

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



**“DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y  
CONTRACCION TERMICA DEL CONCRETO HIDRAULICO, PARA  
ESPACIAMIENTO ENTRE JUNTAS EN PAVIMENTOS DE  
CONCRETO EN EL SALVADOR”**

**PRESENTAN:**

**APARICIO VILLACORTA, GILBERTO GUSTAVO  
GARCIA, JOSE ABELINO  
HERNANDEZ GARCIA, MANUEL ALEXANDER**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2011**

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS  
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Ing. Mario Roberto Nieto Lovo.

VICERRECTOR ACADÉMICO:

Maestra Ana María Glower de Alvarado.

SECRETARIA GENERAL:

Dra. Ana Leticia Zavaleta de Amaya.

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DECANO:

Lic. Cristóbal Hernán Ríos Benítez

SECRETARIO INTERINO:

Lic. Fernando Pineda Pastor

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OPCIÓN AL GRADO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**TITULO:  
“DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y  
CONTRACCION TERMICA DEL CONCRETO HIDRAULICO, PARA  
ESPACIAMIENTO ENTRE JUNTAS EN PAVIMENTOS DE  
CONCRETO EN EL SALVADOR”**

**PRESENTADO POR:**

**APARICIO VILLACORTA, GILBERTO GUSTAVO  
GARCÍA, JOSÉ ABELINO  
HERNÁNDEZ GARCÍA, MANUEL ALEXANDER**

**DOCENTE DIRECTOR:**

**ING. LUIS CLAYTON MARTINEZ**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, 7 DE NOVIEMBRE DE 2011.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

Docente Director:

---

ING. LUIS CLAYTON MARTÍNEZ

Coordinador de Proyectos de Graduación:

---

ING. MILAGRO DE MARÍA ROMERO GARCÍA

## **DEDICATORIA**

Agradezco a Dios por haberme dado la inteligencia y sabiduría necesaria para poder cumplir esta meta, por no haberme dejado caer en momentos difíciles.

### **DEDICO ESTE TRIUNFO A:**

**MIS PADRES:** JORGE ERVÍS HERNÁNDEZ y MIRNA RUTH GARCÍA que sin su sacrificio y apoyo no hubiese podido salir adelante.

**A MIS HERMANOS:** JORGE y MIRNA que estuvieron con migo en los momentos difíciles y por confiar en mí lo cual fue parte fundamental para poder alcanzar este logro.

**A MIS TIAS Y ABUELA:** Que de alguna u otra manera estuvieron con migo a lo largo de este camino.

**A MIS COMPAÑEROS DE TESIS:** GILBERTO Y ABELINO por haber demostrado ser el grupo ideal.

Y a una persona muy especial **LIC. LUCILA YANEHT ARGUETA** (Trabajadora social) que gracias a su paciencia, tolerancia y dedicación a su trabajo, me permitió formarme profesionalmente a lo largo de 5 años y ½ que pertencí a su asociación de becados, infinitas gracias.

Ver el sol y la luna no indica que poseamos una vista aguda, escuchar el ruido de un trueno no es signo de agudeza auditiva. Al igual que la culminación de este trabajo esto no significa el final...

**Manuel Alexander Hernández García.**

## **DEDICATORIA**

Este espacio ha sido reservado para comentar mi gratitud hacia Dios y a las personas que me apoyaron durante el desarrollo de esta investigación.

Primeramente, a Dios Todopoderoso, por haberme permitido culminar el presente trabajo de graduación y con ello la carrera de Ingeniería Civil, y por haberme permitido realizar las visitas de asesoría sin ningún inconveniente.

En segundo lugar a mi madre junto con mis hermanos, que a pesar de todas las adversidades de la vida me ha dado todos los recursos para llegar hasta este punto de mi vida y finalizar la etapa universitaria.

Agradezco al Ingeniero Luis Clayton Martínez, director de este trabajo de graduación, por la disposición y amabilidad que me brindó siempre que requerí de su tiempo.

Gracias a La Universidad de El Salvador por todo el apoyo brindado a lo largo de mi carrera, el cual ha sido esencial para llegar hasta aquí.

A las familias Alvarado Arévalo, Rivera Portillo, Vásquez Rivera y Gutiérrez Rivera por su amistad, cariño y apoyo mostrado.

Y así a todos los que de alguna manera u otra han contribuido a mi desarrollo tanto personal como intelectual a lo largo de mi vida.

**José Abelino García**

## **DEDICATORIA**

**A Dios todopoderoso**, por haberme dado la sabiduría para culminar con este triunfo, por estar con migo a pesar de mis errores y mis faltas, por haberme regalado a mi madre.

**A mi madre**, por estar con migo toda la vida, por darme fortaleza, seguridad, amor, tolerancia y comprensión. Por estar siempre en los momentos difíciles y de angustia apoyándome. Infinitas gracias madre.

**A mi hermano**, por haberme inspirado a estudiar Ingeniería Civil, por haberme hecho elegir en medio de mis dudas la carrera adecuada para mi vida y apoyarme en el camino.

**A Manuel y Abelino**, mis compañeros que han estado con migo a lo largo de toda mi carrera, por ser el grupo ideal para culminar con este triunfo, por compartir con migo los momentos de alegría y de angustia.

**Gilberto Gustavo Aparicio Villacorta**

## RECONOCIEMTOS

**A la Universidad de El Salvador**, por habernos formados en nuestra carrera, por toda la sabiduría y experiencia que hemos adquirido en ella a través de estos años.

**Al Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto y su personal técnico**, por la asesoría que nos brindaron y por permitirnos el acceso a sus instalaciones y hacer uso de su equipo para la realización de las pruebas de laboratorio que son esenciales para la culminación de este trabajo.

**A nuestro asesor Ingeniero Luis Clayton Martínez**, director de este trabajo de graduación, por orientarnos siempre hacia adelante y mostrar una gran paciencia en las interminables revisiones de cada capítulo. Sus ideas y sugerencias han hecho que este trabajo sea más claro y concreto.

**Al Ingeniero Jaime Perla**, por habernos instruido en la formación de nuestra carrera y por sus consejos.

GRACIAS.



# INDICE GENERAL

CAPITULO I.....	22
GENERALIDADES DEL PROYECTO .....	22
1.0- INTRODUCCIÓN.....	23
2.0- ANTECEDENTES .....	24
3.0- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. ....	26
4.0- JUSTIFICACIÓN.....	27
5.0- OBJETIVOS.....	28
6.0- ALCANCES.....	29
7.0- LIMITACIONES.....	31
7.1- UNIDAD DE ANALISIS.....	31
CAPITULO II .....	34
MARCO NORMATIVO y CONCEPTUAL.....	34
2.1- INTRODUCCIÓN.....	35
2.2- MARCO NORMATIVO.....	36
2.3- MARCO CONCEPTUAL.....	37
2.3-1. CEMENTO.....	37
2.3-2. CEMENTANTES DEL CONCRETO HIDRÁULICO.....	37
2.3-3. MATERIALES PÉTREOS UTILIZADOS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO. ....	39
2.3-4. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS Y SUS EFECTOS EN EL CONCRETO. ....	42
2.3-5. CONCRETO.....	44
I. GENERALIDADES.....	44
II. PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	46
a) CONCRETO FRESCO.....	46
b) CONCRETO ENDURECIDO.....	49
c) CAMBIOS DE VOLUMEN DEL CONCRETO.....	52
d) CAMBIOS DE TEMPERATURA EN EL CONCRETO ENDURECIDO .....	55

2.3-6.	DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE PESO NORMAL .....	61
I.	GENERALIDADES.....	61
II.	MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN.....	64
III.	MÉTODO DE DISEÑO A PARTIR DE DATOS DE CAMPO.....	64
IV.	PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO.....	67
2.3-7.	MÓDULO DE RUPTURA (RESISTENCIA DE TENSIÓN POR FLEXIÓN) .....	76
2.3-8.	DEFINICIÓN DE PAVIMENTO.....	80
I.	TERMINOLOGÍA, FUNCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS CAPAS DE UN PAVIMENTO.....	81
II.	CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS.....	84
III.	JUNTAS EN LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS .....	86
a)	TIPOS DE JUNTAS.....	88
IV.	MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DE CARGAS.....	92
V.	TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	94
VI.	ALABEO (COMBADURA).....	102
VII.	FALLAS ESTRUCTURALES Y SUS CAUSAS EN LOSAS DE PAVIMENTO HIDRÁULICO .....	103
2.3-9.	MOVIMIENTOS DE JUNTAS .....	105
CAPITULO III.....		106
PRUEBAS DE LABORATORIO.....		106
CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADOS.....		107
CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADO GRUESO.....		109
CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADO FINO .....		110
CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADOS (RESUMEN).....		115
ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADOS.....		116
ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO .....		118
ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO FINO.....		120
RESUMEN DE ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADOS .....		130

ENSAYO DE RESISTENCIA A DEGRADACION DE AGREGADO GRUESO .....	134
RESUMEN DE ENSAYO DE RESISTENCIA A DEGRADACION DE AGREGADOS GRUESOS POR ABRACION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES. ....	137
METODO DE PRUEBA PARA DENSIDAD DE MASA Y VACIOS EN GRAVAS .....	140
RESUMEN DE METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE MASA Y VACIOS EN AGREGADOS GRUESOS .....	143
METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO. ....	146
RESUMEN DE METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS. ....	149
METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADO FINO.....	154
RESUMEN DE METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS.....	157
METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL CONCRETO .....	161
RESUMEN DE METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL CONCRETO .....	179
METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO.....	182
RESUMEN METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO.....	185
CAPITULO IV .....	186
ANALISIS Y APLICACION DE RESULTADOS .....	186
4.1.    INTRODUCCION .....	187
4.2.    SINOPSIS DE CÁLCULO DE COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA.....	188
4.3.    ESPACIAMIENTO ENTRE JUNTAS. ....	190
CAPITULO V .....	201
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	201
5.1.    INTRODUCCIÓN.....	202
5.2.    CONCLUSIONES. ....	202
5.3.    RECOMENDACIONES.....	205

BIBLIOGRAFIA .....	209
ANEXOS .....	213
A N E X O I.....	214
REALIZACION DE ENSAYOS DE LABORATORIO.....	214
A.1.  INTRODUCCIÓN.....	214
A.2.  PRUEBAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS.....	215
I.    PRACTICA ESTÁNDAR PARA REDUCCIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGREGADO AL TAMAÑO DE PRUEBA. ASTM DESIGNACIÓN: C 702-01 .....	215
II.   MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DEL AGREGADO POR SECADO. ASTM DESIGNACIÓN C 566 - 97.....	222
III.  MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA ANÁLISIS POR MALLA DE AGREGADOS GRUESO Y FINO. ASTM DESIGNACIÓN: C136-01.....	225
IV.   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.....	233
V.    MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD BRUTA (PESO UNITARIO) Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS. ASTM DESIGNACIÓN: C 29 / C 29M – 97. 236	
VI.   MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO. ASTM DESIGNACIÓN C 127 – 01.....	245
VII.  MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO ASTM DESIGNACIÓN C 128 - 00.....	255
ENSAYOS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DEL CONCRETO.....	267
A.3.   MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DETERMINAR REVENIMIENTOS EN CONCRETOS HIDRÁULICOS. ASTM DESIGNACIÓN C143/C143M – 00.....	267
A.4.   METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO. ASTM C78-02.....	271
A.4.1. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA EXPANSIÓN DEL CONCRETO.....	276
A N E X O II.....	280

## INDICE DE FIGURAS

Fig.	Nombre	Pág.
1.1	Efectos del sobredimensionamiento de juntas	26
1.2	Cantera Agregados de El Salvador	29
1.3	Cantera Aramuaca	30
1.4	Cantera Aramuaca	30
2.1	Agregado fino de Aramuaca	42
2.2	Agregado grueso de Aramuaca	42
2.3	Distribución adecuada de los ingredientes en la masa de concreto	45
2.4	Tipos de segregación que se pueden producir en el concreto	48
2.5	Tipos de segregación que se pueden producir en el concreto	50
2.6	Alabeo de muro de concreto simple ocasionado por la variación uniforme de la temperatura desde el interior hasta el exterior	57
2.7	Representación esquemática de los procedimientos usuales para determinar la resistencia a tensión del concreto. Fuente: Manual de Tecnología del concreto. Sección III (CFE)	77
2.8	Sección Típica de un Pavimento. Fuente: Material Didáctico. Diseño y construcción de pavimentos de concreto hidráulico. UES 2001	80
2.9	Capas que forman un pavimento flexible.	84
2.10	Capas que forman un Pavimento Rígido.	85
2.11 a.	Vista en planta del Pavimento de Concreto sin Juntas.	87
2.11 b.	Vista de sección de losa en comportamiento alabeo diurno y nocturno.	87
2.12 a.	Profundidad del Corte y Sellado de Juntas. (Sección transversal).	88
2.12 b.	Junta Machihembrada (Sección transversal del Pavimento).	88
2.12 c.	Junta Longitudinal de Construcción.	89
2.13	Junta Transversal de Contracción.	89
2.14	Junta Transversal de Expansión.	90
2.15	Junta Transversal de Construcción.	91
2.16	Juntas especiales	91
2.17	Sellos de Compresión Preformados.	92
2.18	Mecanismo de Transmisión de carga por medio de la trabazón de agregados.	93
2.19	Mecanismo de Transmisión de carga por medio de pasadores.	93
2.20	Mecanismo de Transmisión de carga por medio de junta machihembrada	94
2.21 a.	Pavimento de concreto simple.	96
2.21 b.	Pavimento de concreto simple con dovelas, llamadas también pasadores.	96
2.22	Pavimento de concreto compactado.	97
2.23 a.	Pavimento con refuerzo discontinuo distribuido no estructural.	99
2.23 b.	Pavimento con refuerzo continuo sin función estructural.	99

2.23 c.	Pavimento de concreto con refuerzo estructural.	100
2.23 d.	Sección transversal de un pavimento de concreto con fibras de acero.	100
2.24	Pavimento Pretensado.	100
2.25	Pavimento Prefabricado.	101
2.26	Ilustración del alabeo de una losa de concreto sobre el terreno	102
2.27	Puntos de falla generados por la aplicación de cargas vehiculares con alabeo existente en losas	104
3.1	Extrayendo las muestras de agregado fino y grueso en condiciones de campo.	107
3.2	Pesando las muestras con sus condiciones de campo.	107
3.3	Secando las muestras en el horno.	108
3.4	Extrayendo las muestras del horno en condición seca.	108
3.5	Pesando las muestras en condición seca.	108
3.6	Tomando las muestras, secándolas al horno y determinando sus pesos secos.	116
3.7	Tamizando las muestras de agregado fino por método mecánico	116
3.8	Tamizando las muestras de agregado fino por método mecánico	117
3.9	Pesando los porcentajes retenidos cada muestra de agregado, en cada malla.	117
3.10	Tomando una muestra, secándola al horno y pesándola.	131
3.11	Tamizando hasta obtener los tamaños de la muestra de prueba.	131
3.12	Suministrando en la máquina de los ángeles la muestra y las esferas seleccionadas	132
3.13	Sometiendo la muestra al procedimiento para el desgaste.	132
3.14	Retirando la muestra de la máquina de los ángeles y tamizando las partículas desgastadas	132
3.15	Lavando la muestra no desgastada.	133
3.16	Secando la muestra al horno.	133
3.17	Pesando la muestra	133
3.18	Tomando la muestra, secándola al horno y pesándola.	138
3.19	Pesando y midiendo las dimensiones internas del recipiente pertinente	138
3.20	Colocando y apisonando en tres capas el agregado	139
3.21	Apisonando y enrasando la última capa	139
3.22	Pesando el conjunto	139
3.23	Tomando la muestra, pesándola y sumergiéndola en agua por 24 horas.	144
3.24	Retirando excedente de agua y secando la superficie del agregado.	144
3.25	Pesando la muestra superficialmente seca.	145
3.26	Obteniendo el peso aparente de la muestra	145
3.27	Secando la muestra en el horno por 24 horas.	147
3.28	Tomando una muestra de agregado fino y saturándola en agua por 24 horas	150
3.29	Removiéndole el agua y exponiendo el agregado al aire para su secado superficial.	150

3.30	Retirando el agua acumulado después de la sedimentación del agregado.	150
3.31	Verificando la condición triple "S" del agregado fino	151
3.32	Comprobando la condición triple "S"	151
3.33	Pesando el picnómetro llenado con agua hasta el aforo	151
3.34	Pesando la muestra requerida superficialmente seca de agregado fino	152
3.35	Agitando la muestra superficialmente seca en el picnómetro.	152
3.36	Pesando el picnómetro con arena y agua llenado hasta el aforo.	152
3.37	Vertiendo la muestra y su contenido en un recipiente y sometiéndola a secado al horno.	153
3.38	Pesando la muestra secada al horno.	153
3.39	Midiendo la longitud, el diámetro y la temperatura inicial del espécimen.	158
3.40	Enfriando el montaje y el baño de agua.	158
3.41	Enfriando el espécimen y leyendo sus deformaciones	158
3.42	Desmontando el espécimen y conservándolo en agua fría.	159
3.43	Llenando el baño de agua junto con el montaje con agua caliente.	159
3.44	Sumergiendo el espécimen en agua caliente y leyendo sus deformaciones.	159
3.45	Desmontando el espécimen y conservándolo en agua caliente.	160
3.46	Segundo enfriamiento del montaje y el baño de agua.	160
3.47	Segunda sumersión del espécimen en agua fría y su posterior lectura de deformación.	160
3.48	Pesando el espécimen	180
3.49	Marcando los puntos de apoyo en el espécimen	180
3.50	Colocando la muestra en la prensa hidráulica y sometiéndola a flexión.	181
3.51	Leyendo la carga de ruptura y las dimensiones en la falla del espécimen.	181
4.1	Puntos de control en el pavimento a diferentes profundidades	191

## INDICE DE TABLAS

Tabla	Nombre	Pág.
2.1	Resumen del marco normativo.	36
2.2	Principales aspectos del concreto influidos por los agregados.	43
2.3	Peso promedio observado en concretos frescos	58
2.4	Influencia del tipo de agregado en el coeficiente de expansión térmica de concreto	55
2.5	Factor de modificación para la desviación estándar, cuando se dispone de menos de 30 ensayos.	66
2.6	Resistencia a la compresión promedio requerida, cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar	66

2.7	Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción	67
2.8	Contenido aproximado de aire en el concreto para varios grados de exposición	69
2.9	Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado.	70
2.10	Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a compresión del concreto.	71
2.11	Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación agua/cemento.	72
2.12	Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.	74
4.1	Resultados de espaciamiento entre juntas para MR = 35 kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días.	193
4.2	Resultados de espaciamiento entre juntas para MR = 40 kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días.	193
4.3	Espaciamientos máximos recomendados.	195
4.4	Espesores de losa recomendado	196
4.5	Comparación de longitudes máximas	197
5.1	Tamaño máximo y Módulo de finura	202
5.2	Gravedad específica y Absorción (agregado grueso)	203
5.3	Gravedad específica y Absorción (agregado fino)	203
5.4	Peso volumétrico seco promedio (agregado grueso)	204

## INDICE DE GRAFICOS

<b>Gráfico</b>	<b>Nombre</b>	<b>Pág.</b>
2.1	Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usados en el concreto sin aire incluido	46
2.2	Expansión térmica del concreto conteniendo varios tipos de agregado (Abrams 1977)	59
2.3	Efecto de las temperaturas elevadas sobre la resistencia a compresión residual de concreto conteniendo varios tipos de agregados (Abrams 1977)	60
4.1	Temperaturas registradas por el concreto en cada uno de los puntos de control	191



## GLOSARIO

<b>Aglutinantes</b>	Sustancia empleada para la unión de elementos o materiales, en el caso de pavimentos refiera a los bitúmenes empleados en mezclas asfálticas o cemento en el caso de pavimentos hidráulicos
<b>Agregados</b>	Son los componentes no activos en la mezcla de concreto que se combinan para dar masa y resistencia, conocidos como agregados finos (arenas), agregado grueso (derivados de roca), formando parte fundamental para los cálculos en la mezcla del concreto.
<b>Áridos</b>	Término empleado como sinónimo de agregado.
<b>ASTM</b>	Siglas que corresponden a la entidad <i>AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS</i> . (Sociedad americana para pruebas y materiales).
<b>Hormigón</b>	Mezcla de Agregados graduados, cemento y agua, conocido como también concreto hidráulico.
<b>PCA</b>	Portland Cement Association, o Asociación de Cemento Pórtland
<b>SIECA</b>	Secretaria de Integración Económica de Centro América
<b>Temperatura media</b>	Promedio de lecturas de temperatura tomadas durante un período de tiempo determinado. Por lo general es el promedio entre las temperaturas máximas y mínima
<b>Temperatura</b>	Medida del movimiento molecular o el grado de calor de una sustancia. Se mide usando una escala arbitraria a partir del cero absoluto, donde las moléculas teóricamente dejan de moverse. Es también el grado de calor y de frío. En observaciones de la superficie, se refiere principalmente al aire libre o temperatura ambiental cerca a la superficie de la tierra.
<b>AASHTO</b>	Siglas que corresponden a la entidad <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> . (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte).

**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.

**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.

**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.

**Concreto Fresco:** **Concreto Fresco:** Concreto que posee suficiente trabajabilidad original, como para ser colocado y consolidado con el método deseado.

**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 $\mu$ m (No. 100), 300 $\mu$ m (No.50), 600 $\mu$ 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.

**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.

<b>Segregación</b>		La separación involuntaria de los constituyentes del concreto o las partículas de agregado, causando una falta de uniformidad en su distribución.
<b>Tamaño Máximo</b>		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.
<b>Tamaño Nominal</b>	<b>Máximo</b>	<p>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.</p> <p>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.</p>
<b>Trabajabilidad</b>		Es la propiedad que determina el esfuerzo necesario para manipular, una cantidad de mezcla fresca de concreto con la mínima pérdida de homogeneidad.
<b>Vacío de Aire</b>		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.
<b>AASHTO TP-60</b>		Esta prueba fue desarrollada por el Departamento Federal de Transporte de EE.UU y fue adoptado por AASHTO y llamado TP60-00. El método permite determinar el CTE especímenes cilíndricos de hormigón de 4" x 8" mantenido en una condición saturada midiendo el cambio de longitud de la muestra durante un determinado rango de temperatura de 50 ° F a 122 ° F.



# **CAPITULO I**

# **GENERALIDADES DEL PROYECTO**

---

---

## 1.0- 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 que intervienen en el diseño de los pavimentos rígidos. Uno de estos factores es el Coeficiente de Expansión Térmica (CTE<sup>1</sup>) del concreto, mismo que es considerado en el diseño de los espaciamientos entre juntas en 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 determinación del CTE, generando mayor confianza y economía en el diseño de los espaciamientos entre juntas en pavimentos de concreto hidráulico. Esto se lograría por medio de un estudio focalizado a saber: la utilización de equipo y materiales existentes en nuestro país y así obtener un valor de CTE local específicamente para la zona oriental. Para obtener dicho valor, 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 especímenes.

---

<sup>1</sup> Coeficiente de Expansión Térmica

La realización de este trabajo de graduación se llevará a cabo en cinco capítulos, con el orden siguiente: Generalidades del proyecto, Marco Normativo y Conceptual, Ensayos de laboratorio, análisis y aplicación de resultados, Conclusiones y Recomendaciones.

## 2.0- ANTECEDENTES

Las carreteras de concreto ofrecen una mayor vida útil, resistencia y menor costo de mantenimiento para los pavimentos, por lo cual aunque su inversión sea grande, a largo plazo su costo se vuelve bajo.

En El Salvador, la tecnología del concreto en pavimentos se introdujo en 1924. A partir de ésta fecha, varias ciudades del interior del país fueron pavimentadas utilizando dicha técnica en proyectos urbanos que aún prestan servicio en forma satisfactoria.

En 1970 se construye la primera carretera de 20 kilómetros de longitud, utilizando pavimento de concreto hidráulico en losas de 20 cm de espesor con módulo de ruptura de 38.7 kg/cm<sup>2</sup> (550 psi), juntas transversales inclinadas y sin pasajuntas<sup>2</sup>.

Los ingenieros y técnicos de ingeniería han utilizado la tecnología del concreto desde principios del siglo pasado y sus obras construidas han desafiado el tiempo por su calidad y durabilidad, siendo prueba de ello los edificios, portales, presas, puentes y pavimentos urbanos como los de las ciudades de San Salvador, Santa Ana y otras cabeceras y el tramo de Carretera CA1 “La Cuchilla – km 35” que después de 40 años de servicio ininterrumpido y casi sin ningún mantenimiento, fue recientemente rehabilitada mediante la colocación de una capa de concreto hidráulico no adherido.<sup>3</sup>

Obras como las anteriores encontramos a lo largo y ancho de nuestro país, en vías urbanas, caminos rurales, carreteras, autopistas y carreteras de montaña, como el tramo San Ignacio--Rio

---

<sup>2</sup> Editorial Revista ISCYC N° 42

<sup>3</sup> Editorial Revista ISCYC N° 51



Chiquito en el Departamento de Chalatenango, con pendientes y curvas muy pronunciadas, cuya construcción tiene el valor agregado de la seguridad que brinda su color claro para el tránsito nocturno y el texturizado, que proporciona una superficie segura al deslizamiento, que solamente poseen los pavimentos de concreto hidráulico<sup>4</sup>.

