de grava sss (g)	4000	4000
Peso seco de grava (g)	3929.1	3928.9
Diferencia	70.9	71.1
Absorción %	1.804	1.810

Absorción % promedio: 1.807

Observaciones

3.2.10 Método de Ensayo Estándar para Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino ASTM Designación C 128 - 00

Introducción

Este método de ensayo cubre la determinación de la gravedad específica bulk y aparente, 23/23 °C (73.4/73.4 °F), y absorción del agregado fino.

Nota 18 - El subcomité esta considerando la revisión de los Métodos de Ensayo C 127 y C 128 para usar el término "densidad" en lugar de "gravedad específica" para agregado grueso y fino respectivamente.

Una muestra de agregado es sumergida en agua por 24 ± 4 h a esencialmente poros llenos. Es entonces removido del agua, el agua es secada de la superficie de las partículas y la masa determinada. Subsecuentemente, la muestra (o una porción de ésta) se coloca en un recipiente graduado y el volumen de la muestra se determina por el método gravimétrico o volumétrico. Finalmente, la muestra se seca al homo y la masa determinada de nuevo. Usando entonces los valores de masa obtenida y formulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción.

La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente usada para el calculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas conteniendo agregado incluyendo concreto de cemento Pórtland, concreto bituminoso y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas con base a un volumen absoluto. La densidad relativa (gravedad específica) también es usada en el calculo de vacíos en los

agregados en el Método de Ensayo C 29 / C 29M. La densidad relativa (gravedad específica) (SSS) es usada en la determinación de la humedad superficial del agregado fino por desplazamiento de agua en el Método de Ensayo C 70. La densidad relativa (gravedad específica) (SSS) es usada en el agregado húmedo, esto es, si su absorción ha sido satisfecha. A la inversa, la densidad o densidad relativa (gravedad específica) (SH) es usada para cálculos cuando el agregado está seco o se asume estar seco.

La densidad aparente y densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) pertenece al material sólido de partículas constituyentes no incluyendo el espacio de poro con las partículas que es accesible al agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología de agregados de construcción.

Los valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un material agregado debido al agua absorbida en los espacios de poro con las partículas constituyentes, comparado con la condición seca. Cuando es considerado que el agregado ha estado en contacto con agua por un período suficiente para poder satisfacer la absorción potencial. La norma para la determinación de la absorción en el laboratorio es obtenida después de sumergir el agregado seco por un periodo de tiempo prescrito. Los agregados explotados debajo del nivel de agua comúnmente tienen un contenido de humedad mayor que la absorción determinada por este método de ensayo, si es usado sin oportunidad para secar previo al uso. A la inversa, algunos agregados los cuales no han sido mantenidos continuamente en una condición húmeda hasta ser usados probablemente pueden contener una cantidad de humedad absorbida menor que la condición de inmersión durante 24 horas. Para un agregado que ha estado en contacto

con agua y que tiene humedad libre en la superficie de las partículas, el porcentaje de humedad libre es determinado deduciendo la absorción del contenido de humedad total determinado por el Método de Ensayo C 566 por secado.

Los procedimientos generales descritos en este método de ensayo son convenientes para determinar la absorción de agregados que tienen condición diferente de 24 h, tales como agua de saturación al vacío. Los valores obtenidos para absorción por otros métodos de ensayo serán diferentes de los valores obtenidos por el prescrito 24 h saturado, como la densidad (SSS) o la densidad relativa (gravedad específica) (SSS).

Los poros en los agregados de peso ligero no están necesariamente llenos de agua después de la inmersión de 24 h. En realidad, la absorción potencial para muchos de tales agregados no es satisfecha después de algunos días de inmersión en agua. Por lo tanto, este método de ensayo no está destinado para usarse con agregados de peso ligero.

Documentos Referenciados.

C 29/C 29M Método de Ensayo Peso Unitario y Vacíos en los Agregados

C 70 Método de Ensayo Humedad Superficial en el Agregado Fino

C 125 Terminología Relativa al Concreto y Agregados para Concreto

C 127 Método de Ensayo Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso

C 188 Método de Ensayo. Densidad del cemento Hidráulico

C 566 Método de Ensayo Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado

C 670 Práctica para Preparar la Declaración de Precisión y Tendencia de Métodos de

Ensayo en Materiales de Construcción

C 702 Práctica para reducción de Muestras de Agregado a Tamaños de Ensayo

D 75 Práctica para Muestreo de Agregados

E 12 Terminología Relativa a Densidad y Gravedad Específica de Sólidos, Líquidos y Gases

E 380 Practica para Uso del Sistema Internacional de Unidades (SI) (El Sistema Métrico Modernizado)

Equipo y Herramientas.

- ✦ Balanza o báscula que tenga una capacidad de 1 Kg. o más, con sensibilidad a 0.1 g o menos y precisión de 0.1 % de la carga de ensayo en algún punto con el rango de uso para este método de ensayo.
- ✦ Picnómetro (para usar con el Procedimiento Volumétrico). Frasco u otro recipiente compatible en el cual la muestra de ensayo de agregado fino puede ser fácilmente introducida y en el cual el volumen contenido puede ser reproducido con $\pm 0.1 \text{ cm}^3$. El volumen del recipiente lleno a la marca será al menos 50 % mayor que el espacio requerido para acomodar la muestra de ensayo. Un frasco volumétrico (ver fig. 3.13) de 500 cm^3 de capacidad o una jarra de frutas apropiadas con un picnómetro en el borde superior es satisfactorio para una muestra de ensayo de 500 g de agregado fino.
- ✦ Frasco (para usar con el Procedimiento Volumétrico). Un frasco de Le Chatelier como se describe en el Método de Ensayo C 188 es satisfactorio para una muestra de ensayo de aproximadamente 55 g.

- ✦ Molde y Pisón para Ensayo de Humedad Superficial (ver Fig. 3.14) - El molde metálico será de la forma de un cono truncado con las dimensiones siguientes: 40 ± 3 mm en el borde superior, 90 ± 3 mm de diámetro interno en la base y 75 ± 3 mm de altura, con el metal teniendo un espesor mínimo de 0.8 mm. El pisón metálico tendrá una masa de 340 ± 15 g y una cara golpeadora circular y plana de 25 ± 3 mm de diámetro.



Fig 3.13 Picnómetro para arena y grava fina.



Fig 3.14 Cono y pisón para la determinación de la absorción de arena.

Muestreo.

Muestree el agregado de acuerdo con la Práctica D 75. Mezcle completamente la muestra y redúzcala para obtener un espécimen de ensayo de aproximadamente 1 Kg. usando el procedimiento aplicable descrito en la Práctica C 702.

Preparación del Espécimen de Ensayo.

Seque el espécimen de ensayo en un recipiente adecuado o vasija para masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C. Permítale enfriar a una temperatura de manejo confortable, cubra con agua ya sea por inmersión o por adición de al menos 6 % de humedad al agregado fino, y permita reposar por 24 ± 4 horas.

En donde los valores de la absorción y la densidad relativa (gravedad específica) son para usarse en proporcionamiento de mezclas de concreto, en los cuales el agregado estará en su condición de humedad natural, el requerimiento para secado inicial es opcional, y si la superficie de las partículas en la muestra han sido mantenidas continuamente húmedas hasta que sean ensayadas, el requerimiento para 24 ± 4 h es también opcional.

Nota 19 - Los valores para absorción y para densidad relativa (gravedad específica) (SSS) pueden ser significativamente mayor para agregados no secados al horno antes de empapar para el mismo agregado.

Decante el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos; esparza la muestra en una superficie plana no absorbente expuesta a una ligera corriente de aire y remueva frecuentemente para asegurar un secado homogéneo. Si se desea ayudas mecánicas tales como agitación y meneo pueden emplearse para lograr la condición saturada y superficialmente seca. Continúe esta operación hasta que la muestra se aproxime a una condición de un flujo libre. Siga el procedimiento para determinar si la humedad superficial esta presente en las partículas constituyentes del agregado fino. Haga el primer intento para humedad superficial cuando hay alguna humedad superficial

en la muestra, continúe secando con movimientos constantes y pruebe a intervalos frecuentes hasta que la muestra haya alcanzado la condición de superficialmente seca.

Si el primer intento de prueba de humedad superficial indica que la humedad superficial no está presente, este ha sido secado pasando de la condición saturado y superficialmente seco. En este caso mezcle completamente unos pocos mililitros de agua con el agregado fino y permita al espécimen permanecer en un recipiente cubierto por unos 30 minutos. Después finalice el proceso de secado y pruebe a intervalos frecuentes hasta lograr la condición de superficialmente seco.

Ensayo para Humedad Superficial: Sujete el molde firmemente sobre una superficie lisa y no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo. Coloque una porción de agregado fino parcialmente seco y suelto dentro del molde llenándolo hasta que se desborde y apilando material adicional por encima del borde superior del molde sosteniendo el molde con los dedos de la mano. Ligeramente apisona el agregado fino dentro del molde con 25 golpes ligeros del pisón. Inicie cada caída 5 mm arriba de la superficie del agregado fino. Permita al pisón caer libremente bajo la atracción gravitacional en cada caída. Ajuste la altura inicial a la elevación de la nueva superficie después de cada golpe y distribuya los golpes sobre la superficie. Remueva la arena suelta de la base y levante el molde verticalmente. Si la humedad superficial está aún presente, el agregado fino retendrá la forma del molde. Un desplome ligero del agregado fino moldeado indica que este ha alcanzado una condición de superficialmente seco.

Algún agregado fino con partículas predominantemente de forma angular o con

un alto porcentaje de finos pueden no desplomarse en la prueba del cono a pesar de haber alcanzado la condición de superficialmente seco. Ensayo por caída de un puñado de agregado fino sobre el cono de prueba desde una altura de 100 a 150 mm por encima de la superficie, y observando la presencia de finos secos indican este problema.

Para estos materiales, la condición de saturado superficialmente seco se considera como el punto donde un lado del agregado fino se desploma ligeramente al quitar el molde.

Nota 20: Los criterios siguientes también han sido usados en materiales que no presentan revenimiento con facilidad.

(1) Prueba Provisional del Cono. Llene el molde cónico como se describió anteriormente excepto que solamente use 10 caídas del pisón. Adicione mas agregado fino y use de nuevo 10 caídas del pisón. Entonces, adicione material dos veces mas usando 3 y 2 caídas del pisón, respectivamente.

Nivele el material con el borde superior del molde, removiendo el material suelto de la basé; y levante el molde verticalmente.

(2) Prueba Superficial Provisional. Si se observan finos secos al aire cuando el agregado fino es tal que no se desploma cuando está en una condición húmeda, agregue más humedad a la arena, y en el inicio de la condición superficialmente seca, con la mano ligeramente moldee aproximadamente 100 g del material en una superficie no absorbente, plana, seca, limpia, oscura o gris, tal como una lamina de hule, galvanizada,

superficie metálica o una superficie metálica pintada de negro. Después de 1 a 3 segundos remueva el agregado fino. Si muestra humedad notoria en la superficie de la muestra por más de 1 a 2 segundos, entonces se considera que la humedad superficial esta presente en el agregado fino.

(3) Para alcanzar la condición de saturado superficialmente seco en material de un solo tamaño, que se desploma cuando esta húmedo, toallas de papel de acabado duro pueden ser usadas para secar la superficie del material, donde las toallas de papel aparenta no estar tomando más humedad de la superficie de las partículas de agregado fino.

Procedimiento.

1. Procedimiento Gravimétrico (Picnómetro):
2. Llene parcialmente el picnómetro con agua. Introduzca en el picnómetro 500 ± 10 g de agregado fino saturado superficialmente seco preparado como se describe en la sección y llene con agua adicional hasta aproximadamente el 90 % de la capacidad. Agite el picnómetro (manual ó mecánicamente).
3. Manualmente ruede, invierta y agite el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire

Nota 21 - Normalmente se requiere de 15 a 20 minutos para eliminar las burbujas de aire por métodos manuales. Se ha encontrado que sumergir la esquina de una toalla de papel dentro del picnómetro es útil para dispersar la espuma que a veces se forma cuando se eliminan las burbujas de aire. Opcionalmente, puede ser usada una pequeña cantidad de alcohol isopropílico para dispersar la espuma.

4. Mecánicamente agite el picnómetro por vibración externa, de tal manera que no degrade la muestra. Un nivel de agitación ajustado en un conjunto de partículas individuales en movimiento es suficiente para promover el desairado sin degradación. Un agitador mecánico puede ser considerado aceptable para su uso, si ensayos de comparación para periodos de cada seis meses de uso, muestran variación menor que el rango aceptable de dos resultados(d_{2s}) indicado en la Tabla 3.17 de los resultados de agitación manual en el mismo material
5. Después de eliminar todas las burbujas de aire, ajuste la temperatura del picnómetro y su contenido a 23.0 ± 2.0 °C si es necesario por inmersión parcial en agua circulando, y lleve el nivel del agua en el picnómetro a su capacidad de calibración. Determine la masa total del picnómetro, el espécimen y el agua.
6. Remueva el agregado fino del picnómetro, seque a masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C, enfríe al aire a la temperatura del cuarto para $1 \pm \frac{1}{2}$ h y determine la masa.
7. Determine la masa del picnómetro lleno con agua a su capacidad de calibración a una temperatura de 23.0 ± 2.0 °C.

Prueba	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos Resultados
Precisión de un sólo operador:		
Densidad (SH), Kg./m ³	11	13
Densidad (SSS), Kg./m ³	9.5	27
Densidad aparente, Kg./m ³	9.5	27
Densidad relativa (gravedad especif.) (SH)	0.011	0.032
Densidad relativa (gravedad especif.) (SSS)	0.0095	0.027
Densidad relativa aparente (G. E. aparente)	0.0095	0.027
Absorción, %	0.11	0.31
Precisión de Multilaboratorio:		
Densidad (SH), Kg./m ³	23	64
Densidad (SSS), Kg./m ³	20	56
Densidad aparente, Kg./m ³	20	56
Densidad relativa (gravedad especif.) (SH)	0.023	0.066
Densidad relativa (gravedad especif.) (SSS)	0.020	0.056
Densidad relativa aparente (G. E. aparente)	0.020	0.056
Absorción, %	0.23	0.66

Tabla 3.17 *Tabla de precisión y rango aceptable entre dos resultados.*
Fuente: ASTM C 128-00

Procedimiento Volumétrico (Frasco de Le Chatelier):

1. Llene el frasco inicialmente con agua a un punto del cuello entre la marca de 0 y 1 ml.
2. Registre esta lectura inicial con el frasco y el contenido con un rango de temperatura de 23.0 ± 2.0 °C. Añada 55 ± 5 g de agregado fino en la condición saturado superficialmente seco (u otra cantidad medible como necesaria). Después de que todo el agregado fino ha sido introducido, coloque el tapón en el

frasco y de vueltas al frasco en una posición inclinada, o muévalo suavemente en círculo horizontal de tal forma que libere el aire atrapado, continuando así hasta que no más burbujas suban a la superficie (Nota 22). Tome una lectura final con el frasco y contenido dentro de 1 °C de la temperatura original.

Nota 22 - Puede ser usada una pequeña cantidad medida (que no exceda de 1 ml) de alcohol isopropílico para eliminar la espuma que aparece en la superficie del agua. El volumen de alcohol usado puede ser restado de la lectura final.

Para la determinación de la absorción, use una porción separada de 500 ± 10 g de agregado fino saturado superficialmente seco, seque a masa constante y determine la masa seca.

Cálculos.

Símbolos:

A = masa del espécimen secado al horno. g

B = masa del picnómetro lleno de agua, a la marca de calibración, g

C = masa del picnómetro lleno con el espécimen y agua a la marca de calibración, g

R_1 = lectura inicial del nivel de agua en el frasco Le Chatelier, ml

R_2 = lectura final de agua en el frasco Le Chatelier, ml

S = masa del espécimen SSS (usado en el procedimiento gravimétrico para densidad y densidad relativa (gravedad específica), o para absorción con ambos procedimientos), g

S_1 = masa del espécimen SSS (usado en el procedimiento volumétrico para densidad y densidad relativa (gravedad específica)), g

Densidad Relativa (Gravedad Específica):

Densidad Relativa (Gravedad Específica) (Secada al Horno)

Calcule la densidad relativa (gravedad específica) en la base de agregado secado al horno así:

Procedimiento Gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SH)} = A / (B + S - C)$$

Procedimiento Volumétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SH)} = [S_1 (A/S)] / [0.9975 (R_2 - R_1)]$$

Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSS)

Calcule la densidad relativa (gravedad específica) en la base de agregado saturado y superficialmente seco, como sigue:

Procedimiento Gravimétrico:

$$\text{Densidad Relativa (gravedad específica) (SSS)} = S / (B + S - C)$$

Procedimiento Volumétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)} = S_1 / [0.9975 (R_2 - R_1)]$$

Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente)

Calcule la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) como sigue:

Procedimiento Gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = A / (B + A - C)$$

Procedimiento Volumétrico:

$$(Gravedad\ específica\ aparente) = \frac{S_1 (A / S)}{0.9975 (R_2 - R_1) - [S_1 / S] (S - A)}$$

Densidad:

Densidad (Secada al Horno). Calcule la densidad en la base de agregados secados al horno como sigue:

Procedimiento Gravimétrico:

$$Densidad\ (SH), = 997.5\ A / (B + S - C)\ (Kg./m^3)$$

$$Densidad\ (SH) = 62.27\ A / (B + S - C)\ (lb / pie^3)$$

Procedimiento Volumétrico:

$$Densidad\ (SH) = 997.5\ S_1\ (A / S) / [0.9975\ (R_2 - R_1)]\ (Kg./m^3)$$

$$Densidad\ (SH) = 62.27\ S_1\ (A / S) / [0.9975\ (R_2 - R_1)]\ lb / pie^3$$

Nota 23 - Los valores constantes usados en los calculo (997.5 Kg./m³ y 62.27 lb/pie³) son la densidad del agua a 23 °C. Algunas autoridades recomiendan usar la densidad del agua a 4° C (1000 Kg./m³ ó 1.0 g/cm³ ó 62.43 lb/pie³) siendo suficientemente preciso.

Densidad (SSS)

Calcule la densidad con base en agregado saturado superficialmente seco como sigue:

Procedimiento Gravimétrico:

$$Densidad\ (SSS) = 997.5\ S / (B + S - C) \quad (Kg./m^3)$$

$$Densidad\ (SSS) = 62.27\ S / (B + S - C) \quad (lb/pie^3)$$

Procedimiento Volumétrico:

$$\text{Densidad (SSS)} = 997.5 S_1 / [0.9975 (R_2 - R_1)] \quad (\text{Kg./m}^3)$$

$$\text{Densidad (SSS)} = 62.27 S_1 / [0.9975 (R_2 - R_1)] \quad (\text{lb./pie}^3)$$

Densidad Aparente.

Calcule la densidad aparente como sigue:

Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad Aparente (SSS)} = 997.5 A / (B + A - C) \quad (\text{Kg./m}^3)$$

$$\text{Densidad Aparente (SSS)} = 62.27 A / (B + A - C) \quad (\text{lb./pie}^3)$$

Procedimiento Volumétrico:

$$\text{Densidad Aparente (SSS)} = \frac{997.5 S_i (A/S)}{0.9975 (R_2 - R_1) - [(S_i / S) (S - A)]} \quad (\text{Kg./m}^3)$$

$$\text{Densidad Aparente (SSS)} = \frac{62.27 S_i (A/S)}{0.9975 (R_2 - R_1) - [(S_i / S) (S - A)]} \quad (\text{lb./pie}^3)$$

Absorción

Calcule el porcentaje de absorción como sigue:

$$\text{Absorción \%} = 100[(S - A) / A]$$

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO
ASTM C - 128**

Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales**

Procedencia: **CANTERAS CONCRETERA SALVADOREÑA** 1-Jun-03
Río Jiboa Hoja:1/2

Ensayo No	1	2
Peso de picnómetro más agua aforado (g)	1481.0	1481.0
Peso de arena seca al horno (g)	486.0	485.0
Peso de arena sss (g)	500.0	500.0
peso de picnometro + agua + arena sss (aforado) gr	1770.0	1773.0
Gravedad específica Bulk (base SSS)	2.37	2.40
Gravedad específica Bulk (base Seca)	2.30	2.33
Gravedad específica Aparente (base Seca)	2.47	2.51

Promedios.	
Gravedad específica Bulk (base SSS)	2.39
Gravedad específica Bulk (base Seca)	2.32
Gravedad específica Aparente (base Seca)	2.49

Observaciones: _____

Reporte de Gravedad específica y absorción del agregado fino.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**ABSORCION DEL AGREGADO FINO
ASTM C - 128**

Proyecto: **TRABAJO DE GRADUACION: Determinación de la correlación entre el Módulo de Elasticidad y el Módulo de Ruptura para pavimentos de concreto hidráulico con materiales en condiciones locales**

Procedencia: **CONCRETERA SALVADOREÑA
Rio Jiboa**

FECHA: 05/06/2003

Hoja: 2/2

Ensayo No	1	2
Peso de arena sss (g)	464.9	465.60
Peso seco (g)	451.3	452.00
Absorción %	3.0	3.0

Promedio del % de Absorción = 3.0

Observaciones:

3.3 PRUEBAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DEL CEMENTO.

3.3.1 Consistencia Normal y Tiempo de Fraguado Inicial del Cemento por medio de las Agujas de Vicat. ASTM Designación C – 187 y ASTM Designación C – 191, Respectivamente.

Introducción.

El cemento es un polvo químico seco, que al mezclarse con agua (pasta), adquiere propiedades aglutinantes, tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales, para formar una roca compacta.

Al entrar en contacto el cemento con el agua, se inicia una reacción química llamada hidratación, la cual genera un fraguado que es un proceso de endurecimiento en el cual, el concreto pasa del estado fluido o semifluido a un estado rígido, el que al finalizar este proceso inicia la ganancia de resistencia.

En este proceso de hidratación los cementos requieren determinado tiempo para endurecerse, o sea el fraguado inicial para todos los cementos, exceptuando el Pórtland tipo III. El fraguado inicial no deberá ser menor de 45 min.

Equipo y Herramientas.

- ✦ Cemento
- ✦ Mezcladora
- ✦ Aparato de Vicat. (Figura 3.15)

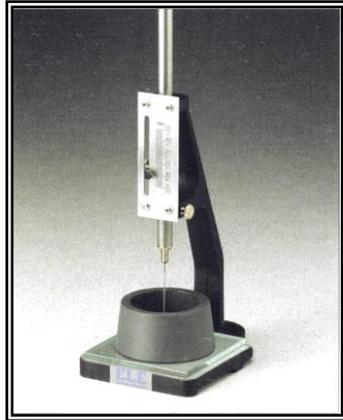


Fig 3.15 Aparato de vicat

- ↵ Balanza con una precisión de 0.1 gr.
- ↵ Probeta graduada con capacidad de 150 o 200 ml.
- ↵ Espátulas
- ↵ Cronómetro
- ↵ Guantes de hule
- ↵ Placa de vidrio.
- ↵ Franela

Procedimiento.

Preparación de la pasta mecánicamente

En caso de que se disponga de una mezcladora, el procedimiento para preparar la pasta es el siguiente:

1. Se pesará una muestra de cemento de 650 g.
2. Preparar la mezcladora colocando la paleta y la olla secas en posición de mezclas.

3. Viértase toda el agua dentro de la olla.
4. Agréguese el cemento al agua y déjese transcurrir 30 s para que el cemento la absorba.
5. Póngase en marcha la mezcladora en velocidad baja 140 ± 5 r.p.m. durante 30 s.
6. Deténgase la mezcladora y usando la espátula, despréndase hacia abajo rápidamente toda la pasta que se haya adherida a las paredes de la olla. Esta operación deberá tomar no más de 15 segundos.
7. Póngase en marcha la mezcladora en velocidad alta 285 ± 10 r.p.m. y mézclese la pasta durante un minuto.

Preparación de la pasta manualmente:

En caso de que no se disponga de mezcladora el procedimiento para preparar la pasta es el siguiente:

- a) Coloca el cemento en una superficie lisa y no absorbente.
- b) Formar un cráter al centro y verter el porcentaje de agua en él.
- c) Colocar con una espátula el cemento del borde exterior del cráter dentro de éste en un período no mayor de 30 s.
- d) Luego en un intervalo de 30 s, tiempo requerido para la absorción del agua y durante el cual el cemento seco que este alrededor del cono se alisará ligeramente con la espátula sobre la mezcla restante para reducir las pérdidas por evaporación y para promover la absorción, se completará la operación, mezclando, comprimiendo y amasando continua y vigorosamente con las manos durante $1 \frac{1}{2}$ min.

- e) Durante la operación de mezclado se protegerán las manos con guantes de hule bien ajustados.

Moldeado de los especímenes:

1. Con la pasta de cemento preparada como se indicó anteriormente, fórmese un bola (se tendrá cuidado de tener las manos enguantadas, para que no haya contacto de cemento con la piel).
2. Llevar esta bola 6 veces de una mano a otra, manteniendo las manos separadas una distancia de 15 cm (6").
3. Presiónese la bola, que descansará en la palma de la mano, dentro del extremo mayor del anillo cónico, que se sostendrá en la otra mano, hasta llenar completamente el anillo con la pasta.
4. Remuévase el exceso de pasta en el extremo mayor con un simple movimiento de la palma de la mano.
5. Colóquese el anillo de tal manera que su extremo mayor descansa sobre la placa de vidrio y utilícese el exceso de pasta en el extremo menor de la parte superior del anillo pasando el borde afilado de una espátula que se mantendrá en posición oblicua de tal manera que forme un ángulo pequeño con el extremo superior del anillo.
6. Alísese la parte superior del espécimen, si es necesario con una o dos ligeras pasadas del borde sin filo de la espátula. Durante las operaciones de cortado y alisado cuidado de no comprimir la pasta.

Determinación de la consistencia:

1. La pasta confinada en el anillo sobre la placa de vidrio se centrará bajo el vástago de aparato de Vicat (ver Fig 3.15)
2. El extremo del vástago (varilla de un cm de diámetro) se pondrá en contacto con la superficie de la pasta y se asegurará el tronillo fijador. Después se colocará el índice móvil sobre la marca cero de la escala, o se tomará una lectura inicial.
3. Se soltará el vástago o varilla bruscamente y se deja que ejerza una acción durante 30 s, al final de los cuales se lee en la escala la penetración que haya hecho el vástago. El aparato estará libre de toda vibración durante la prueba.
4. La pasta será de consistencia normal cuando después de 30 s de haber soltado el vástago, penetre 10 ± 1 mm bajo la superficie original.
5. La pasta de prueba se hará variando el porcentaje de agua hasta obtener la consistencia normal, cada intento se hará con nuevo cemento.
6. Para determinar la cantidad de agua necesaria existen ciertas condiciones que se calculan como un porcentaje del cemento seco, siendo esta variación de 21 a 28 % como porcentaje mínimo y máximo respectivamente de peso del cemento, es decir 105 cm^3 como cantidad de agua mínima y 140 cm^3 como cantidad de agua máxima.

Determinación del tiempo de Fraguado:

1. Una vez encontrada la cantidad de agua para la cual se obtiene la consistencia normal del cemento.
2. Preparar un espécimen en el cuarto húmedo, durante treinta minutos después del moldeado sin producir ninguna alteración.
3. Colocar el espécimen en el cuarto húmedo, durante 30 min después del moldeado sin producir ninguna alteración.
4. Determinarse la penetración de la aguja de 1 mm. En este instante y durante cada 15 minutos subsecuentes (10 min., Para cemento Tipo III) hasta obtener una penetración de 25 mm o menos.
5. Para el ensaye de penetración hágase descender la aguja de 1 mm. Hasta que descansa en la superficie de la pasta de cemento. Apriétese el tronillo de ajuste y ajústese el indicador, en el extremo superior de la escala, o tómesese una lectura inicial.
6. Suéltese la varilla rápidamente soltando el tornillo de ajuste y permítase que la aguja penetre durante 30 seg, después tómesese la lectura para determinar la penetración (si la pasta está demasiada suave en las primeras lecturas, se puede retardar el descenso de la varilla para evitar que se flexione la aguja de 1 mm).
7. Regístrense los resultados de todos los ensayos de penetración con su correspondiente tiempo. Se tendrá cuidado de no hacer ensayos de penetración a menos de $\frac{1}{4}$ " (0.6 cm) de una marca de penetración previa y no se harán ensayos de penetración a menos de $\frac{3}{8}$ " (1 cm) de la cara interior del molde.

Nota 24 - Todos los aparatos estarán libres de vibraciones durante el ensayo de penetración. Se tendrá cuidado de mantener vertical la aguja de 1 mm.

La aguja se conservará limpia ya que la acumulación de cemento en los lados de ésta puede retardar la penetración, mientras que si hay cemento en la punta de la aguja se puede incrementar la penetración. El tiempo de fraguado se verá afectado no solamente por el % y la temperatura del agua empleada sino que también por la cantidad de amasado que reciba la pasta.

Cálculos:

Se elaborará una gráfica de Penetración – Tiempo, donde se colocará en el eje de las ordenadas la penetración y en el eje de las abscisas el tiempo, luego de la grafica interpolar el tiempo para el cual se da una penetración de 25 mm.

3.4 ENSAYOS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DEL CONCRETO.

3.4.1 Método de Prueba Estándar para determinar Revenimientos en Concretos Hidráulicos. ASTM Designación C143/C143M – 00.

Introducción.