**Las propiedades que afectan la magnitud de las tensiones de restricción son<sup>5</sup>:**

1. El módulo de elasticidad (generalmente entre 24.000 y 38.000 MPa [3,5 y 5,5 millones de psi]; se presume un valor de 27.000 MPa [4,0 millones psi] para la mayoría de las soluciones de diseño).
2. El coeficiente de contracción (que varía generalmente entre 5,0 y 6,5 x 10<sup>-6</sup> pulg/pulg/°F).
3. El coeficiente de retracción (que varía generalmente entre 250 y 350 x 10<sup>-6</sup> mm/mm).
4. La densidad (generalmente entre 2.275 y 2.400 kg/m<sup>3</sup> para el concreto con aire incorporado).

Vale la pena mencionar que el segundo ítem apuntado es empleado por la mayoría de métodos de diseños 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 investigaciones extranjeras proporcionan valores del CTE. Por lo que es necesario contar con un estudio completo referente a la determinación del coeficiente de expansión y contracción del concreto, misma que constituye un pilar fundamental en el cálculo de movimiento de losas para pavimentos. Actualmente, para el diseño estructural de pavimentos el CTE se fundamenta en documentos extranjeros como: La Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte (AASHTO), Asociación del Cemento Portland (PCA), auxiliándose de las Normas Americanas para Pruebas de Materiales (conocida por sus siglas en inglés como ASTM) entre otras.

---

<sup>4</sup> Editorial Revista ISCYC N° 51

<sup>5</sup> Pavimentos rígidos para aeropuertos, pág. 115

### 3.0- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Los cambios de temperatura, provocan variaciones en las dimensiones de los materiales, de modo que al aumentar la temperatura los materiales tienden a expandirse y contraerse al disminuir la misma, estas deformaciones se relacionan mediante un coeficiente. El concreto es un material de construcción que también se ve afectado por las deformaciones térmicas, las cuales generan grietas en él cuando se producen esfuerzos debido a una expansión o contracción térmica restringida.

En los pavimentos de concreto, los cambios uniformes de temperatura afectan las aberturas en las articulaciones (juntas), y un gradiente de temperatura a través del espesor de esta misma losa producirá alabeo en ella.

Es necesario realizar investigaciones que nos permitan conocer el comportamiento de los pavimentos de concreto hidráulico cuando estos se encuentran expuestos a cambios de temperaturas; no solo para que mitiguen el problema de figuración, sino también para una contribución al conocimiento. (Ver figura 1.1)



*Figura 1.1 Efectos del sobredimensionamiento de juntas  
Fuente: Distress identification manual*

#### 4.0- JUSTIFICACIÓN.

En El Salvador se diseñan estructuras y pavimentos de concreto hidráulico utilizando coeficientes de expansión y contracción térmica adoptados de investigaciones extranjeras. El coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto depende de los materiales que lo conforman, principalmente de los agregados. Los materiales utilizados en El Salvador para la elaboración del concreto difieren sus propiedades con los materiales utilizados en los Estados Unidos por lo cual el valor del coeficiente de expansión/contracción del concreto no es el mismo. Debido a la falta de una investigación local que nos proporcione un valor adaptado a nuestro medio, los Ingenieros en El Salvador se ven forzados a elaborar sus diseños con un coeficiente que no es representativo y puede llevar a resultados erróneos.

En los pavimentos de concreto hidráulico se refleja la necesidad de conocer un valor específico del coeficiente de expansión y contracción del concreto para el tipo de dosificación que se esté utilizando, dejar un mayor espaciamiento entre juntas, implica mayor riesgo de fisuración no controlada, y un espaciamiento menor entre juntas genera un mayor costo en la obra debido al gasto de tiempo y mano de obra.

Con el resultado de esta investigación se tendrá un mejor control en el diseño de juntas de contracción para controlar el agrietamiento en los pavimentos de concreto, proporcionando una herramienta para los diseñadores con un valor de CTE (Coeficiente de Expansión Térmica) adaptado a las condiciones ambientales en el sitio de pavimentación, reduciendo el costo de mantenimiento para el estado y de una manera indirecta beneficiar a los usuarios de las carreteras aumentando la vida útil de las carreteras en El Salvador y al mismo tiempo disminuir los procesos de mantenimiento que interrumpen el tránsito cotidiano de los automovilistas.

Esta investigación daría base a futuras investigaciones que amplíen aún más los alcances a experimentar a futuro con otro tipo de materiales o características del concreto o sus agregados.

## 5.0- OBJETIVOS.

### Objetivo General

- Determinar el coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico para aplicarlo en el espaciamiento entre juntas de pavimentos de concreto, utilizando agregados de diferentes bancos de material del oriente de El Salvador.

### Objetivos Específicos

- ✓ Realizar ensayos de laboratorio a los materiales que conforman el concreto hidráulico, con la finalidad de determinar sus características intrínsecas
- ✓ Evaluar las deformaciones térmicas para una resistencia a flexión (Modulo de ruptura) de 40 kg/cm<sup>2</sup> y 35 kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ Determinar el cambio de longitud de dos especímenes de prueba por cada resistencia por cada banco de material para un cambio de temperatura de 40°C.
- ✓ Determinar el espaciamiento entres juntas para pavimentos de concreto con el valor de CTE encontrada en esta investigación.

## 6.0- ALCANCES

Todos los ensayos de laboratorio se llevaron a cabo utilizando el equipo con el que cuenta El ISCYC<sup>6</sup>, Concretera Holcim San Miguel y la Universidad de El Salvador.

Se realizaron 2 ensayos de deformación térmica (entendiéndose como ensayo la deformación promedio de dos especímenes tomados de una misma muestra), para cada proporcionamiento de mezcla de concreto y mismo banco de material.

Se propondrá el uso del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto para aplicarlo en el diseño de juntas de pavimentos de concreto hidráulico.

Las pruebas se realizaron en base a la norma AASHTO TP-60.

Los ensayos de deformación térmica se realizaron para concretos con agregados de la zona oriental del El Salvador por ser la zona que presenta mayores cambios de temperatura.

Para determinar el coeficiente de expansión térmica del concreto (CTE) se utilizaron agregados de los siguientes bancos de material:

- Cantera “Agregados de El Salvador”, ubicada en Municipio El Carmen, Departamento de la Unión.



*Figura 1.2 Cantera Agregados de El Salvador*

---

<sup>6</sup> Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto



*Figura 1.3 Cantera Aramuaca*

- Cantera “Aramuaca”, ubicada en los alrededores de la laguna que tiene el mismo nombre, San Miguel.

- Cantera “La Pedrera” ubicada en Carretera Panamericana, municipio de Nueva Guadalupe, Departamento de San Miguel.



*Figura 1.4 Cantera La Pedrera*

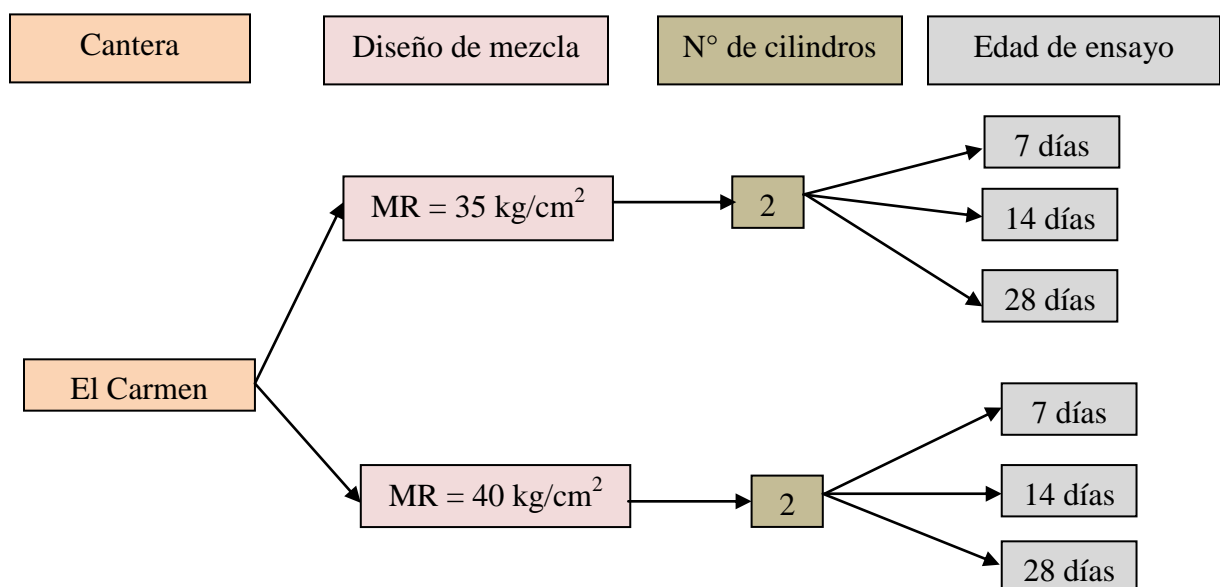
Para la elaboración de especímenes cilíndricos y prismáticos se utilizó cemento CESSA PAV Tipo HE, regido por la norma ASTM C 1157, tomando en consideración que su producción tiene la finalidad de ser utilizado para la construcción de pavimentos de concreto hidráulico.

## 7.0- LIMITACIONES

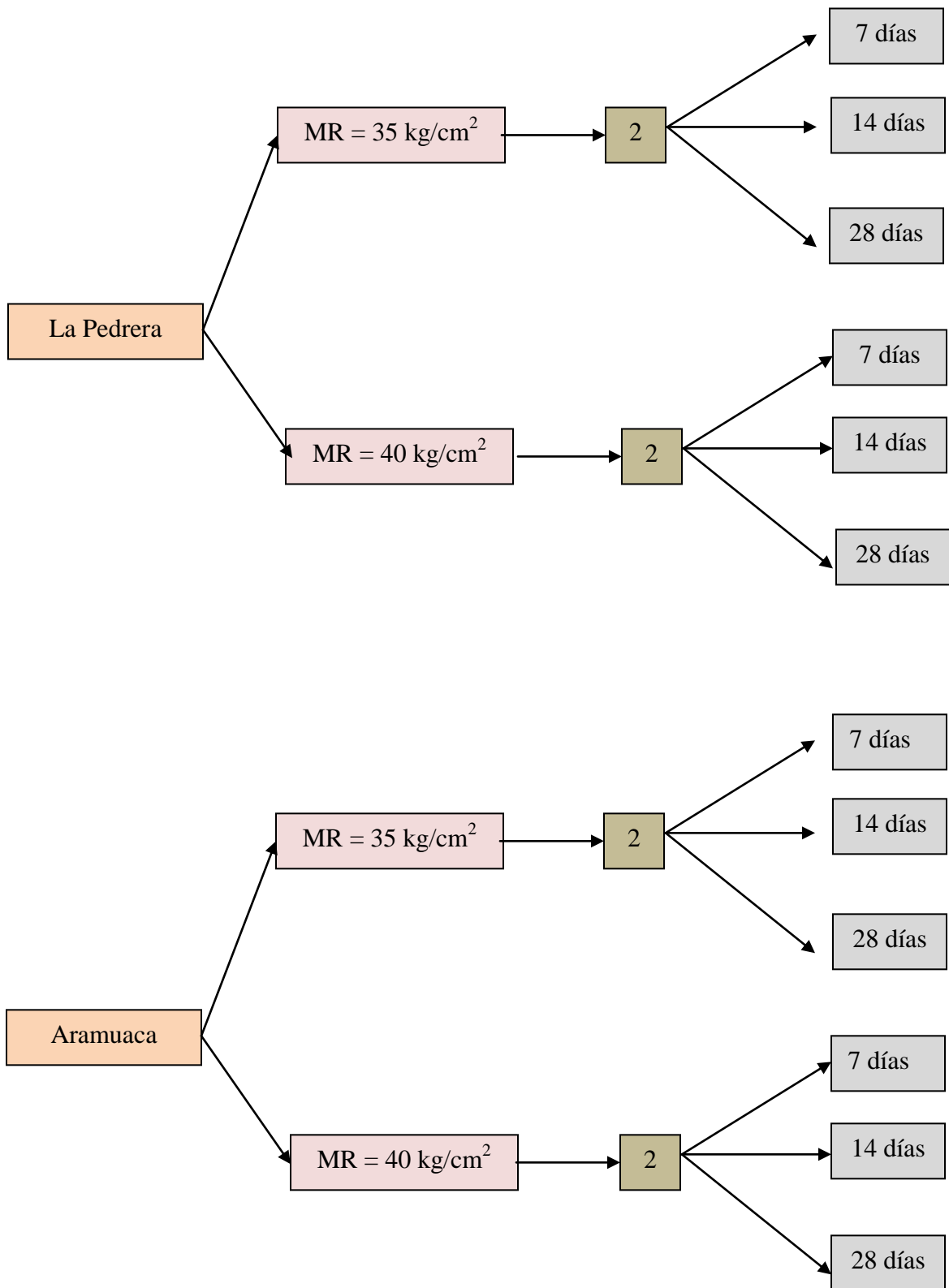
- No se tienen precedentes de investigaciones similares realizadas anteriormente en El Salvador.
- Solo se cuenta con un micrómetro y un montaje en acero inoxidable.
- El diseño de mezcla de concreto se realizara exclusivamente con el método de los pesos propuesto por el ACI, debido a su precisión, confiabilidad y accesibilidad.
- No contamos con un cilindro de acero inoxidable, que requiere la norma AASHTO TP60 para calibrar el montaje.

### 7.1- UNIDAD DE ANALISIS.

Se analizaran dos especímenes cilíndricos de concreto por cada diseño de mezcla, por cada banco de material. Pudiéndose extender el análisis hasta obtener dos especímenes consecutivos que sus resultados de expansión térmica no difieran del  $0.3 \times 10^{-6}$  entre sí<sup>7</sup>.

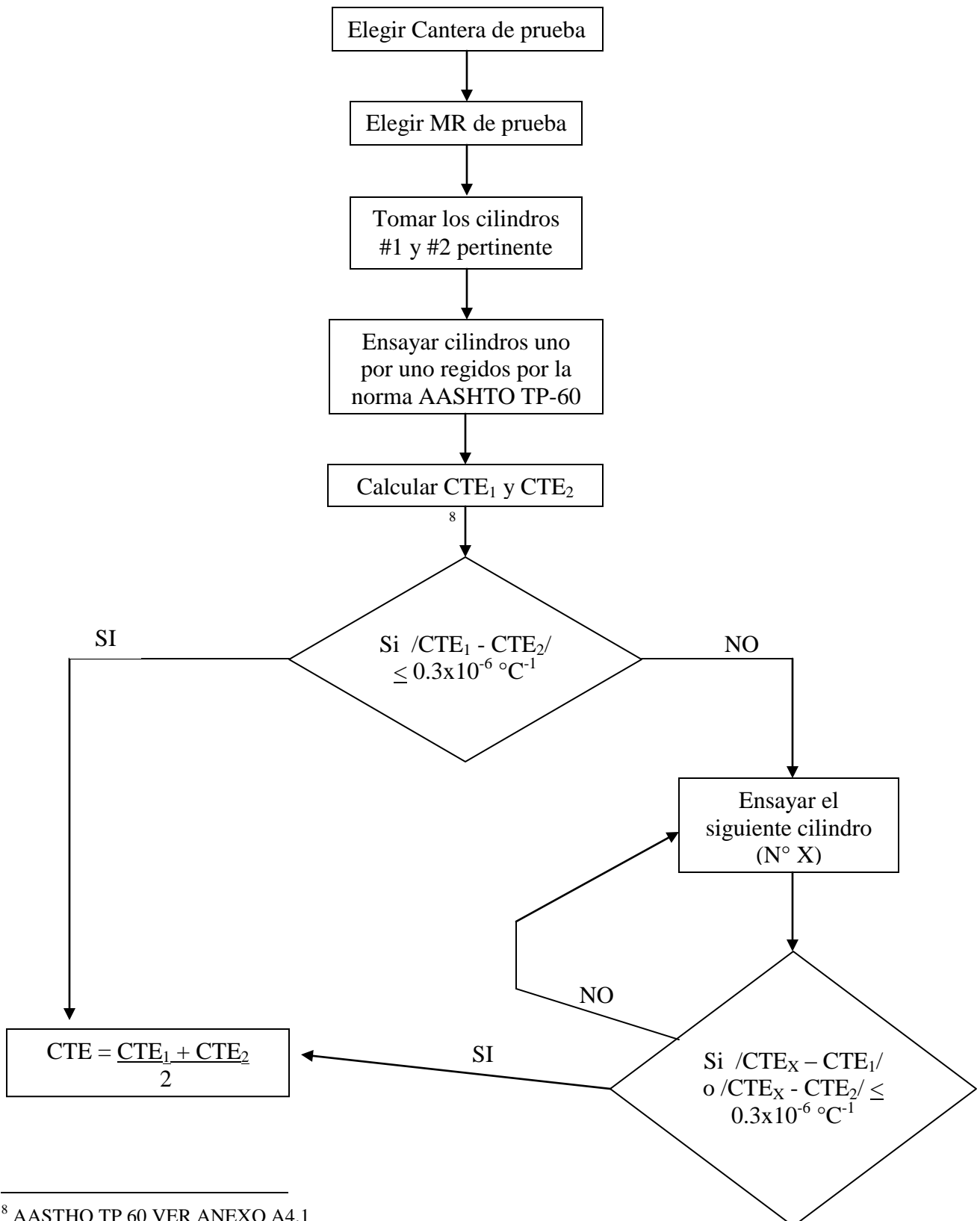


<sup>7</sup> AASHTO TP 60 VER ANEXO A4.1





## DIAGRAMA PARA LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE

<sup>8</sup> AASTHO TP 60 VER ANEXO A4.1

# **CAPITULO II**

## **MARCO NORMATIVO y CONCEPTUAL**

---

## 2.1- INTRODUCCIÓN.

Se presenta en este capítulo, una recopilación de las Normas, Reglamentos y Teoría relacionada a la determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, y más propiamente, el contexto histórico en cuanto a la situación de las normas en la región.

Los marcos regulatorios y los entes encargados se citan en el desarrollo del Marco Normativo; la importancia del control de calidad de los agregados para el diseño de mezcla, ensayos para el control de calidad del concreto es abarcada en la parte teórica y conceptual de este capítulo.

También se hace mención de una serie de conceptos básicos relacionados con pavimentos de concreto; todo ello para poder tener un mejor entendimiento de cada elemento aquí involucrado, posteriormente esta información sirve de base para la ejecución de la prueba y así determinar el coeficiente de expansión y contracción del concreto y su aplicación.

## 2.2- MARCO NORMATIVO.

Con el objetivo de proporcionar una orientación sobre las normas que influye y regula la determinación del CTE se presenta a continuación la información respectiva:

**Tabla 2.1 Resumen del marco normativo.**

LEY	ARTICULO	AMBITO
AASHTO	TP-60	Método que se utiliza para determinar el coeficiente de expansión térmica en el concreto.
	R-39	Método que se utiliza para la elaboración y curación de especímenes de prueba de concreto en el laboratorio.
	T-23	Método que se utiliza para la elaboración y curación de especímenes de prueba de concreto en el campo.
ASTM	C-702	Practica Estándar para reducción de las Muestras de Agregado al Tamaño de Prueba.
	C-566	Método de Ensayo Estándar para Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado.
	C-136	Método de Ensayo Estándar para Análisis por Malla de Agregados Grueso y Fino.
	C-131	Método de Prueba Normal para Resistencia al Desgaste de Agregado Grueso de Tamaño Pequeño por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Ángeles.
	C-29 / C-29 M	Método de Ensayo Estándar para Densidad Bruta (Peso Unitario) y Vacíos en los Agregados.
	C - 127	Método de Ensayo Estándar para la Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Agregado Grueso.
	C-143/C-143M	Método de Prueba Estándar para determinar Revenimientos en Concretos Hidráulicos.
	C-192	Práctica Normalizada para la Elaboración y Curado en el Campo de Especímenes de Prueba de Concreto.
	C 128-01	Método de Prueba Estándar para Densidad, Densidad Relativa y Absorción de Agregado Fino.
	C 78-02	Método de Ensayo Estándar para la Resistencia a Flexión del Concreto (Usando Viga Simplemente apoyada con carga en los tercios medios del claro).
ACI	211	Practica Estándar Para Seleccionar Proporciones Para Concreto Normal, Pesado y Masivo (ACI 211.1-91)

## **2.3- MARCO CONCEPTUAL**

### **2.3-1. CEMENTO.**

#### **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.

### **2.3-2. 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:

- a. **Cementos Pórtland:** Son cementos que se obtienen por molienda conjunta de clínker y de la cantidad adecuada del regulador de fraguado.
- b. **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.
- c. **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.
- d. **Cementos Aluminosos:** Son los cementos que se obtienen por la molienda de un clínker muy rico en aluminio.
- e. **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.
- f. **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.

### **2.3-3. 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 esta 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:

#### ***i. 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.

#### ***ii. Rocas sedimentarias de origen orgánico:***

Formadas generalmente por pequeños depósitos de diatómitas y lignitos.

#### ***iii. 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/m<sup>3</sup>.

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/m<sup>3</sup>.

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/m<sup>3</sup>.



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

### 2.3-4. 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 2.2, 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.



*Figura 2.1 y 2.2 Agregados fino y grueso de Aramuaca*

**Tabla 2.2 Principales aspectos del concreto influidos por los agregados.**

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
Reactividad con los álcalis		Economía
		Durabilidad
Módulo de elasticidad		Módulo de elasticidad
Resistencia a la abrasión		Cambios volumétricos
		Resistencia a la abrasión
		Durabilidad
Resistencia mecánica (por aplastamiento)		Resistencia mecánica
Partículas friables y terrones de arcilla	Contracción plástica	Resistencia mecánica
		Durabilidad
		Reventones superficiales
Coefficiente de expansión térmica		Propiedades térmicas

**Fuente: Manual de Tecnología del concreto. Sección I (CFE<sup>9</sup>)**

<sup>9</sup> Comisión Federal de Electricidad

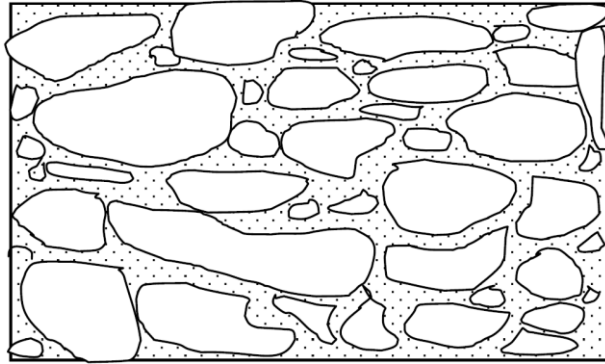
### **2.3-5. CONCRETO.**

#### **I. 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. 2.3, 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.



*Figura 2.3 Distribución adecuada de los ingredientes en la masa de concreto*

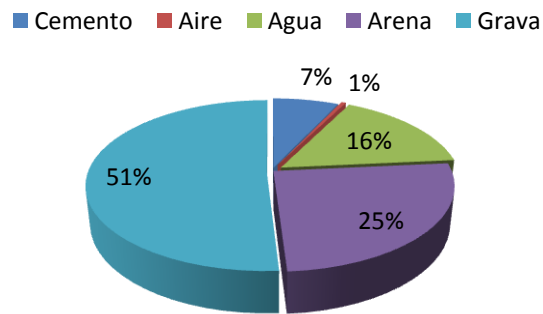
*Fuente: Fabricación del concreto. (Ingenieros Civiles Asociados)*

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.

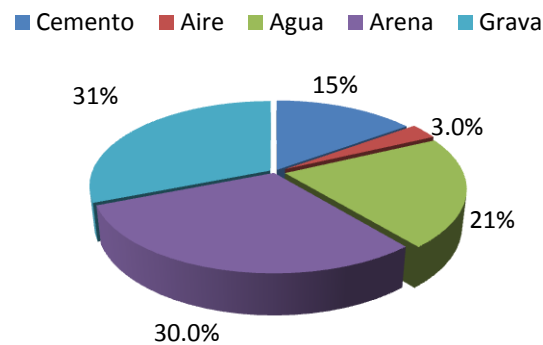
Cuando las mezclas son pobres, o bajas en cemento (Gráfico. 2.1 a) los agregados alcanzan más del 75% del volumen total del concreto, contra un volumen absoluto de 7% del cemento y 16% del agua. Cuando las mezclas son ricas o altas en contenido de cemento (Gráfico 2.1 b), los agregados intervienen con 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.

### a) Proporcionamiento de ingredientes en mezclas pobres



### b) Proporcionamiento de ingredientes en mezclas ricas



*Gráfico 2.1 Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usados en el concreto sin aire incluido*

*Fuente: Fabricación del Concreto. (Ingenieros Civiles Asociados)*

## II. 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:

### a) 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.

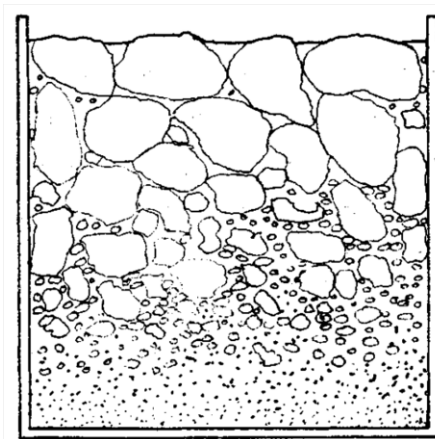
**✓ *Fraguado.***

Debido a las pérdidas del agua libre de la mezcla principalmente por la aidez 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.

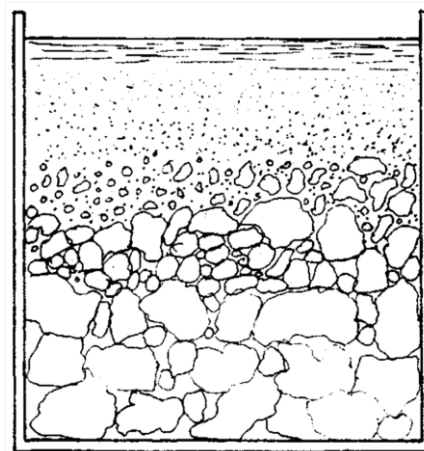
**✓ *Manejabilidad.***

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



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

**Figura 2.4 Tipos de segregación que se pueden producir en el concreto**

*Fuente: Fabricación del concreto. (Ingenieros Civiles Asociados)*

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.

## **b) CONCRETO ENDURECIDO.**

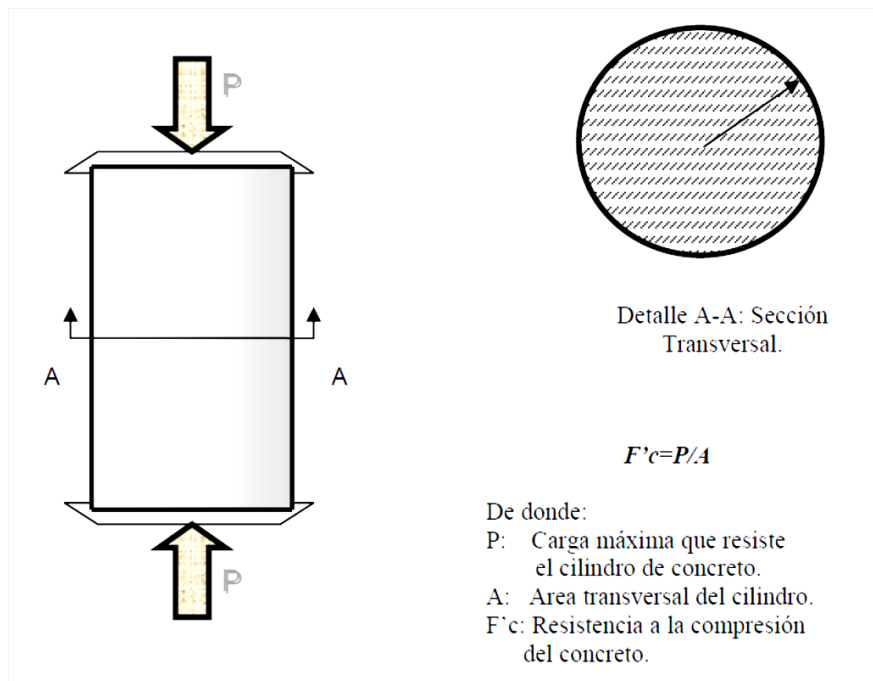
Son seis las propiedades del concreto en su estado endurecido:

- 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, adicionado 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 ( $\text{kg/cm}^2$ ) 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).



**Figura 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/m<sup>3</sup>.

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/m<sup>3</sup>. 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 2.3 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.

**Tabla 2.3 Peso promedio observado en concretos frescos**

Tamaño máximo del agregado, mm	Contenido de aire, por ciento	Agua (kg/m <sup>3</sup> )	Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )				
				Gravedad específica de agregados (Estado saturado superficialmente seco)				
				2.55	2.6	2.65	2.7	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

*Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto. (IMCYC<sup>10</sup>)*

### c) CAMBIOS DE VOLUMEN DEL CONCRETO.

El concreto cambia ligeramente de volumen por varias razones y la comprensión de la naturaleza de estos cambios es útil para el planeamiento o el análisis de las obras en concreto. Si el

<sup>10</sup> Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto

concreto fuera libre de cualquier restricción para deformarse, los cambios normales de volumen tendrían pocas consecuencias, pero, como el concreto en servicio normalmente se restringe por los cimientos (cimentación, fundación), subrasantes, refuerzo o elementos conectados, se pueden desarrollar esfuerzos considerables.

Esto es principalmente verdad para los esfuerzos de tensión (tracción).

Las grietas (fisuras) se desarrollan porque el concreto es relativamente débil en tensión, pero bastante resistente a compresión. El control de las variables que afectan los cambios de volumen puede minimizar las tensiones elevadas y el agrietamiento. El ancho admisible de las fisuras se debe considerar en el diseño estructural.

El cambio de volumen se define meramente como un incremento o una disminución del volumen. Más comúnmente, el tema del cambio del volumen del concreto trata de la expansión lineal y la contracción ocasionada por ciclos de temperatura y humedad. Sin embargo, los efectos químicos como la contracción (retracción) por carbonatación, el ataque de sulfatos y la expansión perjudicial resultante de la reacción álcali-agregado también pueden causar cambios de volumen. También la fluencia es un cambio de volumen o una deformación causada por esfuerzos o cargas sostenidos. Igualmente importantes son los cambios elástico e inelástico en las dimensiones o formas, que ocurren instantáneamente bajo la aplicación del esfuerzo.

Por conveniencia, la magnitud de los cambios de volumen generalmente se expresa en unidades lineales en lugar de volumétricas. Cambios de longitud normalmente se expresan como un coeficiente de la longitud en partes por millón, o sencillamente, como millonésimos y se aplica a cualquier unidad de longitud (por ejemplo, m/m, pie/pie). Un millonésimo es 0.000001 m/m (0.000001 pulg./pulg.) y 600 millonésimos son 0.000600 m/m (0.000600 pulg./pulg.). El cambio de la longitud también se enuncia como un porcentaje, por lo tanto, 0.06% es el mismo que 0.000600, lo cual es, aproximadamente lo mismo que 6 mm por 10 m (3/4 pulg. por 100 pies).

Los cambios de volumen que ordinariamente ocurren en el concreto son pequeños, variando en cambios de longitud de 10 millonésimos hasta 1000 millonésimos.

- **Cambios de volumen en edad temprana**

El cambio del volumen del concreto empieza justo después del colado (colocación). Los cambios tempranos de volumen, durante las primeras 24 horas, pueden influenciar los cambios de volumen y la formación de fisuras en el concreto endurecido, especialmente en concretos con baja relación agua-cemento. Siguen las discusiones sobre las diversas formas de cambios de volumen en edad temprana.

- **Expansión**

El concreto, el mortero y la pasta de cemento se expanden con la presencia de agua externa. El volumen de la masa del concreto aumenta cuando el agua externa reemplaza el agua drenada de los capilares por la contracción química.

El agua externa puede venir del curado húmedo o sumersión. La expansión (hinchazón) ocurre debido a la combinación del crecimiento de los cristales, absorción de agua y presión osmótica. La magnitud de la expansión no es muy grande, sólo cerca de 50 millonésimos en las edades tempranas. Cuando se remueve la fuente de agua externa, las contracciones autógenas y de secado revierten el cambio de volumen.

- **Expansión Térmica Temprana**

A medida que el cemento se hidrata, la reacción exotérmica proporciona una cantidad significativa de calor. En elementos de grandes volúmenes, el calor se retiene y no se disipa como en los elementos menores. Este aumento de temperatura, que ocurre durante las primeras horas y días,

puede inducir a una pequeña expansión que compensa las contracciones autógena y de secado (Holt 2001).

#### d) CAMBIOS DE TEMPERATURA EN EL CONCRETO ENDURECIDO

El concreto se expande ligeramente con el aumento de la temperatura y se contrae a medida que ésta disminuye, aunque se puede expandir levemente cuando el agua libre en el concreto se congela. Los cambios de temperatura se pueden causar por condiciones ambientales o por la hidratación del cemento. Un valor promedio del coeficiente de expansión térmica del concreto es cerca de 10 millonésimos por grado Celsius (5.5 millonésimos por grado Fahrenheit), a pesar que se observaron valores variando de 6 a 13 millonésimos por grado Celsius (3.2 a 7.0 millonésimos por grado Fahrenheit). Esto resulta en cambios de longitud de 5 mm por 10 metros de concreto (2/3 pulg. por 100 pies de concreto), sometidos a aumento o disminución de temperatura de 50°C (100°F). El coeficiente de expansión térmica para el concreto estructural de baja densidad (ligero) varía de 7 a 11 millonésimos por grado Celsius (3.6 a 6.1 millonésimos por grado Fahrenheit). El coeficiente de expansión térmica del concreto se puede determinar a través de la AASHTO TP 60.

Tipo de agregado de una fuente	Coefficiente de expansión, millonésimos por °C	Coefficiente de expansión, millonésimos por °F
Cuarzo	11.9	6.6
Arenisca	11.7	6.5
Grava	10.8	6.0
Granito	9.5	5.3
Basalto	8.6	4.8
Caliza	6.8	3.8

Los coeficientes de concretos producidos con agregados de diferentes fuentes pueden variar ampliamente de estos valores, especialmente aquéllos para gravas, granitos y calizas (Davis 1930).

**Tabla 2.4 efecto del tipo de agregado sobre el Coeficiente de expansión térmica del concreto**

*Fuente: Diseño y control de mezclas de concreto PCA, capítulo 15*

La expansión y la contracción térmica del concreto varían con factores tales como el tipo de agregado, el contenido de cemento, la relación agua-cemento, la variación de la temperatura, la edad del concreto y la humedad relativa. De éstos, el tipo de agregado tiene la mayor influencia.

La Tabla 2.4 muestra algunos valores experimentales del coeficiente de expansión térmica de concretos producidos con varios tipos de agregados. Estos datos se obtuvieron a través de pruebas en especímenes pequeños, en los cuales todos los factores fueron los mismos, con excepción del tipo de agregado. En cada caso, el agregado fino era del mismo material que el agregado grueso.

El coeficiente de expansión térmica del acero es cerca de 12 millonésimos por grado Celsius (6.5 millonésimos por grado Fahrenheit), el cual se compara al del concreto.

El coeficiente del concreto reforzado se puede asumir como el promedio del concreto y del acero, es decir, 11 millonésimos por grado Celsius (6 millonésimos por grado Fahrenheit).

Los cambios de temperatura que resultan en contracciones pueden fisurar los elementos de concreto que son altamente restringidos por otra parte de la estructura o por fricción (rozamiento) con el terreno. Considere un elemento de concreto largo, restringido, colado (colocado) sin juntas, que, después del curado húmedo, tuvo una disminución de temperatura. A medida que su temperatura baja, el concreto tiende a acortarse, pero no lo consigue pues está restringido longitudinalmente. Los esfuerzos de tensión (tracción) resultantes pueden agrietar el concreto<sup>11</sup>.

Tanto la resistencia a tensión (tracción) del concreto como el módulo de elasticidad del concreto se pueden asumir como proporcionales a la raíz cuadrada de la resistencia a compresión del concreto, y los cálculos enseñan que una caída muy acentuada de la temperatura va a agrietar el concreto, a pesar de su edad o resistencia, siempre que el coeficiente de expansión no cambie con la

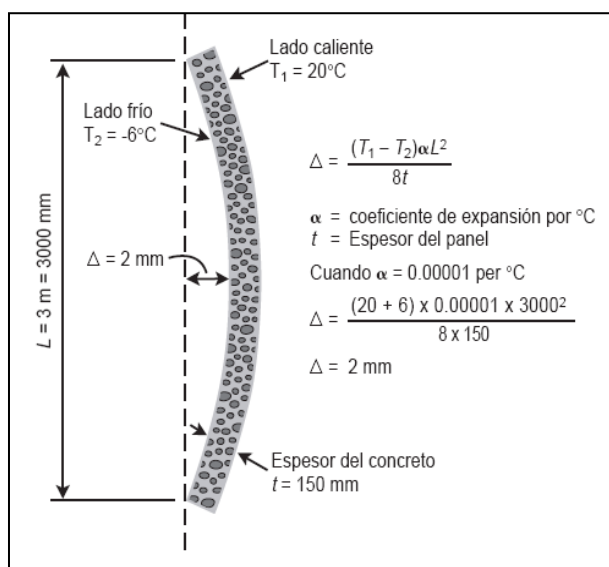
---

<sup>11</sup> DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO PCA



variación de temperatura y el concreto esté totalmente restringido (FHWA<sup>12</sup> y Transtec 2001 y PCA<sup>13</sup>1982)<sup>14</sup>.

Los paneles prefabricados (premoldeados, precolados) para muros, losas y pavimentos sobre el terreno son susceptibles a la flexión y al alabeo, causados por gradientes de temperatura que se desarrollan cuando el concreto está frío en uno de los lados y caliente en el otro. La cantidad calculada de alabeo en un panel de muro se ilustra en la Figura 2.13



**Figura 2.6 Alabeo de muro de concreto simple ocasionado por la variación uniforme de la temperatura desde el interior hasta el exterior**

**Fuente: Diseño y control de mezclas de concreto PCA**

### • Temperaturas Bajas

El concreto procede a contraerse a medida que la temperatura disminuye por debajo de la congelación. La magnitud del cambio de volumen a temperatura bajo cero Celsius ( $32^\circ\text{F}$ ) es altamente influenciada por el contenido de humedad, el comportamiento del agua (estado físico – hielo o líquido) y el tipo del agregado en el concreto. En un estudio, el coeficiente de expansión térmica para el rango de temperatura de  $24^\circ\text{C}$  a  $-157^\circ\text{C}$  ( $75^\circ\text{F}$  a  $-250^\circ\text{F}$ ) varió de  $6 \times 10^{-6}$  por  $^\circ\text{C}$  (3.3

<sup>12</sup> FHWA: ADMINISTRACION FEDERAL DE CARRETES

<sup>13</sup> PCA: ASOCIACION DEL CEMENTO PORTLAND

<sup>14</sup> DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO PCA

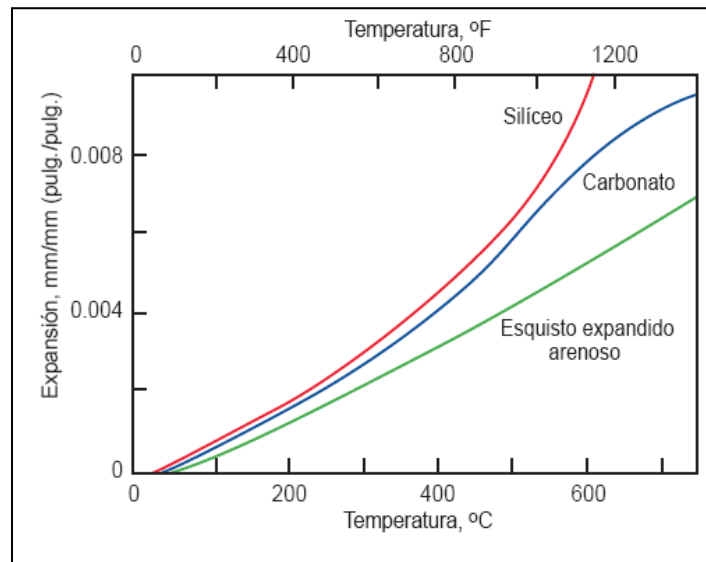
$\times 10^{-6}$  por  $^{\circ}\text{F}$ ) en un concreto con agregado de baja densidad (ligero) a  $8.2 \times 10^{-6}$  por  $^{\circ}\text{C}$  ( $4.5 \times 10^{-6}$  por  $^{\circ}\text{F}$ ) en mezclas con arena y grava. Temperaturas bajo cero Celsius ( $32^{\circ}\text{F}$ ) pueden aumentar considerablemente las resistencias a compresión y a tensión (tracción) y el módulo de elasticidad del concreto húmedo. Las propiedades del concreto seco no se afectan por las bajas temperaturas. En el mismo estudio, el concreto húmedo, con una resistencia a compresión originalmente de  $360 \text{ kg/cm}^2$  o  $35 \text{ MPa}$  a  $24^{\circ}\text{C}$  ( $5000 \text{ lb/pulg}^2$  a  $75^{\circ}\text{F}$ ), alcanzó más de  $1200 \text{ kg/cm}^2$  o  $117 \text{ MPa}$  ( $17,000 \text{ lb/pulg}^2$ ) a  $-100^{\circ}\text{C}$  ( $-150^{\circ}\text{F}$ ). El mismo concreto ensayado, que se ha secado al horno o a 50% de humedad relativa interna, tuvo un incremento de resistencia de sólo cerca de 20%. El módulo de elasticidad para el concreto con arena y grava y 50% de humedad relativa fue sólo 8% mayor a  $-157^{\circ}\text{C}$  ( $-250^{\circ}\text{F}$ ) que a  $24^{\circ}\text{C}$  ( $75^{\circ}\text{F}$ ), mientras que el concreto húmedo tuvo un aumento del módulo de elasticidad de 50%. Al cambiarse de  $24^{\circ}\text{C}$  ( $75^{\circ}\text{F}$ ) para  $-157^{\circ}\text{C}$  ( $-250^{\circ}\text{F}$ ), la conductividad térmica del concreto de peso normal también aumenta, especialmente en el concreto húmedo. La conductividad térmica del concreto con agregado ligero es poco afectada (Monfore y Lentz 1962 y Lentz y Monfore 1966).

- **Temperaturas Elevadas**

Temperaturas más altas que  $95^{\circ}\text{C}$  ( $200^{\circ}\text{F}$ ), cuando se sostienen por varios meses o solamente por algunas horas, pueden afectar considerablemente el concreto. La cantidad total de cambio de volumen del concreto es la suma de los cambios de volúmenes de la pasta de cemento y de los agregados. A temperaturas elevadas, la pasta se retrae debido a la deshidratación, mientras que los agregados se expanden.

Para el concreto con agregados normales, la expansión del agregado excede la contracción de la pasta, resultando en una expansión del concreto. Algunos agregados, tales como el esquisto (pizarra) expandido, la andesita o la piedra pómez, con coeficientes de expansión bajos, pueden producir un concreto con gran estabilidad de volumen en ambientes de temperaturas altas (Gráfico 2.2). Por otro lado, algunos agregados presentan cambios de volúmenes grandes y repentinos en

ciertas temperaturas, causando la falla del concreto. Por ejemplo, en un estudio, un agregado de caliza dolomítica conteniendo impurezas de sulfuro de hierro causó expansión, agrietamiento y desintegración severos en el concreto expuesto a una temperatura de 150°C (302°F) por cuatro horas. A temperaturas mayores y menores que 150°C (302°F) no hubo expansión perjudicial (Carette, Painter y Malhotra 1982). El coeficiente de expansión térmica tiende a aumentar con el incremento de la temperatura.



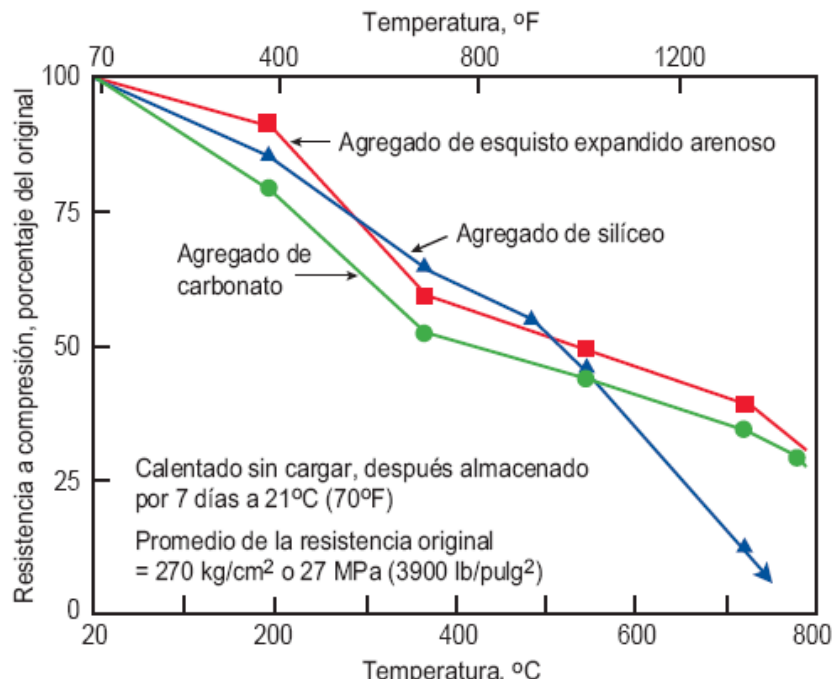
**Gráfico 2.2** Expansión térmica del concreto conteniendo varios tipos de agregado (Abrams 1977)

**Fuente:** *Diseño y control de mezclas de concreto PCA*

Además del cambio de volumen, las altas temperaturas sostenidas pueden también tener otros efectos irreversibles, tales como reducción de la resistencia, del módulo de elasticidad, de la conductividad térmica y aumento de la fluencia. A temperaturas más altas que 100°C (212°F), la pasta empieza a deshidratarse (pérdida del agua químicamente combinada de la hidratación), resultando en pérdidas considerables de resistencia. La resistencia disminuye con el aumento de la temperatura hasta que el concreto pierde prácticamente toda su resistencia.

El efecto de la exposición a temperaturas elevadas sobre la resistencia de concretos producidos con varios tipos de agregados se enseña en la grafica 2.3.

Muchos factores, incluyendo el contenido de humedad en el concreto, tipo y estabilidad del agregado, contenido de cemento, tiempo de exposición, tasa de aumento de la temperatura, edad del concreto, restricción y esfuerzo existente influyen el comportamiento del concreto a temperaturas altas.



**Gráfico 2.3 Efecto de las temperaturas elevadas sobre la resistencia a compresión residual de concreto conteniendo varios tipos de agregados (Abrams 1977)**

**Fuente: Diseño y control de mezclas de concreto PCA**

Si se usan agregados estables y si, en el diseño de la mezcla, se llevan en consideración la reducción de la resistencia y los efectos sobre otras propiedades, el concreto de alta calidad se puede exponer a temperaturas de 90°C a 200°C (200°F a 400°F) por periodos prolongados.

Algunos elementos de concreto fueron expuestos a temperaturas de hasta 250°C (500°F) por largos periodos de tiempo. Sin embargo, se deben adoptar medidas especiales o se deben usar materiales especiales (tales como cemento de aluminato de calcio resistente a temperaturas altas) en

exposiciones a temperaturas mayores que 200°C (400°F). Antes que se exponga cualquier concreto a temperaturas elevadas (mayores que 90°C o 200°F), se deben hacer pruebas para determinar las propiedades térmicas del concreto. Esto evitará cualquier esfuerzo inesperado.

### **2.3-6. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE PESO NORMAL.**

#### **I. 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<sup>3</sup> 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 erigir (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

## II. 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.

## III. 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<sup>2</sup> 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 2.5; 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:

$$F'_{cr} = f'_{c} + 1.34 S \quad \text{ecuación 2.1}$$

$$F'_{cr} = f'_{c} + 0.33 S - 35 \quad \text{ecuación 2.2}$$

En donde:

$F'_{cr}$  = Resistencia a compresión promedio del concreto, requerida como base para la selección de las proporciones del concreto, Kg/cm<sup>2</sup>

$f'_{c}$  = Resistencia a la compresión específica en el concreto, Kg/cm<sup>2</sup>

$S$  = Desviación estándar, Kg/cm<sup>2</sup>

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:

$$S = [\sum (x_i - X)^2 + (n - 1)]^{1/2} \quad \text{ecuación 2.3}$$

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/cm<sup>2</sup>

$n$  = 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:

$$S = [ ((n_1 - 1) (S_1)^2 + (n_2 - 1) (S_2)^2) / (n_1 + n_2 - 2) ]^{1/2} \quad \text{ecuación 2.4}$$

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/cm<sup>2</sup>

$n_1$ ,  $n_2$  = 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 2.5

**Tabla 2.5 Factor de modificación para la desviación estándar, cuando se dispone de menos de 30 ensayos.**

Numero de ensayos	Factor de modificación para la desviación estándar.
Menos de 15	Use la tabla 2.6
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o mas	1.0

*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 2.6.