Este método de prueba cubre la determinación del revenimiento del concreto, en laboratorio y en el campo.

Una muestra de una mezcla de concreto fresco es colocada y compactada mediante varillado, en un molde con forma de cono truncado. El molde se levanta dejando que el concreto se asiente. La distancia entre la altura original y la posición final del centro de la superficie superior del concreto, se mide y se reporta como el revenimiento del concreto.

Este método de prueba tiene el objeto de proporcionar al usuario un procedimiento para determinar el revenimiento de concretos hidráulicos de cemento en estado plástico.

NOTA 25 - Este método de prueba fue desarrollado originalmente para proporcionar una técnica para registrar la consistencia del concreto no endurecido. Bajo condiciones de laboratorio con estricto control de todos los materiales para concreto, se puede observar generalmente, que el revenimiento se incrementa proporcionalmente al contenido de agua de una mezcla de concreto dada, y por lo tanto se relaciona inversamente a la resistencia del concreto. Sin embargo, en condiciones de campo, tal relación de resistencia no se muestra clara y consistentemente. Por lo tanto, se debe tener cuidado al relacionar los resultados del revenimiento obtenidos bajo condiciones de campo con la resistencia

Este método de prueba se considera aplicable a concreto plástico que contiene agregado de hasta 1 ½ pulgada (37.5mm) de tamaño. Si el agregado grueso es mayor a 1 ½ pulgada (37mm), el método de prueba es aplicable cuando se realiza con la fracción del concreto que pasa por un tamiz de 1 ½ pulgada (37.5mm), eliminando el agregado más grande que ha sido retenido, de acuerdo con la Practica ASTM C 172.

Este método de prueba no se considera aplicable a concreto no plástico y no cohesivo.

Documentos de Referencia.

C 172 Practica Estándar para el Muestreo de Mezclas de Concreto Fresco.

NOTA 26 - Los concretos que tienen un revenimiento menor a ½ pulgada (13 mm) pueden no ser lo suficientemente plásticos y concretos con revenimientos mayores a 9 pulgadas (230 mm) pueden no ser lo suficientemente cohesivos para que esta prueba tenga significado. Se debe tener cuidado al interpretar dichos resultados.

Equipo y Herramientas.

- ✦ Molde.- El espécimen de prueba debe hacerse en un molde de metal que no reaccione fácilmente con la pasta de cemento. el metal no debe ser mas delgado que una placa del No. 16 (BWG) y si es hecho con el proceso de rolado, no debe haber ningún punto en el molde en que el espesor sea menor de 0.045-pulgadas (1.14mm).(ver fig.3.16)

El molde debe tener la forma de la superficie lateral de un cono truncado, con una base de 8 pulgadas (203 mm) de diámetro, la parte superior debe ser de 4-pulgadas (102mm) de diámetro y la altura de 12 pulgadas (305mm). Los diámetros y alturas individuales deben tener una tolerancia $\pm 1/8$ pulgadas.



Fig 3.16 Conjunto portátil para ensayo de asentamiento.

- ⚡ La base y la parte superior deben estar abiertas y ser paralelas entre si y deben formar un ángulo recto con el eje del cono. El molde debe tener estribos para apoyar los pies y asas similares a los que se muestran en la Figura 3.16. el molde puede estar construido con o sin costura visible. Cuando se requiera de costura visible, debe ser esencialmente como se muestra en la Figura 3.16. El interior del molde debe ser relativamente liso y estar libre de imperfecciones, tales como remaches salidos. El molde no debe tener abolladuras. Un cono que se una a una placa base no absorbente, es aceptable como el que se ilustra, siempre y cuando este unido de tal manera que se pueda liberar sin movimiento del molde.
- ⚡ Varilla de apisonamiento (Fig 3.16) - La varilla de apisonamiento debe ser redondeada y de acero, de 5/8 pulgadas (16 mm) de diámetro y aproximadamente 24 pulgadas (600 mm) de largo, con el extremo apisonador con punta hemisféricamente redondeada y con un diámetro de 5/8 pulgadas.
- ⚡ Muestra. La muestra de concreto de la que se hagan los especímenes de prueba debe ser representativa de toda la carga. Esta será obtenida de acuerdo con la Practica C 172.

Procedimiento.

1. Humedezca el molde y colóquelo en una superficie que sea plana, húmeda, rígida y no absorbente. Debe mantenerse firmemente en su lugar durante el llenado con el operador, parado sobre los dos estribos. Con la muestra de concreto obtenida, llene inmediatamente el molde en tres capas, cada una de aproximadamente un tercio del volumen del molde.

NOTA 27 - Un tercio del volumen del molde de revenimiento se llena hasta una altura de $2 \frac{5}{8}$ pulgadas (67 mm); dos tercios del volumen se llena hasta una altura de $6 \frac{1}{8}$ -pulgadas (155 mm).

2. Compacte cada capa con 25 golpes de la varilla de apisonado. Distribuya los golpes uniformemente sobre la sección transversal de cada capa. Para la capa del fondo, se necesita inclinar ligeramente la varilla y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, continuando con los golpes verticales en forma de espiral hacia el centre. Compacte la capa del fondo en todo su espesor. Compacte la segunda capa y la capa superior en todo su espesor, de tal manera que los golpes penetren en la capa de abajo.
3. Para llenar y compactar la capa superior, amontone el concreto encima del molde antes de empezar a compactar con la varilla. Si al efectuar la compactación, el concreto alcanza un nivel más bajo que el borde del molde, agregue mas concreto para mantener un exceso de concreto sobre la superficie del molde todo el tiempo. Después de que la capa superior ha sido compactada, enrasede la superficie del concreto con movimientos de vaivén y rodamiento de la varilla de

apisonamiento. Quite el molde del concreto inmediatamente, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Levante el molde a una altura de 12 pulgadas (300 mm) en 5 segundos ($\pm 2s$) con un movimiento uniforme ascendente, libre de movimientos laterales o de torsión. La prueba se debe de realizar, desde su inicio al empezar a llenar al molde, hasta la remoción del mismo, en un lapso de 2 minutos y medio.

4. Inmediatamente mida el revenimiento, determinando la diferencia vertical entre la altura de la superficie del molde y el centro original de la superficie desplazada de la superficie superior del espécimen. Si ocurre la caída de un desprendimiento o un corte del concreto de un lado o una porción de la masa (Nota 28), deseche la prueba y haga una nueva prueba con otra porción de la muestra.

NOTA 28 - Si dos pruebas consecutivas de una muestra de concreto acusan falla por desprendimiento o corte del concreto, probablemente este tipo de concreto no es lo suficientemente plástico y cohesivo para que este método de prueba sea aplicable.

3.4.2 Práctica Normalizada para la Elaboración y Curado en el Campo de Especímenes de Prueba de Concreto. ASTM Designación C 192-91

Introducción.

Esta norma describe los procedimientos para elaborar y curar especímenes cilíndricos y prismáticos en laboratorio; esta práctica proporciona los requisitos estandarizados para fabricar, curar, proteger y transportar los especímenes de prueba de concreto bajo condiciones de laboratorio.

Si la preparación de especímenes está controlada como aquí se especifica, los especímenes pueden ser usados para obtener información con los siguientes propósitos: Verificar lo adecuado de las proporciones de la mezcla para requisitos de resistencia; evaluación de la seguridad y comportamiento de estructuras; base para determinar el tiempo requerido para la remoción de cimbras y apuntalamientos; determinación del cumplimiento de las especificaciones de resistencia, y determinar el tiempo en que una estructura pueda ser puesta en servicio.

Documentos de referencia.

Estándares ASTM:

C 143 Método de Prueba Estándar para Revenimiento de Concreto de Cemento

Hidráulico.

C 172 Práctica Estándar para el Muestreo de Mezclas de Concreto Fresco

C 173 Método de Prueba Estándar para Contenido de Aire de Mezclas de Concreto

Fresco por el Método volumétrico.

C 231 Método Estándar de Ensaye para Determinar el Contenido de Aire en Mezclas de Concreto Fresco por el Método de Presión.

C 470 Especificación para Moldes de elaboración de Cilindros de Concreto.

C 511 Especificación para Gabinetes Húmedos, Cuartos de Curado y Piletas Usadas en el Ensaye de Cementos y Concretos Hidráulicos.

C 617 Practica para el Cabeceo de Especímenes Cilíndricos de Concreto.

C 1064 Método Estándar para la Determinación de la Temperatura del Concreto Fresco de Cemento Pórtland

Material y Equipo.

Moldes.

- ⚡ Los moldes para especímenes o abrazadera que estarán en contacto con el concreto, deberán estar hechos de acero, hierro fundido o cualquier otro material no absorbente, que no reaccione con concretos de cemento Pórtland u otros cementantes hidráulicos.

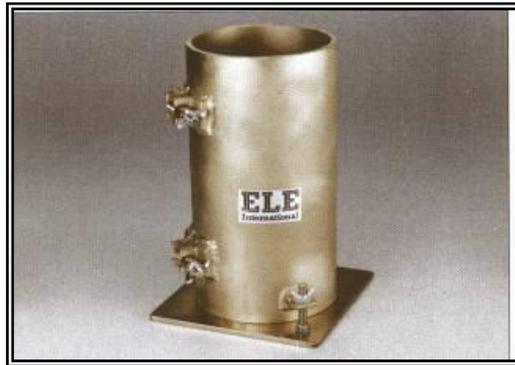
Los moldes deberán conservar sus dimensiones y forma bajo condiciones severas de uso. Los moldes deben ser estancos durante su uso, juzgados por su capacidad para retener el agua que les sea vertida en su interior. Las disposiciones para las pruebas de estanquidad son especificadas en la sección Métodos de Pruebas para elongación, resorción y estanquidad de la especificación C 470. Un sellador

adecuado tal como grasa espesa, barro para moldear o cera macrocristalina, deben ser usadas cuando sea necesario para evitar filtraciones a través de las juntas. Los moldes deben estar sujetos firmemente a su base.

Los moldes reutilizables deben estar ligeramente engrasados con aceite mineral o con un material desmoldante no reactivo y adecuado antes de ser usados.

✦ *Moldes para hacer especímenes verticales*

Los moldes para hacer los especímenes de prueba de concreto (ver figura 3.17), deben satisfacer los requerimientos de la especificación C 470.



**Fig 3.17 Molde Cilíndrico de
acero. (6 x 12 ")**

✦ *Moldes para Vigas.-*

Los moldes para vigas deben ser de forma rectangular y de las dimensiones requeridas; las superficies internas de los moldes deben estar lisas (fig. 3.18). Los costados, el fondo y los extremos deben ser perpendiculares entre si y estar planas y libres de alabeo. La máxima variación nominal de la sección transversal no debe ser mayor que 1/8 pulg. (3.2 mm) para los moldes con altura o ancho de

6 pulg. (152 mm) o más. Con los moldes se deben hacer especímenes no menores en más de 1 /16 de pulgada (1.6 mm) de la longitud requerida, pero se pueden excederse en más de esta cantidad.

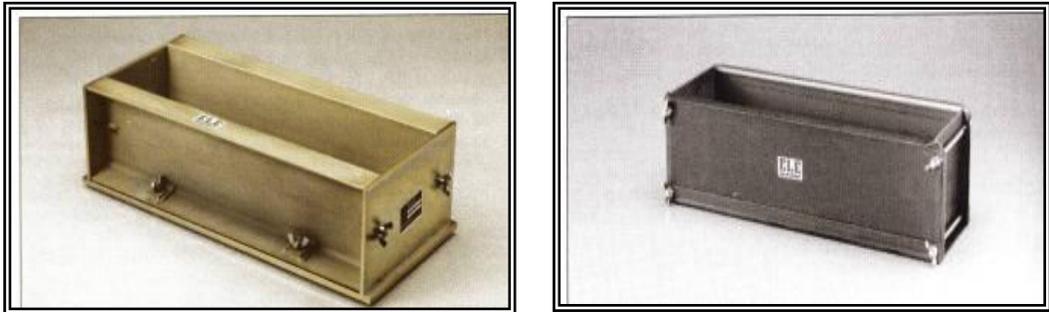


Fig 3.18 Moldes de alta resistencia para viga.

⚡ *Varilla de apisonamiento.*- La varilla debe ser redonda, recta, de acero de 5/8 de pulgada (16mm) de diámetro y de aproximadamente 24 pulg. (610 mm) de longitud, con el extremo apisonador redondeado en semi-esfera, cuyo diámetro sea el mismo. Ambos extremos pueden estar redondeados de preferencia.

⚡ *Vibradores.*

Los vibradores internos pueden ser de flecha rígida o flexible y de preferencia accionados con motor eléctrico (Fig 3.19). La frecuencia de vibración debe ser de 7,000 vibraciones /min o mayor mientras esté en uso. El diámetro exterior o las dimensiones laterales del elemento vibrante deberá ser por lo menos de 0.75 pulg. (19 mm) y no mayor que 1.5 pulg. (38 mm). La longitud combinada de la flecha y el elemento vibratorio debe sobre pasar por lo menos en 3 pulgadas (76 mm) la máxima profundidad de la sección que se está vibrando.



Fig 3.19 Vibrador para concreto fresco.

- ✦ *Martillo.* Se deberá utilizar un martillo con cabeza de goma o de cuero crudo que pese 1.25 ± 0.50 lb. (0.57 ± 0.23 kg.).
- ✦ *Herramientas Auxiliares.* Las herramientas y accesorios que pueden necesitarse son palas, cubetas, llanas, charola de madera, charola de lámina, enrazador, calibrador de precisión, cucharones y reglas.
- ✦ *Equipo de Revenimiento.* El equipo para medir el revenimiento debe satisfacer los requisitos del método de prueba C143.
- ✦ *Recipiente para Muestreo y Remezclado de Muestras.* El recipiente debe ser una charola de lámina de grueso calibre, una carretilla o una mezcladora de material no absorbente, de capacidad suficiente que permita remezclar fácilmente la muestra completa con pala o cucharón.
- ✦ *Aparato para Medir el Contenido de Aire*
El aparato para medir el contenido de aire debe satisfacer los requisitos de los métodos de prueba C 173 ó C 231.

☞ *Especímenes de Prueba.*

Especímenes para la Prueba de Resistencia a la Compresión. Los especímenes para determinar la resistencia a la compresión deben ser cilindros de concreto, colados y dejados endurecer en posición vertical, con una altura igual a dos veces su diámetro. La probeta estándar debe ser de 6 x 12 pulg. (152 x 305 mm) cuando el tamaño máximo del agregado grueso no exceda de 2 pulg. (50 mm). Cuando el tamaño máximo del agregado grueso exceda las 2 pulg. (50 mm), a la muestra del concreto se le deberá tratar con un cribado en húmedo como se describe en la práctica C 172 o el diámetro del cilindro deberá ser por lo menos tres veces, el tamaño máximo nominal del agregado grueso del concreto.

Nota 29. El tamaño máximo es la menor abertura de la criba a través de la cual necesita pasar todo el agregado.

Especímenes para Prueba de Resistencia a la Flexión. Los especímenes para determinar la resistencia a la flexión deben ser vigas rectangulares de concreto colado y endurecido en posición horizontal. La longitud deberá ser por lo menos 2 plg. (50 mm) mayor que tres veces su peralte en su posición de ensaye. La relación entre el ancho y el peralte del molde no debe exceder de 1.5. Las vigas estándar deben ser de 6 x 6 plg. (152 x 152 mm) en su sección transversal y se deben usar para concreto con agregado de tamaño máximo hasta de 2 pulg. (50 mm). Cuando el tamaño máximo nominal del agregado grueso exceda las 2 pulg. (50 mm), la sección transversal mínima de la viga deberá ser por lo menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Muestreo del Concreto.

Las muestras utilizadas para fabricar especímenes bajo esta norma, deberán de obtenerse de acuerdo con la práctica C 172, a menos que se haya aprobado otro procedimiento alternativo. Registre la identificación de la muestra con respecto a la localización del concreto muestreado y las horas en que se realizó el colado.

Revenimiento, Contenido de Aire y Temperatura.

Revenimiento.- Determine el revenimiento de cada carga (bachada) de concreto con el que se fabricarán especímenes, inmediatamente después del remezclado en el recipiente de muestreo, como se describe en el método de prueba C 143.

Contenido de aire. Determine el contenido de aire de acuerdo con el método de prueba C 173 ó el método C 231. El concreto usado en la determinación del contenido de aire, no debe ser usado en la fabricación de especímenes de prueba.

Temperatura.- El concreto utilizado para la determinación de la temperatura, se hará de acuerdo con el método de prueba C 1064.

Moldeo de Especímenes.

Lugar para el moldeo. Los especímenes se deberán moldear inmediatamente sobre una superficie rígida y nivelada, libre de vibraciones y otras perturbaciones, en un lugar tan cercano como sea posible del sitio en que van a ser almacenados.

Colocación del concreto. Coloque el concreto dentro de los moldes utilizando un cucharón, cuchara o pala. Extraiga cada porción de concreto con el cucharón, la cuchara o la pala de la charola de mezclado para asegurar que ésta es representativa de la carga

(bachada). Remezcle el concreto en la charola de mezclado con una pala o cucharón para evitar la segregación, mientras que los especímenes son moldeados, mueva el cucharón, la cuchara o la pala alrededor del perímetro del molde, separándolo cuando se agrega concreto para asegurar una distribución uniforme del concreto y minimizar la segregación. Posteriormente se distribuye el concreto mediante el uso de la varilla de compactación antes de iniciar la consolidación. En la colocación de la capa final, el operador debe procurar agregar una cantidad de concreto que le permita llenar el molde completamente después de la compactación. No se debe adicionar concreto no representativo para acabar de llenar el molde.

Número de Capas.- Elabore los especímenes en capas como se indica en la tabla 3.18.

Especímenes, tipo y medida. Peralte en pul (mm)	Modo de compactación	Número de capas	Espesor aproximado de las capas pul(mm)
Cilindros: 12 (305) <i>mayores de 12 (305)</i>	Varillado <i>varillado</i>	3 iguales <i>las que se requieran</i>	4 (100) <i>4(100)</i>
12 (305) a 18 (460) <i>mayores de 18 (460)</i>	Vibrado <i>Vibrado</i>	2 iguales <i>3 ó más.</i>	mitad de la profundidad del espécimen <i>8 (200) o lo más aproximado posible.</i>
Vigas: 6 (152) a 8 (200) <i>mayores de 8 (200)</i>	Varillado <i>varillado</i>		Mitad de la profundidad del espécimen <i>4(100)</i>
6 (152) a 8 (200) <i>mayores de 8(200)</i>	Vibrado <i>Vibrado</i>		la profundidad del espécimen <i>8 (200) o lo mas aproximado posible</i>

Fig 3.18 Número de capas requeridas por el espécimen.
Fuente: ASTM C 31-91

Diámetro del cilindro pulg (mm)	Numero de golpes por capa.
6 (125)	25
8 (200)	50
10 (250)	75

*Fig 3.19 Numero de golpes de varilla apisonadora en moldes cilíndricos.
Fuente: ASTM C31-91*

Consolidación:

Métodos de Consolidación. La preparación adecuada de especímenes, requiere de diferentes métodos de compactación. Los métodos de compactación son el varillado y la vibración interna o externa. La base para seleccionar el método de compactación es el revenimiento, a menos que se establezca en las especificaciones bajo las cuales el trabajo se deba realizar: concretos con revenimiento mayor que 3 pulg. (75 mm) el método será varillado. Se deben varillar o vibrar concretos con revenimiento de 1 a 3 pulg. (25 a 75 mm). Se deben vibrar los concretos con revenimiento menor a 1 pulg. (25 mm). Los concretos que por su bajo contenido de agua, no se pueden consolidar apropiadamente con los métodos aquí descritos o que requieran otras medidas o formas de los especímenes que representen la estructura o el producto, no están considerados en este método. Los especímenes de tales concretos deben fabricarse de acuerdo con los requisitos de la práctica C 192 respecto al tamaño y forma del espécimen y el método de compactación.

Varillado. Coloque el concreto en el molde, en el numero requerido de capas de aproximadamente el mismo volumen. Para los cilindros pique cada capa con el extremo

redondeado de la varilla de compactación utilizando el número de penetraciones especificado en la tabla No. 3.19. El número de penetraciones por capa que se requieren para las vigas es uno por cada 2 pulg² (13 cm²) del área de la superficie del espécimen. Varille la capa inferior en todo su espesor. Distribuya las penetraciones uniformemente sobre la sección transversal del molde y en cada capa superior permita que la varilla penetre aproximadamente 1/2 pulg. (12mm) en la capa anterior cuando la profundidad de la capa sea menos de 4 pulg. (100 mm) y aproximadamente 1 pulg. (25 mm) cuando la profundidad sea de 4 pulg. ó más. Después de que cada capa haya sido varillada, golpee ligeramente el molde por fuera de 10 a 15 veces con el martillo, para cerrar cualquier oquedad residual dejada durante el varillado y para liberar las burbujas grandes de aire que hayan sido atrapadas. Utilice la palma de la mano para golpear ligeramente los moldes de un solo uso que son susceptibles de dañarse si se golpean con el martillo. Después de golpear el molde, empareje el concreto a lo largo de los lados y extremos de los moldes de vigas con una llana u otra herramienta adecuada.

Vibrado. Mantenga la duración de vibrado un periodo uniforme de tiempo para cada tipo de concreto, vibrador y molde del espécimen involucrado. La duración de la vibración requerida, dependerá de la trabajabilidad del concreto y de la efectividad del vibrador. Por lo general, se ha aplicado suficiente vibrado tan pronto como la superficie del concreto comienza a ponerse lisa, continúe el vibrado únicamente lo suficiente para lograr una compactación adecuada del concreto. El sobrevibrado puede causar segregación. Llene los moldes y víbrelos en número requerido de capas aproximadamente iguales. Coloque todo el concreto para cada capa en el molde antes de

comenzar el vibrado de esa capa. Cuando coloque la capa final, evite sobre llenar con más de $\frac{1}{4}$ de pulg. (6 mm). Termine la superficie durante o después del vibrado cuando se aplique vibración externa. Termine la superficie después del vibrado cuando utilice vibrado interno. Cuando el acabado se efectúa después del vibrado, agregue con una llana únicamente el concreto suficiente para rebasar el molde aproximadamente $\frac{1}{8}$ pulg. (3mm), incorpórelo a su superficie y entonces quite el excedente.

Vibrado Interno. El diámetro del elemento vibratorio o espesor de un elemento vibratorio cuadrado, no debe exceder $\frac{1}{3}$ del ancho del molde. Para cilindros, la relación del diámetro del cilindro al diámetro del elemento vibratorio debe ser de 4 ó mayor. En la compactación de especímenes, no se debe permitir que el vibrador se apoye en el fondo o los costados del molde, saque cuidadosamente el vibrador de tal forma que no deje bolsas de aire en el espécimen.

a) Cilindros.- Realice tres inserciones del vibrador en diferentes puntos en cada capa, deje que el vibrador penetre toda la capa que esta siendo vibrada y se introduzca en la capa subyacente aproximadamente 1 pulg. (25 mm). Después de que cada capa ha sido vibrada, golpee ligeramente el molde por fuera de 10 a 15 veces con el martillo, para cerrar algunos huecos dejados por el vibrador y liberar cualquier burbuja grande de aire que haya estado atrapada. Utilice la palma de la mano para golpear ligeramente los moldes de un solo uso que pudieran dañarse si se les golpeará con el martillo.

b) Vigas.- Inserte el vibrador a espacios que no exceden de 6 pulg. (150 mm) a lo largo de la línea central de la dimensión longitudinal del espécimen. Para especímenes cuyo ancho sea mayor de 6 pulg. practique inserciones alternadas a lo largo de dos

líneas. Permita que la flecha del vibrador penetre en la capa del fondo aproximadamente 1 pulg. (25 mm), después del vibrado de cada capa, golpee el molde por fuera ligeramente de 10 a 15 veces con el martillo para que se cierren las oquedades dejadas por el vibrador y se libere cualquier burbuja grande de aire que pudiera haber quedado atrapada.

Vibrado Externo. Cuando se usa la vibración externa asegúrese y tome la precaución de que el molde está fijado rígidamente contra el elemento vibratorio o la superficie vibrante.

Acabado.

Después de la compactación, a menos que el acabado se haya realizado durante el vibrado se requiere enrasar la superficie del concreto. Realice el acabado con el manejo mínimo necesario para producir una superficie lisa que se nivela con el canto o borde del molde para evitar depresiones o salientes mayores de 1/8 pulg. (3.2 mm).

Cilindros. Después del compactado termine la superficie quitando de ella el concreto sobrante con la varilla compactadora hasta donde la consistencia del concreto lo permita o bien, con una plana o llana de madera.

Vigas.- Después de la compactación del concreto, enrase la superficie superior hasta la tolerancia requerida para producir una superficie plana uniforme. Se puede utilizar llana de madera.

Identificación de los Especímenes.

Marque los especímenes para su absoluta identificación con la del concreto que representan. Use un método que no modifique la superficie superior del concreto. No marque las tapas removibles. Durante el descimbrado marque los especímenes de prueba para que conserven sus identificaciones. *Almacenamiento Inicial.* Inmediatamente después de ser descimbrados, los especímenes deben trasladarse hasta el lugar de su almacenamiento, donde permanecerán sin ser perturbados durante su periodo de curado inicial. Si los especímenes hechos en moldes para un solo uso, son movidos, levante y apoye los especímenes de la base de los moldes con una paleta grande o un artefacto similar.

Curado.

Protección después del acabado. Inmediatamente después del acabado, se deben tomar todas las precauciones para evitar la evaporación y pérdida de agua de los especímenes. Proteja las superficies externas de los moldes de cartón con una colchoneta húmeda u otros dispositivos con agua, los moldes de cartón pueden expandirse y dañar los espécimen a una edad temprana si la parte exterior del molde absorbe agua. Cubra los especímenes con una tela no absorbente no reactiva o con una capa o pliego de plástico impermeable. La colchoneta húmeda puede usarse sobre la capa o el pliego de plástico para ayudar a retardar la evaporación, pero la colchoneta no debe estar en contacto con la superficie del concreto.

Curado Inicial. Después del moldeo, los especímenes deben permanecer

almacenados con un rango de temperatura entre 60 y 80 °F (16 a 27°C), y en un ambiente húmedo, evitando cualquier pérdida de humedad durante las primeras 48 horas (Nota 30). En todo momento la temperatura de y entre los especímenes deberá estar controlada y protegida de los rayos directos del sol y de Fuentes que irradian calor. Si los especímenes no son trasladados dentro de las primeras 48 horas, los moldes deberán ser removidos dentro de las primeras 24 horas \pm 8 horas (ver 10.1).

Nota 30 - Puede ser necesario durante el curado inicial, crear un ambiente para mantener una humedad satisfactoria para controlar la temperatura. Los especímenes pueden ser sumergidos inmediatamente en agua saturada con cal y/o almacenados en cajas de madera construidas herméticamente. Enterrados o cubiertos de arena mojada temporalmente en los lugares de construcción de las obras, bajo colchonetas húmedas o en bolsas cerradas de plástico resistente. No es recomendable sumergir en agua saturada de cal los especímenes en moldes de cartón u otros moldes que se expandan cuando se sumergen en agua. Se pueden utilizar otros métodos adecuados siempre y cuando se cumplan los requerimientos anteriores que limitan la temperatura del espécimen y la pérdida de humedad. La temperatura puede ser controlada por ventilación o dispositivo refrigerante controlado con termostato o con aparatos para calentar, como focos; estufas o calentadores controlados con termostato. El registro de temperatura de los especímenes puede ser controlado con un termómetro de máximas y mínimas. Los resultados a edades tempranas pueden estar bajos cuando los cilindros se almacenan en temperaturas cercanas a los 60°F (16°C) y altas si la temperatura es de alrededor de los 80 •F (27°C).

Curado Estándar.

a) *Cilindros.*- Después de terminar el curado inicial y dentro de los 30 minutos posteriores a la remoción de los moldes, almacene los especímenes en un ambiente húmedo con agua tibia que se mantenga todo el tiempo en su superficie a una temperatura de 73.4 ± 3 °F (23 ± 17 °C). Las temperaturas entre 68 y 86 °F (20 y 30 °C)

son permitidas por períodos que no excedan de tres horas inmediatamente antes del ensaye si la humedad libre se conserva en las superficies del espécimen en todo momento, excepto cuando se cabecee con compuestos para cabeceado de mortero de azufre. Cuando se cabecee con este material, las cabezas del cilindro deberán secarse como se describe en la practica C617. Los especímenes no deben exponerse a goteo ni chorro de agua. El almacenamiento húmedo requerido se puede lograr sumergiéndolos en agua saturada con cal y pueden obtenerse también por almacenamiento en cámara húmeda o en un gabinete que satisfaga los requisitos de la Especificación C 511.

b) Vigas. Las vigas se deben curar igual que los cilindros, excepto que por un mínimo de 20h antes del ensaye, las vigas deben estar almacenadas en agua saturada con cal a $73.4 \pm 3^{\circ}\text{F}$ ($23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$). El secado de las superficies de las vigas, se debe evitar en el periodo comprendido entre la sacada del agua con cal y la terminación del ensaye.

Nota 31 - Cantidades relativamente pequeñas de superficie seca de los especímenes para ensaye de flexión, pueden inducir esfuerzos de tensión en las fibras extremas, que reducirán notablemente la resistencia a la flexión.

Transporte de Especímenes.