**Tabla 2.6 Resistencia a la compresión promedio requerida, cuando no se dispone de datos para establecer una desviación estándar**

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

*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  $F'_{cr}$ .

#### IV. 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 2.7 para aquellos concretos que se consolidan por vibración mecánica.

**Tabla 2.7 Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción**

Revenimiento (cm)		CONSTRUCCION 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	2.5	Vigas y muros reforzados
10	2.5	Columnas de edificios
7.5	2.5	Pavimentos y losa
5	2.5	Concreto masivo

*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 2.8 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.

**Tabla 2.8 Contenido aproximado de aire en el concreto para varios grados de exposición**

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
1½	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

*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 2.9. Los valores que se indican se hayan en función del revenimiento, tamaño máximo de los agregados y del contenido de aire en la mezcla.

**Tabla 2.9. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado.**

Revenimiento (cm)	Agua, kg/m <sup>3</sup> de concreto, para los tamaños máximos indicados.*							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"***	3"***	6"***
<b>Concreto sin aire incluido</b>								
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	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto con aire incluido</b>								
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	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en el Concreto (%).								
Baja	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición Moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Severa	7.5	6	6	6	6	5	4.5	4
<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>								

**Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, IMCYC.**

Es necesario hacer hincapié en que el valor encontrado en la Tabla 2.9, 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 compresión y la relación agua/cemento, pudiéndose sintetizar los resultados como se muestra en la Tabla 2.10.

***Tabla 2.10 Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a compresión del concreto.***

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS EN kg/cm<sup>2</sup> (psi)*</b>	<b>RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO</b>	
	<b>Concreto sin inductor de aire</b>	<b>Concreto con inductor de aire</b>
175 (2500)	0.65	0.56
210 (3000)	0.58	0.5
245 (3500)	0.52	0.46
280 (4000)	0.47	0.42
315 (4500)	0.43	0.38
350 (5000)	0.4	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

***Fuente: Diseño y Control de Mezclas 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 2.11 sirve como guía básica para escoger la relación agua/cemento adecuada para diversas condiciones de exposición.

**Tabla 2.11 Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación agua/cemento.**

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. Concreto expuesto a agua de mar.	0.5 0.45
Concreto expuesto a la congelación y deshielo en condición húmeda*	0.45
Guarniciones, cunetas, guardarieles, o secciones delgadas.	0.5
Otros elementos 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.	

*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 2.12, 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%.

**Tabla 2.12 Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.**

Tamaño máximo de agregado (pulg)	Volumen de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8 "	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2 "	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4 "	0.66	0.64	0.62	0.60
1 "	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2 "	0.75	0.73	0.71	0.69
2 "	0.78	0.76	0.74	0.72
3 "	0.82	0.79	0.78	0.75
6 "	0.87	0.85	0.83	0.81

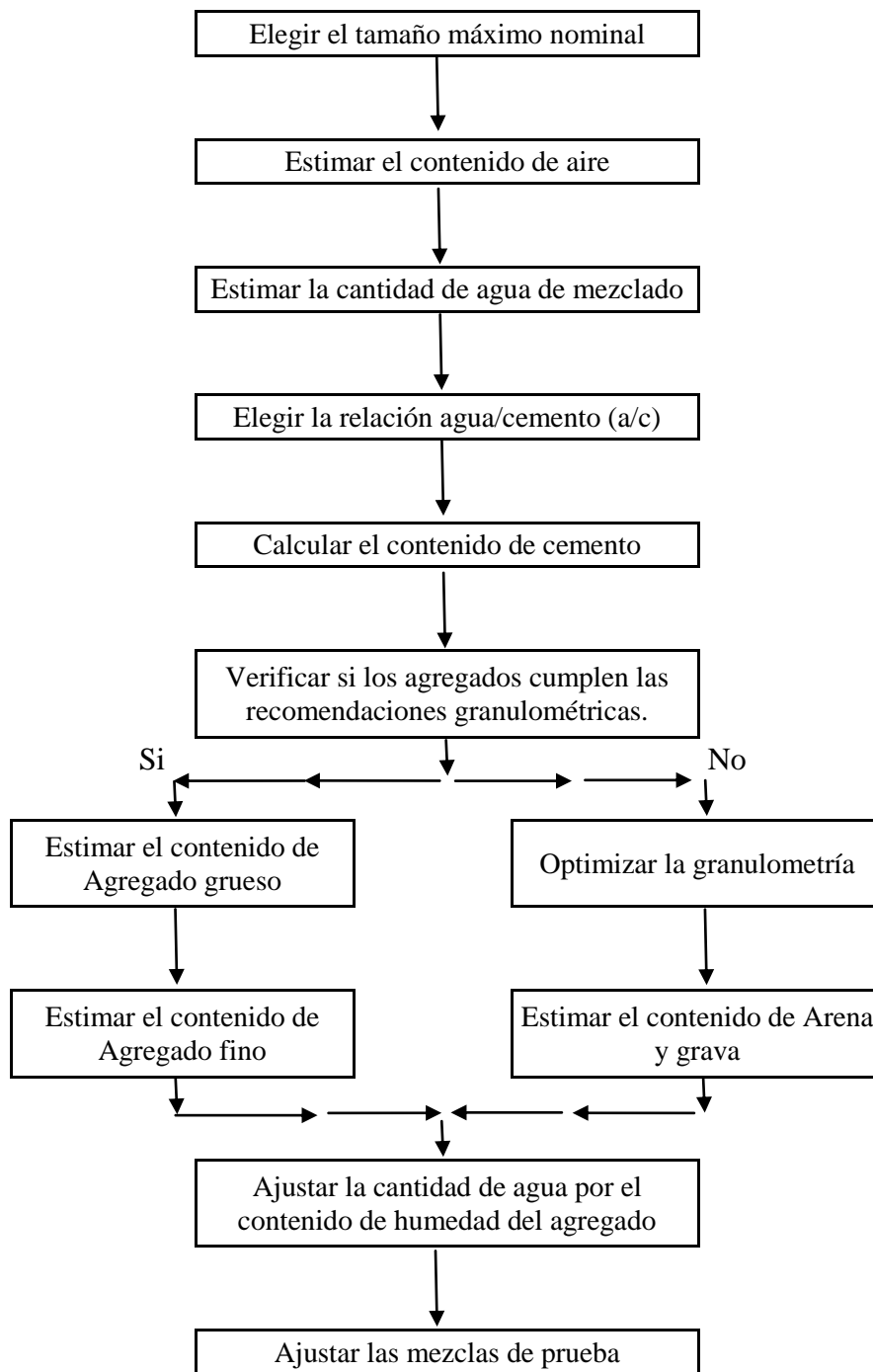
*Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto. (IMCYC)*

### **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.



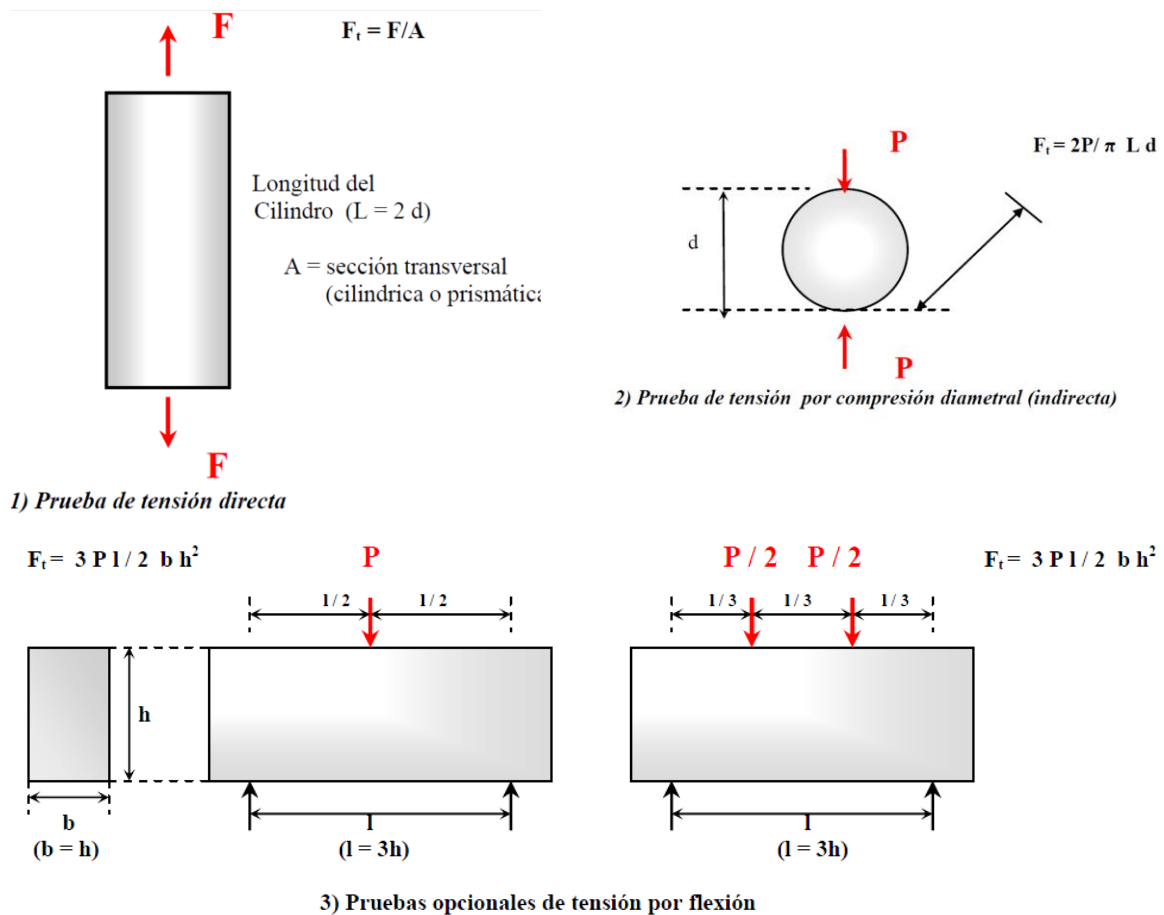
*Fig. 2.7 Secuencia general de pasos para la dosificación de mezcla de concreto.  
Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, (IMCYC)*

### 2.3-7. 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 2.7.

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. 2.7 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 ensayo 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 ensayo 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. 2.7, 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/cm<sup>2</sup>/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:

$$MR = \frac{Pl}{bh^2} \quad \text{ecuación 2.5}$$

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 modulo de ruptura por la expresión:

$$MR = \frac{3Pa}{bh^2} \quad \text{ecuación 2.6}$$

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 ensayo 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 ensayo.

### **2.3-8. 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.



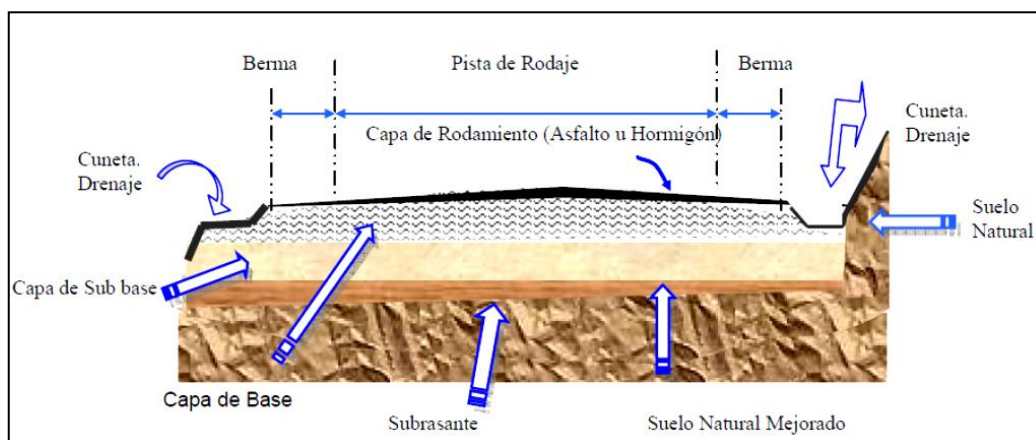
El pavimento debe proporcionar la superficie de rodamiento para que los vehículos transiten con “rapidez, comodidad y seguridad”, siendo éstas cualidades relativas y dependientes principalmente del tipo de camino. Así por ejemplo, en una autopista los usuarios exigen velocidades altas quizás mayores 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.

### I. 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. 2.8

#### 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 2.8: 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.

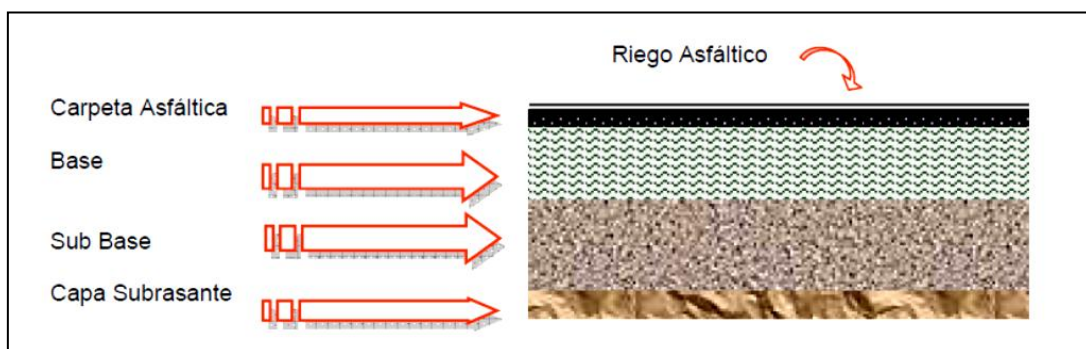
Son las fajas contiguas a la calzada, comprendidas entre sus orillas y las líneas definidas por los hombros del camino.

## II. 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: carpeta asfáltica, base, sub-base y riego asfáltico las cuales se construyen sobre la capa subrasante (ver Fig. 2.9).



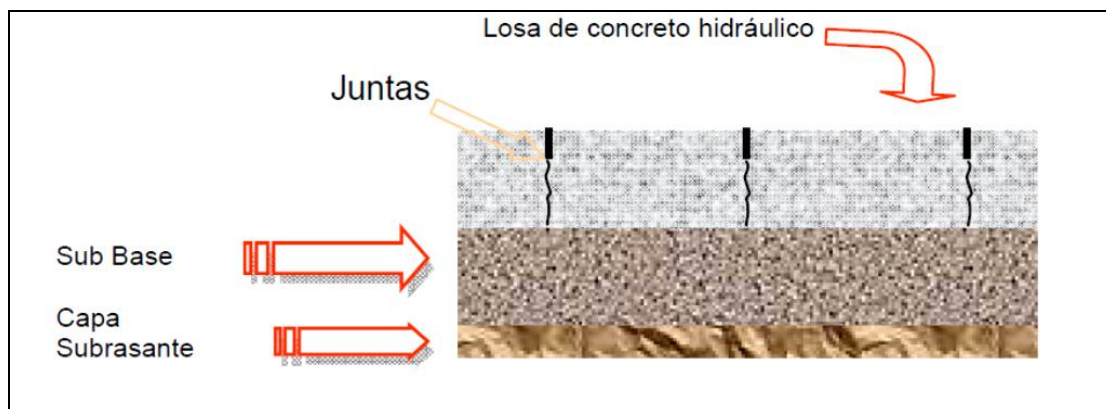
*Fig. 2.9: Capas que forman un pavimento flexible.*

*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. 2.10) que se constituyen sobre la capa subrasante.



*Fig. 2.10: 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.

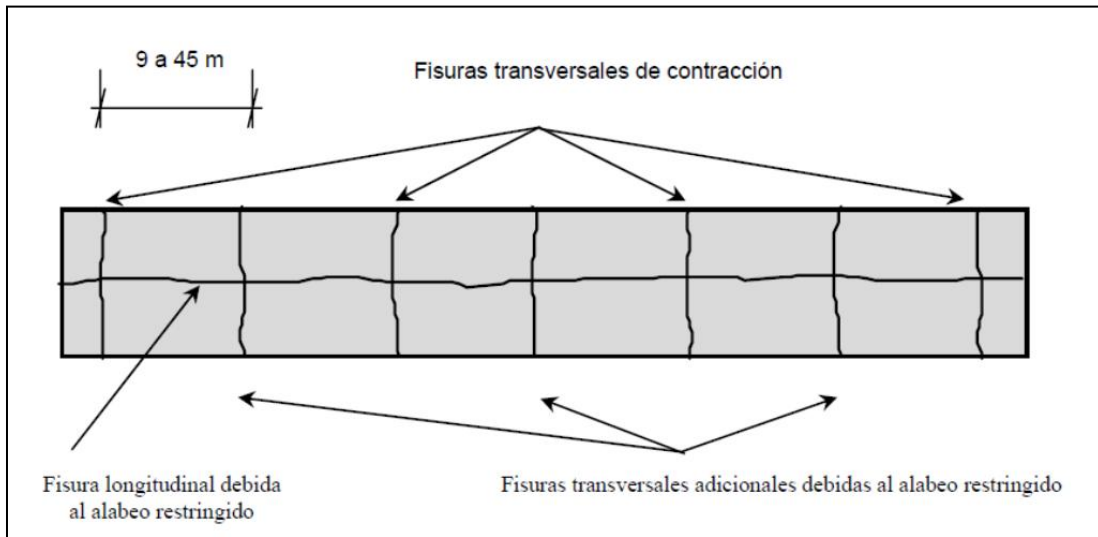
Además de los pavimentos anteriormente mencionados, existe un gran número de pavimentos de tipo especial, tales como aquellos formados por adoquines, ladrillos, bloques de madera etc, empleados algunas veces en calles y plazas. La mayoría de estos pavimentos especiales se observan únicamente fuera de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

### **III. JUNTAS EN LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS.**

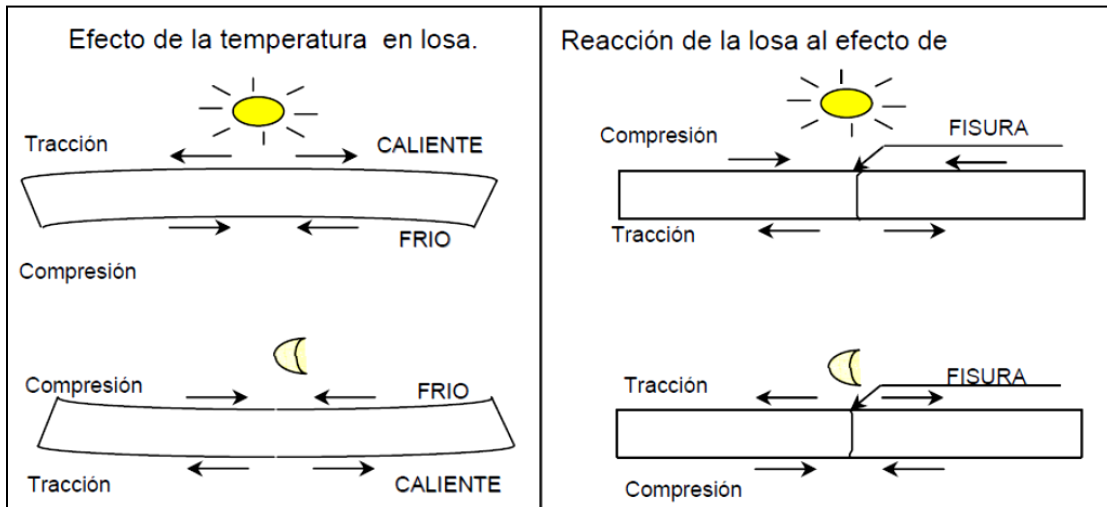
Un pavimento de concreto sin juntas sería ideal, sin embargo las propiedades de los materiales y la acción meteorológica requiere del empleo de juntas para reducir los problemas de retracción del concreto, dilatación térmica, discontinuidad en la construcción de las losas y alabeo (ver Fig. 2.11a y 2.11b), 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. 2.11 a Vista en planta del Pavimento de Concreto sin Juntas.**  
**Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000**



**Fig. 2.11 b Vista de sección de losa en comportamiento alabeo diurno y nocturno.**  
**Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000**

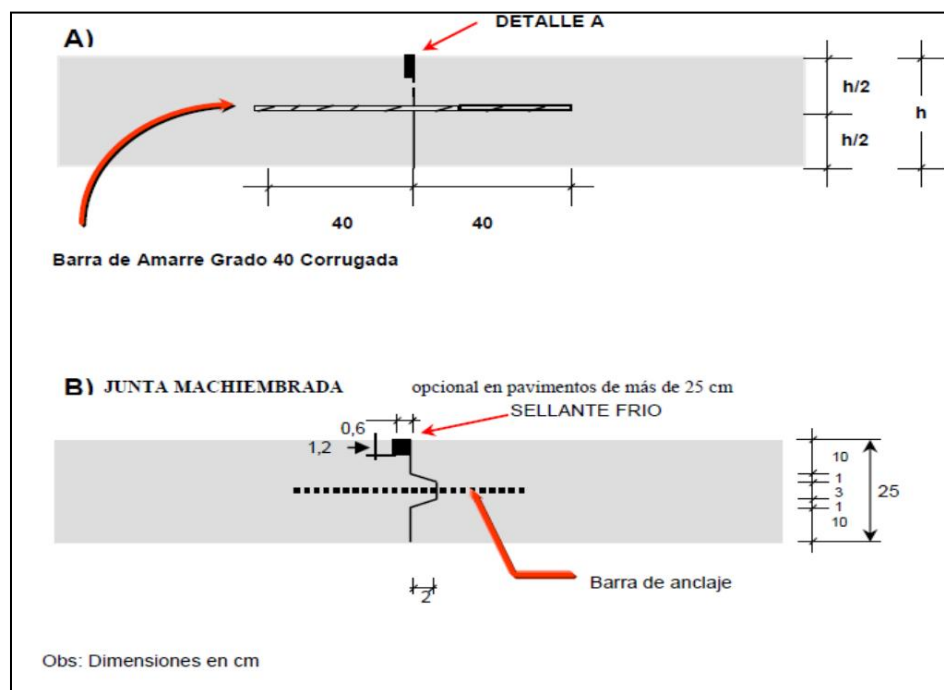
## a) TIPOS DE JUNTAS.

**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. 2.12).

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.

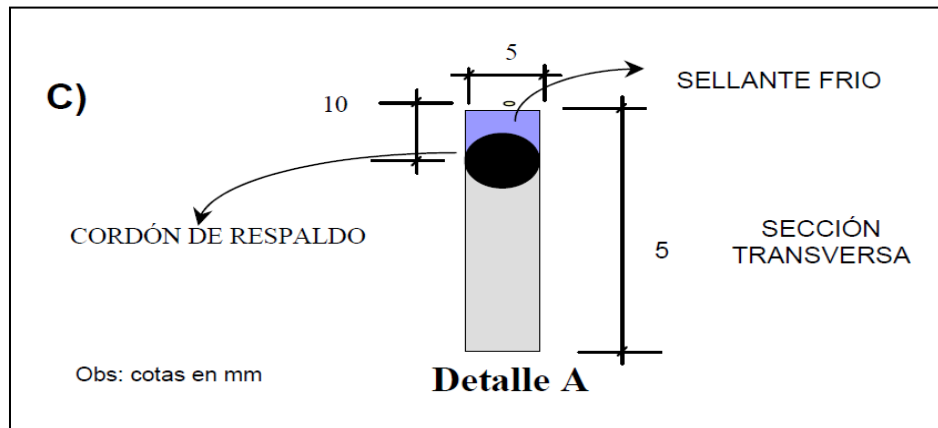


**Fig. 2.12. A) Profundidad del Corte y Sellado de Juntas. (Sección transversal).**

**B) Junta Machihembrada (Sección transversal del Pavimento).**

**Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000**



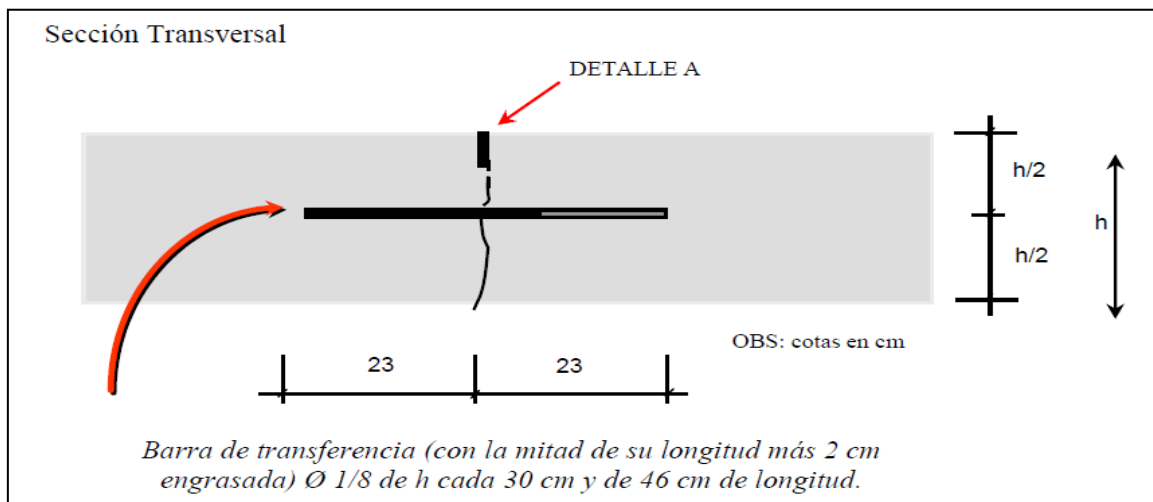


*Fig. C) Junta Longitudinal de Construcción.  
Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000*

### Juntas Transversales

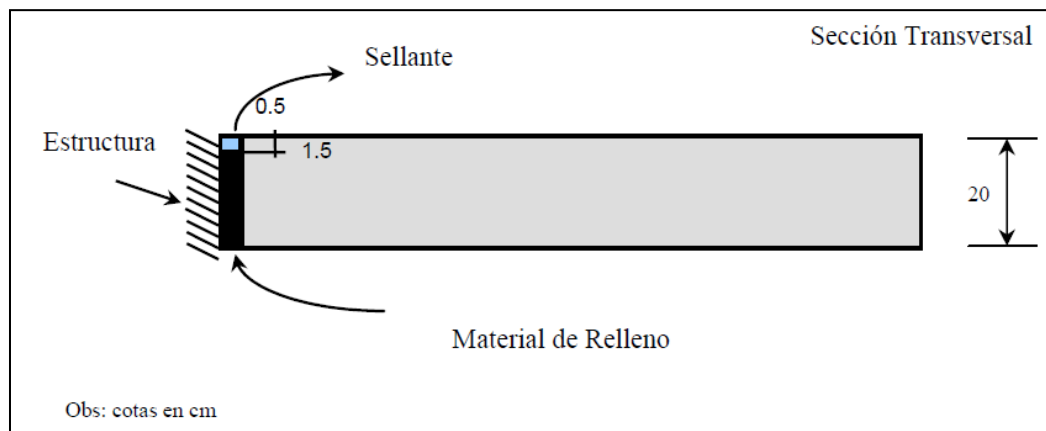
Las juntas transversales pueden ser de contracción, expansión, alabeo o construcción. Las de contracción se programan para que coincidan con alguna de las anteriores.

**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. 2.13)



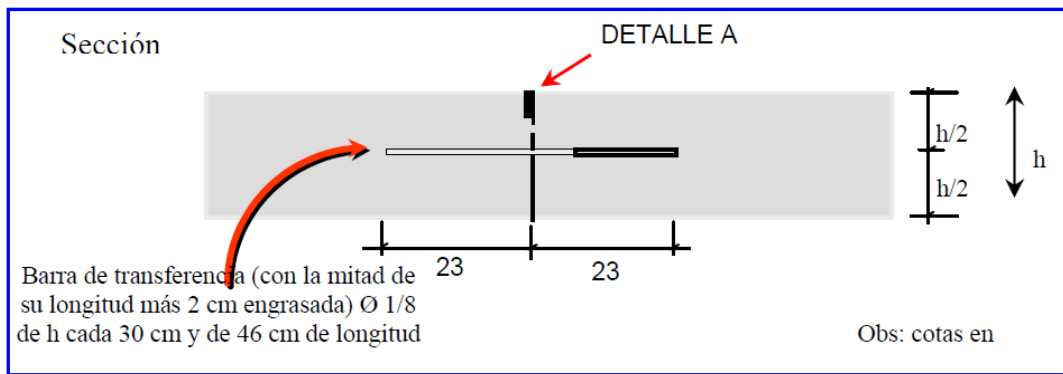
*Fig. 2.13 Junta Transversal de Contracción.  
Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000*

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. 2.14)



**Fig. 2.14 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 2.15)

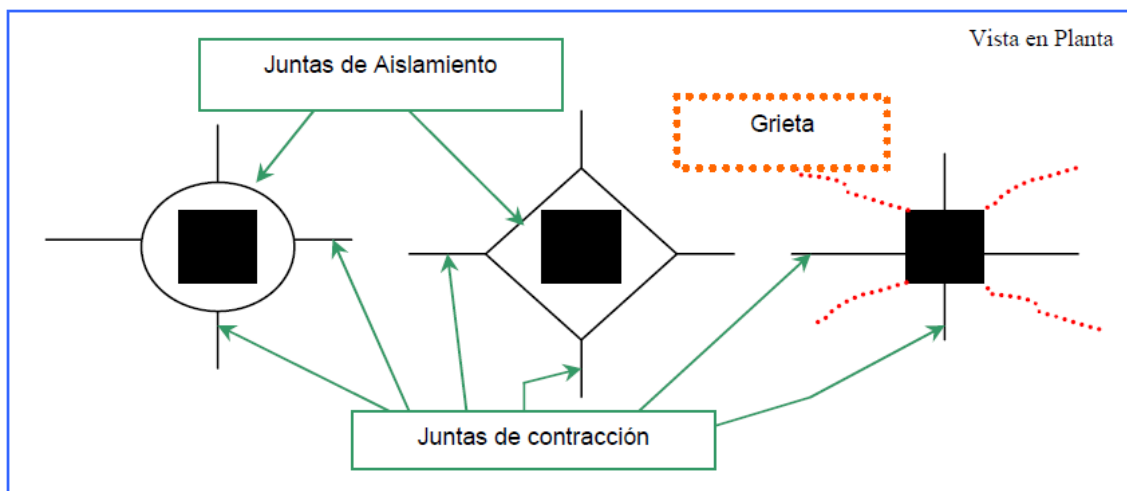


**Fig. 2.15: Junta Transversal de Construcción.**  
**Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000**

### 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 2.16)

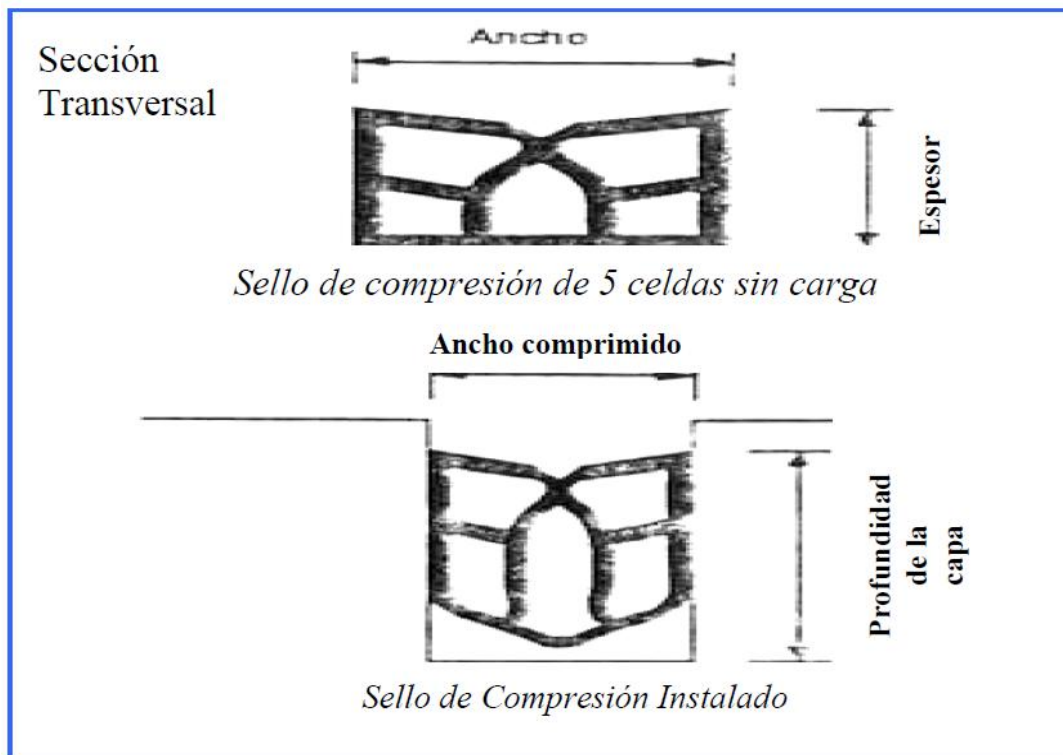
Las juntas de aislamiento se forman insertando un rellenedor premoldeado para la junta entre la losa y el elemento adyacente. El material de la junta deberá extenderse en toda la profundidad de la losa y no debe sobresalir encima de ella.



**Fig. 2.16 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 semirrígido que le dé un soporte adecuado a los bordes de la junta de modo que tenga suficiente resistencia al desgaste. (Fig 2.17)



*Fig. 2.17 Sellos de Compresión Preformados.*

*Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000*

#### IV. 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 2.18)

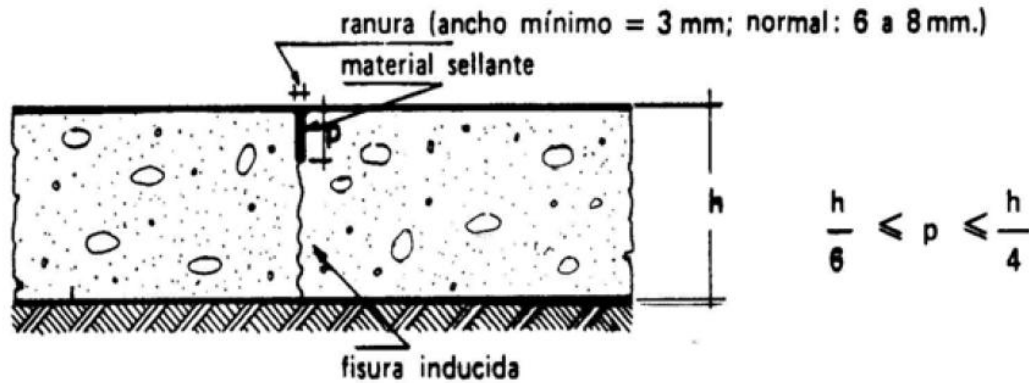


Fig. 2.18 Mecanismo de Transmisión de carga por medio de la trabazón de agregados.

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 2.19)

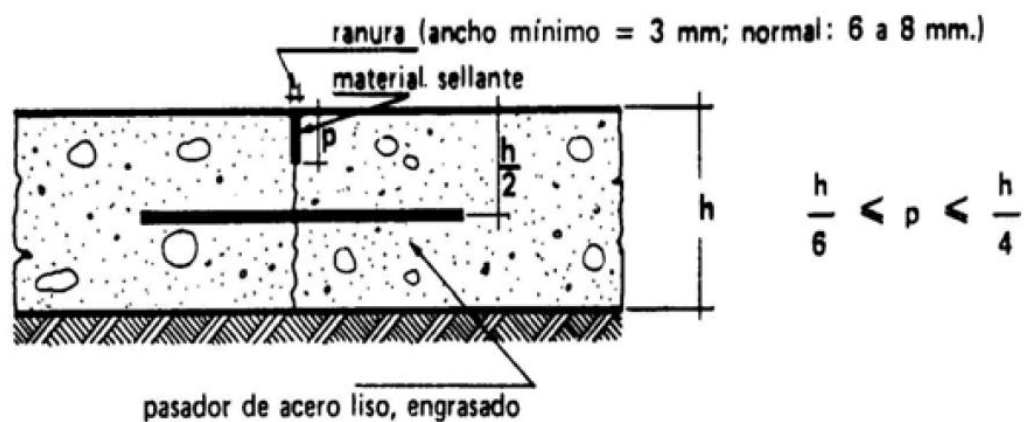
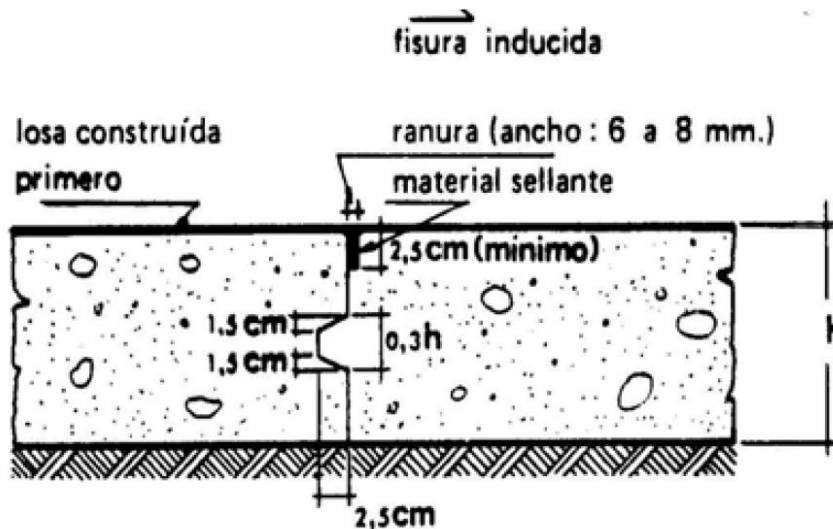


Fig. 2.19 Mecanismo de Transmisión de carga por medio de pasadores.

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 2.20)



*Fig. 2.20 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.

## V. TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS.

Los pavimentos Rígidos pueden agruparse en cinco categorías:

- Pavimentos de Concreto con Juntas Simples (JPCP).
- Pavimentos de Concreto Compactado (CCP).
- Pavimentos de Concreto Armado (JRCP y CRCP).
- Pavimentos de Concreto Pretensado.
- Pavimentos de Concreto Prefabricados

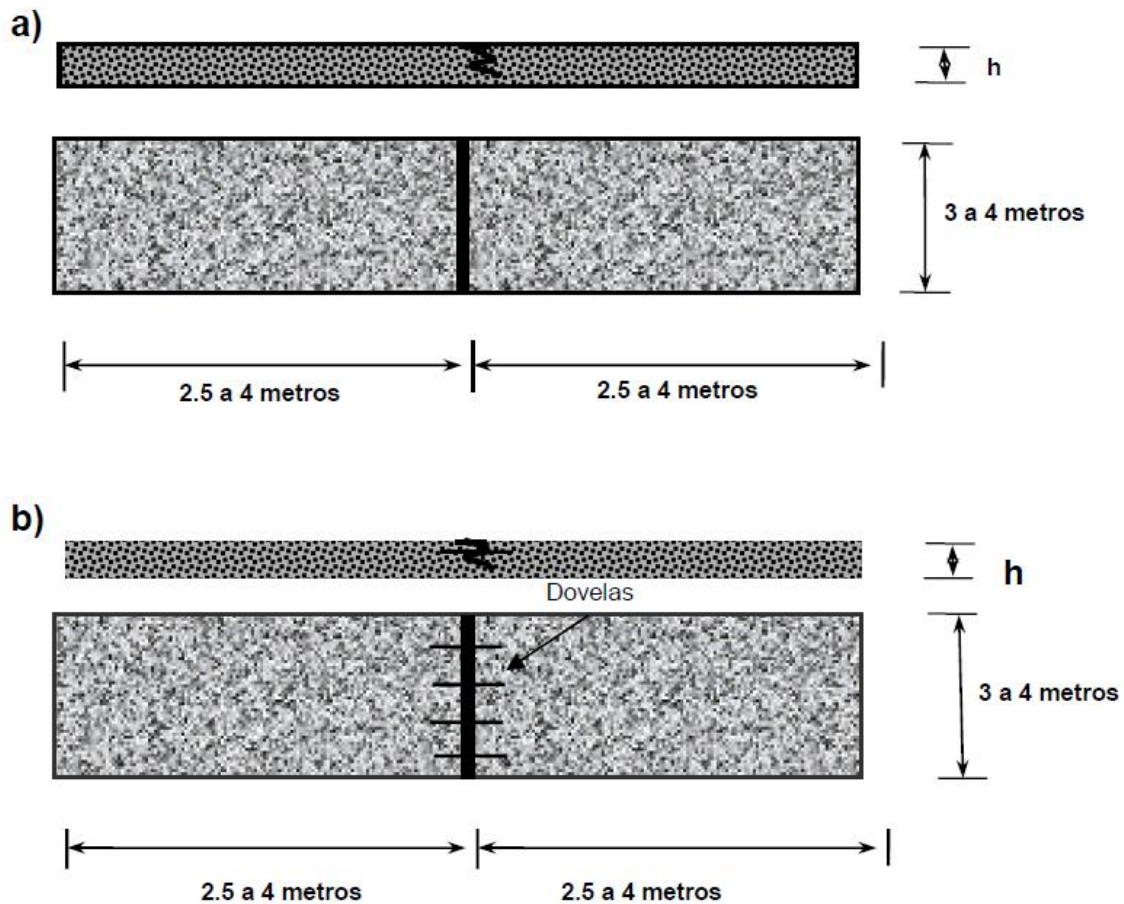
A continuación se describen las características de cada categoría de pavimento y los diferentes tipos que engloba.

**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 2.21)



*Fig 2.21. 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  $300 \text{ kg/m}^3$ , 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

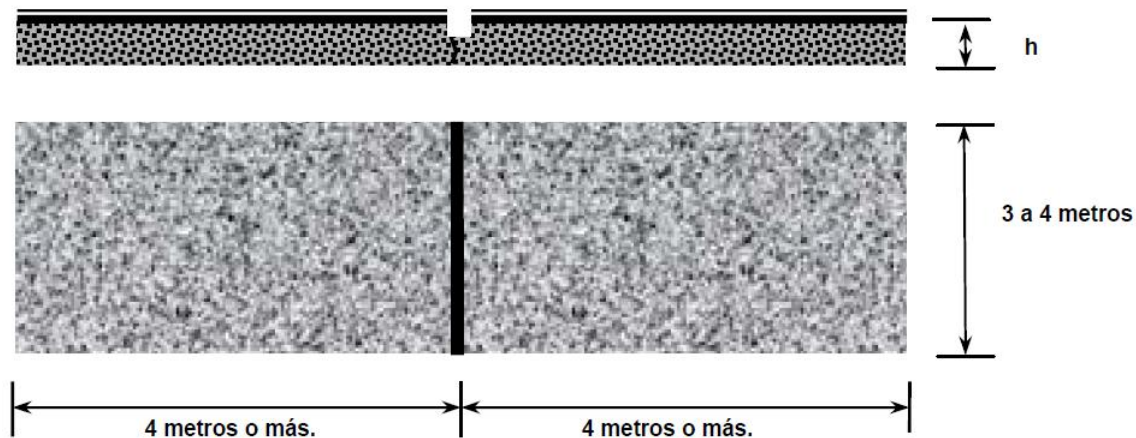


con un riego (puede ser el mismo empleado para el curado), el concreto compactado puede habilitarse casi inmediatamente al tráfico, por lo que resulta adecuado para carreteras bajo tráfico.

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 4.0 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. 2.22)



*Fig 2.22 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

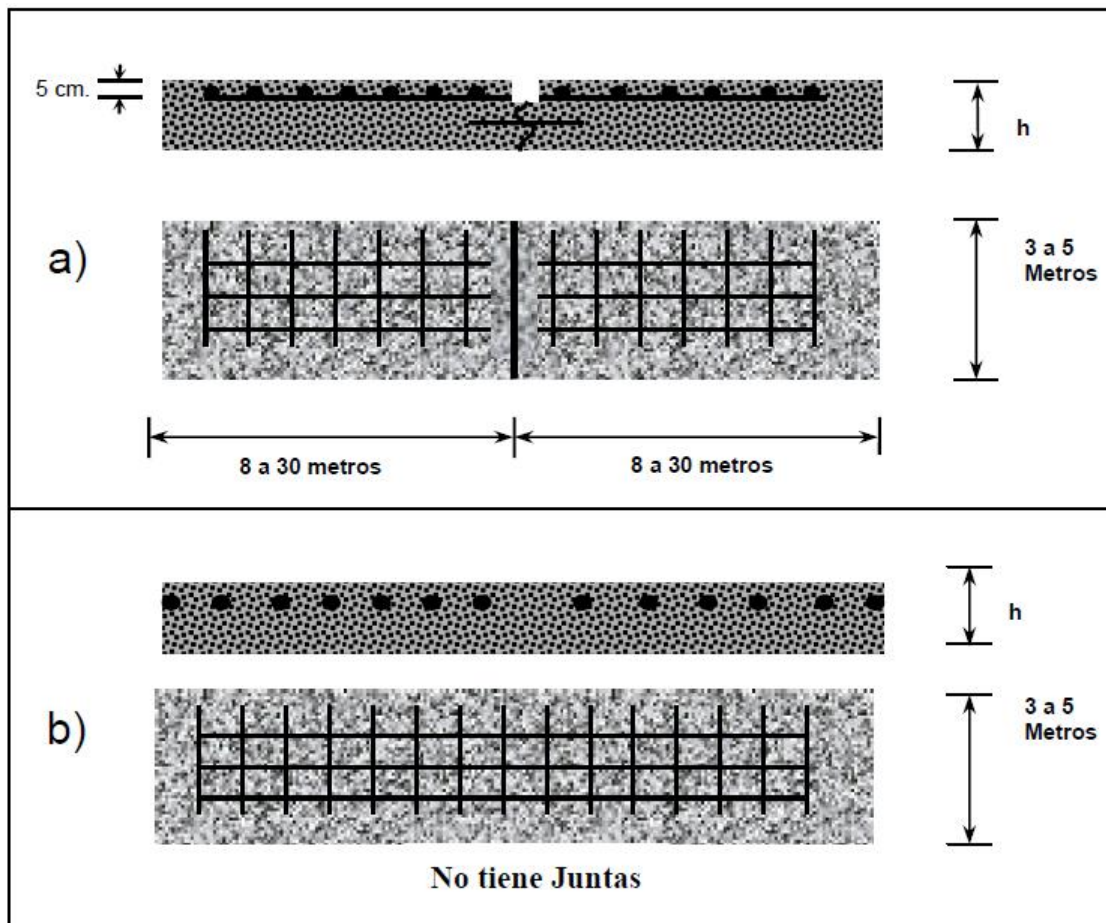
estructural, pues sería antieconómico, sino es la de mantener acopladas las fisuras transversales que inevitablemente aparecen en losas largas. De este modo se asegura la transmisión de cargas en las fisuras, se impide la intrusión de agua y finos y se evita la abertura en V de las grietas en superficie bajo la acción del tráfico; además, se emplean mallazos electrosoldados (alambres de unos 6 mm 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).

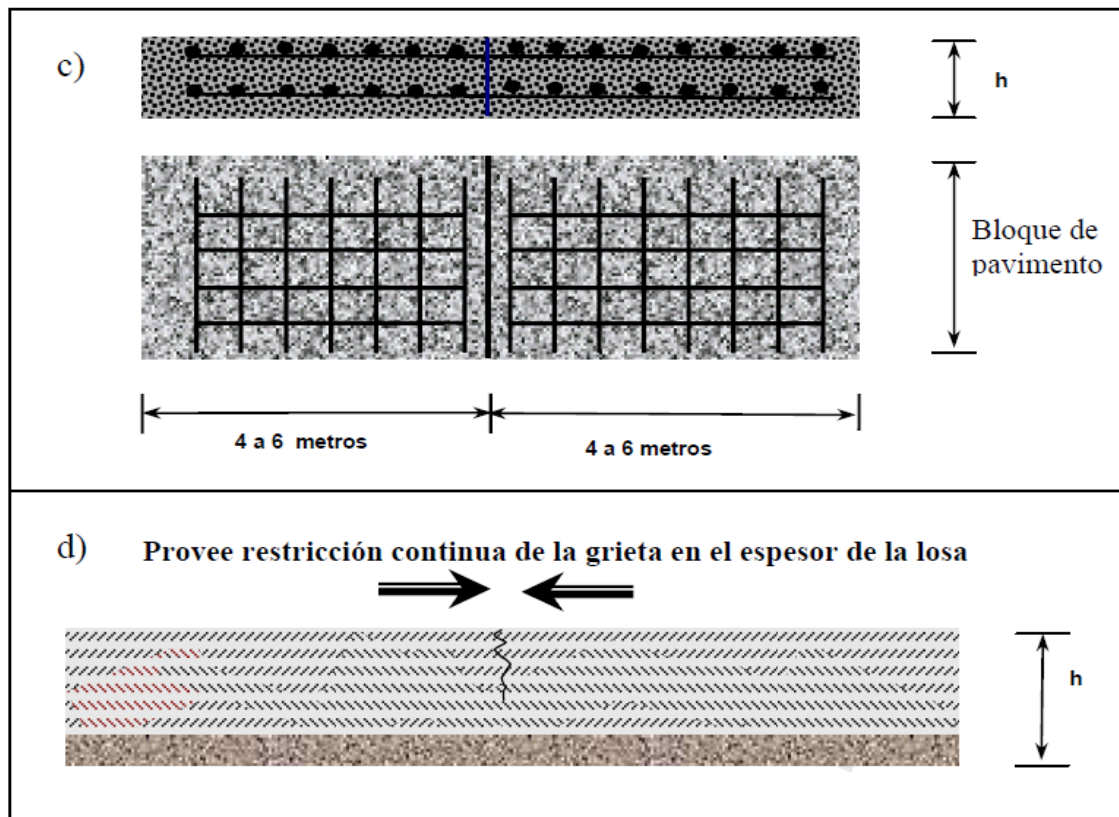
Pavimentos continuos de concreto armado: constituyen en cambio una extrapolación feliz de la técnica antes mencionada, dado que llegan a suprimirse las juntas transversales a costa de aumentar la cuantía de la armadura de acero de alto límite elástico.