Durante la transportación, los especímenes deberán estar protegidos con un material acojinado y adecuado que evite los daños por sacudidas y por temperaturas de congelación o pérdida de humedad. La transportación no debe excederse de 4 hrs.

3.4.3 Práctica Estándar para Uso de Tapas no Adheridas en la Determinación del Esfuerzo de Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido. ASTM Designación: C 1231-00

Introducción.

Esta práctica cubre los requerimientos para un sistema de cabeceado usando tapas no adheridas para ensayar cilindros de concreto moldeados de acuerdo con las Prácticas ASTM C 31, ASTM C 31M o ASTM C192 y ASTM C192M. Las tapas de neopreno no adheridas de dureza definida, está permitido su uso en ensayos para un número máximo especificado, y por seguridad, para un nivel de esfuerzo de compresión ya establecido. Encima de estos esfuerzos, el nivel de las tapas de neopreno requerirá ensayos de calificación. Este ensayo de calificación es requerido para todos los materiales elastoméricos diferentes del neopreno, sin importar la resistencia del concreto.

Las tapas no adheridas no serán usadas para aceptación del ensayo de concreto con esfuerzo de compresión por debajo de 100 kg/cm^2 (10 Mpa) o por encima de 850 kg/cm^2 (85 Mpa). Las almohadillas elastoméricas se deforman con la carga inicial conforme al contorno de los extremos del cilindro y están restringidos de la extensión lateral excesiva por placas y anillos metálicos para proporcionar una distribución uniforme de carga desde el bloque de carga de la maquina de ensayo a los extremos del cilindros de concreto o mortero.

Documentos Referenciados.

Estándares ASTM:

C 31M Práctica para Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en el Campo.

C 39 Método de Ensayo para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.

C 192 / C192M Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en el Laboratorio.

C 617 Práctica para Cabeceo de Especímenes Cilíndricos de Concreto.

C 2000 Sistema de Clasificación para productos de hule en Aplicaciones Automotrices.

D 2240 Método de Ensayo para Propiedades del Hule-Dureza en Durómetros

Equipo y Herramientas.

- ✦ *Almohadillas elastoméricas* : Las almohadillas serán hechas de polychloroprene (neopreno), tendrán un espesor de $\frac{1}{2}'' \pm 1/16$ pulg (13 ± 2 mm) y el diámetro no deberá tener una variación que exceda a $1/16$ pulg.(2 mm). La siguiente tabla proporciona requerimientos para uso de tapas.

Esfuerzo de compresión del cilindro, Psi (Mpa)	Dureza en Durómetros	Requisitos de los Ensayos de Calificación	Reusos Máximos
1500 a 6000 (10 a 40)	50	Ninguno	100
2500 a 7000 (17a 50)	60	Ninguno	100
4000 a 7000 (28 a 50)	70	Ninguno	100
7000 a 12000 (50 a 80)	70	Requerido	50
Mayor que 12000 (>80)		No permitido	

Tabla 3.20 Requisitos para uso de almohadillas de Neopreno.
Fuente: ASTM C 1231-00

Las almohadillas elastoméricas (neopreno) serán suministradas con la siguiente información: nombre del fabricante o proveedor, orilla A (dureza), rango aplicable de esfuerzos de compresión del concreto de la Tabla 3.20 o del ensayo de calificación. El usuario deberá mantener un registro indicando la fecha en que la almohadilla fue puesta en servicio, los durómetros de la almohadilla y el número de usos para el cual ha sido sometido.

⚡ *Retenedores:* serán hechos de metal para que proporcionen un uso durable y repetido (Nota 32). La cavidad en el retenedor metálico tendrá una profundidad de al menos dos veces el espesor de la almohadilla. El diámetro interno del anillo retenedor no deberá ser menor que 102 % o mayor que 107 % del diámetro del cilindro. Las superficies del retenedor metálico las cuales hacen contacto con los bloques de carga de la maquina de ensayo serán planas. Las superficies de carga de los retenedores no deberán tener muescas, surcos, huecos mayores que 0.010 pulg. (0.25 mm) en altura o mayor que 0.05 pulg.² (32 mm²) en área superficial.

Nota 32 - Retenedores hechos de acero y alguna aleación de aluminio han sido encontrados aceptables. Anillos retenedores de acero que han sido usados sucesivamente con almohadillas de neopreno de ½ pulg. (13 mm).

Especímenes de Ensayo.

Los especímenes serán cilindros de 6 x 12 pulg. (150 x 300 mm) o 4 x 8 pulg. (100 x 200 mm) hechos de acuerdo con la Practica C 31/C 31M o C 192/C 192M.

Ningún extremo de un cilindro deberá salir de la perpendicularidad al eje por más de 0.5° (equivalente aproximadamente a 1/8 pulg. en 12 pulg. (3 mm en 300 mm).

Ningún diámetro individual de un cilindro puede diferir de algún otro diámetro por más de 2 %.

Nota 33 -Un método para medir la perpendicularidad de los extremos del cilindro es colocar una escuadra a través del diámetro y medir la salida de la hoja larga de un elemento de la superficie cilíndrica. Un método alternativo es colocar el extremo de un cilindro en una superficie plana y sostener la escuadra contra esa superficie. Las depresiones bajo un medidor con un "gage" (indicador de relación) de alambre redondeado a través del diámetro no debe exceder 0.20 pulg. (5 mm). Si los extremos del cilindro no reúne esta tolerancia, el cilindro no debe ser ensayado a menos que las irregularidades sean corregidas por aserrado o esmerilado.

Procedimiento.

1. Son permitidas tapas no adheridas para ser usadas en uno o ambos extremos del cilindro.
2. Examine las almohadillas por uso excesivo o daño. Reemplace las almohadillas que tengan grietas o rajaduras que excedan los 3/8 pulg. (10 mm) en longitud, sin reparo de la profundidad. Inserte las almohadillas en los retenedores, antes de ser colocados en el cilindro (Nota 34)

Nota 34 - Algunos fabricantes recomiendan la limpieza de las almohadillas y extremos del cilindro con almidón o talco antes del ensayo.

Nota 35 - En los cilindros de concreto ensayados con tapas no adheridas, la ruptura es más violenta comparado con cilindros ensayados con tapas adheridas. Como una precaución, la maquina para ensayo de cilindros debe ser equipada

con una jaula protectora. En adición, algunos usuarios tienen reporte de daños por ensayar en maquinas que sueltan de repente la energía almacenada en las almohadillas elastoméricas.

3. Centre la tapa o tapas no adheridas en el cilindro y colóquelo en el bloque de carga inferior de la maquina de ensayo. Cuidadosamente alinee el eje del cilindro con el centro de la maquina de ensayo centrando el anillo retenedor superior en el bloque de carga con asiento esférico. Como el bloque de asiento esférico es llevado a sostener el anillo de retención superior, rote su porción móvil suavemente con la mano como para que un asiento uniforme sea obtenido. Después de la aplicación de carga, pero antes de alcanzar el 10% de la resistencia anticipada del espécimen, verifique que el eje del cilindro esta vertical con una tolerancia de 1/8 pulg. en 12 pulg. (3.2 mm en 300 mm) y que los extremos del cilindro estén centrados con respecto del anillo retenedor. Si el cilindro alineado no reúne estos requisitos reaplique carga y verifique el centrado y alineamiento del espécimen; es permitido hacer una pausa en la aplicación de la carga para verificar que el cilindro esta alineado.
4. Complete la aplicación de carga, ensayo, cálculos y reporte los resultados de acuerdo con el Método de Ensayo C 39.

Nota 36 - A causa de soltar violentamente la energía almacenada en las almohadillas, los cilindros rotos raramente exhiben fractura cónica típica de cilindros cabeceados y los esquemas de los tipos de fractura en el Método de Ensayo C 39 no son descriptivos. Ocasionalmente, los cilindros con tapas no adheridas pueden desarrollar agrietamiento temprano, pero continua incrementando la carga. Por esta razón los cilindros pueden ser ensayados hasta la falla completa.

**3.4.4 Método de Ensayo Estándar para Determinar Esfuerzos de
Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto. ASTM
Designación: C39/C39M-01**

Introducción

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto tales como cilindros moldeados y núcleos taladrados. Esta limitado al concreto que tenga un peso unitario mayor de 50 Ib/pie³ (800 Kg/m³). Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión al cilindro moldeado o núcleo a una razón que esta dentro del rango prescrito antes de que la falla ocurra. El esfuerzo de compresión del espécimen es calculado dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen.

Se necesita ser cuidadoso en la interpretación del significado para determinar la resistencia a la compresión por este método de ensayo, porque la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto hecho con materiales dados. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y forma del espécimen, revoltura, procedimiento de mezclado, métodos de muestreo, moldeo, fabricación, edad de ensayo, temperatura y condiciones de humedad durante el curado.

Este método de ensayo es usado para determinar el esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo con las Practicas C 32, C 192, C 617 y C 1231 y los Métodos de Ensayo C 42 y C 873. Los resultados de este método

de ensayo son usados como una base para el control de calidad de las operaciones de proporcionamiento, mezclado y colocación del concreto, determinación de concordancia con las especificaciones; control para evaluación de la efectividad de los aditivos y usos similares.

Documentos Referenciados.

Estándares ASTM:

C 31 Práctica para Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en el Campo

C 42 Obtención y Ensayo de Núcleos Taladrados y Vigas Aserradas de Concreto

C 192 Práctica para la Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en el

Laboratorio

C 617 Práctica para Cabeceo de Especímenes Cilíndricos de Concreto

C 873 Esfuerzo de compresión de Cilindros de Concreto Colados en el Lugar en Moldes

Cilíndricos.

C 1077 Práctica de Laboratorio de Ensayos de Concreto y Agregados para Concreto

de uso en la Construcción y Criterios para Evaluación de Laboratorios

C 1231 Práctica para Uso de Capas de Cabeceo en la Determinación del Esfuerzo de

Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido.

E 4 Práctica para Verificación de Fuerzas en Maquinas de Ensayo.

E 74 Práctica para Calibración de Fuerzas en Instrumentos de Medicación para

Verificación de Indicación de Cargas de Maquinas de Ensayo.

Material y Equipo.

- ✦ *Máquina de Ensayo:* La máquina de ensayo será de un tipo que tenga suficiente capacidad y capaz de aplicar la carga en forma continua y sin impacto.(ver Fig. 3.20)

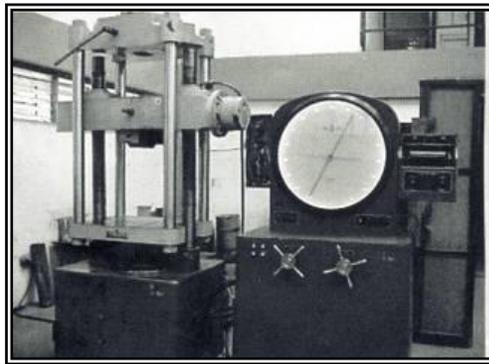


Fig 3.20 Máquina de Ensayo Universal.

Nota 37 - La ruptura de cilindros de concreto de alta resistencia es más intensa que los cilindros de resistencia normal. Como una precaución de seguridad, es recomendado que las maquinas de ensayo estén equipadas con defensas protectoras contra los fragmentos.

Si la carga producida por una máquina de compresión usada en ensayos de concreto es registrada en un dial, este deberá estar provisto con una escala graduada que pueda ser leída con una precisión de 0.1 % de la carga total. El dial será legible dentro del 1 % de la carga indicada en algún nivel de carga dado dentro del rango de carga. Cada dial será equipado con un ajustador a cero que esta localizado fuera del cuerpo y fácilmente accesible en la parte frontal de la máquina donde se observa la marca de cero y el indicador del dial. Cada dial

deberá estar equipado con un dispositivo compatible que pueda ser ajustado todo el tiempo, el cual indicará con una precisión del 1 % la carga máxima aplicada al espécimen.

Especímenes de Prueba.

Los especímenes no serán ensayados si el diámetro individual de algún cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro por más del 2 % (Nota 38).

Nota 38 - Esto puede ocurrir cuando se usen moldes descartables y son dañados o deformados durante el transporte o moldeo y cuando un núcleo se curva durante el taladrado.

Ningún extremo del espécimen para ensayo de compresión saldrá de la perpendicularidad al eje por más de 0.5° [aproximadamente equivale a 0.12 pulg. en 12 pulg. (3 mm en 300 mm)] Los extremos del espécimen para ensayo de compresión que difieran del plano en más de 0.002 pulg. (0.50 mm) deberán ser aserrados o cabeceados de acuerdo con la Practica C 617 o C 1231. El diámetro usado para calcular el área de la sección transversal del espécimen de ensayo deberá ser determinado cercano a 0.01 pulg. (0.25 mm) promediando dos diámetros medidos en ángulo recto uno respecto al otro alrededor de la media altura del espécimen.

El número de medidas en cilindros individuales para la determinación del diámetro promedio no es prohibitivo, siendo reducido a uno por cada diez especímenes o tres especímenes por día, el que sea mayor, si se conoce que todos los cilindros han sido

hechos de un mismo lote de moldes reusables o descartables, los cuales consistentemente producen especímenes con diámetro promedio alrededor de 0.02 pulg. (0.5 mm). Cuando el diámetro promedio no cae dentro del rango de 0.02 pulg. (0.5 mm) o cuando los cilindros no están hechos de un lote simple de moldes, cada cilindro ensayado deberá ser medido y su valor usado en los cálculos de la resistencia a la compresión unitaria de ese espécimen en particular. Cuando los diámetros son medidos en la frecuencia reducida, el área de la sección transversal de todos los cilindros ensayados en ese día deberá ser calculado del promedio de los diámetros de tres o más cilindros representativos del grupo ensayado ese día.

La longitud deberá ser medida lo más cercano a $0.05D$ cuando la relación longitud a diámetro es menor que 1.8 o mayor que 2.2, o cuando el volumen del cilindro es determinado de las dimensiones medidas.

Procedimiento

1. Los ensayos de compresión en especímenes curados húmedos, serán hechos tan pronto como sea practicable, después de removerlos del almacenamiento húmedo.
2. Los especímenes deberán ser mantenidos húmedos por algún método conveniente durante el período entre la remoción del lugar de curado y el ensayo. Serán ensayados en condición húmeda.
3. Todos los especímenes para una edad de ensayo dada, serán rotos con la tolerancia de tiempo permisible prescritos a continuación:

Edad de Ensayo	Tolerancia Permitida
24 horas	± 0.5 horas ó 2.1%
3 días	2 horas ó 2.8 %
7 días	6 horas ó 3.6 %
28 días	20 horas ó 3.0 %
90 días	2 días ó 2.2 %

***Tabla 3.21 Edad de los especímenes y tolerancias permitidas para su ruptura.
Fuente: ASTM C39/C39M-01.***

4. *Colocación del espécimen:* Coloque la placa inferior, con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o bloque de la maquina de ensayo, directamente debajo del bloque de carga con asiento esférico. Limpiar las superficies de carga de los bloques superior e inferior y del espécimen de ensayo y coloque éste en el bloque de carga inferior. Cuidadosamente alinear el eje del espécimen con el centro de carga del bloque con asiento esférico.

Verificación Cero y Asiento del Bloque: Antes de ensayar el espécimen, verifique que el indicador de carga está en cero. En casos donde el indicador no esté en cero, ajuste el indicador (Nota 39). Como el bloque con asiento esférico es llevado a colocarse sobre el espécimen, girar lentamente su porción móvil con la mano, para obtener un contacto uniforme.

Nota 39 - La técnica usada para verificar y ajustar el indicador de carga a cero, varia dependiendo del fabricante de la maquina.

5. *Razón de Carga:* Aplicar la carga continuamente y sin impacto. Para las maquinas de ensayo de tipo tornillo, el movimiento del cabezal viajara a una razón de aproximadamente 0.05 pulg. 1mm/min cuando la maquina esta corriendo libre. Para maquinas operadas hidráulicamente, la carga deberá ser aplicada a una razón de movimiento (medida de la placa sobre la sección del cabezal) correspondiendo a una razón de carga en el espécimen dentro del rango de 20 a 50 psi/seg. (0.15 a 0.35 MPa/s). La razón de movimiento designada deberá mantenerse el menos durante la ultima mitad de la fase de carga prevista del ciclo de ensayo.

Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, será permitida una razón de carga mayor.

No efectuar ajustes en la razón de movimiento de la placa en ningún momento, cuando el espécimen esta en fluencia rápida e inmediatamente antes de la falla.

Aplique la carga hasta que el espécimen falle y anote la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo.

Cálculos.

Calcule el esfuerzo de compresión del espécimen dividiendo la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo por el área de la sección transversal promedio determinado y exprese el resultado con una aproximación de 10 psi (0.1 MPa).

Si la relación longitud a diámetro del espécimen es menor que 1.8 corrija el resultado obtenido multiplicando por un factor de corrección mostrado en la siguiente tabla:

L/D	1.85	1.50	1.25	1.00
Factor	0.98	0.96	0.93	0.87 (Nota 40)

***Tabla 3.22 Factor de corrección para la relación longitud y diámetro menores a 1.8.
Fuente ASTM C 39/C 39M-01***

Nota 40 - Estos factores de corrección se aplican a concreto de peso ligero, pesando entre 100 y 120 lb/pe³ (1600 a 1920 Kg./m³) y a concreto de peso normal. Son aplicables a concreto secos o remojados al momento del ensayo. Los valores no dados en la tabla deberán ser determinados por interpolación. Los factores de corrección son aplicables para resistencias nominales del concreto de 2000 a 6000 psi (13.8 a 41.4 MPa).

3.4.5 Método Normal de Prueba para Obtener el Módulo de Elasticidad y la Relación de Poisson en Concreto a Compresión. ASTM Designación: C 469-02

Introducción.

Por medio de este ensayo se busca la determinación del Módulo de Elasticidad secante (Módulo de Young) y la relación de Poisson en cilindros de concreto normalizados y núcleos de concreto, cuando éstos se hallan bajo esfuerzos de compresión longitudinal.

Este ensaye proporciona una relación de esfuerzo a deformación lateral y longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado que se establezcan.

Los valores de Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson, aplicables dentro del rango de esfuerzos de trabajo (0% a 40% de la resistencia última del concreto), pueden ser usados en el dimensionamiento de cantidades de acero de refuerzo y calcular los esfuerzos para las deformaciones observadas.

Los valores de Módulo de Elasticidad conseguidos, serán usualmente menores que el módulo obtenido bajo una aplicación rápida de carga (proporciones dinámicas o sísmicas, por ejemplo), y normalmente será mayor que valores bajo la aplicación de carga lenta o bajo carga sostenidas a largo plazo manteniendo otras condiciones del ensayo.

Documentos de Referencia.

Estándares ASTM:

C 31/C 31M Práctica para la Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en el Campo.

C 39/C 39M Método de la Prueba para la Fuerza de compresión en Cilindros de Concreto Endurecido.

C 174/C 174M Método de la Prueba para Medir Espesores de Elementos concretos

C 192/C 192M Práctica para la Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en el Laboratorio

Equipo y Herramientas.

✦ *Maquina de ensayo.*

Puede ser usada cualquier tipo de maquina de ensayo capaz de imponer una carga con magnitud prescrita en los requerimientos de la norma ASTM E 4 (máquina de ensayo del tipo constante transversal), conforme al aparato del Método de la Prueba C 39/C 39M.

✦ *Compresómetro.*

Para determinar el Módulo de Elasticidad, se debe disponer sobre la probeta de un dispositivo sensible (ver Fig. 3.21) unido o no a ella, para medir con suficiente precisión la primer lectura de 5 millonésimas como parte del promedio de la deformación de dos marcas diametralmente opuestas, cada una paralela al eje y centradas hacia la mitad de la altura de la probeta.



*Fig. 3.21 Dispositivo sensible
Compresómetro para cilindros
de concreto.*

La longitud efectiva de las marcas de referencia no debe ser menor que tres veces el tamaño máximo del agregado en el concreto, ni más de $\frac{2}{3}$ de la altura de la probeta. La longitud que se prefiere para las marcas de referencias es la mitad de la altura de la probeta.

Se puede utilizar un compresómetro (como se muestra en Fig. 3.22) consistiendo en dos anillos, uno de los cuales (Fig. 3.22, vea punto B,) es rígidamente atado al espécimen y el otro (Fig. 3.22, vea punto C) fijado en dos puntos diametralmente opuestos para que pueda girar libremente.

En la mitad de la distancia de los puntos de soporte del anillo rotativo, debe colocarse un vástago largo pivotado (vea A, Fig. 3.22) para mantener una distancia constante entre los dos anillos. De tal forma que en el punto opuesto de la distancia entre los dos anillos sea igual a la suma de las deformaciones de las dos marcas de referencia diametralmente opuestas.

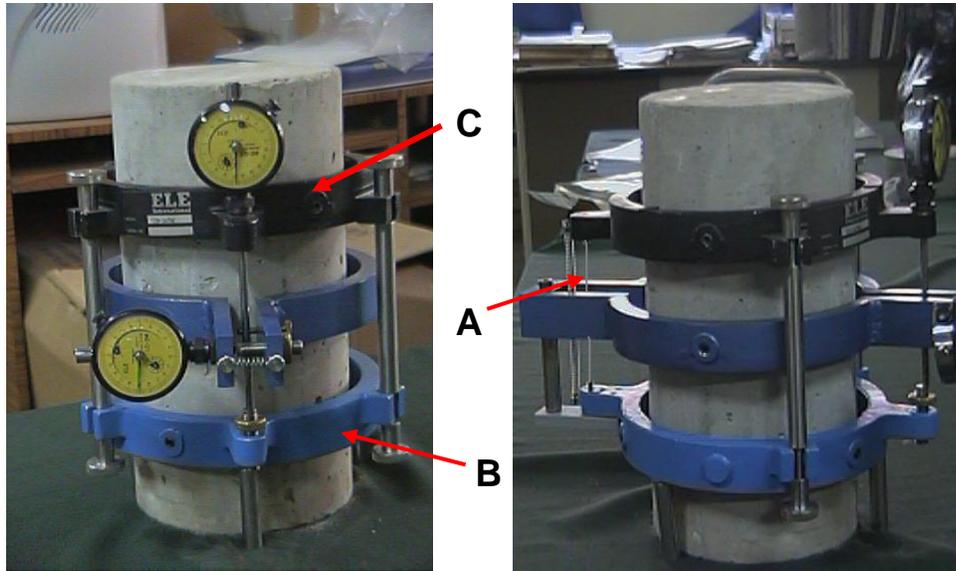


Fig. 3.22 Compresómetro ideal para la determinación del Módulo de Elasticidad y Relación de Poisson. Fuente: ASTM C 469-02

La deformación puede ser leída directamente con un manómetro o con un sistema nivelador, por un alambre que se deforme o por un manómetro electrónico.

⌘ *Extensómetro.*

Si se desea la relación de Poisson, la deformación transversal puede ser determinada mediante un extensómetro no adherido a la probeta capaz de medir con una aproximación de $25 \mu_{pg}, (0.625 \mu_m)$, el cambio del diámetro a la probeta, o bien, mediante 2 líneas de referencia adheridas, montadas circularmente en puntos diametralmente opuestos, a media altura de la probeta y capaz de medir deformación circunferencial. Un aparato que combine un compresómetro y

extensómetro y que no este adherido a la probeta puede ser muy útil en este ensayo. Este aparato debe contener un tercer anillo (consiste en dos segmentos iguales), localizado en la mitad entre los dos anillos del compresometro y fijados a la probeta en dos puntos diametralmente opuestos. En la mitad entre estos dos puntos se ubica una varilla de pivote corta, adyacente a la varilla de pivote larga, que debe ser usada para mantener constante la distancia entre los anillos inferiores y medio. El anillo medio debe ser articulado en el punto de pivote para permitir la rotación de los segmentos del mismo, en el plano horizontal. En el punto opuesto de la circunferencia, los dos segmentos deben ser conectados a un manómetro con una aproximación más cercana a $50 \mu\text{pg}$, de tal modo que esta deformación sea el doble de la deformación transversal del diámetro de la probeta.

⚡ *Balanza.* La balanza a utilizar tendrá que tener una precisión de 1g.

Procedimiento.

1. Mantener la temperatura ambiente y la humedad lo más constante posible. Anotar cualquier fluctuación de temperatura o humedad.
2. Si existe probeta compañera disponible, determinar la resistencia a la compresión de acuerdo al método de ensayo ASTM C 39 en ambas probetas y determinar el promedio.
3. Colocar la probeta, acompañada con el equipo de medición en la platina inferior o bloque de apoyo de la maquina de ensayo. Cuidadosamente, alinear el eje de la

probeta con el centro de aplicación del bloque superior de apoyo. Tomar nota de la lectura del deformímetro o dirigirlo a cero antes de iniciar la práctica.

4. Cárquese la probeta por lo menos dos veces y no se tomen datos durante la primera carga. Básense los cálculos en el promedio de los resultados de cargas seguidas. Por lo menos dos cargas son recomendadas para que la repetitividad del ensayo sea notada. La primera carga que es la preliminar, se utiliza para ajustar los deformímetros observando la fluctuación de éstos y corregir cualquier comportamiento inusual antes de la segunda carga. Obtener cada conjunto de lecturas como se expone a continuación: aplicar la carga continuamente y sin sobresaltos. Ajuste la máquina de ensayo de tipo tornillo de tal manera que la cabeza móvil viaje a una velocidad aproximada de 1.25 mm/min, cuando la máquina este corriendo holgada. Para maquinas que operan hidráulicamente, aplíquese la carga a una velocidad constante dentro del rango de 241 ± 34 kpa/seg. Registrar sin interrupción de carga, el valor de la carga aplicada y la deformación longitudinal cuando:

- a) la deformación longitudinal sea igual a 50 millonésimas
- b) la carga aplicada sea igual al 40% de la carga última.

La deformación total longitudinal esta definida como el total de la deformación longitudinal dividida por la longitud efectiva de la longitud patrón.

Si se va a determinar la relación de Poisson, debe registrarse la deformación transversal en los mismos puntos. Si se desea la curva esfuerzo deformación, deben tomarse dos o más lecturas de puntos intermedios sin interrupción de la

carga, o usar un instrumento que haga un registro continuo. Inmediatamente se alcance la máxima, excepto en la última carga, redúzcase la carga a cero a la misma velocidad que fue aplicada. Si el observador falla en obtener una lectura, complétese el ciclo y repítase el ensayo.

5. Cuando la carga última es desconocida, tómesese un segundo grupo de lecturas durante cada ciclo de carga en el momento que la deformación longitudinal alcance el valor correspondiente de la tabla 3.23; para la mayoría de los concretos esta deformación será producida por una carga de alrededor del 50% de la última.

PESO UNITARIO DURANTE LA PRUEBA (Kg/m ³)	DEFORMACIÓN MÁXIMA EN MILLONESIMAS	
	7 DÍAS O MÁS	MENOS DE 7 DÍAS
3280 y más	300	200
2640 a 3264	375	450
2160 a 2624	450	300
1840 a 2144	525	350
1680 a 1824	600	400
1520 a 1164	675	450
1360 a 1504	750	500
1200 a 1344	825	550

Tabla 3.23 Valores máximos de deformación en probetas ensayadas.

Fuente: ASTM C469-02

6. El Módulo de Elasticidad y la resistencia pueden ser obtenidos en el mismo sitio de carga, aun cuando los deformímetros sean desechables, removibles o estén suficientemente protegidos para que sea posible cumplir con los requerimientos de carga continua dados en el método del ensayo C 39. En este caso, puede usarse tanto los valores de la tabla 3.23, para el segundo conjunto de lecturas o registrar

varias lecturas y determinar el valor de la deformación en el 40 % de la carga última por interpolación. El valor de la tabla 3.23 puede ser usado como guía para la carga preliminar.

7. Si se toman lecturas intermedias, dibujar los resultados de los tres ensayos con la deformación longitudinal en las abscisas y el esfuerzo de compresión en las ordenadas. Calcúlese el esfuerzo de compresión dividiendo el valor de la carga leída de la máquina por el área transversal de la probeta.

Cálculos.

- ✓ Calcúlese el Módulo de Elasticidad como sigue:

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - 0.00005}$$

Donde:

E_c = Módulo de Elasticidad secante (kg/cm^2)

S_2 = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última, o correspondiente al apropiado valor de deformación medido de la tabla 3.21 (kg/cm^2)

S_1 = Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal de 50 millonésimas (kg/cm^2)

e_2 = Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S_2 .

✓ Calcúlese la Relación de Poisson, aproximado a 0.01 como sigue:

$$\mu = \frac{et_2 - et_1}{e_2 - 0.00005}$$

Donde:

μ = Relación de Poisson.

et_2 = Deformación transversal a media altura del espécimen, producida por el esfuerzo S_2 .

et_1 = Deformación transversal a media altura del espécimen, producida por el esfuerzo S_1 .

3.4.6 Método de Ensayo Estándar para la Resistencia a Flexión del Concreto (Usando Viga Simplemente apoyada con carga en los tercios medios del claro). ASTM Designación C 78 – 02.

Introducción.

Este método de prueba cubre la determinación de la resistencia a flexión de especímenes de concretos, a través del uso de vigas simplemente apoyadas con carga a los tercios medios del claro (Ver Figura 3.23).

El concreto no es diseñado para resistir tensión directamente. El conocimiento de lo anterior dirige a determinar la carga bajo la cual se desarrollaran las grietas. El esfuerzo de tensión máxima que se alcanza teóricamente en las fibras del fondo de la viga de prueba se llama *Módulo de Ruptura*, concepto de gran utilidad en proyectos de losas para carreteras y pistas de aterrizaje en aeropuertos. La fuerza aplicada para hacer fallar el espécimen variará cuando hay diferencias en: tamaño del espécimen, preparación, condición de humedad, o curado. Cabe mencionar que este método no es sustitutivo del ensayo ASTM C 293, y los resultados obtenidos serán significativamente más altos que la citada prueba.

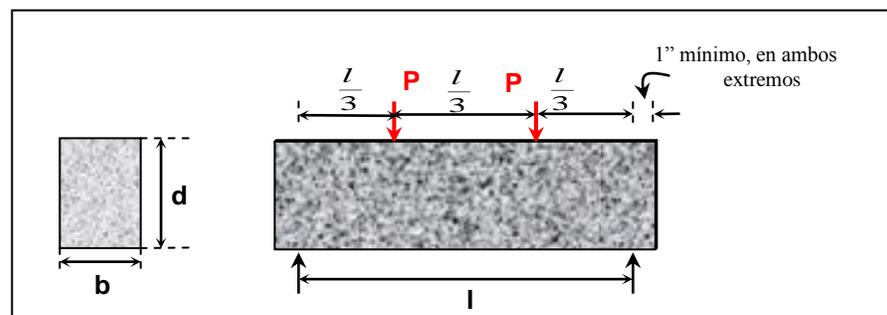


Fig. 3.23 Ensayo de flexión en vigas aplicando carga al tercio medio. Fuente: Tecnología del Concreto, Sección III

Documentos de Referencia.

C 31 Práctica Estándar para la Elaboración y Curado en el campo de Especímenes de Prueba de Concreto.

C 78 Método de Ensayo Estándar para la Resistencia a Flexión del Concreto (Usando una Viga Simplemente Apoyada con Carga en los Tercios del Claro)

C 617 Práctica para cabeceado de Especímenes Cilíndricos de Concreto.

C 192 Práctica Estándar para la Elaboración y Curado en el Laboratorio de Especímenes de Prueba de Concreto.

E 4 Prácticas para la Verificación de Fuerza en Maquinas de pruebas.

Equipo y Herramientas.

- ⌘ Especímenes prismáticos.
- ⌘ Máquina Universal y accesorios.
- ⌘ Base Metálica para apoyar el espécimen.
- ⌘ Balanza de 0.01 kg. de precisión.
- ⌘ Cinta métrica.
- ⌘ Crayón.
- ⌘ Escuadra.

Consideraciones Sobre la Máquina de Prueba:

- ⌘ La maquina de prueba y el manejo de la misma deberá cumplir con lo establecido en la norma ASTM E 4.

- ⌘ La fuerza que aplique la máquina deberá ser perpendicular a la cara del espécimen y sin excentricidad. Las reacciones en la base de apoyo serán paralelas a la dirección de la carga aplicada en todo momento durante la prueba.
- ⌘ Los elementos de apoyo de la viga en la base metálica, así como también el elemento (accesorio de la máquina de prueba) de aplicación de la carga no serán más alto que 2 ½ in. (64 mm) medido desde el centro o eje de pivote, y su longitud no menor que el ancho del espécimen en el momento de ensayo; además, el ángulo subtendido por cada uno de los pivotes de los elementos de apoyo debe ser cuando menos de 45° (0.79 rad.).

Espécimen de prueba.

- ⌘ El espécimen de prueba cumplirá con todos los requisitos de la Práctica ASTM C 31 o C 192 aplicable a especímenes prismáticos.
- ⌘ Dicho espécimen tendrá un claro entre apoyos, en el momento de ensayo, de tres veces su altura con una tolerancia del 2% de esa longitud.
- ⌘ Las aristas de la viga deberán formar ángulos rectos entre sí.
- ⌘ Todas las superficies serán lisas y libre de las cicatrices, sangrado, agujeros, inscripciones de identificación o marcas.

Procedimiento.

1. Los especímenes serán ensayados, tan pronto sea posible, después de retirados del almacenamiento húmedo, y se evitará el secado superficial en el momento de

prueba ya que de otra forma se observará una disminución en el Módulo de Ruptura.

2. Pesar el espécimen y medir sus dimensiones antes de la prueba.
3. Marcar en el espécimen los puntos de apoyo y aplicación de carga.
4. Con el espécimen en posición de elaboración (superficie moldeada-acabada) hacia arriba, se gira éste de modo que la superficie antes mencionada quede sobre un costado, constituyéndose esta cara como la altura de ensayo del elemento prismático. El espécimen en esta posición se monta y se centra sobre la base metálica, haciendo coincidir las marcas del espécimen con los apoyos de dicha base y el elemento de carga de la máquina de prueba con el punto de aplicación.
5. Antes de iniciar la carga, coloque un elemento flexible en la superficie de contacto con cada carga aplicada para atenuar cualquier imperfección o asperaza de ésta cara; la misma podrá ser de hule o cuero, teniendo un espesor uniforme en toda su longitud igual a 6.4 mm, un ancho de 25 a 50 mm (1 a 2 pulg.), y extensión suficiente para cubrir el área de contacto.
6. Aplicar carga al espécimen a una proporción constante a la falla, procurando que la fibra extrema aumente su tensión entre 125 y 175 PSI/min (0.86 y 1.21 MPa/min) hasta que la ruptura se suscita.
7. Medir todas las dimensiones del espécimen después de ensayado como sigue: para la medida de longitud se tomaran tres valores, esto es: uno en cada extremo y uno al centro. Para el ancho y alto tomar una medida en cada extremo y la otra

sobre el área fallada. De cada una de las medidas se obtendrá el promedio, mismas que se incluirán en el cálculo del Módulo de Ruptura. Las dimensiones se tomarán con precisión de 1 mm.

Cálculos.

Si el espécimen falla en su tercio medio, el Módulo de Ruptura se determinará de la siguiente forma:

$$\text{Modulo de Ruptura} = \frac{Pl}{bd^2}$$

Donde:

P: Carga máxima aplicada. Carga de falla, kg.

l: Longitud del claro, cm.

b: Ancho del espécimen en el área de fractura, cm.

d: Profundidad o altura de espécimen en el área de fractura, cm.

Si la sección de falla ocurre fuera del tercio central (pero sin exceder más del 5%) se recomienda calcular el Módulo de Ruptura por la expresión:

$$\text{Módulo de Ruptura} = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Donde:

a: distancia medida entre la línea de fractura y el apoyo más próximo, medida sobre la superficie a tensión de la viga (cm.).

b: Ancho del espécimen en el área de fractura, cm.

d: Profundidad o altura de espécimen en el área de fractura, cm.

Finalmente, si la sección de falla queda fuera del tercio central y a una distancia que exceda el 5% del claro, el resultado del ensaye debe desecharse.

3.5 Diseño de Mezclas de Concreto.

3.5.1. Diseño de mezcla para Módulo de Ruptura $MR = 40 \text{ Kg/cm}^2$

El diseño de mezcla se realizó en base a la información expuesta en el capítulo No 2 del presente documento.

Datos de los componentes de la mezcla.

Cemento: ASTM C-1157 TIPO HE (CESSA PAV).

-Peso específico: 2.95

Agregado Grueso:

- ⌘ Tamaño máximo: 1" (ver pág. 139).
- ⌘ Tamaño máximo nominal: $\frac{3}{4}$ " (ver pág. 139)
- ⌘ Peso específico seco: 2.58 (ver pág. 197).
- ⌘ Absorción: 1.807% (ver pág. 198).
- ⌘ Peso volumétrico varillado seco: 1418.66 Kg/m^3 (ver pág. 182).
- ⌘ Humedad: 0.89 % (ver pág. 129).

Agregado Fino:

- ⌘ Peso específico seco: 2.317 (ver pág. 214).
- ⌘ Absorción: 3.0 % (ver pág. 215).
- ⌘ Humedad: 8.81 % (ver pág. 130).

Desarrollo de diseño

Resistencia

Para diseñar mezclas según el comité ACI 211, se requiere conocer el esfuerzo a

compresión máximo $f'c$, no así el Módulo de Ruptura; de aquí que existe la necesidad de su determinación en base a la información con que se dispone: $MR = 40 \text{ Kg/cm}^2$.

Según ACI 362 ($1.99 \sqrt{F'c} \leq MR \leq 3.18 \sqrt{F'c}$).

Tomando en consideración el promedio de los valores prescritos, tenemos:

$$MR = 2.585 \sqrt{F'c}$$

$$(MR)^2 = (2.585 \sqrt{F'c})^2$$

Sustituyendo $MR = 40 \text{ Kg/cm}^2$

$$(40)^2 = (2.585 \sqrt{F'c})^2$$

$$F'c = (40)^2 / (2.585)^2$$

$$F'c = 239.44 \text{ Kg/cm}^2$$

Ahora: según tabla 2.9

$$F'cr = F'c + 85 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Entonces } F'cr = 239.44 \text{ Kg/cm}^2 + 85 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F'cr = 324.44 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{aproximadamente: } F'cr = 325 \text{ Kg/cm}^2$$

Relación agua cemento

En base a tabla 2.13 y con un $F'c = 325 \text{ Kg/cm}^2$ e interpolamos para obtener la siguiente relación:

$$a/c = 0.512$$

Revenimiento

En base a la tabla 2.10: considerando estructuras de Pavimentos y losas: 2.5 cm (min) – 7.5 cm (máx): tomando el promedio de este rango obtenemos un revenimiento de **5 cm**

Contenido de agua

En base a tabla 2.12, y considerando tamaño máximo de 1" con revenimiento de 5 cm se obtiene **178 kg** de agua de mezclado.

Cantidad aproximada de Aire atrapado en el concreto, sin aire incluido

Según tabla 2.12: **1.50%** (para las mismas condiciones del tamaño máximo de 1")

Contenido de Cemento:

$$a/c = 0.512 \quad ; \quad a = 178 \text{ Kg/m}^3$$

despejando "c" tenemos: **$c = 347.66 \text{ Kg/m}^3$** .

Contenido de agregado grueso:

En base a tabla 2.15, con módulo de finura de 2.70 e interpolando tenemos: 0.68, entonces....

Contenido de agregado grueso (cag) = 0.68*peso vol. varillado.

$$= 0.68 * 1418.66 \text{ Kg/m}^3$$

$$= \mathbf{964.693 \text{ Kg/m}^3}$$

Contenido de agregado fino:

Valores conocidos:

$$\text{Agua} = 178 \text{ Kg} / 1000 \text{ Kg/m}^3 = 0.178 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento} = 347.66 \text{ Kg} / 2950 \text{ Kg/m}^3 = 0.118 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = 1.5 \% = 0.015$$

$$\text{Grava \# 1} = 964.693 \text{ Kg} / 2584 \text{ Kg/m}^3 = \mathbf{0.373 \text{ m}^3}$$

$$\text{Entonces la suma de los anteriores} = 0.684 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, arena = $1 - 0.684 = 0.316 \text{ m}^3$

De aquí que $0.316 \text{ m}^3 \times 2317 \text{ Kg/m}^3 = 732.17 \text{ Kg}$

Sin corregir por humedad tenemos el siguiente volumen por material para 1 m^3 .

Agua	0.178 m³
Arena	0.316 m³
Grava # 1	0.373 m³
Cemento	0.118 m³

Corrección por humedad y absorción de agregados para la humedad especificada.

Los pesos de los agregados serán aumentados en proporción a la humedad de los mismos:

$$\text{Arena} = 732.17 \text{ kg} \times 1.0384 \dots \dots \dots = 760.28 \text{ kg}$$

$$\text{Grava} = 964.693 \text{ kg} \times 1.0107 \dots \dots \dots = 975.015 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 178 + [732.17 (0.03-0.0881)] + [964.693 \times (0.01807 - 0.0089)] = 144.31 \text{ kg}$$

Considerando el volumen mínimo para una mezcla de prueba = 0.06 m^3 :

- Agua** = $144.31 \times 0.06 = 8.66 \text{ kg} = 8.66 \text{ lts.}$
- Cemento** = $347.66 \text{ kg} \times 0.06 = 20.86 \text{ kg.}$
- Arena** = $760.28 \text{ kg} \times 0.06 = 45.62 \text{ kg}$
- Grava** = $975.015 \text{ kg} \times 0.06 = 58.58 \text{ kg}$

3.5.2 Diseño de mezcla para un Módulo de Ruptura $MR = 45 \text{ Kg/cm}^2$

El diseño de mezcla se realizó en base a la información expuesta en el capítulo No 2 de la presente tesis.

Datos de los componentes de la mezcla.

Cemento: ASTM C-1157 TIPO HE (CESSAPAV).

Peso específico (Tipo I): 2.95

Agregado Grueso:

- ⌘ Tamaño máximo: 1" (ver pág. 139).
- ⌘ Tamaño máximo nominal: $\frac{3}{4}$ " (ver pág. 139)
- ⌘ Peso específico seco: 2.58 (ver pág. 197).
- ⌘ Absorción: 1.807% (ver pág. 198).
- ⌘ Peso volumétrico varillado seco: 1418.66 Kg/m^3 (ver pág. 182).
- ⌘ Humedad: 0.89 % (ver pág. 129).

Agregado Fino:

- ⌘ Peso específico seco: 2.317 (ver pág. 214).
- ⌘ Absorción: 3.0 % (ver pág. 215).
- ⌘ Humedad: 8.81 % (ver pág. 130).

Desarrollo de diseño

Resistencia

Para diseñar mezclas según el comité ACI 211, se requiere conocer el esfuerzo a compresión máximo f'_c , no así el Módulo de Ruptura; de aquí que existe la necesidad de

su determinación en base a la información con que se dispone: $MR = 45 \text{ Kg/cm}^2$.

Según ACI 362 ($1.99 \sqrt{F'c} \leq MR \leq 3.18 \sqrt{F'c}$). Tomando el promedio de este rango obtenemos: $MR = 2.585 \sqrt{F'c}$.

$$(MR)^2 = (2.585 \sqrt{F'c})^2$$

Sustituyendo $MR = 45 \text{ Kg/cm}^2$

$$(45)^2 = (2.585 \sqrt{F'c})^2$$

$$F'c = (45)^2 / (2.585)^2$$

$$**F'c = 303.04278 \text{ Kg/cm}^2**$$

Ahora: según tabla 2.9

$$F'cr = F'c + 85 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Entonces } F'cr = 303.04278 \text{ Kg/cm}^2 + 85 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{aprox. } **F'cr = 390 \text{ Kg/cm}^2**$$

Relación agua cemento

En base a tabla 2.13 y con un $F'c = 325 \text{ Kg/cm}^2$ e interpolando se obtienen la siguiente relación:

$$**a/c = 0.45**$$

Revenimiento

En base a tabla 2.10: estructuras de Pavimentos y losas 2.5 cm (min) – 7.5 cm (max):
tomando el promedio de este rango obtenemos un revenimiento de **5 cm**

Contenido de agua

En base a tabla 2.12, y considerando tamaño máximo de 1" se obtiene

178 kg de agua de mezclado

Cantidad aproximada de Aire atrapado en el concreto, sin aire incluido

Según tabla 2.12: **1.50%**(para las mismas condiciones del tamaño máximo de 1")

Contenido de Cemento:

$$a/c = 0.45 \quad ; \quad a = 178 \text{ Kg/m}^3$$

despejando "c" tenemos: **$c = 395.56 \text{ Kg/m}^3$** .

Contenido de agregado grueso:

En base a tabla 2.15, con módulo de finura de 2.70 de agregado fino y tamaño de 1" e interpolando tenemos: 0.68, entonces....

Contenido de agregado grueso (cag) = 0.68*peso vol. varillado.

$$= 0.68 * 1418.66 \text{ Kg/m}^3$$

$$= \mathbf{964.693 \text{ Kg/m}^3}$$

Contenido de agregado fino:

Valores conocidos:

$$\text{Agua} = 178 \text{ Kg} / 1000 \text{ Kg/m}^3 = 0.178 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento} = 395.56 \text{ Kg} / 2950 \text{ Kg/m}^3 = 0.134 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire } 1.5\% \dots\dots\dots = 0.015$$

$$\text{Grava \# 1} = 964.693 \text{ Kg} / 2584 \text{ Kg/m}^3 = \mathbf{0.373 \text{ m}^3}$$

Entonces, la suma de los anteriores es = 0.7 m³

Por lo tanto..... arena = $1 - 0.7 = 0.3 \text{ m}^3$

De aquí que $0.30\text{m}^3 \times 2317 \text{ Kg/m}^3 = 695.1\text{Kg}$

Sin corregir por humedad tenemos el siguiente volumen por material para un m^3

Agua	0.178 m³
Arena	0.300 m³
Grava # 1	0.373 m³
Cemento	0.134 m³

Corrección por humedad y absorción de agregado para humedad especificada.

Los pesos de los agregados serán aumentados en proporción a la humedad de los mismos:

$$\text{Arena} = 695.1 \text{ kg} \times 1.0384 \dots\dots\dots = 721.79 \text{ kg}$$

$$\text{Grava} = 964.693 \text{ kg} \times 1.00895 \dots\dots\dots = 973.327 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 178 + [964.693 (0.01807-0.089)] + [695.1 \times (0.03-0.0881)] = 146.46 \text{ kg}$$

Considerando el volumen mínimo para una mezcla de prueba = 0.06 m^3 :

$$\text{Agua} = 146.46 \times 0.06 = 8.79 \text{ kg} = \mathbf{8.79 \text{ lts.}}$$

$$\text{Cemento} = 395.56 \text{ kg} \times 0.06 = \mathbf{23.73 \text{ kg.}}$$

$$\text{Arena} = 721.79 \text{ kg} \times 0.06 = \mathbf{43.31 \text{ kg}}$$

$$\text{Grava} = 973.33 \text{ Kg.} \times 0.06 = \mathbf{58.40 \text{ kg}}$$

3.6 Sinopsis de la Elaboración de Especímenes de Concreto en Laboratorio.

3.6.1 Módulo de Elasticidad.

Resistencia a flexión (Kg /cm ²)	Bachadas	Especímenes elaborados	Especímenes para determinar f'c	Especímenes para determinar Ec	Especímenes descartados
40	6	74	12	62	0
45	5*	77	10	65	2
<i>Totales</i>	<i>11</i>	<i>151</i>	<i>22</i>	<i>127</i>	<i>2</i>

Tabla 3.24 Cantidades de especímenes elaborados para determinar el Módulo de Elasticidad.

3.6.2 Módulo de Ruptura.

Resistencia a flexión (Kg /cm ²)	Bachadas	Especímenes elaborados	Especímenes para determinar MR	Especímenes descartados
40	10	62	62	0
45	5	68	65	3
<i>Totales</i>	<i>15</i>	<i>130</i>	<i>127</i>	<i>3</i>

Tabla 3.25 Cantidades de especímenes elaborados para determinar el Módulo de Ruptura.

*La cantidad de bachadas consideradas en el cálculo del Ec, son cuatro, no obstante se elaboró una quinta bachada para sustituir algunos especímenes defectuosos.

3.6.3 Ejemplo de Cálculo de los Módulos de Elasticidad, Ruptura y Relación de Poisson.

Para el cálculo de los Módulos de Elasticidad y Ruptura nos auxiliamos de hojas electrónicas, detallando los pasos a continuación:

- Paso 1: Datos de entrada para la obtención del Módulo de Elasticidad.

Diámetro de la probeta (\emptyset): 15.2 cm

Altura de la probeta (h): 30.9 cm

Peso de la probeta (w): 12.75 Kg

Carga de ruptura (C): 78875 Kgf

Lectura en deformímetro en 40 % del esfuerzo de ruptura (L): 232 unidades

Lectura de carga en lectura de 50 millonésimas (C_{50}): 3700 Kgf

Constante del deformímetro (K): 0.002 mm

- Paso 2:

Cálculos:

Area de la probeta (A): $\emptyset^2 * \pi / 4 = 181.46 \text{ cm}^2$

Volumen (V): $A * h = 5607.08 \text{ cm}^3$

Peso Volumetrico: $w/V = 2273.91 \text{ Kg/m}^3$

Esfuerzo de Ruptura (S_2): $C/A = 434.67 \text{ Kg/cm}^2$

Esfuerzo en 50 millonesimas (S_1): $C_{50} / A = 2039 \text{ kg/cm}^2$

Deformación en milímetros para 40 % del esfuerzo de ruptura: $L * K/2 = 0.232 \text{ mm}$

Deformación unitaria (e_2): $0.232\text{mm}/150\text{mm} = 0.001547$

✍ *Determinación del Módulo de Elasticidad:*

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - 0.00005}$$

Sustituyendo valores tenemos: $E_c = 2.77 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

- Paso 1: Datos de entrada para la obtención del Módulo de Ruptura.

Largo de la viga (L): 60.0 cm

Altura de la viga (d): 15.2 cm

Base de la viga (b): 15.4 cm

Claro de la viga (cl): 46 cm

Peso de la viga (w): 31.09 Kg

Carga de ruptura (P): 3160 Kgf

- Paso 2:

Cálculos:

Volumen (V): $L * d * b = 14044.80 \text{ cm}^3$

Peso Volumetrico: $w/V = 2213.63 \text{ Kg/m}^3$

✍ *Determinación del Módulo de Ruptura:*

$$MR = \frac{Pl}{bd^2}$$

Sustituyendo valores tenemos: $MR = 39.97 \text{ kg/cm}^2$

✍ **Determinación de la Relación de Poisson (ver pag. 247):**

$$\mu = \frac{et_2 - et_1}{e_2 - 0.00005}$$

$$et_2 = 0.0000795$$

$$et_1 = 0.00001656$$

$$e_2 = 0.0004790$$

Sustituyendo valores tenemos: **$\mu = 0.15$**

A continuación se presentan las tablas que simplifican la determinación de los Módulos de Elasticidad y Ruptura.

No	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Rev. (cm)	Edad días	Peso (kg)	Vol. (cm ³)	Peso Vol. kg/m ³	Altura (cm)	Ø (cm)	Area cm ²	Carga de Ruptura (kgf)	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Lectura de Carga en 50 μ	Esfuerzo en 50 μ	ε	MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)
1	1/7/03	29/7/03	2.7	28	12.75	5607.08	2273.91	30.9	15.2	181.46	78875	434.67	3700	20.39	0.001547	2.77E+05
2	1/7/03	29/7/03	2.7	28	12.94	5480.06	2361.29	30.2	15.2	181.46	78875	434.67	3350	18.46	0.001467	2.94E+05
3	1/7/03	29/7/03	2.7	28	13.12	5699.72	2301.87	30.6	15.4	186.27	78875	423.45	4000	21.47	0.001267	3.30E+05
4	1/7/03	29/7/03	2.7	28	12.99	5718.35	2271.63	30.7	15.4	186.27	78875	423.45	3200	17.18	0.001387	3.04E+05
5	1/7/03	29/7/03	2.7	28	12.92	5661.52	2282.07	31.2	15.2	181.46	78875	434.67	3500	19.29	0.001467	2.93E+05
6	1/7/03	29/7/03	2.7	28	13.06	5516.35	2367.51	30.4	15.2	181.46	78875	434.67	3100	17.08	0.001347	3.22E+05
7	1/7/03	29/7/03	2.7	28	13.09	5828.18	2245.98	31.7	15.3	183.85	78875	429.01	5700	31.00	0.001267	3.27E+05
8	1/7/03	29/7/03	2.7	28	12.99	5552.64	2339.43	30.6	15.2	181.46	78875	434.67	4400	24.25	0.001400	3.04E+05
9	1/7/03	29/7/03	2.7	28	13.05	5408.19	2413.01	30.2	15.1	179.08	78875	440.45	4000	22.34	0.001360	3.19E+05
10	1/7/03	29/7/03	2.7	28	13.00	5408.19	2403.76	30.2	15.1	179.08	78875	440.45	3900	21.78	0.001400	3.10E+05
11	30/7/03	27/8/03	3	28	12.84	5570.79	2304.88	30.7	15.2	181.46	66500	366.47	3300	18.19	0.001280	2.83E+05
12	30/7/03	27/8/03	3	28	13.00	5661.52	2296.21	31.2	15.2	181.46	66500	366.47	3600	19.84	0.001187	3.05E+05
13	30/7/03	27/8/03	3	28	13.06	5681.10	2298.85	30.9	15.3	183.85	66500	361.70	3700	20.12	0.001093	3.27E+05
14	30/7/03	27/8/03	3	28	13.04	5534.49	2356.13	30.5	15.2	181.46	66500	366.47	4500	24.80	0.001133	3.15E+05
15	30/7/03	27/8/03	3	28	13.01	5607.56	2320.08	30.5	15.3	183.85	66500	361.70	2500	13.60	0.001160	3.14E+05
16	30/7/03	27/8/03	3	28	12.85	5662.71	2269.23	30.8	15.3	183.85	66500	361.70	3400	18.49	0.001253	2.85E+05
17	30/7/03	27/8/03	3	28	13.11	5534.49	2368.78	30.5	15.2	181.46	66500	366.47	4000	22.04	0.001093	3.30E+05
18	30/7/03	27/8/03	3	28	12.74	5533.54	2302.32	30.9	15.1	179.08	66500	371.34	3800	21.22	0.001333	2.73E+05
19	30/7/03	27/8/03	3	28	12.72	5533.54	2298.71	30.9	15.1	179.08	66500	371.34	4000	22.34	0.001360	2.66E+05
20	30/7/03	27/8/03	3	28	12.92	5461.91	2365.47	30.5	15.1	179.08	66500	371.34	3800	21.22	0.001267	2.88E+05
21	31/7/03	28/8/03	3.4	28	12.82	5534.49	2316.38	30.5	15.2	181.46	60834	335.25	3500	19.29	0.001187	2.78E+05
22	31/7/03	28/8/03	3.4	28	12.95	5681.10	2279.49	30.9	15.3	183.85	60834	330.88	3950	21.48	0.001080	3.00E+05
23	31/7/03	28/8/03	3.4	28	12.71	5534.49	2296.51	30.5	15.2	181.46	60834	335.25	3600	19.84	0.001240	2.65E+05
24	31/7/03	28/8/03	3.4	28.00	12.74	5661.52	2250.28	31.2	15.2	181.46	60834	335.25	3690	20.34	0.001187	2.77E+05

Tabla 3.26 Determinacion de Ec (Para MR=40 kg/cm²) Continua...

No	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Rev. (cm)	Edad días	Peso (kg)	Vol. (cm ³)	Peso Vol. kg/m ³	Altura (cm)	Ø (cm)	Area cm ²	Carga de Ruptura (kgf)	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Lectura de Carga en 50 μ	Esfuerzo en 50 μ	ε	MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)
25	31/7/03	28/8/03	3.4	28	12.84	5681.10	2260.13	30.5	15.4	186.27	60834	326.60	3800	20.40	0.001133	2.83E+05
26	31/7/03	29/8/03	3.4	28	12.99	5662.71	2293.95	30.8	15.3	183.85	60834	330.88	3500	19.04	0.001080	3.03E+05
27	31/7/03	29/8/03	3.4	28	13.00	5588.93	2326.03	30.8	15.2	181.46	60834	335.25	4000	22.04	0.001067	3.08E+05
28	31/7/03	29/8/03	3.4	28	12.89	5552.64	2321.42	30.6	15.2	181.46	60834	335.25	3300	18.19	0.001160	2.86E+05
29	31/7/03	29/8/03	3.4	28	12.93	5662.71	2283.36	30.8	15.3	183.85	60834	330.88	4500	24.48	0.001093	2.94E+05
30	31/7/03	29/8/03	3.4	28	12.74	5792.86	2199.26	30.7	15.5	188.69	60834	322.40	3500	18.55	0.001160	2.74E+05
31	31/7/03	29/8/03	3.4	28	12.99	5679.66	2287.11	31.3	15.2	181.46	60834	335.25	3550	19.56	0.001093	3.03E+05
32	31/7/03	29/8/03	3.4	28	12.72	5886.96	2160.71	30.8	15.6	191.13	60834	318.28	3700	19.36	0.001160	2.69E+05
33	13/8/03	11/9/03	3	28	12.74	5552.64	2294.40	30.6	15.2	181.46	59830	329.72	3500	19.29	0.001187	2.73E+05
34	13/8/03	11/9/03	3	28	12.83	5533.54	2318.59	30.9	15.1	179.08	59830	334.10	3000	16.75	0.001187	2.79E+05
35	13/8/03	11/9/03	3	28	12.98	5372.37	2416.07	30.0	15.1	179.08	59830	334.10	3500	19.54	0.001093	3.01E+05
36	13/8/03	11/9/03	3	28	12.51	5515.63	2268.10	30.8	15.1	179.08	59830	334.10	3600	20.10	0.001280	2.55E+05
37	13/8/03	11/9/03	3	28	12.73	5755.60	2211.76	30.9	15.4	186.27	59830	321.21	3500	18.79	0.001160	2.72E+05
38	13/8/03	11/9/03	3	28	12.96	5534.49	2341.68	30.5	15.2	181.46	59830	329.72	3650	20.11	0.001080	3.01E+05
39	13/8/03	11/9/03	3	28	12.70	5681.10	2235.48	30.5	15.4	186.27	59830	321.21	3700	19.86	0.001187	2.65E+05
40	13/8/03	11/9/03	3	28	12.88	5662.71	2274.53	30.8	15.3	183.85	59830	325.42	3500	19.04	0.001120	2.86E+05
41	13/8/03	11/9/03	3	28	12.87	5570.79	2310.27	30.7	15.2	181.46	59830	329.72	3000	16.53	0.001147	2.86E+05
42	13/8/03	11/9/03	3	28	12.65	5699.72	2219.41	30.6	15.4	186.27	59830	321.21	3500	18.79	0.001200	2.63E+05
43	20/8/03	19/9/03	3.1	28	12.91	5661.52	2280.31	31.2	15.2	181.46	69923	385.34	3600	19.84	0.001320	2.88E+05
44	20/8/03	19/9/03	3.1	28	12.86	5515.63	2331.56	30.0	15.3	183.85	69923	380.32	3900	21.21	0.001307	2.86E+05
45	20/8/03	19/9/03	3.1	28	12.95	5589.17	2316.98	30.4	15.3	183.85	69923	380.32	3500	19.04	0.001253	3.00E+05
46	20/8/03	19/9/03	3.1	28	12.95	5811.72	2228.25	30.8	15.5	188.69	69923	370.57	3800	20.14	0.001227	2.98E+05
47	20/8/03	19/9/03	3.1	28	13.10	5830.59	2246.77	30.9	15.5	188.69	69923	370.57	3550	18.81	0.001120	3.29E+05
48	20/8/03	19/9/03	3.1	28	13.06	5442.82	2399.49	30.8	15.0	176.72	69923	395.68	3500	19.81	0.001200	3.27E+05

Tabla 3.26 Determinación de E_c (Para $M_R=40 \text{ kg/cm}^2$) Continua...