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. 2.23).



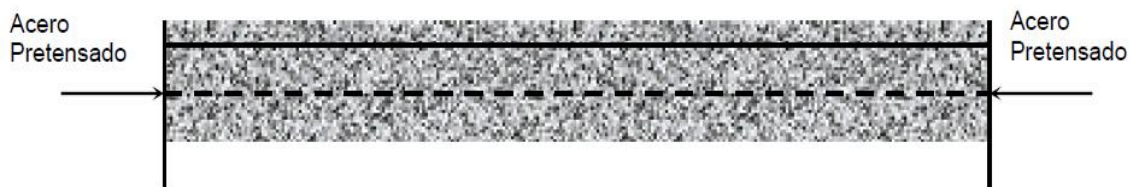
**Fig 2.23** a) Pavimento con refuerzo discontinuo distribuido no estructural.  
 b) Pavimento con refuerzo continuo sin función estructural.  
 Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000



**Fig 2.23** 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

### e) 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. 2.24)



**Fig 2.24** Pavimento Pretensado.  
 Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000

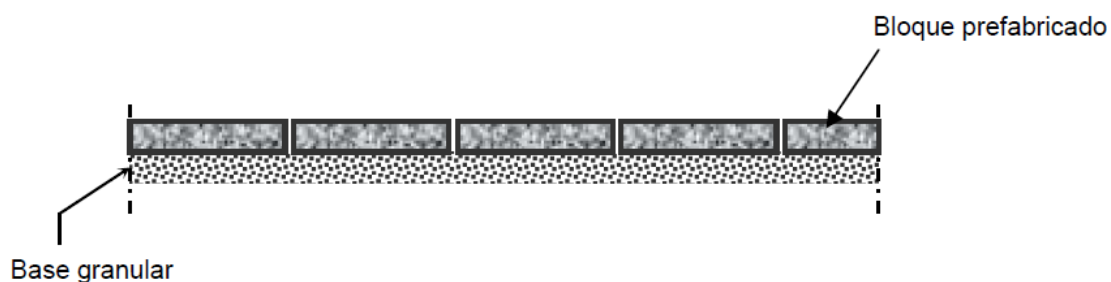
### e) Pavimentos de Concreto Prefabricados.

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 drenaste.

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. 2.25)

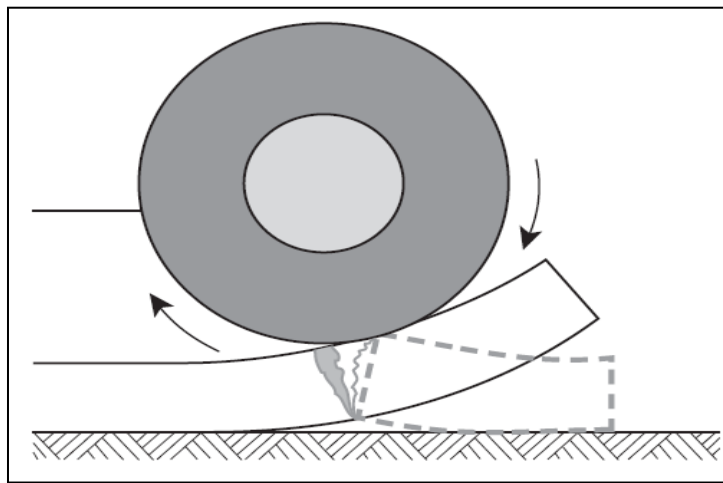


*Fig 2.25. Pavimento Prefabricado.*

*Fuente: Curso sobre Pavimentos de Concreto Hidráulico. ISCYC 2000*

**VI. ALABEO (COMBADURA)**

Además de los movimientos horizontales causados por los cambios en la humedad y en la temperatura, el alabeo de las losas sobre el terreno puede ser un problema. Esto se ocasiona por las diferencias del contenido de humedad y temperatura entre las partes superior e inferior de las losas (Fig. 2.26).



**Fig. 2.26 Ilustración del alabeo de una losa de concreto sobre el terreno. El borde de la Losa en la junta o en la extremidad libre de la sub-base crea una sección en voladizo que se puede romper bajo las cargas pesadas de la prueba.**  
**Fuente: Diseño y control de mezclas de concreto PCA**

Los bordes de las juntas de las losas tienden a alabearse hacia arriba cuando la superficie de la losa está más seca o más fría que su parte inferior. La losa va a asumir una combadura inversa cuando la superficie está más húmeda o más caliente que el fondo.

Sin embargo, losas de interiores, tales como pisos sobre el terreno, sólo se alabean hacia arriba. Cuando los bordes de un piso industrial se comban hacia arriba, pierden soporte de la sub-base y se transforman en una losa en voladizo (ménsula). El tránsito de montacargas sobre las juntas

causa deflexiones verticales repetidas, creando un mayor potencial para el agrietamiento por fatiga en la losa. La cantidad de alabeo vertical es menor en losas pequeñas y gruesas.

Se puede reducir o eliminar el alabeo con el uso de diseño y técnicas de construcción que minimicen los gradientes de contracción, y con el empleo de las técnicas descritas anteriormente para la reducción de los cambios de volumen relacionados con la de temperatura y de humedad. Los bordes gruesos, las juntas poco espaciadas, selladores permanentes impermeables al vapor y grandes cantidades de acero de refuerzo colocado a 50 mm (2 pulg.) debajo de la superficie ayudan a reducir el alabeo (Ytterberg 1987).

## **VII. FALLAS ESTRUCTURALES Y SUS CAUSAS EN LOSAS DE PAVIMENTO HIDRÁULICO**

Una de las principales fallas son los agrietamientos consecuencia de la contracción del concreto u hormigón, ocurre a muy temprana edad, como consecuencia de cambios de temperatura durante los procesos de hidratación y fraguado, así como por la pérdida de agua por evaporación.

La contracción y expansión no ocurren libremente, puesto que se encuentra restringida por las fuerzas de fricción desarrolladas entre las superficies en contacto de la losa con la sub-base, lo que genera esfuerzos de tensión en el hormigón, que a su vez generan fisuración transversal en el pavimento.

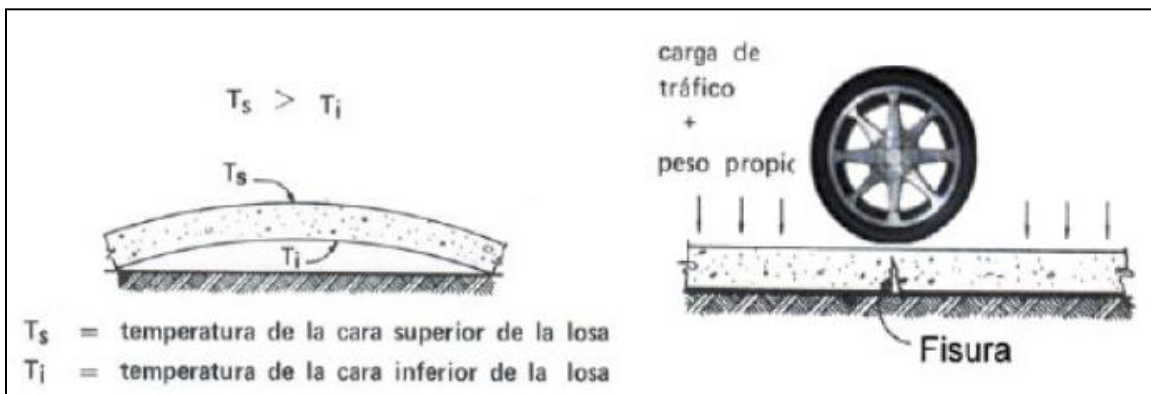
La separación y el ancho de las fisuras transversales dependen, entre otras cosas, del tipo de material de la capa de apoyo; Cuando se tienen sub-bases rígidas, el patrón de agrietamiento se presenta con separaciones cortas y poco anchas, mientras que en sub-bases granulares se presentan separaciones mayores y con mayor ancho.



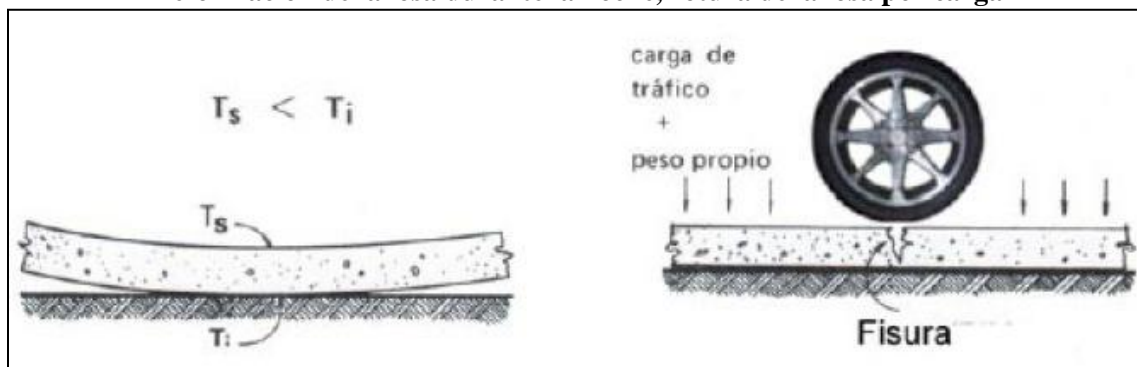
La figuración también puede ocurrir a edades mayores cuando el hormigón ya se encuentra endurecido, como consecuencia de gradientes térmicos y de humedad, debido a los cuales las losas experimentan alabeos, con cambios de forma y curvatura sensibles en el transcurso del día y de la noche.

Los agrietamientos térmicos modifican el sentido de la curvatura de las losas, pasando de cóncavo durante la noche a convexo hacia abajo durante el día, Ver Figura 2.27.

#### Deformación de la losa durante el día, origen de la grieta por carga



#### Deformación de la losa durante la noche, rotura de la losa por carga



**Figura 2.27. Puntos de falla generados por la aplicación de cargas vehiculares con alabeo existente en losas**

*Fuente: Distress identification manual*

Debe tenerse cuidado en el diseño de juntas, debiendo tener en cuenta las condiciones que aseguren la transferencia de cargas deseada, así como permitir la colocación de un material de sello



que impida la infiltración de agua y la penetración de materiales incompresibles que restrinjan el libre movimiento de las losas.

Aunque en ocasiones la fallas no se presentan por una mala concepción de diseño del pavimento, sino que obedece a malos controles en la calidad constructiva de los mismos, generando así un deterioro prematuro.

### 2.3-9. MOVIMIENTOS DE JUNTAS

El movimiento de las losas depende de las características de contracción del concreto. El movimiento de una sección se puede estimar mediante la expresión:

$$\Delta L = C L (\varepsilon + \alpha_t \Delta T) \text{ (Darter y Barenberg)} \quad \text{ecuación 2.7}$$

$\Delta L$ : es la abertura de la junta causada por la contracción debida al secado del concreto por el cambio de temperatura

$\varepsilon$  : es la contracción unitaria por secado del concreto (0.5 a 2.5 x 10<sup>-4</sup>)

$\alpha_t$ : es el coeficiente de dilatación térmica del concreto (9.0 a 10.8 x 10<sup>-6</sup>/°C)

$\Delta T$ : es el rango de temperatura (temperatura local - temperatura media mínima mensual)

L: es el espaciamiento entre las juntas... y

C: es el factor de ajuste entre la losa y la subrasante (0.65 para suelo estabilizado y 0.80 para sub-base granular)

# **CAPITULO III**

# **P**RUEBAS **D**E **L**ABORATORIO

CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADOS.



Fig. 3.1: Extrayendo las muestras de agregado fino y grueso en condiciones de campo.



Fig. 3.2: Pesando las muestras con sus condiciones de campo.



Fig. 3.3: Secando las muestras en el horno.



Fig. 3.4: Extrayendo las muestras del horno en condición seca.



Fig. 3.5: Pesando las muestras en condición seca.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADO GRUESO**

<b>HOJA:</b>	1/1
--------------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamiento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera La Pedrera
<b>Norma:</b>	ASTM C-566-97
<b>Fecha:</b>	18 de junio de 2011

<b>Ensayo N°</b>	<b>1</b>
Peso de grava húmeda (g)	4075
Peso seco de grava secada al horno (g)	4025
<b>W</b> de humedad (%)	1.242

<b><math>\omega</math> de humedad</b>	<b>1.24%</b>
---------------------------------------	--------------

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

*CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADO FINO*

HOJA:	1/1
-------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera La Pedrera
<b>Norma:</b>	ASTM C-566-97
<b>Fecha:</b>	21 de junio de 2011

<b>Ensayo N°</b>	<b>1</b>
Peso de grava húmeda (g)	510
Peso seco de grava secada al horno (g)	440
<b>W</b> de humedad (%)	15.909

<b><math>\omega</math> de humedad</b>	<b>15.91%</b>
---------------------------------------	---------------

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADO GRUESO**

<b>HOJA:</b>	1/1
--------------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera El Carmen
<b>Norma:</b>	ASTM C-566-97
<b>Fecha:</b>	18 de junio de 2011

<b>Ensayo Nº</b>	<b>1</b>
Peso de grava húmeda (g)	4195
Peso seco de grava secada al horno (g)	4165
<b>W</b> de humedad (%)	0.720

<b><math>\omega</math> de humedad</b>	<b>0.72%</b>
---------------------------------------	--------------

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

*CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADO FINO*

<b>HOJA:</b>	1/1
--------------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera El Carmen
<b>Norma:</b>	ASTM C-566-97
<b>Fecha:</b>	21 de junio de 2011

<b>Ensayo Nº</b>	<b>1</b>
Peso de grava húmeda (g)	670
Peso seco de grava secada al horno (g)	655
<b>W</b> de humedad (%)	2.290

<b><math>\omega</math> de humedad</b>	<b>2.29%</b>
---------------------------------------	--------------

**Observaciones:**

---



---



---





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADO GRUESO**

<b>HOJA:</b>	1/1
--------------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera Aramuaca
<b>Norma:</b>	ASTM C-566-97
<b>Fecha:</b>	18 de junio de 2011

<b>Ensayo N°</b>	<b>1</b>
Peso de grava húmeda (g)	4620
Peso seco de grava secada al horno (g)	4470
<b>W</b> de humedad (%)	3.356

<b><math>\omega</math> de humedad</b>	<b>3.36%</b>
---------------------------------------	--------------

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADO FINO**

<b>HOJA:</b>	1/1
--------------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera Aramuaca
<b>Norma:</b>	ASTM C-566-97
<b>Fecha:</b>	21 de junio de 2011

<b>Ensayo N°</b>	<b>1</b>
Peso de grava húmeda (g)	525
Peso seco de grava secada al horno (g)	470
<b>W</b> de humedad (%)	11.702

<b><math>\omega</math> de humedad</b>	<b>11.70%</b>
---------------------------------------	---------------

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

HOJA:	1/1
-------	-----

*CONTENIDO DE HUMEDAD EN AGREGADOS (RESUMEN)*

Cantera	Agregado Grueso (%)	Agregado Fino (%)
La Pedrera	1.24	15.91
El Carmen	0.72	2.29
Aramuaca	3.36	11.70

**Observaciones:**

Estos valores pueden alterarse debido a que el contenido de humedad cambia  
 constantemente

---



---



---



---

ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADOS.



Fig. 3.6: Tomando las muestras, secándolas al horno y determinando sus pesos secos.



Fig. 3.7: Tamizando las muestras de agregado fino por método mecánico.



Fig. 3.8: Tamizando las muestras de agregado grueso por método manual.



Fig. 3.9: Pesando los porcentajes retenidos de la muestra de agregado en cada malla.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO**

<b>HOJA:</b>	1/2
--------------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamiento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera El Carmen
<b>Norma:</b>	ASTM C 136-01
<b>Fecha:</b>	22 de junio de 2011

**Peso inicial: 10,000 g**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs.)	PESO RETENIDO (COMPENSADO)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
				PARCIAL	ACUMULADO	
1 1/2"	38.10	0	0	0.00%	0.00%	100%
1"	25.40	25	33	0.33%	0.33%	100%
3/4"	19.05	1235	1243	12.43%	12.76%	87%
1/2"	12.90	5515	5523	55.23%	67.99%	32%
3/8"	9.525	2475	2483	24.83%	92.82%	7%
N° 4	4.750	710	718	7.18%	100.00%	0%
SUMA		9960	10000.00			

**Observaciones:**

Tamaño máximo nominal: 3/4"

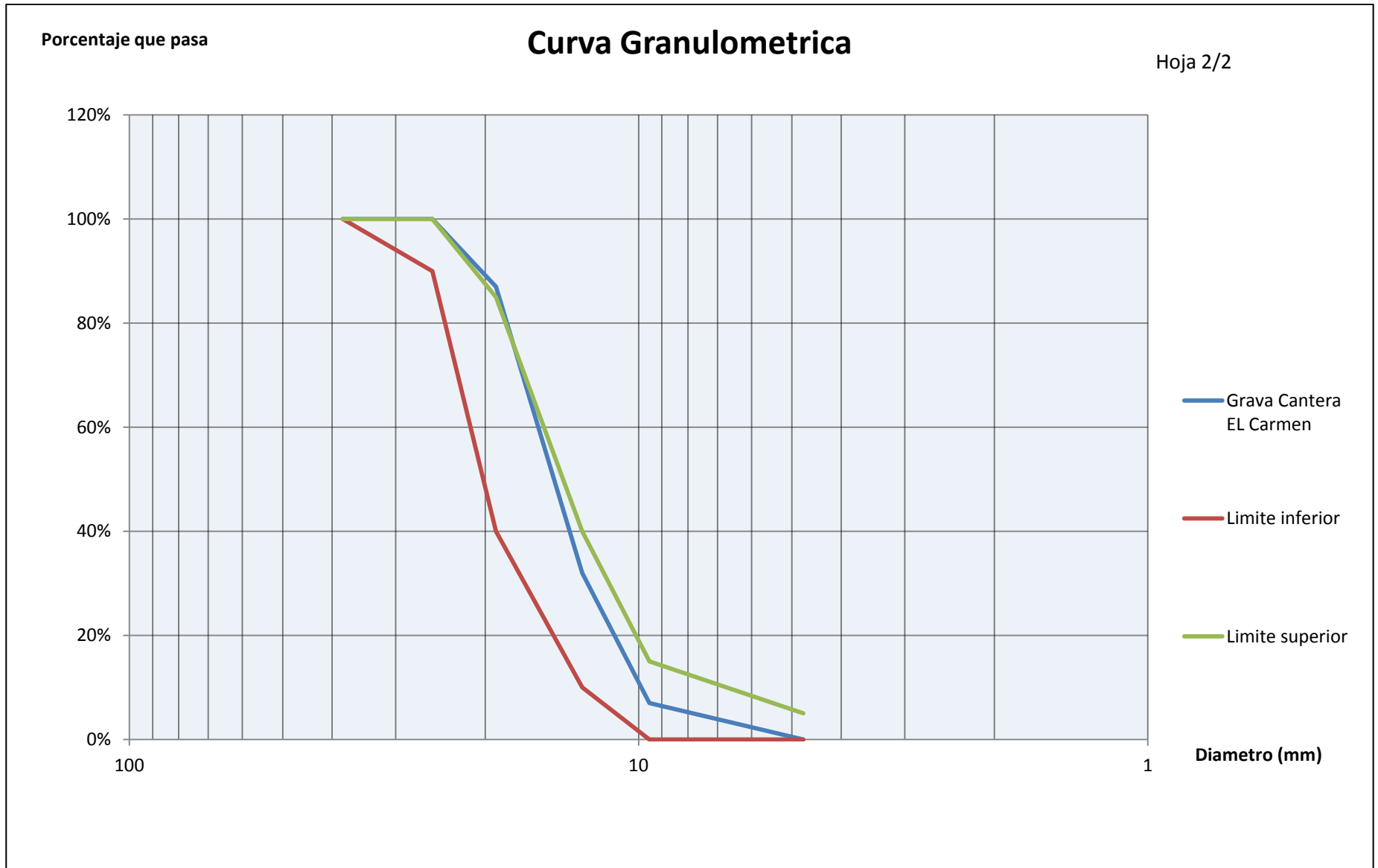
---



---



---







**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO FINO**

<b>HOJA:</b>	1/2
--------------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera El Carmen
<b>Norma:</b>	ASTM C 136-01
<b>Fecha:</b>	23 de junio de 2011

**Peso inicial: 1000 g**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs.)	PESO RETENIDO (COMPENSADO)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
				PARCIAL	ACUMULADO	
Nº 4	4.75	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
Nº 8	2.36	189.90	189.90	18.99%	18.99%	81.01%
Nº 16	1.18	249.41	249.41	24.94%	43.93%	56.07%
Nº 30	0.60	183.79	183.79	18.38%	62.31%	37.69%
Nº 50	0.30	128.45	128.45	12.84%	75.15%	24.85%
Nº 100	0.15	104.10	104.10	10.41%	85.56%	14.44%
FONDO	0.00	144.35	144.35	14.44%	100.00%	0.00%
SUMA		1000.00	1000.00			

$$M = \frac{\text{Sumatoria de porcentaje acumulado retenido desde la malla N° 4 a N° 100}}{100} = \frac{285.96}{100} = 2.86$$

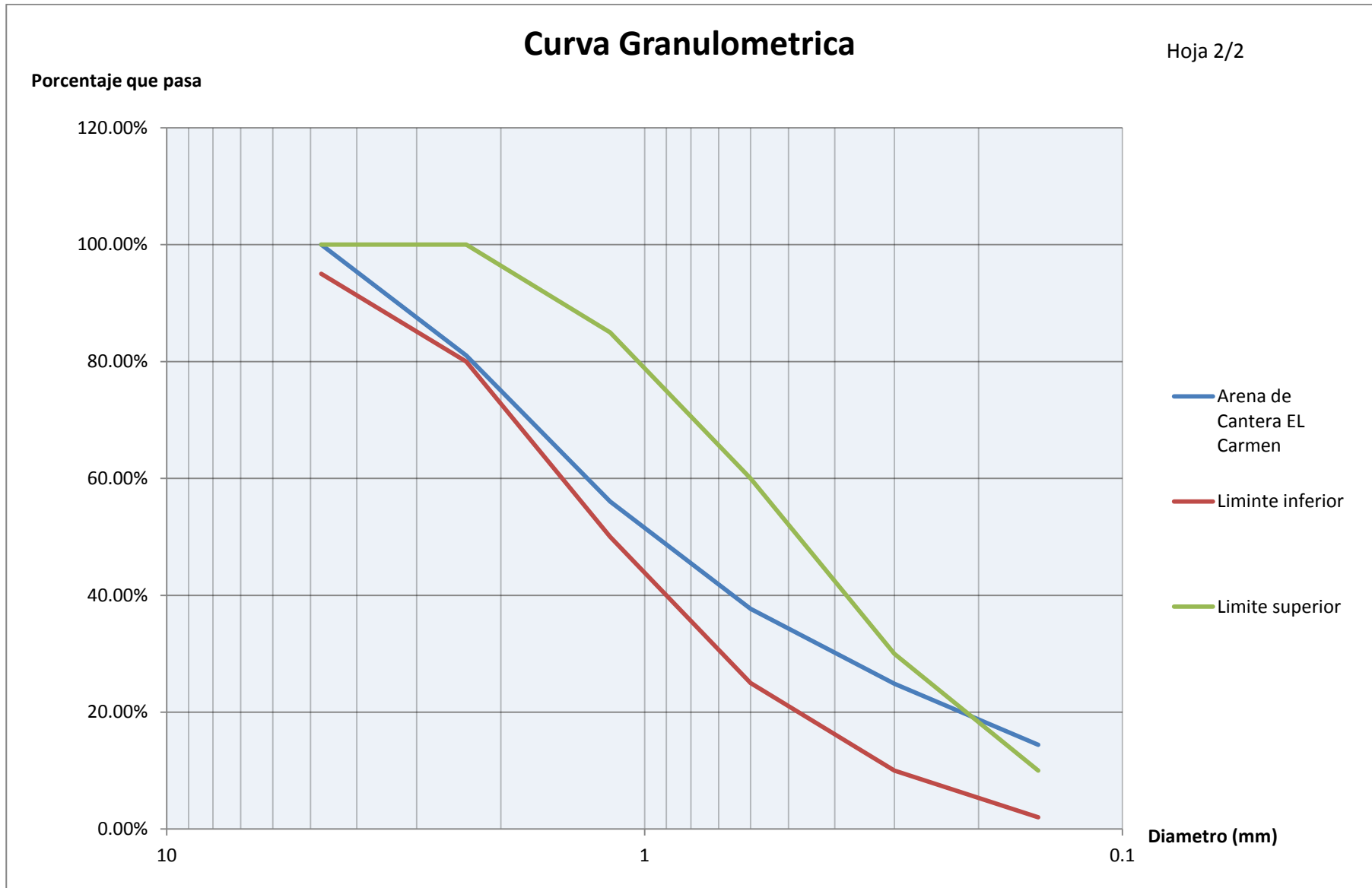
**Observaciones:**

---



---







**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO**

<b>HOJA:</b>	1/2
--------------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera Aramuaca
<b>Norma:</b>	ASTM C 136-01
<b>Fecha:</b>	22 de junio de 2011