No	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Rev. (cm)	Edad dias	Peso (kg)	Vol. (cm ³)	Peso Vol. kg/m ³	Altura (cm)	Ø (cm)	Area cm ²	Carga de Ruptura (kgf)	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Lectura de Carga en 50 µ	Esfuerzo en 50 µ	ε	MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)
49	20/8/03	19/9/03	3.1	28	12.99	5552.64	2339.43	30.6	15.2	181.46	69923	385.34	3700	20.39	0.001253	3.03E+05
50	20/8/03	19/9/03	3.1	28	13.00	5588.93	2326.03	30.8	15.2	181.46	69923	385.34	3750	20.67	0.001227	3.10E+05
51	20/8/03	19/9/03	3.1	28	13.01	5644.33	2304.97	30.7	15.3	183.85	69923	380.32	3700	20.12	0.001200	3.13E+05
52	20/8/03	19/9/03	3.1	28	12.92	5830.11	2216.08	31.3	15.4	186.27	69923	375.39	3700	19.86	0.001280	2.89E+05
53	27/8/03	24/9/03	2.8	28	12.85	5588.93	2299.19	30.8	15.2	181.46	70067	386.13	3600	19.84	0.001333	2.85E+05
54	27/8/03	24/9/03	2.8	28	12.85	5552.64	2314.21	30.6	15.2	181.46	70067	386.13	3800	20.94	0.001333	2.85E+05
55	27/8/03	24/9/03	2.8	28	12.84	5479.82	2343.14	30.6	15.1	179.08	70067	391.26	3900	21.78	0.001347	2.85E+05
56	27/8/03	24/9/03	2.8	28	12.92	5497.73	2350.06	30.7	15.1	179.08	70067	391.26	3950	22.06	0.001307	2.94E+05
57	27/8/03	24/9/03	2.8	28	12.63	5588.93	2259.82	30.8	15.2	181.46	70067	386.13	3800	20.94	0.001467	2.58E+05
58	27/8/03	24/9/03	2.8	28	12.86	5607.08	2293.53	30.9	15.2	181.46	70067	386.13	3500	19.29	0.001333	2.86E+05
59	27/8/03	24/9/03	2.8	28	12.90	5461.91	2361.81	30.5	15.1	179.08	70067	391.26	3800	21.22	0.001333	2.88E+05
60	27/8/03	24/9/03	2.8	28	12.63	5372.37	2350.92	30.0	15.1	179.08	70067	391.26	3900	21.78	0.001467	2.61E+05
61	27/8/03	24/9/03	2.8	28	12.82	5552.64	2308.81	30.6	15.2	181.46	70067	386.13	3700	20.39	0.001360	2.79E+05
62	27/8/03	24/9/03	2.8	28	12.90	5461.91	2361.81	30.5	15.1	179.08	70067	391.26	3800	21.22	0.001333	2.88E+05

Tabla 3.26 Determinación de Ec (Para MR = 40 kg/cm²)

No	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Rev. (cm)	Edad días	Peso (kg)	Vol. (cm ³)	Peso Vol. kg/m ³	Altura (cm)	Ø (cm)	Area cm ²	Carga de Ruptura (kgf)	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Lectura de Carga en 50 μ	Esfuerzo en 50 μ	ε	MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)
1	11/12/03	8/1/04	3	28	12.92	5681.10	2274.21	30.9	15.3	183.85	74780	406.74	3520	19.15	0.001240	3.26E+05
2	11/12/03	8/1/04	3	28	13.00	5681.10	2288.29	30.5	15.4	186.27	74780	401.47	3220	17.29	0.001187	3.38E+05
3	11/12/03	8/1/04	3	28	13.02	5534.49	2352.52	30.5	15.2	181.46	74780	412.10	3240	17.86	0.001200	3.43E+05
4	11/12/03	8/1/04	3	28	12.95	5588.93	2317.08	30.8	15.2	181.46	74780	412.10	3240	17.86	0.001253	3.28E+05
5	11/12/03	8/1/04	3	28	12.85	5497.73	2337.33	30.7	15.1	179.08	74780	417.58	3040	16.98	0.001320	3.15E+05
6	11/12/03	8/1/04	3	28	12.90	5552.64	2323.22	30.6	15.2	181.46	74780	412.10	3104	17.11	0.001267	3.25E+05
7	11/12/03	8/1/04	3	28	13.05	5534.49	2357.94	30.5	15.2	181.46	74780	412.10	2980	16.42	0.001200	3.44E+05
8	11/12/03	8/1/04	3	28	12.86	5515.63	2331.56	30.0	15.3	183.85	74780	406.74	3220	17.51	0.001280	3.16E+05
9	11/12/03	8/1/04	3	28	12.95	5662.47	2286.99	30.4	15.4	186.27	74780	401.47	2820	15.14	0.001227	3.28E+05
10	11/12/03	8/1/04	3	28	13.05	5534.49	2357.94	30.5	15.2	181.46	74780	412.10	2890	15.93	0.001200	3.45E+05
11	11/12/03	8/1/04	3	28	13.11	5607.08	2338.12	30.9	15.2	181.46	74780	412.10	2170	11.96	0.001200	3.48E+05
12	11/12/03	8/1/04	3	28	12.99	5515.63	2355.12	30.8	15.1	179.08	74780	417.58	2680	14.97	0.001240	3.38E+05
13	11/12/03	8/1/04	3	28	13.04	5479.82	2379.64	30.6	15.1	179.08	74780	417.58	4680	26.13	0.001187	3.44E+05
14	11/12/03	8/1/04	3	28	13.84	5588.93	2476.32	30.8	15.2	181.46	74780	412.10	2880	15.87	0.001307	3.15E+05
15	11/12/03	8/1/04	3	28	12.97	5570.79	2328.22	30.7	15.2	181.46	74780	412.10	3450	19.01	0.001240	3.30E+05
16	11/12/03	8/1/04	3.6	28	12.92	5754.64	2245.15	31.3	15.3	183.85	82480	448.62	3820	20.78	0.001360	3.27E+05
17	11/12/03	8/1/04	3.6	28	12.94	5588.93	2315.29	30.8	15.2	181.46	82480	454.54	2210	12.18	0.001400	3.28E+05
18	12/12/03	9/1/04	3.6	28	12.87	5552.64	2317.82	30.6	15.2	181.46	82480	454.54	5510	30.37	0.001360	3.24E+05
19	12/12/03	9/1/04	3.6	28	12.63	5607.08	2252.51	30.9	15.2	181.46	82480	454.54	3720	20.50	0.001493	3.01E+05
20	12/12/03	9/1/04	3.6	28	12.86	5534.49	2323.61	30.5	15.2	181.46	82480	454.54	10520	57.97	0.001307	3.16E+05
21	12/12/03	9/1/04	3.6	28	12.91	5607.56	2302.25	30.5	15.3	183.85	82480	448.62	7890	42.91	0.001293	3.26E+05
22	12/12/03	9/1/04	3.6	28	12.72	5662.71	2246.27	30.8	15.3	183.85	82480	448.62	3210	17.46	0.001467	3.04E+05
23	12/12/03	9/1/04	3.6	28	13.06	5570.79	2344.37	30.7	15.2	181.46	82480	454.54	2650	14.60	0.001320	3.46E+05
24	12/12/03	9/1/04	3.6	28	12.70	5552.64	2287.20	30.6	15.2	181.46	82480	454.54	4210	23.20	0.001480	3.02E+05

Tabla 3.27 Determinación de E_c (Para $M_R=45 \text{ kg/cm}^2$) Continua...

No	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Rev. (cm)	Edad días	Peso (kg)	Vol. (cm ³)	Peso Vol. kg/m ³	Altura (cm)	Ø (cm)	Area cm ²	Carga de Ruptura (kgf)	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Lectura de Carga en 50 μ	Esfuerzo en 50 μ	ε	MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)
25	12/12/03	9/1/04	3.6	28	12.72	5587.27	2276.61	31.2	15.1	179.08	82480	460.58	5280	29.48	0.001467	3.04E+05
26	12/12/03	9/1/04	3.6	28	13.50	5533.54	2439.67	30.9	15.1	179.08	82480	460.58	1910	10.67	0.001307	3.58E+05
27	12/12/03	9/1/04	3.6	28	13.08	5534.49	2363.36	30.5	15.2	181.46	82480	454.54	3450	19.01	0.001307	3.47E+05
28	12/12/03	9/1/04	3.6	28	12.99	5534.49	2347.10	30.5	15.2	181.46	82480	454.54	4520	24.91	0.001333	3.35E+05
29	12/12/03	9/1/04	3.6	28	13.10	5515.63	2375.07	30.8	15.1	179.08	82480	460.58	2460	13.74	0.001333	3.48E+05
30	12/12/03	9/1/04	3.6	28	12.51	5497.73	2275.49	30.7	15.1	179.08	82480	460.58	3860	21.55	0.001667	2.72E+05
31	12/12/03	9/1/04	3.6	28	13.00	5552.64	2341.23	30.6	15.2	181.46	82480	454.54	3520	19.40	0.001333	3.39E+05
32	12/12/03	9/1/04	3.6	28	13.01	5811.48	2238.67	31.2	15.4	186.27	82480	442.81	2850	15.30	0.001307	3.40E+05
33	16/12/03	13/1/04	3.2	28	13.00	5515.63	2356.94	30.0	15.3	183.85	83710	455.31	3750	20.40	0.001333	3.39E+05
34	16/12/03	13/1/04	3.2	28	12.73	5516.35	2307.69	30.4	15.2	181.46	83710	461.32	3520	19.40	0.001493	3.06E+05
35	16/12/03	13/1/04	3.2	28	12.65	5515.63	2293.48	30.8	15.1	179.08	83710	467.45	3620	20.21	0.001533	3.02E+05
36	16/12/03	13/1/04	3.2	28	13.21	5607.08	2355.95	30.9	15.2	181.46	83710	461.32	3220	17.75	0.001320	3.49E+05
37	16/12/03	13/1/04	3.2	28	13.09	5662.71	2311.61	30.8	15.3	183.85	83710	455.31	3240	17.62	0.001307	3.48E+05
38	16/12/03	13/1/04	3.2	28	13.21	5552.64	2379.05	30.6	15.2	181.46	83710	461.32	3320	18.30	0.001320	3.49E+05
39	16/12/03	13/1/04	3.2	28	12.83	5681.10	2258.37	30.9	15.3	183.85	83710	455.31	3600	19.58	0.001440	3.13E+05
40	16/12/03	13/1/04	3.2	28	13.07	5534.49	2361.55	30.5	15.2	181.46	83710	461.32	2820	15.54	0.001333	3.47E+05
41	16/12/03	13/1/04	3.2	28	12.89	5681.10	2268.93	30.5	15.4	186.27	83710	449.41	5210	27.97	0.001347	3.25E+05
42	16/12/03	13/1/04	3.2	28	12.99	5811.72	2235.14	30.8	15.5	188.69	83710	443.63	2890	15.32	0.001333	3.34E+05
43	16/12/03	13/1/04	3.2	28	12.74	5570.79	2286.93	30.7	15.2	181.46	83710	461.32	4520	24.91	0.001467	3.08E+05
44	16/12/03	13/1/04	3.2	28	12.89	5625.94	2291.17	30.6	15.3	183.85	83710	455.31	3450	18.76	0.001360	3.33E+05
45	16/12/03	13/1/04	3.2	28	13.01	5515.63	2358.75	30.8	15.1	179.08	83710	467.45	5280	29.48	0.001333	3.41E+05
46	16/12/03	13/1/04	3.2	28	13.60	5479.82	2481.83	30.6	15.1	179.08	83710	467.45	2650	14.80	0.001293	3.64E+05
47	16/12/03	13/1/04	3.2	28	12.96	5533.54	2342.08	30.9	15.1	179.08	83710	467.45	7890	44.06	0.001333	3.30E+05
48	16/12/03	13/1/04	3.2	28	13.00	5534.49	2348.90	30.5	15.2	181.46	83710	461.32	3210	17.69	0.001360	3.39E+05

Tabla 3.27 Determinación de E_c (Para $M_R=45 \text{ kg/cm}^2$) Continua...

No	Fecha de colado	Fecha de ensayo	Rev. (cm)	Edad días	Peso (kg)	Vol. (cm ³)	Peso Vol. kg/m ³	Altura (cm)	Ø (cm)	Area cm ²	Carga de Ruptura (kgf)	Esfuerzo de Ruptura (kg/cm ²)	Lectura de Carga en 50 μ	Esfuerzo en 50 μ	ε	MODULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)
49	16/12/03	13/1/04	3.2	28	12.99	5461.91	2378.29	30.5	15.1	179.08	83710	467.45	3720	20.77	0.001387	3.34E+05
50	17/12/03	14/1/04	2.9	28	12.93	5588.93	2313.50	30.8	15.2	181.46	84070	463.30	3820	21.05	0.001400	3.28E+05
51	17/12/03	14/1/04	2.9	28	12.71	5497.73	2311.86	30.7	15.1	179.08	84070	469.46	3450	19.27	0.001533	3.04E+05
52	17/12/03	14/1/04	2.9	28	12.86	5515.63	2331.55	30.8	15.1	179.08	84070	469.46	2800	15.64	0.001467	3.20E+05
53	17/12/03	14/1/04	2.9	28	12.56	5570.79	2254.62	30.7	15.2	181.46	84070	463.30	4680	25.79	0.001507	3.00E+05
54	17/12/03	14/1/04	2.9	28	12.84	5679.66	2260.70	31.3	15.2	181.46	84070	463.30	4520	24.91	0.001440	3.15E+05
55	17/12/03	14/1/04	2.9	28	12.97	5515.63	2351.50	30.8	15.1	179.08	84070	469.46	4620	25.80	0.001387	3.32E+05
56	17/12/03	14/1/04	2.9	28	12.82	5552.64	2308.81	30.6	15.2	181.46	84070	463.30	3510	19.34	0.001467	3.13E+05
57	17/12/03	14/1/04	2.9	28	12.85	5515.63	2329.74	30.8	15.1	179.08	84070	469.46	3820	21.33	0.001467	3.16E+05
58	17/12/03	14/1/04	2.9	28	12.74	5552.64	2294.40	30.6	15.2	181.46	84070	463.30	4620	25.46	0.001467	3.09E+05
59	17/12/03	14/1/04	2.9	28	12.74	5533.54	2302.32	30.9	15.1	179.08	84070	469.46	3750	20.94	0.001493	3.11E+05
60	17/12/03	14/1/04	2.9	28	13.00	5681.10	2288.29	30.5	15.4	186.27	84070	451.35	4580	24.59	0.001307	3.40E+05
61	17/12/03	14/1/04	2.9	28	12.88	5534.49	2327.22	30.5	15.2	181.46	84070	463.30	3654	20.14	0.001413	3.25E+05
62	17/12/03	14/1/04	2.9	28	13.06	5479.82	2383.29	30.6	15.1	179.08	84070	469.46	4210	23.51	0.001333	3.47E+05
63	17/12/03	14/1/04	2.9	28	12.99	5552.64	2339.43	30.6	15.2	181.46	84070	463.30	4620	25.46	0.001360	3.34E+05
64	17/12/03	14/1/04	2.9	28	12.86	5681.10	2263.65	30.5	15.4	186.27	84070	451.35	4580	24.59	0.001387	3.19E+05
65	17/12/03	14/1/04	2.9	28	12.75	5497.73	2319.14	30.7	15.1	179.08	84070	469.46	3450	19.27	0.001493	3.12E+05

Tabla 3.27 Determinación de Ec (Para MR = 45 kg/cm²)

Viga No.	MR de diseño Kg/cm ²	Fecha de colado	Rev. (cm)	Fecha de ensayo	Edad días	Largo (cm)	Alto (cm)	Base (cm)	Claro (cm)	Peso (kg)	Vol. (cm ³)	Peso vol. Kg/m ³	CARGA (kgf)	MODULO DE RUPTURA (kg/cm ²)
1	40	25/8/03	2.5	22/9/03	28	60.0	15.2	15.4	46.0	31.09	14044.80	2213.63	3160	39.97
2	40	25/8/03	2.5	22/9/03	28	60.7	15.3	15.5	46.0	32.00	14395.01	2222.99	3510	43.53
3	40	25/8/03	2.5	22/9/03	28	60.0	15.2	15.2	46.0	32.78	13862.40	2364.67	3800	48.69
4	40	25/8/03	2.5	22/9/03	28	60.0	15.0	15.4	46.0	32.19	13860.00	2322.51	3480	45.19
5	40	25/8/03	2.5	22/9/03	28	60.2	15.1	15.3	46.0	32.03	13908.01	2302.99	3410	43.99
6	40	25/8/03	2.5	22/9/03	28	60.2	15.2	15.0	46.0	32.19	13725.60	2345.25	3500	45.45
7	40	26/8/03	2.6	23/9/03	28	60.4	15.1	15.4	46.0	32.14	14045.42	2288.29	3500	44.85
8	40	26/8/03	2.6	23/9/03	28	60.3	15.1	15.6	46.0	32.19	14204.27	2266.22	3575	45.23
9	40	26/8/03	2.6	23/9/03	28	60.5	15.1	15.5	46.0	32.69	14160.03	2308.61	3700	47.11
10	40	26/8/03	2.6	23/9/03	28	60.4	14.9	15.4	46.0	32.29	13859.38	2329.83	3480	45.80
11	40	26/8/03	2.6	23/9/03	28	59.4	15.4	15.2	46.0	31.30	13904.35	2251.09	3250	40.57
12	40	26/8/03	2.6	23/9/03	28	60.0	15.2	15.9	46.0	32.29	14500.80	2226.77	3730	45.69
13	40	28/8/03	3.0	25/9/03	28	60.4	15.2	15.8	46.0	32.39	14505.66	2232.92	3730	45.98
14	40	28/8/03	3.0	25/9/03	28	60.0	14.9	15.4	46.0	32.56	13767.60	2364.97	3525	46.40
15	40	28/8/03	3.0	25/9/03	28	60.0	14.7	15.4	46.0	32.39	13582.80	2384.63	3400	45.98
16	40	28/8/03	3.0	25/9/03	28	60.5	15.2	15.6	46.0	31.99	14345.76	2229.93	3460	43.20
17	40	28/8/03	3.0	25/9/03	28	60.2	15.1	15.2	46.0	32.12	13817.10	2324.66	3450	44.80
18	40	28/8/03	3.0	25/9/03	28	60.3	15.2	15.5	46.0	31.76	14206.68	2235.57	3280	41.22
19	40	1/9/03	3.0	29/9/03	28	59.5	15.1	15.5	46.0	31.30	13925.98	2247.60	3180	40.49
20	40	1/9/03	3.0	29/9/03	28	60.6	15.0	15.4	46.0	31.98	13998.60	2284.51	3300	42.86
21	40	1/9/03	3.0	29/9/03	28	60.5	15.5	15.3	46.0	31.77	14347.58	2214.31	3370	41.26
22	40	1/9/03	3.0	29/9/03	28	60.3	14.7	15.2	46.0	32.10	13473.43	2382.47	3250	44.53
23	40	1/9/03	3.0	29/9/03	28	60.0	15.2	15.3	46.0	31.78	13953.60	2277.55	3250	41.37
24	40	1/9/03	3.0	29/9/03	28	60.5	15.1	15.4	46.0	31.79	14068.67	2259.63	3240	41.52

Tabla 3.28 Determinacion de MR (Para MR=40 kg/cm²) Continua...

Viga No.	MR de diseño Kg/cm ²	Fecha de colado	Rev. (cm)	Fecha de ensayo	Edad días	Largo (cm)	Alto (cm)	Base (cm)	Claro (cm)	Peso (kg)	Vol. (cm ³)	Peso vol. Kg/m ³	CARGA (kgf)	MODULO DE RUPTURA (kg/cm ²)
25	40	2/9/03	2.8	30/9/03	28	59.5	15.3	15.4	46.0	31.89	14019.39	2274.71	3335	41.63
26	40	2/9/03	2.8	30/9/03	28	60.4	14.6	15.3	46.0	32.38	13492.15	2399.91	3320	45.81
27	40	2/9/03	2.8	30/9/03	28	60.5	15.1	15.0	46.0	32.59	13703.25	2378.27	3530	46.45
28	40	2/9/03	2.8	30/9/03	28	60.4	15.2	15.4	46.0	31.56	14138.43	2232.21	3230	40.85
29	40	2/9/03	2.8	30/9/03	28	60.4	15.1	15.6	46.0	31.89	14227.82	2241.38	3290	41.62
30	40	2/9/03	2.8	30/9/03	28	60.3	15.0	15.5	46.0	31.75	14019.75	2264.66	3190	41.16
31	40	3/9/03	2.9	1/10/03	28	60.5	14.7	15.4	46.0	32.44	13695.99	2368.58	3400	45.98
32	40	3/9/03	2.9	1/10/03	28	60.7	15.2	15.4	46.0	31.78	14208.66	2236.66	3275	41.42
33	40	3/9/03	2.9	1/10/03	28	60.2	15.1	15.6	46.0	30.70	14180.71	2164.91	3150	39.85
34	40	3/9/03	2.9	1/10/03	28	60.0	15.2	15.5	46.0	31.69	14136.00	2241.79	3255	40.90
35	40	3/9/03	2.9	1/10/03	28	60.3	15.1	15.4	46.0	32.09	14022.16	2288.52	3470	44.47
36	40	3/9/03	2.9	1/10/03	28	60.4	15.2	15.4	46.0	31.69	14138.43	2241.41	3240	40.98
37	40	4/9/03	3.5	2/10/03	28	60.5	15.5	15.8	46.0	31.91	14816.45	2153.69	3600	42.68
38	40	4/9/03	3.5	2/10/03	28	60.3	14.7	15.4	46.0	32.10	13650.71	2351.53	3300	44.62
39	40	4/9/03	3.5	2/10/03	28	60.5	15.2	15.6	46.0	30.59	14345.76	2132.34	3080	38.45
40	40	4/9/03	3.5	2/10/03	28	60.2	15.1	15.5	46.0	30.69	14089.81	2178.17	3110	39.60
41	40	4/9/03	3.5	2/10/03	28	60.3	15.1	15.7	46.0	31.20	14295.32	2182.53	3213	40.39
42	40	4/9/03	3.5	2/10/03	28	60.1	15.2	15.9	46.0	31.99	14524.97	2202.41	3520	43.12
43	40	10/9/03	2.7	8/10/03	28	60.0	15.1	15.7	46.0	31.71	14224.20	2229.30	3270	41.11
44	40	10/9/03	2.7	8/10/03	28	60.4	15.3	15.5	46.0	31.71	14323.86	2213.79	3310	41.05
45	40	10/9/03	2.7	8/10/03	28	60.5	14.9	15.6	46.0	31.36	14062.62	2230.03	3125	40.60
46	40	10/9/03	2.7	8/10/03	28	60.3	15.0	15.4	46.0	31.50	13929.30	2261.42	3135	40.71
47	40	10/9/03	2.7	8/10/03	28	60.5	15.4	15.7	46.0	32.73	14627.69	2237.54	3960	47.86
48	40	10/9/03	2.7	8/10/03	28	60.7	14.8	15.5	46.0	32.87	13924.58	2360.57	3755	49.77

Tabla 3.28 Determinación de MR (Para MR=40 kg/cm²) Continua...

Viga No.	MR de diseño Kg/cm ²	Fecha de colado	Rev. (cm)	Fecha de ensayo	Edad días	Largo (cm)	Alto (cm)	Base (cm)	Claro (cm)	Peso (kg)	Vol. (cm ³)	Peso vol. Kg/m ³	CARGA (kgf)	MODULO DE RUPTURA (kg/cm ²)
49	40	17/9/03	3.4	15/10/03	28	60.2	15.0	15.5	46.0	32.70	13996.50	2336.30	3675	47.42
50	40	17/9/03	3.4	15/10/03	28	60.0	15.2	15.5	46.0	32.50	14136.00	2299.09	3675	46.18
51	40	17/9/03	3.4	15/10/03	28	60.3	15.1	15.5	46.0	32.67	14113.22	2314.85	3670	46.73
52	40	17/9/03	3.4	15/10/03	28	60.4	15.1	15.4	46.0	32.09	14045.42	2284.73	3460	44.34
53	40	17/9/03	3.4	15/10/03	28	60.2	15.2	15.6	46.0	31.97	14274.62	2239.64	3430	42.82
54	40	17/9/03	3.4	15/10/03	28	60.3	15.4	15.5	46.0	32.00	14393.61	2223.21	3560	43.58
55	40	18/9/03	3.9	16/10/03	28	60.1	14.8	15.4	46.0	31.99	13697.99	2335.38	3250	43.36
56	40	18/9/03	3.9	16/10/03	28	60.0	15.2	15.8	46.0	31.90	14409.60	2213.80	3420	42.16
57	40	18/9/03	3.9	16/10/03	28	60.4	15.2	15.6	46.0	31.29	14322.05	2184.74	3240	40.45
58	40	18/9/03	3.9	16/10/03	28	60.5	15.0	15.9	46.0	31.99	14429.25	2217.02	3460	43.52
59	40	18/9/03	3.9	16/10/03	28	60.3	15.0	15.8	46.0	31.49	14291.10	2203.47	3210	40.63
60	40	18/9/03	3.9	16/10/03	28	60.0	15.1	15.7	46.0	31.10	14224.20	2186.41	3190	40.10
61	40	18/9/03	3.9	16/10/03	28	60.5	15.1	15.9	46.0	31.19	14525.45	2147.27	3240	40.22
62	40	18/9/03	3.9	16/10/03	28	60.3	15.0	15.8	46.0	31.49	14291.10	2203.47	3210	40.63

Tabla 3.28 Determinacion de MR (Para MR=40 kg/cm²)

Viga No.	MR de diseño Kg/cm ²	Fecha de colado	Rev. (cm)	Fecha de ensayo	Edad días	Largo (cm)	Alto (cm)	Base (cm)	Claro (cm)	Peso (kg)	Vol. (cm ³)	Peso vol. Kg/m ³	CARGA (kgf)	MODULO DE RUPTURA (kg/cm ²)
1	40	5/12/03	2.7	5/1/04	28	60.5	15.2	15.4	46.0	13.01	14161.84	918.67	3850	48.69
2	40	5/12/03	2.7	5/1/04	28	60.3	15.2	15.7	46.0	12.96	14389.99	900.63	3780	46.89
3	40	5/12/03	2.7	5/1/04	28	60.0	14.8	15.5	46.0	13.11	13764.00	952.48	3900	51.69
4	40	5/12/03	2.7	5/1/04	28	60.2	15.2	15.5	46.0	13.00	14183.12	916.58	3820	48.00
5	40	5/12/03	2.7	5/1/04	28	60.5	15.2	15.5	46.0	12.97	14253.80	909.93	3750	47.12
6	40	5/12/03	2.7	5/1/04	28	60.2	15.0	15.5	46.0	13.04	13996.50	931.66	3810	49.16
7	40	5/12/03	2.7	5/1/04	28	60.4	15.2	15.4	46.0	13.09	14138.43	925.85	3930	49.70
8	40	5/12/03	2.7	5/1/04	28	60.5	15.4	15.6	46.0	12.98	14534.52	893.05	3890	47.31
9	40	5/12/03	2.7	5/1/04	28	60.4	15.2	15.5	46.0	12.98	14230.24	912.14	3780	47.50
10	40	5/12/03	2.7	5/1/04	28	60.5	15.1	15.4	46.0	13.06	14068.67	928.30	3860	49.47
11	40	5/12/03	2.7	5/1/04	28	60.0	14.9	15.4	46.0	13.11	13767.60	952.24	3900	51.33
12	40	5/12/03	2.7	5/1/04	28	59.8	15.0	15.3	46.0	13.04	13724.10	950.15	3740	48.89
13	40	5/12/03	2.7	5/1/04	28	60.3	15.2	15.2	46.0	13.11	13931.71	941.02	3970	50.87
14	40	5/12/03	2.7	5/1/04	28	60.5	15.2	15.3	46.0	13.08	14069.88	929.65	3890	49.52
15	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.2	15.1	15.4	46.0	13.00	13998.91	928.64	3750	48.06
16	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.5	15.0	15.6	46.0	12.90	14157.00	911.21	3600	46.15
17	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.5	15.0	15.6	46.0	13.00	14157.00	918.27	3770	48.33
18	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.3	15.2	15.0	46.0	12.81	13748.40	931.74	3540	45.97
19	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.4	15.3	15.4	46.0	12.79	14231.45	898.71	3670	45.81
20	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.3	15.4	15.6	46.0	12.76	14486.47	880.82	3710	45.13
21	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.6	15.2	15.5	46.0	13.01	14277.36	911.23	3870	48.63
22	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.5	15.4	15.4	46.0	12.76	14348.18	889.31	3660	45.10
23	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.2	15.2	15.5	46.0	13.01	14183.12	917.29	3850	48.38
24	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.3	15.2	15.6	46.0	12.90	14298.34	902.20	3710	46.32

Tabla 3.29 Determinacion de MR (Para MR=45 kg/cm²) Continua...