**Peso inicial: 2,000 g**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs.)	PESO RETENIDO (COMPENSADO)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
				PARCIAL	ACUMULADO	
1 1/2"	38.10	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
1"	25.40	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
3/4"	19.05	395	396	19.8%	19.8%	80.2%
1/2"	12.90	1305	1307	65.4%	85.2%	14.9%
3/8"	9.525	285	286	14.3%	99.5%	0.6%
Nº 4	4.750	10.5	11	0.6%	100.0%	0.0%
SUMA		1995.5	2000			

**Observaciones:**

Tamaño máximo nominal:  $\frac{3}{4}$ "

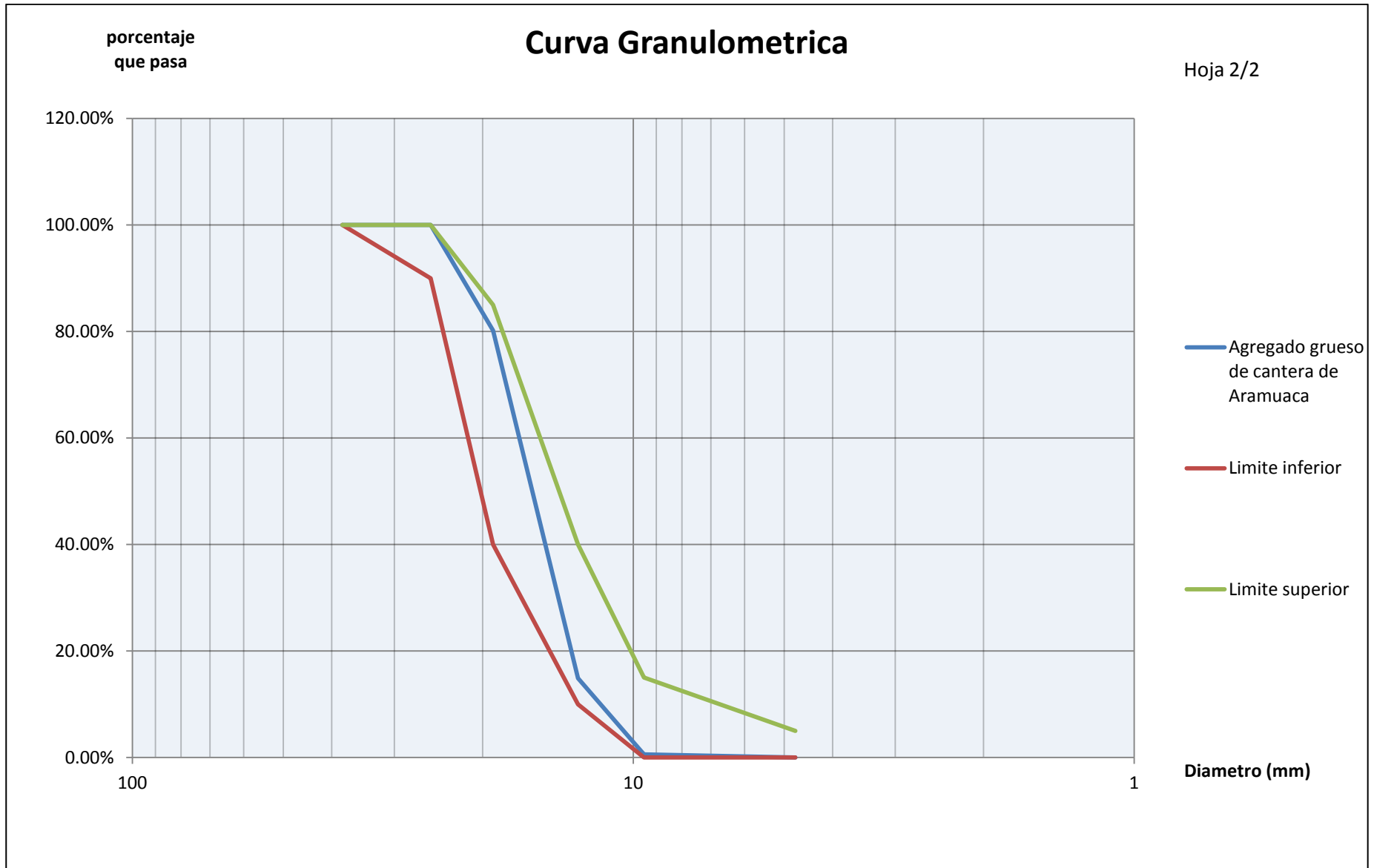
---



---



---





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO FINO**

HOJA:	1/2
-------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamiento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera Aramuaca
<b>Norma:</b>	ASTM C 136-01
<b>Fecha:</b>	23 de junio de 2011

**Peso inicial: 1000 g**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs.)	PESO RETENIDO (COMPENSADO)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
				PARCIAL	ACUMULADO	
Nº 4	4.75	0.00	0.00	0.0%	0.0%	100.0%
Nº 8	2.36	127.60	128.70	12.9%	12.9%	87.1%
Nº 16	1.18	205.90	207.90	20.8%	33.7%	66.3%
Nº 30	0.60	212.75	214.85	21.5%	55.1%	44.9%
Nº 50	0.30	174.20	175.30	17.5%	72.7%	27.3%
Nº 100	0.15	141.70	142.80	14.3%	87.0%	13.0%
FONDO	0.00	129.45	130.45	13.0%	100.0%	0.0%
SUMA		991.60	1000.00			

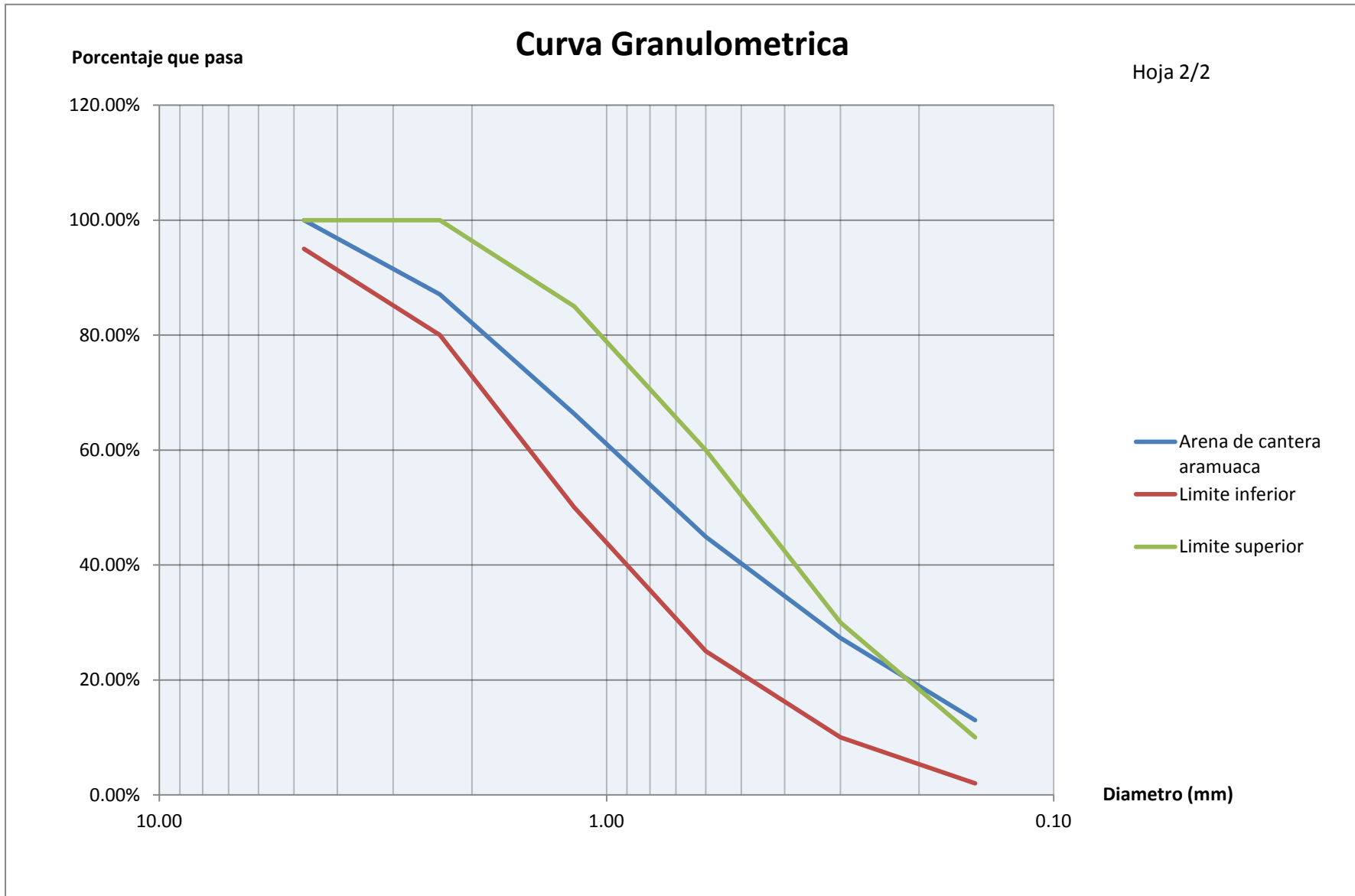
$$M = \frac{\text{Sumatoria de porcentaje acumulado retenido desde la malla N° 4 a N° 100}}{100} = \frac{261.3}{100} = 2.61$$

Observaciones:

---



---





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO GRUESO**

<b>HOJA:</b>	1/2
--------------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamiento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera La Pedrera
<b>Norma:</b>	ASTM C 136-01
<b>Fecha:</b>	22 de junio de 2011

**Peso inicial: 15,000 g**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs.)	PESO RETENIDO (COMPENSADO)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
				PARCIAL	ACUMULADO	
1 1/2"	38.1	0	0	0.0%	0.0%	100.0%
1"	25.4	840	844	5.6%	5.6%	94.4%
3/4"	19.05	4190	4194	28.0%	33.6%	66.4%
1/2"	12.90	6400	6404	42.7%	76.3%	23.7%
3/8"	9.525	2325	2329	15.5%	91.8%	8.2%
Nº 4	4.750	1225	1229	8.2%	100.0%	0.0%
SUMA		14980	15000			

**Observaciones:**

Tamaño máximo nominal: 1"

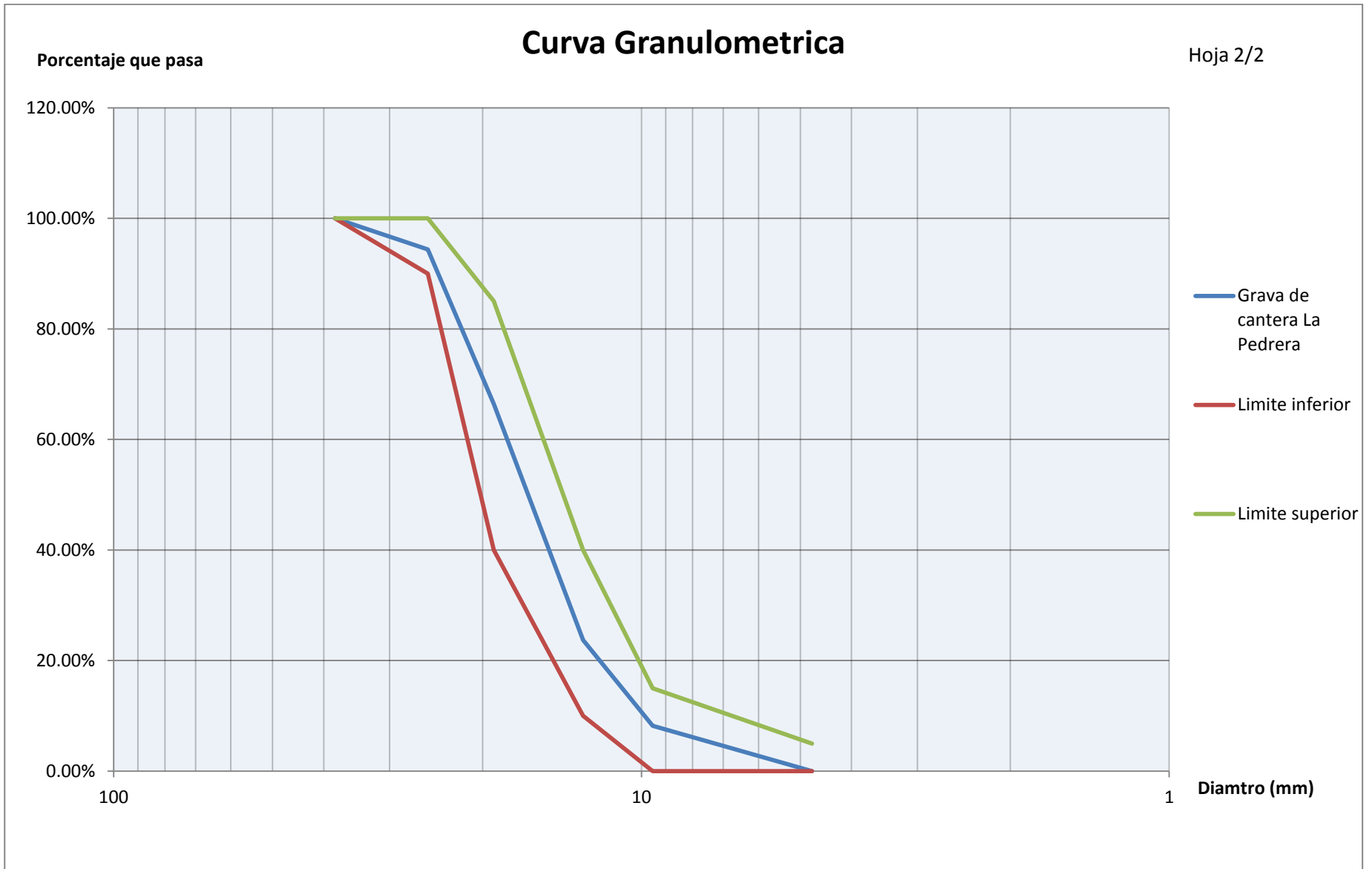
---



---



---





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADO FINO**

HOJA:	1/2
-------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamiento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera La Pedrera
<b>Norma:</b>	ASTM C 136-01
<b>Fecha:</b>	23 de junio de 2011

**Peso inicial: 1000 g**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (grs.)	PESO RETENIDO (COMPENSADO)	% RETENIDO		% ACUMULADO QUE PASA
				PARCIAL	ACUMULADO	
Nº 4	4.75	0.00	0.00	0.0%	0.0%	100.0%
Nº 8	2.36	194.16	194.16	19.4%	19.4%	80.6%
Nº 16	1.18	239.60	239.60	24.0%	43.4%	56.6%
Nº 30	0.69	213.75	213.75	21.4%	64.8%	35.2%
Nº 50	0.39	130.04	130.04	13.0%	77.8%	22.2%
Nº 100	0.15	92.40	92.40	9.2%	87.0%	13.0%
FONDO	0.00	130.05	130.05	13.0%	100.0%	0.0%
SUMA		1000.00	1000.00			

$$M = \frac{\text{Sumatoria de porcentaje acumulado retenido desde la malla N° 4 a N° 100}}{100} = \frac{292.3}{100} = 2.92$$

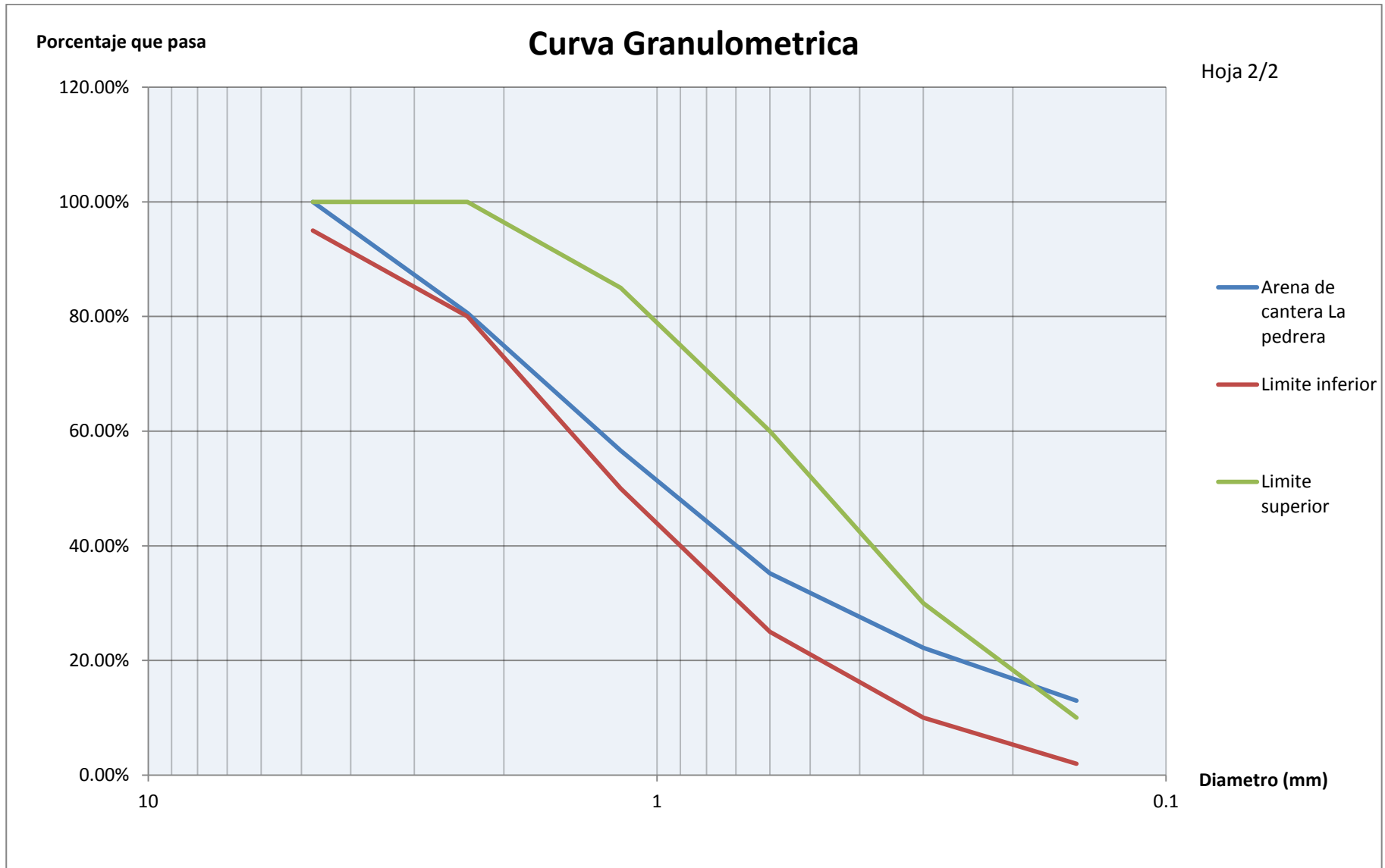
**Observaciones:**

---



---







**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**RESUMEN DE ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADOS**

HOJA:	1/1
-------	-----

<b>Cantera</b>	<b>Tamaño máximo nominal de agregado grueso (pulgada)</b>	<b>Módulo de finura en agregado fino</b>
EL Carmen	3/4	2.86
Aramuaca	3/4	2.61
La Pedrera	1	2.92

**Observaciones:**

---



---



---

ENSAYO DE RESISTENCIA A DEGRADACION DE AGREGADO GRUESO



Fig. 3.10: Tomando una muestra, secándola al horno y pesándola.



Fig. 3.11: Tamizando hasta obtener los tamaños de la muestra de prueba.



Fig. 3.12: Suministrando en la máquina de los ángeles la muestra y las esferas seleccionadas.



Fig. 3.13: Sometiendo la muestra al procedimiento para el desgaste.



Fig. 3.14: Retirando la muestra de la máquina de los ángeles y tamizando las partículas desgastadas



Fig. 3.15: Tamizando y lavando la muestra no desgastada.



Fig. 3.16: Secando la muestra en el horno.



Fig. 3.17: Pesando la muestra.





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

<b>HOJA:</b>	1/1
--------------	-----

**ENSAYO DE RESISTENCIA A DEGRADACION DE AGREGADO GRUESO**

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera La Pedrera
<b>Norma:</b>	ASTM C 131-03
<b>Fecha:</b>	15 de julio de 2011

TIPO DE GRANULOMETRIA: B (SEGÚN TABLA 3.6)  
 NUMERO DE ESFERAS: 11 (SEGÚN TABLA 3.7)  
 CARGA ABRASIVA EN gr.: 4584 ± 25: 4570

MALLAS	PESOS (grs)
Pasa la maya de ¾” y se retiene en la maya de ½”	2,500
Pasa la maya de ½” y se retiene en la maya de 3/8”	2,500
Peso total de la muestra	5,000
W <sub>final</sub> ( peso despues de la prueba retenido en la maya N° 12)	4,157.95

$$D = \frac{W_{inicial} - W_{final}}{W_{inicial}} \leq 50$$

**% DE DESGASTE: 16.84%**

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

<b>HOJA:</b>	1/1
--------------	-----

**ENSAYO DE RESISTENCIA A DEGRADACION DE AGREGADO GRUESO**

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamiento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera Aramuaca
<b>Norma:</b>	ASTM C 131-03
<b>Fecha:</b>	15 de julio de 2011

TIPO DE GRANULOMETRIA: TIPO B (SEGÚN TABLA 3.6)  
 NUMERO DE ESFERAS: 11 (SEGÚN TABLA 3.7)  
 CARGA ABRASIVA EN gr.: 4584 ± 25: 4570

MALLAS	PESOS (grs)
Pasa la maya de ¾" y se retiene en la maya de ½"	2,500
Pasa la maya de ½" y se retiene en la maya de 3/8"	2,500
Peso total de la muestra	5,000
W <sub>final</sub> ( peso despues de la prueba retenido en la maya N° 12)	4,256.60

$$D = \frac{W_{inicial} - W_{final}}{W_{inicial}} \leq 50$$

**% DE DESGASTE: 14.87%**

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

<b>HOJA:</b>	1/1
--------------	-----

**ENSAYO DE RESISTENCIA A DEGRADACION DE AGREGADO GRUESO**

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamiento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera El Carmen
<b>Norma:</b>	ASTM C 131-03
<b>Fecha:</b>	15 de julio de 2011

TIPO DE GRANULOMETRIA: TIPO B (SEGÚN TABLA 3.6)  
 NUMERO DE ESFERAS: 11 (SEGÚN TABLA 3.7)  
 CARGA ABRASIVA EN gr.: 4584 ± 25: 4570

MALLAS	PESOS (grs)
Pasa la maya de ¾" y se retiene en la maya de ½"	2,500
Pasa la maya de ½" y se retiene en la maya de 3/8"	2,500
Peso total de la muestra	5,000
$W_{final}$ ( peso despues de la prueba retenido en la maya N° 12)	4,256.60

$$D = \frac{W_{inicial} - W_{final}}{W_{inicial}} \leq 50$$

**% DE DESGASTE: 11.50%**

**Observaciones:**

---



---



---





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

HOJA:	1/1
-------	-----

*RESUMEN DE ENSAYO DE RESISTENCIA A DEGRADACION DE AGREGADOS GRUESOS POR ABRACION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES.*

<b>Cantera</b>	<b>Desgaste (%)</b>
EL Carmen	11.50
Aramuaca	14.87
La Pedrera	16.84

**Desgaste  $\leq$  50**

**Observaciones:**

Los agregados están aptos para ser utilizados en el concreto hidráulico para  
Pavimentos de concreto

METODO DE PRUEBA PARA DENSIDAD DE MASA Y VACIOS EN GRAVAS



Fig. 3.18: Tomando la muestra, secándola al horno y pesándola.