Viga No.	MR de diseño Kg/cm ²	Fecha de colado	Rev. (cm)	Fecha de ensayo	Edad días	Largo (cm)	Alto (cm)	Base (cm)	Claro (cm)	Peso (kg)	Vol. (cm ³)	Peso vol. Kg/m ³	CARGA (kgf)	MODULO DE RUPTURA (kg/cm ²)
25	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.5	15.0	15.5	46.0	12.76	14066.25	907.14	3480	44.90
26	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.4	15.2	15.4	46.0	13.00	14138.43	919.48	3810	48.19
27	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.8	15.1	15.7	46.0	12.97	14413.86	899.83	3750	47.14
28	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.6	15.0	15.7	46.0	12.79	14271.30	896.20	3600	45.86
29	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.0	14.8	15.6	46.0	13.03	13852.80	940.60	3710	48.86
30	40	8/12/03	2.5	5/1/04	28	60.2	14.9	15.4	46.0	12.75	13813.49	923.01	2870	37.77
31	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.3	15.2	15.5	46.0	12.79	14206.68	900.28	3600	45.24
32	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.0	15.0	15.5	46.0	13.01	13950.00	932.62	3770	48.65
33	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.2	15.0	15.3	46.0	13.00	13815.90	940.94	3650	47.71
34	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.3	15.3	15.4	46.0	12.76	14207.89	898.09	3620	45.19
35	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.4	15.4	15.6	46.0	12.97	14510.50	893.84	3870	47.07
36	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.5	15.2	15.7	46.0	12.90	14437.72	893.49	3730	46.27
37	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.4	15.4	15.5	46.0	12.97	14417.48	899.60	3850	47.13
38	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.5	14.8	15.5	46.0	13.03	13878.70	938.85	3680	48.78
39	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.6	15.0	15.6	46.0	13.00	14180.40	916.76	3750	48.08
40	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.2	15.0	15.5	46.0	13.01	13996.50	929.52	3780	48.77
41	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.2	15.2	15.4	46.0	12.96	14091.62	919.70	3710	46.92
42	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.5	15.3	15.3	46.0	13.01	14162.45	918.63	3850	48.37
43	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.3	15.4	15.3	46.0	12.98	14207.89	913.58	3806	47.20
44	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.4	15.2	15.4	46.0	13.00	14138.43	919.48	3780	47.81
45	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.5	15.0	15.5	46.0	13.00	14066.25	924.20	3720	48.00
46	40	9/12/03	3.6	6/1/04	28	60.0	15.2	15.5	46.0	13.04	14136.00	922.47	3910	49.13
47	40	9/12/03	3.5	6/1/04	28	59.8	15.0	15.6	46.0	13.00	13993.20	929.02	3720	47.69
48	40	9/12/03	3.5	6/1/04	28	60.5	15.1	15.5	46.0	12.99	14160.03	917.37	3740	47.62

Tabla 3.29 Determinacion de MR (Para MR=40 kg/cm²) Continua...

Viga No.	MR de diseño Kg/cm ²	Fecha de colado	Rev. (cm)	Fecha de ensayo	Edad días	Largo (cm)	Alto (cm)	Base (cm)	Claro (cm)	Peso (kg)	Vol. (cm ³)	Peso vol. Kg/m ³	CARGA (kgf)	MODULO DE RUPTURA (kg/cm ²)
49	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.6	15.1	15.6	46.0	12.98	14274.94	909.29	3750	47.44
50	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.4	15.0	15.6	46.0	12.96	14133.60	916.96	3670	47.05
51	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.5	15.2	15.4	46.0	12.88	14161.84	909.49	3640	46.04
52	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.3	15.0	15.6	46.0	12.88	14110.20	912.81	3590	46.03
53	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.0	15.3	15.7	46.0	12.79	14412.60	887.42	3700	45.30
54	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.2	15.3	15.2	46.0	12.92	14000.11	922.85	3680	46.54
55	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.5	15.1	15.3	46.0	12.98	13977.32	928.65	3680	47.47
56	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.0	15.1	15.7	46.0	12.88	14224.20	905.50	3670	46.13
57	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.3	15.2	15.6	46.0	12.94	14298.34	905.00	3750	46.82
58	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.5	15.3	15.5	46.0	12.86	14347.58	896.32	3710	46.01
59	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.4	15.4	15.4	46.0	12.92	14324.46	901.95	3780	46.57
60	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.2	15.2	15.3	46.0	12.90	14000.11	921.42	3650	46.47
61	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.2	15.2	15.6	46.0	12.96	14274.62	907.90	3770	47.07
62	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.3	15.2	15.2	46.0	13.04	13931.71	935.99	3820	48.95
63	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.5	15.3	15.5	46.0	12.86	14347.58	896.32	3710	46.01
64	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.2	15.2	15.3	46.0	12.92	14000.11	922.85	3650	46.47
65	40	10/12/03	3.5	7/1/04	28	60.5	15.2	15.4	46.0	12.88	14161.84	909.49	3640	46.04

Tabla 3.29 Determinacion de MR (Para MR=40 kg/cm²)

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS

4.1 Introducción.

Hasta este momento hemos trabajado los Módulos de Elasticidad y Ruptura en forma separada, determinando características intrínsecas de los mismos. Ahora resulta necesario establecer los lineamientos básicos para encontrar la relación matemática que describa la correspondencia que existe entre ellos.

Esta asociación lo medirá la regresión y la correlación; la diferencia estriba en que la regresión mide la dependencia entre las variables a través de una ecuación, con el objeto de predecir una de ellas en función de la otra; mientras que la correlación se dirige sobre todo a medir la intensidad o fuerza con que están relacionadas las variables.

Antes de revisar la regresión y correlación entre las variables, se determinará si los resultados obtenidos a través de un periodo de ensayos han sido satisfactorios y cumplen con los requisitos de calidad para poder ser utilizados; pensando en esto utilizaremos gráficas de control que nos ayuden en este propósito.

Los procedimientos estadísticos nos proporcionan medios valiosos para la evaluación de los resultados de las pruebas, y la información que se deriva de dichos procedimientos, también sirven para reafirmar los criterios y las especificaciones del

diseño. El informe del comité ACI 214 “Practica Recomendable para la Evaluación de los Resultados de las Pruebas de Resistencia del Concreto” discute las variaciones que se presentan en la resistencia del concreto y muestran los procedimientos estadísticos que son útiles para la interpretación de estas variaciones.

4.2 Cartas de Control.

Para cualquier trabajo en particular, un número de ensayos debe realizarse para asegurar la presentación precisa de las variaciones del concreto. Los ensayos del concreto pueden realizarse ya sea sobre la base del tiempo transcurrido o el volumen colocado, siendo las condiciones de cada trabajo las que determinarán el método más práctico para obtener el número de ensayos necesarios. Un ensayo es definido como la resistencia promedio de todos los especímenes de la misma edad elaborados de una muestra tomada de una bachada simple de concreto

El propósito de una carta de control es determinar si el comportamiento de un proceso mantiene un nivel aceptable de calidad. Se espera, por supuesto, que cualquier proceso experimente una variabilidad natural, esto es, debida a fuentes de variación esencialmente sin importancia y sin control. Por otro lado, un proceso puede experimentar tipos más serios de variabilidad en mediciones claves de comportamiento. Estas pueden surgir de uno o varios tipos de causas asignables no aleatorias, tales como errores del operador o partes en movimientos mal ajustadas en una máquina, etc. Se

afirma que un proceso que se lleve a cabo en estas condiciones esta fuera de control; mientras que un proceso esta en control estadística cuando experimenta solo variaciones aleatorias.

4.2.1 Gráfica de Control de Medidas.

En el caso más común, en el que no se conocen los parámetros de la población, es necesario estimarlos sobre la base de muestras preliminares. Si se utilizan k muestras, cada una de tamaño n , denotaremos la media de la i -ésima muestra por \bar{x}_i , y la media mayor de las k muestras por $\bar{\bar{X}}$, esto es,

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i$$

Denotando el recorrido de la i -ésima muestra por R_i , podemos usar el estadístico

$$\bar{\bar{R}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i$$

Entonces, la línea central y los límites de control superior e inferior, denominados LCI y LCS, están dadas para una gráfica de medias $\bar{\bar{X}}$ por

4.2.2 Construcción de las Cartas de Control.

La construcción de una carta se lleva a cabo tomando muestras de un tamaño prefijado en un determinado lugar del proceso. De dichas muestras se calcula el valor del estadístico “y” que interesa. Las variaciones de dicho estadístico se atribuirán de acuerdo a cierto modelo probabilístico, lo cual permitirá calcular el promedio y otros parámetros del proceso como es la dispersión del estadístico.

Para presentar gráficamente las cartas de control, utilizando un cuadrante donde el eje vertical representa los valores del estadístico, y en el eje horizontal el tiempo o el orden cronológico en que las muestras fueron tomadas. Se trazan tres líneas horizontales, una en el centro de la distribución y las otras dos en los valores extremos de la distribución representando el promedio \bar{X} , límites superior **LCS** y límite inferior **LCI** de las cartas, valores que se determinan de la siguiente forma:

$$\text{Línea central} = \bar{X}$$

$$\text{LCS} = \bar{X} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{LCI} = \bar{X} - A_2 \bar{R}$$

El coeficiente A_2 , tabulado en el Anexo 4 para varios valores de n , depende de la suposición de que las medidas constituyen una muestra de una población normal.

Construida la gráfica, el siguiente paso es plotear los distintos valores de “y”, y si todos los datos caen dentro de los límites de control y no demuestran ciclos o flujos de puntos arriba o abajo del promedio que demuestren inestabilidad, podrá decirse que el proceso esta bajo control estadístico a un nivel igual al promedio de la carta de control. Si la distribución de los datos no presenta las características mencionadas anteriormente; entonces los puntos que caen fuera de los límites deben ser investigados descubriendo las causas asignables correspondientes, mientras sucede esta búsqueda puede decirse que el proceso esta fuera de control.

4.2.3 Criterios para estimar situaciones fuera de control.

Se dice que un proceso está bajo control cuando no muestra ninguna “anormalidad” y además, ningún punto queda fuera de los límites. De acuerdo con la teoría relacionada con la distribución normal se debe esperar que 1 de cada 370 mediciones individuales caigan fuera de la zona de aceptación para que un proceso se encuentre fuera de control.

Los distintos tipos de “anormalidades” se describirán a continuación.

Corrida. Se llama corrida cuando hay un número consecutivo de puntos que caen de un solo lado de la gráfica, ya sea hacia arriba o abajo de la línea central

Tendencia. Se dice que se da una tendencia, cuando los puntos van en secuencia ascendente o descendente. No existe un criterio para decidir si la tendencia es normal o

no; pero si dicha tendencia continua, los puntos caerán fuera de los límites de control o asumirán la forma de una corrida.

Adhesión de los puntos a los límites de control. Para identificar este tipo de tendencia es necesario primero dividir el espacio comprendido entre la línea central y los límites de control en tres partes iguales. Si dos de tres puntos consecutivos caen dentro del tercio cercano a las líneas límites se considera que el proceso es anormal.

Periodicidad. Se dice que el proceso muestra periodicidad si los puntos se mueven más o menos en intervalos iguales hacia arriba y hacia abajo.

4.3 Construcción de las cartas de control para el Módulo de Ruptura y el Módulo de Elasticidad.

La construcción de las cartas de control, se llevó a cabo a través del procedimiento descrito a continuación:

Paso 1.

Para determinar los límites de control, fue necesario el cálculo del valor promedio y el rango en cada ensayo realizado, el cual esta formado por n muestras.

Valor promedio.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

Donde: \bar{x} = Valor promedio de Módulo de Ruptura o Módulo de Elasticidad.

x_n = Valor del Módulo de Ruptura o Módulo de Elasticidad de cada muestra.

n = Número de muestra por ensayo.

Rango: $\bar{R} = \text{VMayor} - \text{VMenor}$
 \bar{R} = Rango del módulo de ruptura o módulo de elasticidad
 VMayor = Valor mayor del Módulo de Ruptura o Módulo de Elasticidad
 VMenor = Valor menor del Módulo de Ruptura o Módulo de Elasticidad

Paso 2.

Determinamos la media mayor de los k ensayos. La cual denotaremos como $\bar{\bar{X}}$.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}$$

Donde: $\bar{\bar{X}}$ = Media mayor de las medias de cada ensayo

\bar{x} = Media de cada ensayo

k = Número de ensayos

Paso 3.

Determinamos la media de los rangos de los k ensayos

$$\bar{\bar{R}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{R}$$

Donde: $\bar{\bar{R}}$ = Media de los rangos de cada ensayo

\bar{R} = Rango de cada ensayo

k = Número de ensayos

Paso 4.

Para el cálculo del Límite Superior e Inferior es necesario el coeficiente constante A2, el cual se toma, basándose en el número de observaciones en el ensayo. El valor de A2 esta dado en la tabla del Anexo 4.

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A2\bar{\bar{R}}$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - A2\bar{\bar{R}}$$

Paso 5.

Calculados los límites de control, se procedió a la construcción de la carta. Luego graficamos en el eje de las abscisas los valores promedios del MR y en el eje de las ordenadas los números de ensayo realizados.

No de Bachadas					
1	2	3	4	5	6
Ec ordenados por cada bachada (para MR= 40 kg/cm ³)					
2.768E+05	2.664E+05	2.651E+05	2.553E+05	2.858E+05	2.578E+05
2.932E+05	2.728E+05	2.737E+05	2.630E+05	2.878E+05	2.608E+05
2.938E+05	2.832E+05	2.771E+05	2.651E+05	2.890E+05	2.792E+05
3.039E+05	2.852E+05	2.780E+05	2.724E+05	2.978E+05	2.846E+05
3.040E+05	2.878E+05	2.826E+05	2.731E+05	3.002E+05	2.849E+05
3.101E+05	3.050E+05	2.856E+05	2.792E+05	3.033E+05	2.854E+05
3.192E+05	3.136E+05	2.937E+05	2.856E+05	3.099E+05	2.859E+05
3.220E+05	3.154E+05	3.004E+05	2.863E+05	3.132E+05	2.883E+05
3.271E+05	3.274E+05	3.028E+05	3.006E+05	3.268E+05	2.883E+05
3.304E+05	3.301E+05	3.081E+05	3.015E+05	3.287E+05	2.938E+05
MEDIAS					
3.081E+05	2.987E+05	2.782E+05	3.043E+05	2.809E+05	3.319E+05
RANGOS					
5.359E+04	6.371E+04	4.621E+04	4.298E+04	3.602E+04	3.265E+04
$\bar{\bar{X}} = 2.928E+05$	$\bar{\bar{R}} = 759E+04$	LCS = 3.075E+05		LCI = 2.781E+05	

Tabla 4.1. Cálculo de parámetros para construcción de las cartas de control para Ec (MR = 40 kg/cm³)

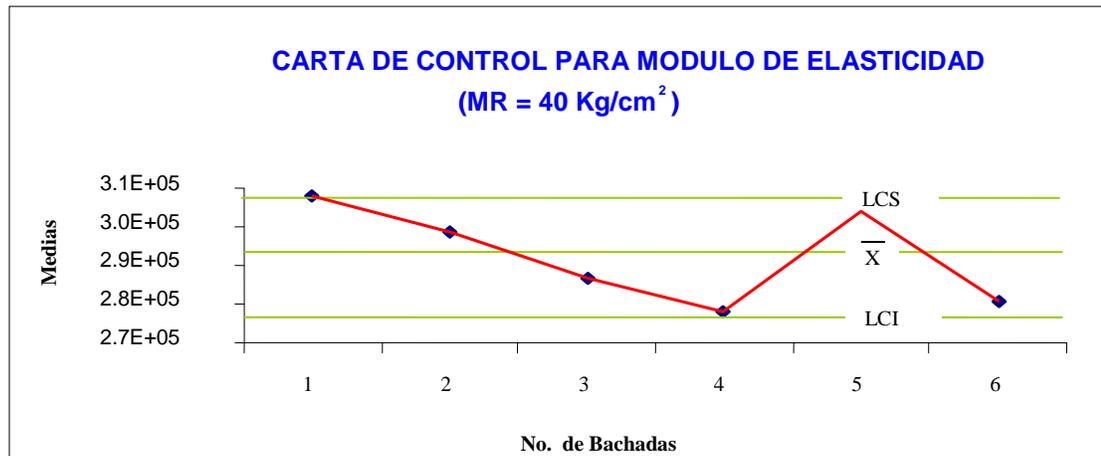


Fig. 4.1. Carta de Control para Ec (MR = 40 kg/cm³)

No de Bachadas			
1	2	3	4
Ec ordenados por cada bachada (para MR= 45 kg/cm³)			
3.153E+05	2.716E+05	3.015E+05	3.003E+05
3.154E+05	3.007E+05	3.062E+05	3.035E+05
3.164E+05	3.016E+05	3.081E+05	3.091E+05
3.247E+05	3.043E+05	3.135E+05	3.108E+05
3.253E+05	3.043E+05	3.250E+05	3.115E+05
3.257E+05	3.156E+05	3.299E+05	3.154E+05
3.259E+05	3.238E+05	3.332E+05	3.163E+05
3.303E+05	3.263E+05	3.386E+05	3.193E+05
3.380E+05	3.348E+05	3.389E+05	3.203E+05
3.383E+05	3.391E+05	3.413E+05	3.251E+05
3.428E+05	3.402E+05	3.474E+05	3.276E+05
3.441E+05	3.464E+05	3.483E+05	3.319E+05
3.444E+05	3.466E+05	3.488E+05	3.342E+05
3.445E+05	3.482E+05	3.493E+05	3.396E+05
3.480E+05	3.580E+05	3.641E+05	3.475E+05
MEDIAS			
3.319E+05	3.241E+05	3.329E+05	3.208E+05
RANGOS			
3.265E+04	8.646E+04	6.256E+04	4.714E+04
$\bar{X} = 3.275E+05$	$\bar{R} = 5.720E+04$	LCS = 3.402E+05	LCI = 3.147E+05

Tabla 4.2. Cálculo de parámetros para construcción de las cartas de control para Ec (MR = 45 kg/cm³)

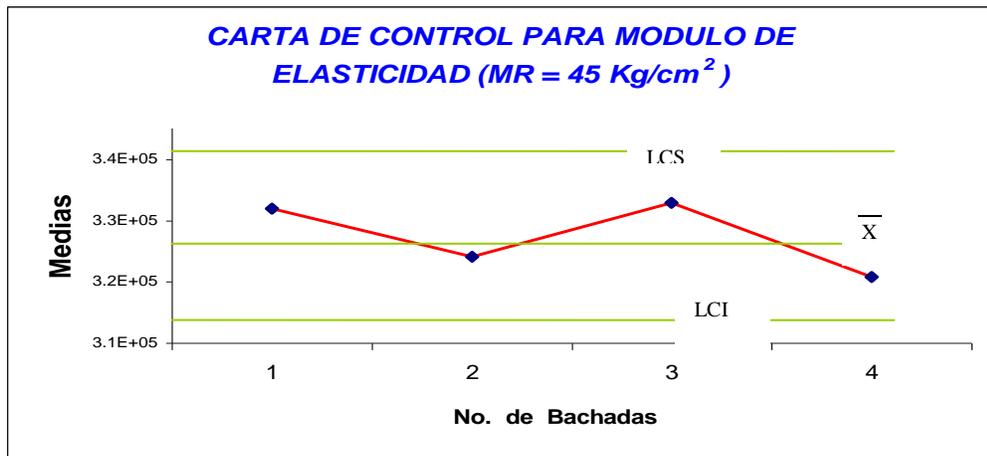


Fig. 4.2. Carta de Control para E_c ($MR = 45 \text{ kg/cm}^3$)

No de Bachadas			
1	2	3	4
MR ordenados por cada bachada (para $MR = 45 \text{ kg/cm}^3$)			
46.894	37.775	45.187	45.303
47.122	44.903	45.237	46.012
47.315	45.095	46.274	46.026
47.499	45.125	46.922	46.037
47.876	45.812	47.071	46.134
48.002	45.860	47.130	46.465
48.693	45.966	47.201	46.541
48.889	46.154	47.712	46.574
49.161	46.321	47.808	46.820
49.468	48.058	48.077	47.070
49.520	48.187	48.373	47.442
49.705	48.333	48.645	47.470
50.871	48.379	48.774	47.621
51.331	48.630	48.776	47.692
51.692	48.858	49.133	48.949
MEDIAS			
48.906	46.285	47.436	46.872
RANGOS			
4.798	11.084	3.945	3.646
$\bar{\bar{X}} = 47.375$	$\bar{\bar{R}} = 5.868$	LCS = 48.683	LCI = 46.066

Tabla 4.3. Cálculo de parámetros para construcción de las de cartas de control para MR ($MR = 45 \text{ kg/cm}^3$)

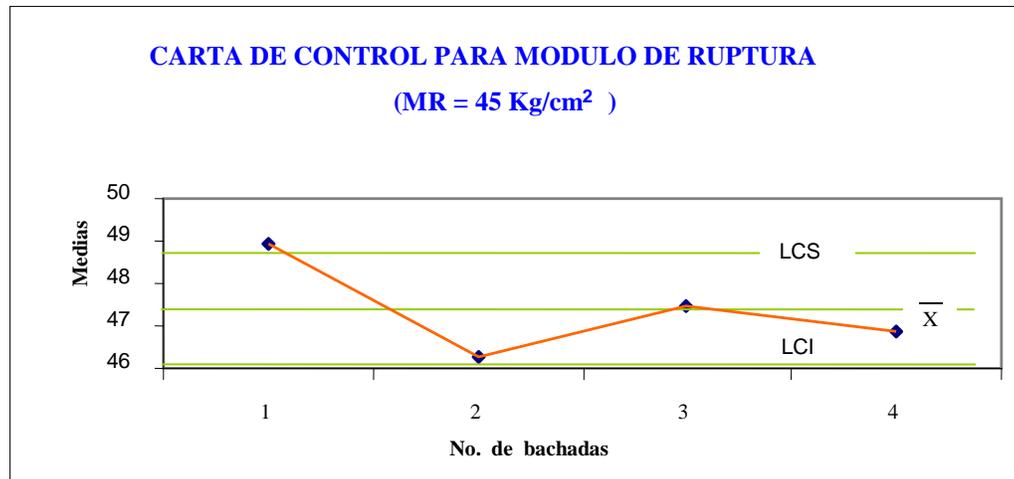


Fig. 4.3 Carta de Control para MR (MR = 45 kg/cm³)

No de Batchadas									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MR ordenados por cada batchada (para MR= 40 kg/cm³)									
39.966	40.571	41.216	40.491	40.851	39.851	38.455	40.604	42.825	40.100
43.532	44.854	43.199	41.256	41.161	40.902	39.599	40.714	43.580	40.453
43.987	45.228	44.795	41.373	41.623	40.978	40.390	41.051	44.342	40.633
45.195	45.692	45.977	41.522	41.630	41.421	42.677	41.106	46.180	42.159
45.447	45.803	45.981	42.857	45.809	44.470	43.119	47.859	46.730	43.356
48.693	47.112	46.396	44.526	46.445	45.977	44.624	49.770	47.419	43.522
MEDIAS									
44.470	44.877	44.594	42.004	42.920	42.266	41.477	43.517	45.179	41.704
RANGOS									
8.727	6.541	5.180	4.036	5.594	6.125	6.169	9.166	4.595	3.422
$\bar{X} = 43.301$		$\bar{R} = 5.955$		LCS = 46.177			LCI = 40.424		

Tabla 4.4 Cálculo de parámetros para construcción de las de cartas de control para MR (MR = 40 kg/cm³)

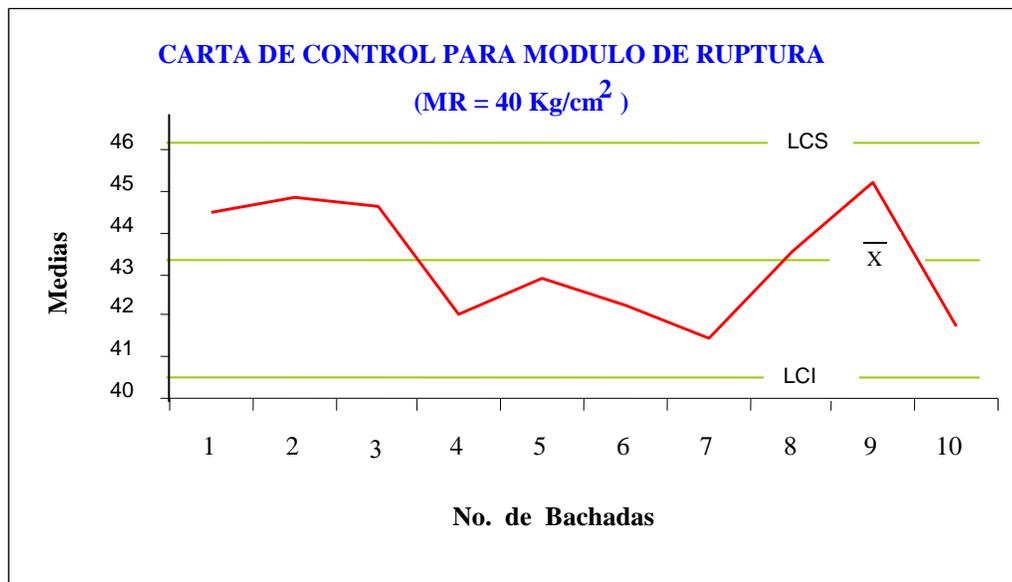


Fig. 4.4. Carta de Control para MR (MR = 40 kg/cm³)

4.4 Métodos Estadísticos utilizados para el Cálculo de la Correlación entre el Módulo de Ruptura y el Módulo de Elasticidad del concreto

4.4.1 Regresión

El objeto principal del análisis de regresión lineal es establecer una relación funcional entre dos variables relacionadas, tomando datos muestrales (aleatorios), que constituyen buenos estimadores de la correspondiente relación poblacional. Una vez que se ha establecido cuantitativamente esta relación en función de la otra, la variable cuyo valor se estima se denomina variable dependiente y la designaremos con la letra y , en tanto que la conocida o variable de entrada, se denomina variable independiente que se designa por la letra x .

Para establecer formalmente el problema, consideremos que se tienen n observaciones apareadas después de recolectada la serie bidimensional (pares de datos divariados) estos se llevan a un sistema de ejes coordenados; la variable independiente x se escribe en el eje de las abscisas, y la variable dependiente y en el eje de las ordenadas.

Al conjunto de puntos (x_i, y_i) que aparecen en la grafica se llama “**diagrama de dispersión**” y de acuerdo a la forma que tome dicho diagrama, así será la función (ecuación) que se utilizará.

A continuación, aparecen ejemplos de diversas relaciones, denominadas funciones o ecuaciones de predicción:

$$y_c = a + bx \quad \text{(ecuación de la línea recta)}$$

$$y_c = a + bx + cx^2 \quad \text{(ecuación de 2ª grado o cuadrática)}$$

$$y_c = ab^x \quad \text{(ecuación exponencial)}$$

$$y_c = ax^b \quad \text{(ecuación potencial)}$$

De acuerdo a la forma que tome el diagrama de dispersión, así será la función (ecuación) que se utilizará, de modo que describa adecuadamente la relación entre las variables.

Existen varios métodos para calcular la ecuación de regresión; sin embargo se utilizará el método de los mínimos cuadrados que es el matemáticamente más exacto.

Supongamos que $y = a + bx$, que es la ecuación de la línea recta, donde y_c representa el valor teórico de y_i o el valor estimado de y , que corresponde a un valor particular de x .

El criterio de mínimos cuadrados, requiere que encontremos las constantes a y b tales que $\sum (y_i - y_c)^2$ sea un mínimo (es decir, tienda a cero). Puede comprobarse que la suma de esas diferencias, sin elevarse al cuadrado se anulan, esto nos asegura que la línea que estamos ajustando en dichos valores es la de mejor ajuste. Las constantes a y b se llaman coeficientes de regresión; a es la intersección con el eje de las ordenadas Y, y b es la pendiente de la línea de mejor ajuste, es decir, la pendiente o coeficiente en una unidad de X. Calculando a y b queda determinada la ecuación.

Con un sistema de ecuaciones normales que se presentan a continuación y simultaneando ambas ecuaciones, podemos encontrar dichos valores:

$$\sum y = na + b\sum x$$

$$\sum xy = a\sum x + b\sum x^2$$

Donde:

n = el número de datos registrados.

$\sum xy$ = sumatoria del producto de x por y

$\sum x$ = sumatoria de los datos en x

$\sum x^2$ = sumatoria del cuadrado de x

Es bueno aclarar que con la ecuación de regresión sólo se pueden hacer interpolaciones, ya que la ecuación expresa funcionalmente la relación de las variables, pero, para pares ordenados comprendidos en el rango (dominio) en que se ha experimentado.

4.4.1.1. Cálculo de la Ecuación de Regresión por el Método de los Mínimos

Cuadrados.

Según el sistema de ecuaciones sugeridas en el numeral 4.4.1 de este capítulo para el cálculo de la ecuación de regresión, necesitamos calcular las columnas que presentamos en el siguiente cuadro:

No	x	y	xy	x ²
1	39.966	2.768E+05	11062721.45	1597.288627
2	43.532	2.938E+05	12789396.63	1895.004043
3	48.693	3.304E+05	16087858.35	2370.9953
4	45.195	3.039E+05	13736797.36	2042.570417
5	43.987	2.932E+05	12897428.96	1934.831435
6	45.447	3.220E+05	14635974.66	2065.40035
7	44.854	3.271E+05	14673148.25	2011.925455
8	45.228	3.040E+05	13750191.21	2045.597263
9	47.112	3.192E+05	15036591.22	2219.510941
10	45.803	3.101E+05	14204842.23	2097.959017
11	40.571	2.832E+05	11488008.26	1645.969147
12	45.692	3.050E+05	13934022.06	2087.728841
13	45.981	3.274E+05	15053583.13	2114.239418
14	46.396	3.154E+05	14632882.59	2152.567381
15	45.977	3.136E+05	14418473.29	2113.83985
16	43.199	2.852E+05	12321015.16	1866.180627
17	44.795	3.301E+05	14788120.75	2006.634398
18	41.216	2.728E+05	11244774.69	1698.771502
19	40.491	2.664E+05	10787429.52	1639.487395
20	42.857	2.878E+05	12333159.68	1836.734694
21	41.256	2.780E+05	11468025.04	1702.061213
22	44.526	3.004E+05	13375091.5	1982.600606
23	41.373	2.651E+05	10965951.81	1711.727138
24	41.522	2.771E+05	11503827.18	1724.11336
25	41.630	2.826E+05	11766414.84	1733.043801
26	45.809	3.028E+05	13869305.48	2098.49003
27	46.445	3.081E+05	14308484.29	2157.168804
28	40.851	2.856E+05	11668919.85	1668.838379
29	41.623	2.937E+05	12223727.7	1732.446522
30	41.161	2.737E+05	11267406.18	1694.251821

Tabla. 4.5 Datos para el cálculo de la ecuación de regresión. Continúa...

No	x	y	xy	x ²
31	45.977	3.026E+05	13911316.16	2113.83985
32	41.421	2.693E+05	11154432.49	1715.662437
33	39.851	2.731E+05	10883613.95	1588.141334
34	40.902	2.792E+05	11419428.59	1672.974284
35	44.470	3.015E+05	13407235.87	1977.583119
36	40.978	2.553E+05	10460870.07	1679.187739
37	42.677	2.724E+05	11627302.33	1821.331767
38	44.624	3.006E+05	13413357.53	1991.324911
39	38.455	2.651E+05	10194854.58	1478.777766
40	39.599	2.863E+05	11338863.44	1568.103124
41	40.390	2.856E+05	11534390.02	1631.320841
42	43.119	2.630E+05	11339148.67	1859.26697
43	41.106	2.878E+05	11830118.32	1689.71492
44	41.051	2.858E+05	11730792.37	1685.201727
45	40.604	3.002E+05	12190574.73	1648.658859
46	40.714	2.978E+05	12125275.79	1657.653061
47	47.859	3.287E+05	15733305.75	2290.515375
48	49.770	3.268E+05	16267265.59	2477.049311
49	47.419	3.033E+05	14381377.02	2248.595213
50	46.180	3.099E+05	14311998.56	2132.563473
51	46.730	3.132E+05	14636264.1	2183.664785
52	44.342	2.890E+05	12816970.9	1966.20137
53	42.825	2.854E+05	12223156.98	1833.959409
54	43.580	2.846E+05	12401354.84	1899.235169
55	43.356	2.849E+05	12354353.65	1879.764512
56	42.159	2.938E+05	12386328.95	1777.41448
57	40.453	2.578E+05	10427910.89	1636.407644
58	43.522	2.859E+05	12440860.13	1894.165579
59	40.633	2.883E+05	11716313.52	1651.033488
60	40.100	2.608E+05	10458722.19	1608.049079
61	40.217	2.792E+05	11228178.89	1617.383507
62	40.633	2.883E+05	11716313.5	1651.033488
63	47.876	3.253E+05	15573865.1	2292.119367
64	48.707	3.259E+05	15875822.0	2372.40866
65	48.693	3.257E+05	15859534.8	2370.9953
66	46.894	3.380E+05	15849747.7	2199.049324
67	51.692	3.428E+05	17721277.0	2672.046328
68	48.002	3.276E+05	15726856.3	2304.16728
69	47.122	3.154E+05	14864070.8	2220.495078
70	49.705	3.441E+05	17101952.6	2470.553909
71	47.315	3.164E+05	14972266.0	2238.680674
72	47.499	3.283E+05	15595194.8	2256.165111

No	x	y	xy	x ²
73	49.468	3.445E+05	17041890.6	2447.092613
74	51.331	3.480E+05	17860943.0	2634.921774
75	48.889	3.383E+05	16540692.1	2390.123457
76	50.871	3.444E+05	17519122.8	2587.882259
77	49.520	3.153E+05	15614001.9	2452.262838
78	48.058	3.303E+05	15875095.8	2309.608303
79	46.154	3.266E+05	15073593.0	2130.177515
80	48.333	3.277E+05	15837556.2	2336.111111
81	45.966	3.238E+05	14883650.3	2112.879268
82	45.812	3.007E+05	13776407.7	2098.698205
83	45.125	3.156E+05	14240110.8	2036.295337
84	48.630	3.263E+05	15868061.5	2364.88055
85	45.095	3.043E+05	13724573.6	2033.587545
86	48.379	3.464E+05	16758637.4	2340.500501
87	44.903	3.043E+05	13664142.2	2016.299688
88	48.187	3.580E+05	17251945.1	2321.9838
89	47.140	3.466E+05	16337441.6	2222.186316
90	45.860	3.348E+05	15352783.5	2103.127916
91	48.858	3.482E+05	17011894.2	2387.133945
92	37.775	2.716E+05	10258146.9	1426.928807
93	45.237	3.391E+05	15338600.3	2046.408264
94	48.645	3.402E+05	16548701.7	2366.351717
95	47.712	3.389E+05	16169291.1	2276.47486
96	45.187	3.062E+05	13835440.8	2041.902513
97	47.071	3.015E+05	14192280.4	2215.719998
98	46.274	3.493E+05	16161983.2	2141.258178
99	47.130	3.483E+05	16414975.9	2221.264147
100	48.776	3.488E+05	17014744.7	2379.087455
101	48.077	3.135E+05	15070749.0	2311.390533
102	46.922	3.250E+05	15250619.9	2201.694479
103	48.373	3.338E+05	16144478.7	2339.903256
104	47.201	3.081E+05	14540288.3	2227.905935
105	47.808	3.332E+05	15931274.4	2285.561089
106	48.000	3.413E+05	16380953.8	2304
107	49.133	3.641E+05	17887293.2	2414.019613
108	47.692	3.299E+05	15734315.3	2274.556213
109	47.621	3.386E+05	16126682.4	2267.759769
110	47.442	3.342E+05	15853789.0	2250.767197
111	47.051	3.276E+05	15413620.4	2213.823143
112	46.037	3.035E+05	13972214.5	2119.395468
113	46.026	3.203E+05	14744078.6	2118.359632
114	45.303	3.003E+05	13606902.4	2052.406813

Tabla. 4.5 Datos para el cálculo de la ecuación de regresión. Continúa...

No	x	y	xy	x ²
115	46.541	3.154E+05	14678483.6	2166.04645
116	47.470	3.319E+05	15755819.5	2253.35706
117	46.134	3.134E+05	14457684.4	2128.384375
118	46.820	3.163E+05	14810324.7	2192.118436
119	46.012	3.091E+05	14220668.6	2117.11148
120	46.574	3.108E+05	14472861.8	2169.123614
121	46.465	3.396E+05	15779267.3	2159.004478
122	47.070	3.251E+05	15300457.9	2215.563386
123	48.949	3.475E+05	17009445.3	2396.018824
124	46.012	3.342E+05	15378585.6	2117.11148
125	46.465	3.193E+05	14834872.2	2159.004478
126	46.037	3.119E+05	14359435.3	2119.395468
127	46.026	3.115E+05	14339206.9	2118.359632
TOTAL	5752.059	3.94E+07	1793717495	261703.7286

Tabla. 4.5 Datos para el cálculo de la ecuación de regresión.

Sustituyendo en las ecuaciones normales:

$$\sum y = na + b\sum x$$

$$\sum xy = a\sum x + b\sum x^2$$

$$3.94E+07 = (127) a + b 5752.059$$

$$1793717495 = 5752.059 a + b 261703.7286$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones por el método de suma y resta, vamos a eliminar la constante a , multiplicando la primera ecuación por 127 y la segunda por -5752.059:

$$3.94E+07 = (127) a + b 5752.059 \quad (127)$$

$$1793717495 = 5752.059 a + b 261703.7286 \quad (- 5752.029)$$

$$2.27E+11 = 730511.43563 + b 3086177.54$$

$$\underline{2.27802E+11 = - 730511.4356 - b 33236373.53}$$

$$1.07E+09 = 0 - b 150195.9874$$

$$b = \frac{-1.07 E + 09}{-150195.9874}$$

$$b = 7.14E+03$$

Para encontrar el valor de a , sustituimos el valor de b encontrado en cualquiera de las ecuaciones originales; sustituyamos $b = 7.14E+03$

$$1793717495 = 5752.059 a + b 261703.7286$$

$$1793717495 = 5752.059 a + (7.14E+03) 261703.7286$$

$$1793717495 = 5752.059 a + 1868564622.2$$

$$a = \frac{-74847127.2}{5752.059}$$

$$a = - 13012.23$$

Finalmente, la ecuación de regresión queda así:

$$y = -13012 + 7140 x$$

La línea recta que aparece cruzando el diagrama de dispersión, se traza calculando, con esta ecuación cada uno de los puntos.

4.4.2 Correlación

Ya hemos dicho anteriormente, que la correlación mide la intensidad o fuerza con que están relacionadas las variables, y será medida a través del coeficiente r de correlación; en esta sección estudiaremos como calcular el coeficiente de correlación.

Vale la pena mencionar en este momento, la íntima relación que guarda la regresión y correlación, ya que entre mayor sea el valor del coeficiente de correlación r , mayor será la utilidad de la ecuación de regresión para hacer estimaciones de la variable dependiente y en función de la variable independiente x ; y viceversa.

4.4.2.1 Tipos de correlación

1. Atendiendo al número de variables estudiadas, la correlación puede ser

Correlación Simple: Cuando se estudia el grado de asociación o dependencia entre dos variables.

Correlación Múltiple: Cuando se estudia el grados de asociación entre tres o más variables; una de ellas es dependiente y el resto son independientes.

Correlación Parcial: En el caso de correlación múltiple, la cuantificación del grado de asociación neta entre dos variables, una vez que se elimina estadísticamente la influencia de las otras variables independientes.

2. Atendiendo a la relación que existe entre las variables

Correlación Directa o Positiva: Se da cuando por aumentos en la variable independiente ocurren también aumentos en la independiente; o si disminuye la variable independiente, ocurren disminuciones en la variable dependiente.

Correlación, inversa o negativa: Se da cuando por aumentos en la variable independiente ocurren disminuciones en la variable dependiente y viceversa.

Para nuestro caso estudiaremos la correlación simple y directa, ya que la primera se refiere al grado de asociación o dependencia entre dos variables; y la segunda se refiere a cuando por aumentos en una variable ocurren aumentos en la otra.

El coeficiente r de correlación toma valores entre 0 y 1 para la positiva, y entre 0 y -1 para la inversa o negativa. Un valor de $r = 1$ ó $r = -1$ se interpreta diciendo que existe correlación perfecta entre las variables, en forma positiva o negativa respectivamente. Un valor de $r = 0$ significa que no existe ninguna relación entre las variables, se puede decir que entre más se acerca el valor de r a 1 más asociación existe entre las variables y entre más se acerque a cero menos relación hay entre las variables.

Véase las siguientes figuras:

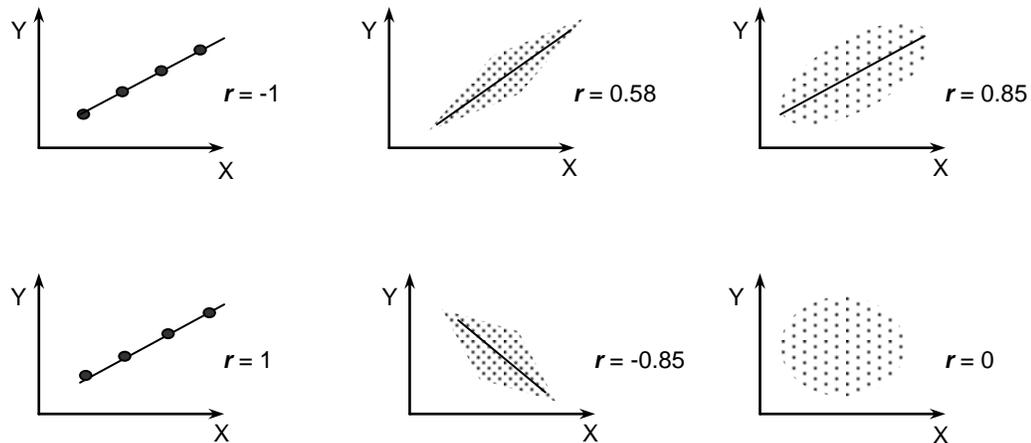


Fig. 4.5. Diagramas de dispersión que muestran varios grados de relación entre dos variables.
Fuente: Probabilidad y Estadística para Ingenieros. Irwin Miller ,John E. Freund

En muchos problemas estadísticos, sólo se han estudiado dificultades en que se suponía conocida sin error la variable (o variables) independientes. Aunque esto es cierto en muchos casos experimentales, existen también problemas donde tanto las x como las y se tienen que suponer como variables aleatorias. Este sería el caso, en los que se supone que los puntos dados (x_i, y_i) para $i = 1, 2, \dots, n$, son valores de un par de variables aleatorias cuya función esta dada por $f(x, y)$, y reciben el nombre de problemas de análisis de correlación.

Ahora, para determinar la correlación entre el MR y Ec del concreto, tendremos que suponer ambas variables como aleatorias de acuerdo a la teoría expuesta anteriormente.

El coeficiente de correlación muestral r se emplea siempre para medir la fuerza de la tendencia de una relación lineal exhibida por datos de la muestra, aunque estos datos no provengan necesariamente de una población normal bivariante.

La forma en que se determina la correlación por el Método Producto – Momento de K Pearson de una muestra será la siguiente. Dada una muestra aleatoria de tamaño n - esto es, n pares de valores (x_i, y_i) - se estima comúnmente r por medio del Coeficiente de Correlación muestral.

$$r = \frac{C}{\sqrt{A \times B}}$$

Donde:

$$A = n \sum_{i=1}^n x^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2$$

$$B = n \sum_{i=1}^n y^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2$$

$$C = n \sum_{i=1}^n xy - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) * \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)$$

4.4.2.2 Cálculo del coeficiente de correlación por el Método Producto – Momento de Karl Pearson.

Puede observarse en la fórmula, que teniendo las columnas que se necesitan para calcular la ecuación de regresión, y agregando nada más la columna de los cuadrados de la variable dependiente y , se tiene la información necesaria para calcular el valor r .

No	y^2	No	y^2	No	y^2	No	y^2
1	7.662E+10	33	7.459E+10	65	1.061E+11	97	9.091E+10
2	8.632E+10	34	7.795E+10	66	1.142E+11	98	1.220E+11
3	1.092E+11	35	9.090E+10	67	1.175E+11	99	1.213E+11
4	9.238E+10	36	6.517E+10	68	1.073E+11	100	1.217E+11
5	8.597E+10	37	7.423E+10	69	9.950E+10	101	9.826E+10
6	1.037E+11	38	9.035E+10	70	1.184E+11	102	1.056E+11
7	1.070E+11	39	7.028E+10	71	1.001E+11	103	1.114E+11
8	9.243E+10	40	8.199E+10	72	1.078E+11	104	9.490E+10
9	1.019E+11	41	8.155E+10	73	1.187E+11	105	1.110E+11
10	9.618E+10	42	6.915E+10	74	1.211E+11	106	1.165E+11
11	8.018E+10	43	8.283E+10	75	1.145E+11	107	1.325E+11
12	9.300E+10	44	8.166E+10	76	1.186E+11	108	1.088E+11
13	1.072E+11	45	9.014E+10	77	9.942E+10	109	1.147E+11
14	9.947E+10	46	8.869E+10	78	1.091E+11	110	1.117E+11
15	9.835E+10	47	1.081E+11	79	1.067E+11	111	1.073E+11
16	8.135E+10	48	1.068E+11	80	1.074E+11	112	9.211E+10
17	1.090E+11	49	9.198E+10	81	1.048E+11	113	1.026E+11
18	7.443E+10	50	9.605E+10	82	9.043E+10	114	9.021E+10
19	7.098E+10	51	9.810E+10	83	9.958E+10	115	9.947E+10
20	8.281E+10	52	8.355E+10	84	1.065E+11	116	1.102E+11
21	7.727E+10	53	8.147E+10	85	9.263E+10	117	9.821E+10
22	9.023E+10	54	8.098E+10	86	1.200E+11	118	1.001E+11
23	7.025E+10	55	8.120E+10	87	9.260E+10	119	9.552E+10
24	7.676E+10	56	8.632E+10	88	1.282E+11	120	9.657E+10
25	7.989E+10	57	6.645E+10	89	1.201E+11	121	1.153E+11
26	9.166E+10	58	8.171E+10	90	1.121E+11	122	1.057E+11
27	9.491E+10	59	8.314E+10	91	1.212E+11	123	1.208E+11
28	8.159E+10	60	6.802E+10	92	7.375E+10	124	1.117E+11
29	8.625E+10	61	7.795E+10	93	1.150E+11	125	1.019E+11
30	7.493E+10	62	8.314E+10	94	1.157E+11	126	9.729E+10
31	9.155E+10	63	1.058E+11	95	1.148E+11	127	9.706E+10
32	7.252E+10	64	1.062E+11	96	9.375E+10		

Tabla 4.6 Datos para el calculo de coeficiente de correlación.

$$\sum y^2 = 1.231E+13$$

$$A = 127 (261703.7286) - (5752,059)^2 = 1.50E+05$$

$$B = 127 (1.231E+13) - (3,94E+07)^2 = 1.01E+13$$

$$C = 127 (1793717495) - (5752,059)(3,94E+07) = 1.07E+09$$

$$r = \frac{1.07SE + 09}{\sqrt{1.50E + 05 \times 1.01E + 13}}$$

$$r = 0.87$$

CORRELACION MODULO DE ELASTICIDAD - MODULO DE RUPTURA.

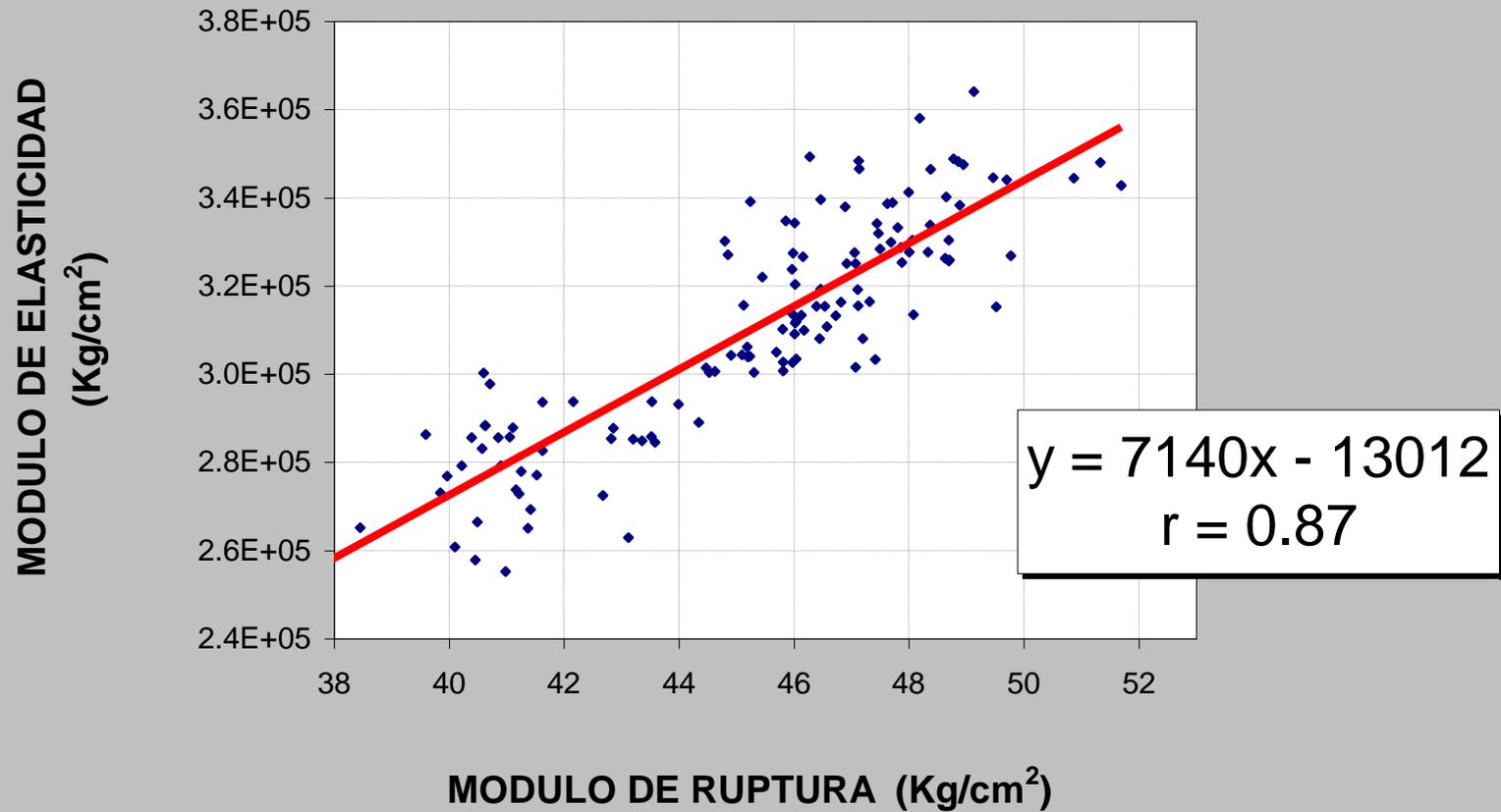


Fig. 4.8 Grafico de correlación Módulo de Ruptura - Módulo de Elasticidad.

4.5 Cálculo de diseño de espesores de pavimentos de concreto hidráulico.

Para el cálculo de los espesores de pavimentos de concreto hidráulico, nos auxiliamos de un software de computadora, el cual nos proporciona de manera directa el peralte de losa.

Los datos utilizados para la obtención de dicho espesor fueron valores hipotéticos, que nos sirvieron para poder comparar los resultados.

Se utilizó la relación obtenida con materiales en condiciones locales y la relación que recomienda AASHTO y se mantuvieron constantes los otros factores que intervienen para el cálculo, dándonos como resultados valores similares.

Seguidamente se presentan los valores del Módulo de Elasticidad obtenidos al evaluarlos en las ecuaciones.

- Con la ecuación proporcionada por AASHTO ($E_c = 6750 MR$), y para un $MR = 40$ kg/cm^2 (568 psi), se obtuvieron valores de $E_c = 3,834,000$ psi
Calculando el E_c a través de la ecuación determinada en el presente estudio ($E_c = 7140 MR - 13012$) para un $MR = 40$ kg/cm^2 (568 psi), obtenemos $E_c = 2.73 \text{ E}+05$ kg/cm^2 (3,876,600 psi).
- Al evaluar un $MR = 45$ Kg./cm^2 (639 psi) en la ecuación proporcionada por AASHTO obtenemos:

$$E_c = 4,313,250 \text{ psi}$$

Calculando el E_c a través de la ecuación determinada en el presente estudio para:

$$MR = 45 \text{ kg/cm}^2 \text{ (639 psi)}$$

$$E_c = 3.08 \text{ E} + 05 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (4,373,600 psi)}.$$

Al comparar los espesores de pavimentos obtenidos, con los Módulos de Elasticidad de ambas ecuaciones, notamos que se obtiene una diferencia de 0.02 pulg. de espesor.

A continuación se presentan las hojas de los resultados proporcionados por el software de computadora:

02-23-2004

State: El salvador C.A.

Job Number: 1/4

Agency:

Company:

Location: Ejemp. Influencia Mr-Ec
Datos de Ec Segun estudio

Contractor: _____

Engineer: AMA,EYM,VMM

Análisis Rigid

Pavement Depth:	9.57	inches
Desing E 18 ` s	20,000,000	
Reliability:	85	percent
Overall Deviation:	0.35	
Modulus de Rupture:	568.0	psi
Modulus de Elasticity:	3,876,600	psi
Load Transfer J:	3.4	
Mod. of Subgrade Reaction:	1,238	psi/in
Drainage Coefficient:	1.10	
Initial Serviciability:	4.50	
Terminal Serviciability:	2.25	
For k Determination		
• Resilient Mod. Subgrade:	12,392	psi
• Resilient Mod. Base:	750,000	psi
• Base Thickness:	8.0	inches
• Dept. to Rigid Fouendation:	∞	> 10 feet
• Loss of Support Value:	0	

Resultados de Superficie de espesores para Pavimentos de Concreto Hidráulico utilizando el Módulo de Elasticidad obtenida de la correlación recomendado por la ASSTHO, para un Módulo de Ruptura = 568 psi (40 kg/cm²)

02-23-2004

State: El salvador C.A.

Job Number: 1/4

Agency:

Company:

Location: Ejemp. Influencia Mr-Ec

Datos de Ec Segun AASTHO

Contractor:

Engineer: AMA,EYM,VMM

Análisis Rigid

Pavement Depth:	9.55	inches
Desing E 18 ` s	20,000,000	
Reliability:	85	percent
Overall Deviation:	0.35	
Modulus de Rupture:	568.0	psi
Modulus de Elasticity:	3,834,000	psi
Load Transfer J:	3.4	
Mod. of Subgrade Reaction:	1,238	psi/in
Drainage Coefficient:	1.10	
Initial Serviciability:	4.50	
Terminal Serviciability:	2.25	
For k Determination		
• Resilient Mod. Subgrade:	12,392	psi
• Resilient Mod. Base:	750,000	psi
• Base Thickness:	8.0	inches
• Dept. to Rigid Fouendation:	∞	> 10 feet
• Loss of Support Value:	0	

Resultados del diseño de espesores para Pavimentos de Concreto Hidráulico utilizando el Módulo de Elasticidad obtenido de la correlación propuesta por este Trabajo de Graduación , para un Módulo de Ruptura = 568 psi (40 kg/cm²)

State: El salvador C.A.

Job Number: 1/4

Agency:

Company:

Location: Ejemp. Influencia Mr-Ec
Datos de Ec Segun estudio

Contractor:

Engineer: AMA,EYM,VMM

Análisis Rigid

Pavement Depth:	8.97	inches
Desing E 18 ` s	20,000,000	
Reliability:	85	percent
Overall Deviation:	0.35	
Modulus de Rupture:	639.0	psi
Modulus de Elasticity:	4,373,600	psi
Load Transfer J:	3.4	
Mod. of Subgrade Reaction:	1,238	psi/in
Drainage Coefficient:	1.10	
Initial Serviciability:	4.50	
Terminal Serviciability:	2.25	
For k Determination		
• Resilient Mod. Subgrade:	12,392	psi
• Resilient Mod. Base:	750,000	psi
• Base Thickness:	8.0	inches
• Dept. to Rigid Fouendation:	∞	> 10 feet
• Loss of Support Value:	0	

Resultados del diseño de espesores para Pavimentos de Concreto Hidráulico utilizando el Módulo de Elasticidad obtenida de la correlación recomendado por la ASSTHO, para un Módulo de Ruptura = 639 psi (45 kg/cm²)

02-23-2004

State: El salvador C.A.

Job Number: 1/4

Agency:

Company:

Location: Ejemp. Influencia Mr-Ec

Datos de Ec Segun AASTHO

Contractor:

Engineer: AMA,EYM,VMM

Análisis Rigid

Pavement Depth:	8.55	inches
Desing E 18 ` s	20,000,000	
Reliability:	85	percent
Overall Deviation:	0.35	
Modulus de Rupture:	639.0	psi
Modulus de Elasticity:	4,313,250	psi
Load Transfer J:	3.4	
Mod. of Subgrade Reaction:	1,238	psi/in
Drainage Coefficient:	1.10	
Initial Serviabiability:	4.50	
Terminal Serviabiability:	2.25	
For k Determination		
• Resilient Mod. Subgrade:	12,392	psi
• Resilient Mod. Base:	750,000	psi
• Base Thickness:	8.0	inches
• Dept. to Rigid Fouendation:	∞	> 10 feet
• Loss of Support Value:	0	

Resultados del diseño de espesores para Pavimentos de Concreto Hidráulico utilizando el Módulo de Elasticidad obtenido de la correlación propuesta por este Trabajo de Graduación , para un Módulo de Ruptura = 639 psi (45 kg/cm²)

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 Introducción.

En la elaboración de cualquier trabajo de graduación se incluyen diferentes etapas que lo conforman, y cada una de ellas contiene un propósito específico. En el presente capítulo figura el contenido de la última etapa de esta investigación, como lo son las conclusiones y recomendaciones, en donde se desglosa en forma general los pormenores obtenidos en las distintas etapas así como las correspondientes recomendaciones del caso.

5.2 Conclusiones.

1. El examen por malla practicado en el agregado grueso de tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ ", cumple con los requerimientos de la norma ASTM C 33, en consecuencia resulta apropiado el uso de estos para los fines del presente trabajo.
2. La granulometría obtenida en el análisis por malla del agregado fino queda inscrita dentro de los límites establecidos en la norma ASTM C 33, por otra parte el Módulo de Finura que se registra en esta granulometría es de **2.7**, siendo aceptable su magnitud por encontrarse dentro del rango establecido por la norma:
 $2.3 < MF < 3.1$.

3. El ensayo de desgaste del agregado grueso suministró un resultado cuyo valor como porcentaje en peso fue de **17%**, mismo que es inferior al 50% al establecido por las especificaciones de la SIECA.
4. La sumatoria del porcentaje de partículas planas y alargadas en la grava ensayada: fue **3**, este valor esta dentro del límite que se especifica en la norma ASTM C 33, el cual es de 3%.
5. El resultado obtenido para la sanidad del agregado grueso sumergido en sulfato de sodio fué de **6%**, siendo menor al prescrito por la norma ASTM C-33, en donde se establece el 12 % como valor máximo permitido.
6. La reducción del tamaño de las partículas de agregado fino, constatado en el análisis granulométrico después de 5 ciclos de inmersión en sulfato de sodio. El resultado obtenido fue de **8%**, siendo menor del 10 % que establece la norma ASTM C 33
7. La gravedad específica obtenida en el ensayo de nuestro agregado grueso fué **2.67**, valor que guarda similitud con los resultados que se han obtenido en otras fuentes de agregado al interior del país, por ejemplo: Canteras de Aramuaca, Ateos y Panchimalco, expuesto en la Tesis “Estudio de la calidad de los agregados para concreto en las canteras más importantes de El Salvador parte II”.

8. La gravedad específica del agregado fino fué **2.317**, el cual es parecido con los resultados obtenidos en las mismas fuentes de agregado, expuestos en la Tesis “Estudio de la calidad de los agregados para concreto en las canteras más importantes de El Salvador parte II”, por lo que se corrobora, dicho valor.
9. El peso volumétrico del agregado grueso estudiado es de **1418.66 Kg/m³**, valor que se encuentra incluido en el rango (1200 - 1760 Kg/m³). sugerido para agregados de peso normal por diversos textos que tratan sobre tecnología del concreto.
10. Los colores N° **1 y N° 2** que se obtuvieron en el ensayo de Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino son mas claros que el color estándar N° 3, asignado por la norma ASTM C33, lo que supone que la arena contiene sólo una proporción inocua de impurezas orgánicas, por lo que la hace adecuada para elaborar concreto.
11. La absorción de los agregados es una característica física, de donde se infiere que cada agregado tiene sus propias particularidades dependientes de factores que condiciona su valor numérico, como por ejemplo su porosidad; por tal razón no es posible enmarcar dentro de un rango definido el resultado de nuestro ensayo.

12. Se ha observado que el Módulo de Elasticidad del concreto aumenta en proporción a la humedad que este posee, contrario a lo que ocurre con la resistencia a la compresión, la cual disminuye con el aumento de humedad en la probeta.
13. Una característica importante que se observa en los resultados a compresión y tensión por flexión del concreto, se refiere, al aumento sustancial que exhibe en su resistencia, a medida que aumenta su peso volumétrico.
14. Al elaborar las Cartas de Control se verificó que ningún valor presentó anomalías como puntos fuera de control, corridas, tendencias, periodicidad y adhesión a los límites de control.
15. La ecuación que resulta del análisis de regresión que involucra los Módulos de Elasticidad y Ruptura es **$E_c = 7140 MR - 13012$** . (**Kg/cm^2**).
16. La expresión anterior es aceptada cuando se verifica el grado de relación que existe entre los Módulos de Elasticidad y Módulo de Ruptura, calculando el coeficiente de correlación “r”, cuyo valor fue **0.85**, mismo que se ajusta a los valores considerados aceptables según los textos versados en estadística.

17. Al calcular en la ecuación anterior para un $MR = 40 \text{ kg/cm}^2$ y $MR = 45 \text{ kg/cm}^2$, se obtuvo valores de $E_c = 2.72 \text{ E}+05 \text{ kg/cm}^2$ y $E_c = 3.08 \text{ E}+05 \text{ kg/cm}^2$, respectivamente.

18. Al evaluar el Módulo de Ruptura en la correlación establecida en el presente Trabajo de graduación puede observarse, que los resultados dejan ver similitud con la evaluación del Módulo de Ruptura obtenido a partir de la correlación publicada en 1993 por AASTHO: $E_c = 6750 MR$.

19. Del ítems anterior puede inferirse el hecho de obtener una diferencia de espesores mínimo (0.002 pulg), cuando se diseñan espesores de pavimento de concreto hidráulico, utilizando las ecuaciones que involucran los módulos en estudio indistintamente y, manteniendo constante el resto de factores involucrados en tal diseño.

5.3 Recomendaciones.

1. Para determinar la calidad de los agregados debe tomarse en cuenta el uso que se les dará; para nuestro caso particular, serán utilizados en pavimentos de concreto hidráulico. Por lo que fue necesaria la escogitación adecuada de las pruebas de laboratorio como: granulometría, resistencia al desgaste, partículas planas y alargadas, entre otras, que reflejen más cercanamente la respuesta que éstos darán en condiciones de trabajo.
2. En cuanto a los especímenes de concreto, desde el momento en que son compactados y enrasados es conveniente cubrirlos con bolsas de papel húmedas o cubiertas plásticas, evitando de esta manera las pérdidas de humedad y así poder obtener resultados más favorables, principalmente en la determinación de Módulo de Ruptura.
3. En concretos con revenimientos bajos se debe aplicar los tiempos máximos permitidos en el vibrado para minimizar el apareamiento de colmenas u oquedades en el espécimen.
4. Verificar periódicamente que todos los componentes que se utilizaran en la elaboración de mezclas, se encuentren en condiciones similares a las supuestas en los cálculos del diseño de mezclas, por ejemplo: granulometría, humedad,

absorción, pesos volumétricos entre otras, con el fin de no alterar significativamente la calidad esperada del concreto.

5. Es necesario tener en cuenta las condiciones de humedad en los agregados con la cual se elabora el diseño de mezclas, ya que esto influye en las cantidades de cada material que conforman la unidad volumétrica de diseño (1m^3), esto es: puede diseñarse en función de los pesos específicos de los agregados en condición saturada superficialmente seca, húmeda o seca.
6. Debe tenerse en cuenta la necesidad de actualizar periódicamente la normativa que se emplea como apoyo técnico en la aprobación o rechazo de los diferentes ensayos practicados en el área de tecnología de concreto, ya que ocasionalmente se producen variaciones sustanciales que pueden afectar el resultado de la pruebas realizadas.
7. El Módulo de Ruptura puede ser obtenido de dos formas, carga concentradas al centro, y cargas concentradas en los $2/3$ de claro de la viga; es recomendable determinar el Módulo de Ruptura como lo sugiere la segunda forma, debido a que el diagrama de momento se extiende en mas longitud a lo largo de la viga, propiciando un diagrama de esfuerzo mas uniforme que con el otro método.

8. Se recomienda, la utilización de las Cartas de Control para la escogitación de los datos que servirían de base en la determinación de la correlación de los Módulos de Elasticidad y Módulo de Ruptura, expuesta en la Practica Recomendada para la Evaluación de Resistencia de las Pruebas de Concreto (ACI 214-77)
9. En futuros estudios se recomienda hacer pruebas de dosificación variando las características de los componentes del concreto, por ejemplo utilizando agregados de diferentes canteras y cementos con otras propiedades, así como también realizar mezclas de diferentes resistencias, para disponer con una mayor cantidad de parámetros de comparación.
10. Se recomienda para los próximos estudios de esta correlación, determinar el Módulo de Elasticidad con ensayos no destructivos para verificar la magnitud de éste respecto del obtenido con métodos convencionales (ensayos destructivos).
11. Debe tomarse en cuenta que la ecuación obtenida es solamente un método de tantos que existen, para la determinación del Módulo de Elasticidad a partir de un dato conocido y de manera indirecta; ejemplo de lo anterior puede ser determinar el Módulo de Elasticidad a partir de la resistencia a la compresión del concreto.

12. Finalmente, se recomienda el empleo de esta correlación principalmente para cálculos relacionados con el diseño de pavimentos y, de manera secundaria en otras aplicaciones de la tecnología del concreto, debido a las características de los materiales utilizados.

BIBLIOGRAFIA

☞ ANUAL BOOK OF ASTM ESTÁNDAR, 2003. VOL. 04.03 ROAD AND PAVING MATERIALS; PAVEMENTS MANAGENT TECHNOLOGIES.

Traducción libre: Ing. Ricardo Burgos Oviedo. Laboratorio ISCYC, septiembre 2003.

- ☞ Practica Estándar para reducción de las Muestras de Agregado al Tamaño de Prueba. ASTM C 702-01
- ☞ Método de Ensayo Estándar para Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado. ASTM 566 - 97
- ☞ Método de Ensayo Estándar para Análisis por Malla de Agregados Grueso y Fino. ASTM C136-01
- ☞ Método de la Prueba Normal para Resistencia al Desgaste de Agregado Grueso de Tamaño Pequeño por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles. ASTM C 131 – 03.
- ☞ Método estándar para la Sanidad de Agregados Usando Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio. ASTM C-88- 99^a.
- ☞ Método estándar para la Prueba de Partículas Planas o Alargadas en Agregado Grueso. ASTM D4791-89
- ☞ Método de Ensayo Estándar para Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino para Concreto. ASTM C 40 – 99
- ☞ Método de Ensayo Estándar para Densidad Bruta (Peso Unitario) y Vacíos en los Agregados. ASTM C 29 / C 29M – 97.
- ☞ Método de Ensayo Estándar para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), y Absorción del Agregado Grueso. ASTM C 127 – 01
- ☞ Método de Ensayo Estándar para Gravedad Especifica y Absorción del Agregado Fino ASTM Designación C 128 - 00
- ☞ Consistencia Normal y Tiempo de Fraguado Inicial del Cemento por medio de las Agujas de Vicat. ASTM Designación C.187 y ASTM C 191.

- ⌘ Método de prueba estándar para revenimiento de concreto de cemento hidráulico. ASTM Designación C143/C143M - 00
- ⌘ Práctica Normalizada para la Elaboración y Curado en el Campo de Especímenes de Prueba de Concreto. ASTM C 192-91
- ⌘ Práctica Estándar para Uso de Tapas no Adheridas en la Determinación del Esfuerzo de Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido. ASTM C 1231-00
- ⌘ Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto. ASTM C39/C39M-01
- ⌘ Método Normal de Prueba para Obtener el Módulo de Elasticidad y la Relación de Poisson en Concreto a Compresión ASTM C 469-02
- ⌘ Método de Ensayo Estándar para la Resistencia a Flexión del Concreto (Usando Viga Simplemente apoyada con carga en los tercios medios del claro). ASTM C 78 – 02.

📄 APUNTES DE CLASES DE LA MATERIA DE METODOS EXPERIMENTALES.

Ciclo I, 1998. UES.

📄 APUNTES DE CLASES DE LA MATERIA DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.

Catedrático: Ing. Edgar Alfredo Gaviria Paredes.

Ciclo II 2001, UES

📄 CURSO SOBRE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO.

División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería de la Universidad

Autónoma de México con la colaboración de ASIA. San Salvador .septiembre de

1999

☰ CURSO SOBRE PAVIMENTOS DE CONCRETO

San Salvador, 22 a 26 de marzo de 1999

IECA. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones.

☰ CURSO SOBRE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO

Ing. Carlos Quintanilla. ISCYC.

San Salvador, abril 2002

☰ DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PISOS Y PAVIMENTOS DE CONCRETO

Version en español ACI 302 Guie for Concrete Floor and Slabes Contruction &

ACI 360 Desing of Labels on Grade. ACI PERUANO

☰ DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO

Steven h. Kosmatka y Willian C. Panarese

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C

Primera Edición. 1992.

☰ EFECTO DEL PORCENTAJE DE AIRE Y LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.

Edgar Alfredo Gavidia Paredes.

Tesis UES, Abril. 1997.

☰ ESTUDIO DEL CONCRETO CON ALTA RESISTENCIA A LA AGRESION PROVOCADA POR LA CONTAMINACION DEL MEDIO AMBIENTE (PARTE II)

Alberto Santos Fernando.

Tesis UES, Agosto 1995.

ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO EN LAS CANTERAS MAS IMPORTANTES DE EL SALVADOR.

Henry Alexander Berrios, Hugo Ernesto Alfaro y Julio Cesar montes Molina.
Tesis UES, 1999.

FABRICACION DEL CONCRETO

Ingenieros Civiles Asociados, S.A
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C

MANUAL DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO SECCIÓN 1

Comisión Federal de Electricidad
Limusa Noriega E, Primera Edición.
1994.

MANUAL DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO SECCIÓN 2

Comisión Federal de Electricidad
Limusa Noriega E, Primera Edición.
1994.

MANUAL DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO SECCIÓN 3

Comisión Federal de Electricidad
Limusa Noriega E, Primera Edición.1994.

MANUAL DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO SECCIÓN 4

Comisión Federal de Electricidad
Limusa Noriega E, Primera Edición.
1994.

☞ MANUAL CENTROAMERICANO DE MANTENIMIENTO DE CARRETERAS
ALCANTARILLAS Y PUENTES.

Secretaria Permanente del Tratado General de Integración Económica
Centroamericana

☞ PRACTICA RECOMENDADA PARA LA EVALUACIÓN DE RESISTENCIA
DE LAS PRUEBAS DE CONCRETO (ACI 214-77)

Reaprobado 1989.

☞ PROPUESTA DE LA TECNICA DEL CEPILLADO, PARA LA
REHABILITACION DE LA CARRETERA PANAMERICANA DESDE LA
CUCHILLA HASTA EL DESVIO A CIUDAD ARCE (Km 22-35) QUE
CONDUCE AL DEPARTAMENTO DE SANTA ANA.

Boris Antonio Gonzáles Miranda.

Tesis UES, Enero 2003.

☞ PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA

Ronald E. Walpole Raymond H. Myers

Editorial McGRAW – HILL

Tercera edición en español.

☞ PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA PARA INGENIEROS.

Irwin Miller, John E. Freund

Editorial Reverté Mexicana, S. A.

Primera edición en español. 1980.

ANEXOS



1. Pesado del agregado grueso y fino.



2. Colocación del agregado en la tolva.



3. Ensayo de Revenimiento utilizando el cono de Abrams.



4. Colocación de concreto en los moldes para vigas.



5. Vibrado del concreto en moldes.



6. Vigas con acabado final e identificación.

Anexo IA. Fotografías correspondientes a especímenes prismáticos.



7. Vigas en pilas de curado.



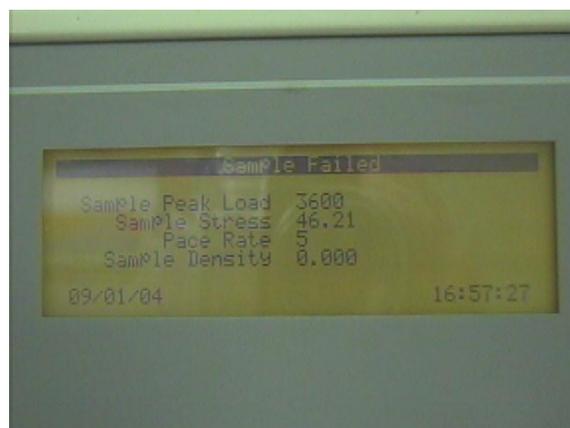
8. Marcado de vigas para ensayarlas.



9. Colocación de viga en máquina rompedora.



10. Viga fallada.



11. Pantalla de resultados de la maquina rompedora.

Anexo 1B .Fotografías correspondientes a especímenes prismáticos.



1. Pesado de agregado fino para corrección por Humedad.



2. Mezclado y vaciado del concreto.



3. Toma de Revenimiento utilizando el cono de Abrams.



4. Identificación del cilindro.

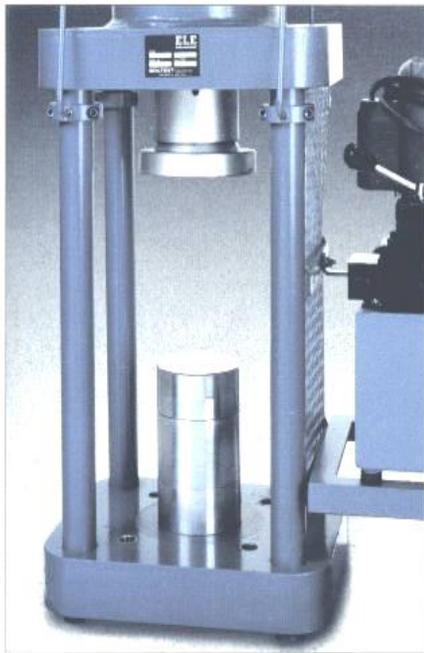


5. Cilindros en reposo e identificación de especímenes.



6. Cilindros en pilas de curado con cal.

Anexo 2A .Fotografías correspondientes a especímenes cilíndricos.



7. Maquina lista para ensayar a compresión cilindros de concreto



8. Colocación de anillos para obtener los Módulos de Elasticidad y Poisson.

Anexo 2B .Fotografías correspondientes a especímenes cilíndricos.



1. Especímenes curados en laboratorio de la Universidad de El Salvador, que fueron trasladados posteriormente a un laboratorio externo.



2. Traslado de especímenes debidamente protegidos y separados, libres de daños.

Anexo 3 .Fotografías correspondientes al transporte de especímenes.

Tabla reproducida con permiso de la ASTM en su manualon Quality Control of Materials, American Society for Testing of Materials.

Numero de observaciones en la muestra	Tabla para promedios			Tabla para desviaciones standar					Tabla para hileras				
	Factores para limites de control			Factor para lineas centrales	Factor para limites de control				Factor para lineas centrales	Factores para limites de control			
	A	A ₁	A ₂	c2	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	d2	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
2	2.121	3.760	1.880	0.5642	0	1.843	0	3.267	1.128	0	3.686	0	3.267
3	1.732	2.394	1.023	0.7236	0	1.858	0	2.568	1.693	0	4.358	0	2.575
4	1.500	1.880	0.729	0.7979	0	1.808	0	2.266	2.059	0	4.698	0	2.282
5	1.324	1.596	0.577	0.8407	0	1.756	0	2.089	2.326	0	4.918	0	2.115
6	1.225	1.410	0.483	0.8686	0.026	1.711	0.030	1.970	2.534	0	5.078	0	2.004
7	1.134	1.277	0.419	0.8882	0.105	1.627	0.118	1.882	2.704	0.205	5.203	0.076	1.924
8	1.001	1.175	0.373	0.9027	0.167	1.638	0.185	1.815	2.847	0.387	5.307	0.136	1.864
9	1.000	1.094	0.337	0.9139	0.219	1.609	0.239	1.761	2.970	0.546	5.394	0.184	1.816
10	0.949	1.028	0.308	0.9227	0.262	1.584	0.284	1.716	3.078	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.973	0.285	0.9300	0.299	1.561	0.321	1.679	3.173	0.812	5.534	0.256	1.744
12	0.866	0.925	0.266	0.9395	0.331	1.541	0.354	1.646	3.258	0.924	5.592	0.284	1.716
13	0.832	0.884	0.249	0.9410	0.359	1.523	0.823	0.618	3.336	1.026	5.646	0.308	1.692
14	0.802	0.848	0.235	0.9453	0.384	1.507	0.406	1.594	3.407	1.121	5.693	0.329	1.671
15	0.775	0.816	0.223	0.9490	0.406	1.492	0.428	1.572	3.472	1.207	5.737	0.348	1.652

* Tabla tomada de Probabilidad y Estadística para Ingeniero de Irwin Miller y John E. Freund.

Anexo 4 Tabla de Constantes de Control, para calculo de Limites de Control.

GLOSARIO

Absorción: Es el proceso mediante el cual un líquido es atraído y tiende a llenar los poros permeables de un cuerpo sólido poroso; así mismo, es el incremento de masa de un cuerpo sólido poroso resultado de la penetración de un líquido dentro de sus poros permeables.

Nota: En el caso de concreto y sus agregados, y si no es especificado de otra manera, el líquido mencionado es agua, y el incremento de masa es aquel que no incluye el agua adherida a la superficie externa, el aumento de masa se expresa como un porcentaje de masa del cuerpo seco, y el cuerpo se dice estar seco cuando ha pasado un proceso de remoción del agua, tal como lo es el secado constante de la masa a una temperatura entre los 100 y 110°C.

Agregado: Material granular, como la arena, grava, roca triturada, o escoria de altos hornos, utilizado con un medio cementante para formar el concreto de cemento hidráulico o mortero de cemento hidráulico.

Agregado Grueso: (1) Agregados predominantemente retenidos en la malla No.4 (4.75mm); o (2) aquella porción del agregado retenida en la malla No.4.

Nota: Las definiciones son alternativas a ser aplicadas bajo diferentes circunstancias. La definición (1) es aplicada al agregado en general en su estado natural o después de ser procesado. La definición (2) es aplicada a una porción de un agregado. Los requerimientos de las propiedades y la graduación deberán ser establecidos en las especificaciones.

Agregado Fino: (1) Agregados que pasan la malla y que pasan casi por completo la No.4 y que predominantemente sean retenidos por la malla No.200; ó (2) la porción del agregado que pasa la malla No.4 y que se retiene en la malla No. 200.

Nota: Las definiciones son alternativas a ser aplicadas bajo diferentes circunstancias. La definición (1) es aplicada al agregado en general en su estado natural o después de ser procesado. La definición (2) es aplicada a una porción de un agregado. Los requerimientos de las propiedades y la graduación deberán ser establecidos en las especificaciones.

Agregados de gran peso: Agregados de alta densidad; tales como el bario, magnetita, limonita, hierro, o acero.

Agregado de peso ligero: Agregado de baja densidad utilizado para crear concretos livianos, incluye: piedra pómez, escoria, cenizas volcánicas y diatomita; arcillas expandidas o contraídas, esquistos, esquistos diatomáceos, vermiculita o escoria; y productos finales de la combustión del carbón o el coque.

Arena: Agregado fino resultante de la desintegración natural o abrasión de la roca o el procesamiento de la piedra arenisca friable.

Arena Manufacturada: Agregado fino producido al triturar la roca, grava, escorias de hierro de altos hornos, o concreto de cemento hidráulico.

Cartas de Control: Dispositivo para detectar el estado no aleatorio o fuera de control de un proceso. Gráfico que muestra la forma como se comporta un proceso en un determinado lapso e tiempo.

Concreto: Un material compuesto que consiste esencialmente un medio adherente dentro del cual se encuentran incrustadas una gran variedad de partículas o fragmentos de agregado; en concreto de cemento hidráulico, el medio adherente es formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua.

Concreto Fresco: Concreto que posee suficiente trabajabilidad original, como para ser colocado y consolidado con el método deseado.

Contenido de Aire: El volumen de vacíos de aire en la pasta de cemento, mortero o concreto, exclusivo de los poros de las partículas de agregados, usualmente expresado como porcentaje del volumen total de pasta de cemento, mortero o concreto.

Nota: El contenido de vacíos puede incluir el aire atmosférico incorporado al concreto durante el mezclado del aire u otros gases liberados por químicos u otros procesos o reacciones que se dan dentro del concreto fresco.

Clinker: mezcla cruda que se obtendrá calcinando la cantidad correcta de los minerales fundamentales, es decir; de silicato tricálcico (C_3S), silicato dicálcico (C_2S), aluminato tricálcico (C_3A) y aluminoferrito tetracálcico (C_4AF).

Escorias de Altos Hornos: Producto no metálico, que consiste esencialmente de silicatos y alumino-silicatos de calcio y otras bases, que se desarrolla en un estado derretido simultáneamente con el hierro en un horno que alcanza altas temperaturas (altos hornos).

Escoria Siderúrgica: Residuo de hierro utilizado para la manufacturación de los cementos para formar el crudo.

Grava: Agregado grueso resultante de la desintegración natural o abrasión de la roca o el procesamiento de conglomerantes débilmente adheridos.

Grava Triturada: El producto resultante de una trituración artificial de la grava, donde la mayoría de las partículas poseen por lo menos una cara resultante de la fractura.

Gravedad Específica: La razón de la masa de un volumen de material a una temperatura establecida, a la masa de un volumen igual de agua destilada a la misma temperatura.

Gravedad Específica del Volumen: Es la razón de la masa de un volumen de un material (incluyendo los vacíos permeables e impermeables en el material, pero excluyendo los vacíos entre las partículas del material) a una temperatura determinada de una masa de volumen igual de agua destilada a una temperatura determinada.

Gravedad Específica del Volumen (saturado superficie seca): La razón de la masa de un volumen de un material incluyendo la masa de agua presente en los espacios del material (pero excluyendo los espacios entre las partículas) a una temperatura determinada, a la masa de un volumen igual de agua destilada a una temperatura determinada.

Lechada: Es la mezcla de agua y cemento, en cantidades suficientes para dar una fluidez tal, que pueda penetrar, con una cierta presión, en pequeños orificios. Puede ir acompañada de aditivos.

Módulo de Finura: Un factor obtenido de la sumatoria de los porcentajes del material, de la muestra, que sea más grueso que las siguientes mallas (Porcentajes retenidos acumulados), y dividiendo la sumatoria entre 100: 150 μ m (No. 100), 300 μ m (No.50), 600 μ m (No.30), 1.18mm(No.16), 2.36mm (No.8), 4.75mm (No.4), 9.5mm (3/8 pulg.), 19mm (3/4 pulg.), 37.5mm(1 1/2 pulg.), 75mm (3 pulg.), 150mm(6 pulg.)

Módulo de Elasticidad: Relación de proporcionalidad que existe entre dos variables, en materiales elásticos representa la pendiente de la recta.

Pasta: Es la mezcla de agua y cemento en cantidades suficientes, para aglutinar o pegar a los agregados.

Piedra Triturada: El producto resultante de la trituración artificial de la roca, canto rodado, o gujarros grandes, donde la mayoría de las caras de la partícula son resultado del proceso de trituración.

Puzolana: Silicatos y aluminio-silicatos, que por su cuenta poseen poco o ningún valor cementante pero que, en una forma finamente dividido y en presencia de humedad, hará una reacción química con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar componentes que posean propiedades cementantes.

Relación Agua-Cemento (A/C): La razón de la cantidad de agua, excluyendo sólo aquella absorbida por los agregados, a la cantidad de cemento en la mezcla de concreto o de mortero; establecida de preferencia como un decimal por peso.

Sangrado: El flujo autógeno del agua de mezclado dentro, o su surgimiento, del concreto mortero recién ubicado, causado por la segregación de los materiales sólidos dentro de la masa, también llamado ganancia de agua.

Segregación: La separación involuntaria de los constituyentes del concreto o las partículas de agregado, causando una falta de uniformidad en su distribución.

Segregación Normal: Los agregados de mayor tamaño o peso específico se separan y se depositan en el fondo.

Segregación Inversa: Los agregados de mayor tamaño o peso específico se separan y ascienden hacia la superficie.

Tamaño Máximo (del Agregado): En las especificaciones para, o la descripción de agregados, es el número de malla más pequeño por el cual toda la cantidad de agregado debe pasar o se requiere que pase.

Tamaño Máximo Nominal (del Agregado): En las especificaciones para, o la descripción de agregados, es el número de malla más pequeño por el cual al agregado se le permite pasar.

Nota: Las especificaciones de agregados usualmente estipulan un número de malla por el cual todo el agregado puede, pero no "debe", pasar para que una porción máxima de agregado, estipulada, pueda ser retenida en dicha malla. El número de la malla, designada de esta forma, es el tamaño nominal del agregado.

Tiempo Final de Fraguado del concreto. Es el tiempo transcurrido desde el contacto inicial entre el cemento y el agua, requerido para que la medida del mortero, de concreto, alcance una resistencia de penetración de 4000 PSI (27.6 Mpa.).

Tiempo Inicial de Fraguado del concreto: Es el tiempo transcurrido desde el contacto inicial entre el cemento y el agua, requerido para que la medida del mortero, de concreto, alcance una resistencia de penetración de 500 PSI (3.5 Mpa.).

Trabajabilidad del Concreto: Es la propiedad que determina el esfuerzo necesario para manipular, una cantidad de mezcla fresca de concreto con la mínima pérdida de homogeneidad.

Vacío de Aire: Es un espacio, en la pasta del cemento, mortero o concreto, lleno de aire; un vacío de aire atrapado mide más o menos 1 mm de ancho, y es de forma irregular; estos tienen un diámetro entre 10 y 1000 ppm y asemeja una esfera.