Fig. 3.19: Pesando y midiendo las dimensiones internas del recipiente pertinente



Fig. 3.20: Colocando y apisonando en tres capas el agregado



Fig. 3.21: Apisonando y enrasando la ultima capa



Fig. 3.22: Pesando el conjunto



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**METODO DE PRUEBA PARA DENSIDAD DE MASA Y VACIOS**  
**EN GRAVAS**

<b>HOJA:</b>	1/1
--------------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamiento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera Aramuaca
<b>Norma:</b>	ASTM C29/C29M-97
<b>Fecha:</b>	28 de junio de 2011

Altura de molde = 0.2934 m  
 Diámetro de molde = 0.2025 m  
 Peso de molde = 5.245 kg  
 Volumen de molde = 0.0094 m<sup>3</sup>

ENSAYO N°	1	2
Peso de molde (kg)	5.245	5.245
Peso de molde + material (kg)	19.425	19.520
Peso de material (kg)	14.180	14.275
Volumen del molde	0.0094	0.0094
Peso volumétrico suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1502.80	1512.87

**Peso volumétrico seco promedio: 1507.84 kg/m<sup>3</sup>**

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**METODO DE PRUEBA PARA DENSIDAD DE MASA Y VACIOS  
 EN GRAVAS**

HOJA:	1/1
-------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera La Pedrera
<b>Norma:</b>	ASTM C29/C29M-97
<b>Fecha:</b>	28 de junio de 2011

Altura de molde = 0.2934 m  
 Diámetro de molde = 0.2025 m  
 Peso de molde = 5.245 kg  
 Volumen de molde = 0.0094 m<sup>3</sup>

ENSAYO N°	1	2
Peso de molde (kg)	5.245	5.245
Peso de molde + material (kg)	19.615	19.895
Peso de material (kg)	14.37	14.65
Volumen del molde	0.0094	0.0094
Peso volumétrico suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1522.94	1552.61

**Peso volumétrico seco promedio: 1537.78 kg/m<sup>3</sup>**

**Observaciones:**

---



---



---





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**METODO DE PRUEBA PARA DENSIDAD DE MASA Y VACIOS**  
**EN GRAVAS**

<b>HOJA:</b>	1/1
--------------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera El Carmen
<b>Norma:</b>	ASTM C29/C29M-97
<b>Fecha:</b>	28 de junio de 2011

Altura de molde = 0.2934 m  
 Diámetro de molde = 0.2025 m  
 Peso de molde = 5.245 kg  
 Volumen de molde = 0.0094 m<sup>3</sup>

ENSAYO N°	1	2
Peso de molde (kg)	5.245	5.245
Peso de molde + material (kg)	20.435	20.385
Peso de material (kg)	15.19	15.14
Volumen del molde	0.0094	0.0094
Peso volumétrico suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1609.84347	1604.54

**Peso volumétrico seco promedio: 1607.19 kg/m<sup>3</sup>**

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

RESUMEN DE METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE MASA Y VACIOS EN AGREGADOS GRUESOS

HOJA:	1/1
-------	-----

Cantera	Peso volumétrico seco promedio (kg/m <sup>3</sup> )
EL Carmen	1607.19
Aramuaca	1587.04
La Pedrera	1537.78

**Observaciones:**

---



---



---

METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y  
ABSORCION DE AGREGADO GRUESO



Fig. 3.23: Tomando la muestra, pesándola y sumergiéndola en agua por 24 horas.



Fig. 3.24: Retirando excedente de agua y secando la superficie del agregado.





Fig. 3.25: Pesando la muestra superficialmente seca.



Fig. 3.26: Obteniendo el peso aparente de la muestra

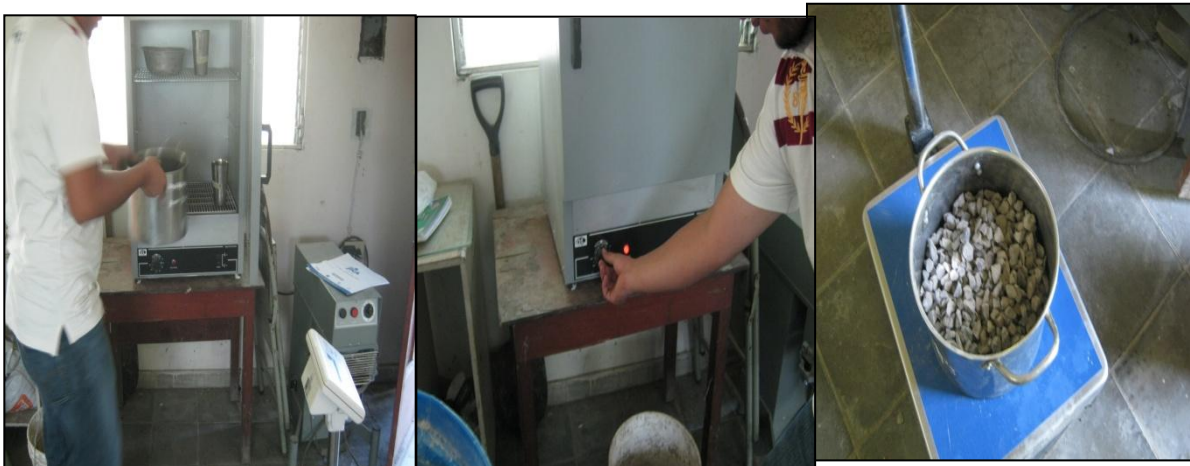


Fig. 3.27: Secando la muestra en el horno por 24 horas.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO.

HOJA:	1/1
-------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera Aramuaca
<b>Norma:</b>	ASTM C 127-01
<b>Fecha:</b>	01 de julio de 2011

Ensayo N°	1	2
Peso de grava saturada con superficie seca (kg)	4.00	4.00
Peso de grava sumergida (Kg)	2.35	2.37
Peso seco de grava (kg)	3.90	3.92
Gravedad Especifica seca (GE)	2.364	2.405
Absorción (%)	2.56	2.04

**Gravedad Especifica promedio: 2.384**

**Absorción promedio (%): 2.30 %**

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

*METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO.*

HOJA:	1/1
-------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera La Pedrera
<b>Norma:</b>	ASTM C 127-01
<b>Fecha:</b>	01 de julio de 2011

Ensayo N°	1	2
Peso de grava saturada con superficie seca (kg)	4.000	4.000
Peso de grava sumergida (Kg)	2.36	2.36
Peso seco de grava (kg)	3.92	3.92
Gravedad Especifica seca (GE)	2.390	2.390
Absorción (%)	2.041	2.041

**Gravedad Especifica promedio: 2.390**

**Absorción promedio: 2.04 %**

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO.

HOJA:	1/1
-------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamiento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera El Carmen
<b>Norma:</b>	ASTM C 127-01
<b>Fecha:</b>	01 de julio de 2011

Ensayo N°	1	2
Peso de grava saturada con superficie seca (kg)	4.000	4.000
Peso de grava sumergida (Kg)	2.37	2.37
Peso seco de grava (kg)	3.96	3.95
Gravedad Especifica seca (GE)	2.429	2.423
Absorción (%)	1.010	1.266

**Gravedad Especifica promedio: 2.426**

**Absorción promedio: 1.14 (%)**

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

HOJA:	1/1
-------	-----

*RESUMEN DE METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA  
DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS  
GRUESOS.*

<b>Cantera</b>	<b>Gravedad Especifica</b>	<b>Absorción (%)</b>
EL Carmen	2.426	1.14
Aramuaca	2.384	2.30
La Pedrera	2.390	2.04

**Observaciones:**

---

---

---



METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y  
ABSORCION DE AGREGADO FINO



Fig. 3.28: Tomando una muestra de agregado fino y saturándola en agua por 24 horas.



Fig. 3.29: Removiéndole el agua y exponiendo el agregado al aire para su secado superficial.



Fig. 3.30: Retirando el agua acumulado después de la sedimentación del agregado.



Fig. 3.31: Verificando la condición triple "S" del agregado fino.



Fig. 3.32: Comprobando la condición triple "S"



Fig. 3.33: Pesando el picnómetro llenado con agua hasta el aforo



Fig. 3.34: Pesando la muestra requerida superficialmente seca de agregado fino.



Fig. 3.35: Agitando la muestra superficialmente seca en el picnómetro.



Fig. 3.36: Pesando el picnómetro con arena y agua llenado hasta el aforo.





Fig. 3.37: Vertiendo la muestra y su contenido en un recipiente y sometiéndola a secado al horno.



Fig. 3.38: Pesando la muestra secada al horno.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

HOJA:	1/1
-------	-----

*METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD,  
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADO FINO.*

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera Aramuaca
<b>Norma:</b>	ASTM C 128-01
<b>Fecha:</b>	14 de julio de 2011

ENSAYO N°	1	2
Peso de picnómetro más agua aforado (g)	1443.4	1443.4
Peso de arena SSS (g)	500.0	500.0
Peso de picnómetro + agua + arena SSS (aforado) (g)	1747.0	1747.3
Peso de arena secada al horno (g)	485.1	485.7
Gravedad especifica seca	2.470	2.477
Gravedad especifica seca SSS	2.546	2.550
absorción	3.072	2.944

<b>Gravedad especifica seca promedio</b>	<b>2.47</b>
<b>Gravedad especifica SSS promedio</b>	<b>2.55</b>
<b>ABSORCION PROMEDIO %</b>	<b>3.01</b>

**Observaciones:**

---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADO FINO.**

<b>HOJA:</b>	1/1
--------------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera La Pedrera
<b>Norma:</b>	ASTM C 128-01
<b>Fecha:</b>	14 de julio de 2011

ENSAYO N°	1	2
Peso de picnómetro más agua aforado (g)	1443.4	1443.8
Peso de arena SSS (g)	500.0	500.0
Peso de picnómetro + agua + arena SSS (aforado) (g)	1718.4	1718.1
Peso de arena secada al horno (g)	467.7	467.1
Gravedad especifica seca	2.079	2.070
Gravedad especifica seca SSS	2.222	2.215
Absorción (%)	6.906	7.043

<b>Gravedad especifica seca promedio</b>	<b>2.07</b>
<b>Gravedad especifica SSS promedio</b>	<b>2.22</b>
<b>ABSORCION PROMEDIO %</b>	<b>6.97</b>

**Observaciones:**

---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADO FINO.**

HOJA:	1/1
-------	-----

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Procedencia:</b>	Cantera El Carmen
<b>Norma:</b>	ASTM C 128-01
<b>Fecha:</b>	14 de julio de 2011

ENSAYO N°	1	2
Peso de picnómetro más agua aforado (g)	1443.4	1443.4
Peso de arena SSS (g)	500.0	500.0
Peso de picnómetro + agua + arena SSS (aforado) (g)	1760.0	1761.1
Peso de arena secada al horno (g)	489.6	488.4
Gravedad especifica seca	2.670	2.679
Gravedad especifica seca SSS	2.726	2.743
absorción	2.124	2.375

<b>Gravedad especifica seca promedio</b>	<b>2.67</b>
<b>Gravedad especifica SSS promedio</b>	<b>2.73</b>
<b>ABSORCION PROMEDIO %</b>	<b>2.25</b>

**Observaciones:**

---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

RESUMEN DE METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA DENSIDAD, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS.

HOJA:	1/1
-------	-----

Cantera	Gravedad Especifica seca promedio	Absorción promedio (%)
EL Carmen	2.67	2.25
Aramuaca	2.07	6.97
La Pedrera	2.47	3.01

**Observaciones:**

---



---

METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCIÓN TERMICA DEL CONCRETO



Fig. 3.39: Midiendo la longitud, el diámetro y la temperatura inicial del espécimen.



Fig. 3.40: Enfriando el montaje y el baño de agua.



Fig. 3.41: Enfriando el espécimen y leyendo sus deformaciones.





Fig. 3.42: Desmontando el espécimen y conservándolo en agua fría.



Fig. 3.43: Llenando el baño de agua junto con el montaje con agua caliente.



Fig. 3.44: Sumergiendo el espécimen en agua caliente y leyendo sus deformaciones.



Fig. 3.45: Desmontando el espécimen y conservándolo en agua caliente.



Fig. 3.46: Segundo enfriamiento del montaje y el baño de agua.



Fig. 3.47: Segunda sumersión del espécimen en agua fría y su posterior lectura.





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

<b>HOJA:</b>	1/3
--------------	-----

**METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL  
 COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL  
 CONCRETO**

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Norma:</b>	AASHTO designación TP-60-00
<b>Fecha:</b>	14 de septiembre de 2011

<b>GENERALIDADES DEL ESPECIMEN DE CONCRETO</b>	
Tipo de espécimen:	Cilindro de 4x8pul
Procedencia del agregado fino:	Cantera El Carmen
Procedencia del agregado grueso:	Cantera El Carmen
Módulo de Ruptura de diseño (kg/m <sup>2</sup> ):	40
Longitud del espécimen a temperatura del cuarto de laboratorio : L (mm)	203.85
Diámetro del espécimen a temperatura del cuarto de laboratorio : D (mm)	100.60
Temperatura ambiente del cuarto de laboratorio: T (°C)	27



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

HOJA:	2/3
-------	-----

*METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL  
 COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL  
 CONCRETO*

HORA	T(°C)	Deformación ( $\mu\text{m}$ )
10:10	9	188
10:20	9.1	175
10:30	9.2	168.5
10:40	9.4	164
10:50	9.6	163
11:00	10	161
11:10	9.7	162
11:20	9.9	162
11:30	10.2	161.5
12:50	50	114
1:00	49.5	134
1:10	50	138
1:20	50	139
1:30	51	142

1:40	51	143
1:50	52	144
2:00	51	144
2:10	51	144
2.20	51	144
3:42	9	145
3:54	9	117
4:00	9	107
4:10	9.5	97
4:24	9	95
4:31	9	94
4:40	9	93.5
4:50	9	93
5:00	9	93



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

HOJA:	3/3
-------	-----

*METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL  
 COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL  
 CONCRETO*

**Longitud natural del espécimen (L): 203.85 mm**

<b>PARA LA EXPANSIÓN TERMICA</b>	
L <sub>F</sub> (mm):	0.144
L <sub>I</sub> (mm):	0.114
ΔL (mm):	0.030
ΔT (°C):	40
α (°C <sup>-1</sup> ):	3.68x10 <sup>-6</sup>

<b>PARA LA CONTRACCION TERMICA</b>	
L <sub>F</sub> (mm):	0.093
L <sub>I</sub> (mm):	0.145
ΔL (mm):	-0.052
ΔT (°C):	-40
α (°C <sup>-1</sup> ):	6.38x10 <sup>-6</sup>

$$\alpha = \frac{\Delta L}{(L)(\Delta T)}$$

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

<b>HOJA:</b>	1/3
--------------	-----

**METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL  
 COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL  
 CONCRETO**

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Norma:</b>	AASHTO designación TP-60-00
<b>Fecha:</b>	10 de Septiembre de 2011

<b>GENERALIDADES DEL ESPECIMEN DE CONCRETO</b>	
Tipo de espécimen:	Cilindro de 4x8pul
Procedencia del agregado fino:	Cantera El Carmen
Procedencia del agregado grueso:	Cantera El Carmen
Módulo de Ruptura de diseño (kg/m <sup>2</sup> ):	35
Longitud del espécimen a temperatura del cuarto de laboratorio : L (mm)	204.30
Diámetro del espécimen a temperatura del cuarto de laboratorio : D (mm)	109.00
Temperatura ambiente del cuarto de laboratorio: T (°C)	27



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

HOJA:	2/3
-------	-----

*METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL  
COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL  
CONCRETO*

HORA	T(°C)	Deformación ( $\mu\text{m}$ )
09:45:00 a.m.	9.5	155
09:55:00 a.m.	11.0	144
10:05:00 a.m.	10.0	143.5
10:15:00 a.m.	10.0	144
10:25:00 a.m.	10.5	137.5
10:35:00 a.m.	10.2	132
10:45:00 a.m.	10.8	135
10:55:00 a.m.	10.0	136
11:05:00 a.m.	10.2	135.5
11:15:00 a.m.	10.8	133.5
11:25:00 a.m.	11.0	133.5
11:35:00 a.m.	11.5	131.5
12:05:00 p.m.	49.5	83
12:15:00 p.m.	50.0	103.5
12:25:00 p.m.	51.0	109.5
12:35:00 p.m.	51.0	114
12:45:00 p.m.	50.8	116
12:55:00 p.m.	50.8	117.5
01:05:00 p.m.	50.8	118
01:15:00 p.m.	50.8	118
01:25:00 p.m.	51.0	121
01:35:00 p.m.	51.0	123.5
01:45:00 p.m.	51.0	124
01:55:00 p.m.	50.8	125
02:05:00 p.m.	51.0	125

02:48:00 p.m.	9.0	108
02:50:00 p.m.	9.8	103.5
03:00:00 p.m.	10.2	66.5
03:10:00 p.m.	11.0	57.5
03:20:00 p.m.	10.2	57
03:30:00 p.m.	10.2	58
03:40:00 p.m.	9.8	57
03:50:00 p.m.	10.0	56.5
04:00:00 p.m.	10.5	54
04:10:00 p.m.	10.0	55
04:20:00 p.m.	10.5	55
04:30:00 p.m.	11.0	55



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

HOJA:	3/3
-------	-----

*METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL  
COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL  
CONCRETO*

**Longitud natural del espécimen (L): 204.30 mm**

<b>PARA LA EXPANSIÓN TERMICA</b>	
L <sub>F</sub> (mm):	0.125
L <sub>I</sub> (mm):	0.083
ΔL (mm):	0.042
ΔT (°C):	40
α (°C <sup>-1</sup> ):	5.14x10 <sup>-6</sup>

<b>PARA LA CONTRACCION TERMICA</b>	
L <sub>F</sub> (mm):	0.055
L <sub>I</sub> (mm):	0.108
ΔL (mm):	-0.053
ΔT (°C):	-40
α (°C <sup>-1</sup> ):	6.49x10 <sup>-6</sup>

$$\alpha = \frac{\Delta L}{(L)(\Delta T)} = \frac{L_F - L_I}{(L)(\Delta T)}$$

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

<b>HOJA:</b>	1/3
--------------	-----

**METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL  
COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL  
CONCRETO**

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Norma:</b>	AASHTO designación TP-60-00
<b>Fecha:</b>	12 de Septiembre de 2011

<b>GENERALIDADES DEL ESPECIMEN DE CONCRETO</b>	
Tipo de espécimen:	Cilindro de 4x8pul
Procedencia del agregado fino:	Cantera Aramuaca
Procedencia del agregado grueso:	Cantera Aramuaca
Módulo de Ruptura de diseño (kg/m <sup>2</sup> ):	35
Longitud del espécimen a temperatura del cuarto de laboratorio : L (mm)	204.00
Diámetro del espécimen a temperatura del cuarto de laboratorio : D (mm)	100.80
Temperatura ambiente del cuarto de laboratorio: T (°C)	27







**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

HOJA:	3/3
-------	-----

**METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL  
 COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL  
 CONCRETO**

**Longitud natural del espécimen (L): 204.00 mm**

<b>PARA LA EXPANSIÓN TERMICA</b>	
L <sub>F</sub> (mm):	0.1205
L <sub>I</sub> (mm):	0.063
ΔL (mm):	0.0575
ΔT (°C):	40
α (°C <sup>-1</sup> ):	7.05x10 <sup>-6</sup>

<b>PARA LA CONTRACCION TERMICA</b>	
L <sub>F</sub> (mm):	0.068
L <sub>I</sub> (mm):	0.110
ΔL (mm):	-0.042
ΔT (°C):	-40
α (°C <sup>-1</sup> ):	5.15x10 <sup>-6</sup>

$$\alpha = \frac{\Delta L}{(L)(\Delta T)} = \frac{L_F - L_I}{(L)(\Delta T)}$$

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

<b>HOJA:</b>	1/3
--------------	-----

**METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL  
 COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL  
 CONCRETO**

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Norma:</b>	AASHTO designación TP-60-00
<b>Fecha:</b>	16 de Septiembre de 2011

<b>GENERALIDADES DEL ESPECIMEN DE CONCRETO</b>	
Tipo de espécimen:	Cilindro de 4x8pul
Procedencia del agregado fino:	Cantera Aramuaca
Procedencia del agregado grueso:	Cantera Aramuaca
Módulo de Ruptura de diseño (kg/m <sup>2</sup> ):	40
Longitud del espécimen a temperatura del cuarto de laboratorio : L (mm)	204.65
Diámetro del espécimen a temperatura del cuarto de laboratorio : D (mm)	109.00
Temperatura ambiente del cuarto de laboratorio: T (°C)	27





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

HOJA:	3/3
-------	-----

**METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL  
 COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL  
 CONCRETO**

**Longitud natural del espécimen (L): 204.65 mm**

<b>PARA LA EXPANSIÓN TERMICA</b>	
L <sub>F</sub> (mm):	0.176
L <sub>I</sub> (mm):	0.145
ΔL (mm):	0.031
ΔT (°C):	40
α (°C <sup>-1</sup> ):	3.79x10 <sup>-6</sup>

<b>PARA LA CONTRACCION TERMICA</b>	
L <sub>F</sub> (mm):	0.1055
L <sub>I</sub> (mm):	0.168
ΔL (mm):	-0.0625
ΔT (°C):	-40
α (°C <sup>-1</sup> ):	7.64x10 <sup>-6</sup>

$$\alpha = \frac{\Delta L}{(L)(\Delta T)} = \frac{L_F - L_I}{(L)(\Delta T)}$$

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

<b>HOJA:</b>	1/3
--------------	-----

**METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL  
COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL  
CONCRETO**

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Norma:</b>	AASHTO designación TP-60-00
<b>Fecha:</b>	08 de Septiembre de 2011

<b>GENERALIDADES DEL ESPECIMEN DE CONCRETO</b>	
Tipo de espécimen:	Cilindro de 4x8pul
Procedencia del agregado fino:	Cantera La Pedrera
Procedencia del agregado grueso:	Cantera La Pedrera
Módulo de Ruptura de diseño (kg/m <sup>2</sup> ):	35
Longitud del espécimen a temperatura del cuarto de laboratorio : L (mm)	205.90
Diámetro del espécimen a temperatura del cuarto de laboratorio : D (mm)	100.75
Temperatura ambiente del cuarto de laboratorio: T (°C)	27





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

HOJA:	3/3
-------	-----

**METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL  
 COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL  
 CONCRETO**

**Longitud natural del espécimen (L): 205.90 mm**

<b>PARA LA EXPANSIÓN TERMICA</b>	
L <sub>F</sub> (mm):	0.066
L <sub>I</sub> (mm):	0.021
ΔL (mm):	0.045
ΔT (°C):	40
α (°C <sup>-1</sup> ):	5.46x10 <sup>-6</sup>

<b>PARA LA CONTRACCION TERMICA</b>	
L <sub>F</sub> (mm):	0.124
L <sub>I</sub> (mm):	0.181
ΔL (mm):	-0.057
ΔT (°C):	-40
α (°C <sup>-1</sup> ):	6.92x10 <sup>-6</sup>

$$\alpha = \frac{\Delta L}{(L)(\Delta T)} = \frac{L_F - L_I}{(L)(\Delta T)}$$

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

<b>HOJA:</b>	1/3
--------------	-----

**METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL  
 COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL  
 CONCRETO**

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Norma:</b>	AASHTO designación TP-60-00
<b>Fecha:</b>	20 de Septiembre de 2011

<b>GENERALIDADES DEL ESPECIMEN DE CONCRETO</b>	
Tipo de espécimen:	Cilindro de 4x8pul
Procedencia del agregado fino:	Cantera La Pedrera
Procedencia del agregado grueso:	Cantera La Pedrera
Módulo de Ruptura de diseño (kg/m <sup>2</sup> ):	40
Longitud del espécimen a temperatura del cuarto de laboratorio : L (mm)	203.65
Diámetro del espécimen a temperatura del cuarto de laboratorio : D (mm)	100.80
Temperatura ambiente del cuarto de laboratorio: T (°C)	27







**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

HOJA:	3/3
-------	-----

*METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL  
 COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION TERMICA DEL  
 CONCRETO*

**Longitud natural del espécimen (L): 203.65 mm**

PARA LA EXPANSIÓN TERMICA	
L <sub>F</sub> (mm):	0.182
L <sub>I</sub> (mm):	0.128
ΔL (mm):	0.054
ΔT (°C):	40
α (°C <sup>-1</sup> ):	6.63x10 <sup>-6</sup>

PARA LA CONTRACCION TERMICA	
L <sub>F</sub> (mm):	0.187
L <sub>I</sub> (mm):	0.239
ΔL (mm):	-0.052
ΔT (°C):	-40
α (°C <sup>-1</sup> ):	6.38x10 <sup>-6</sup>

$$\alpha = \frac{\Delta L}{(L)(\Delta T)} = \frac{L_F - L_I}{(L)(\Delta T)}$$

**Observaciones:**

---



---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

RESUMEN DE METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA  
 DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y  
 CONTRACCION TERMICA DEL CONCRETO

Cantera	MR de diseño (kg/m <sup>2</sup> )	$\alpha$ expansión (°C <sup>-1</sup> )	$\alpha$ contracción (°C <sup>-1</sup> )
El Carmen	35	5.14x10 <sup>-6</sup>	6.49x10 <sup>-6</sup>
	40	3.68x10 <sup>-6</sup>	6.38x10 <sup>-6</sup>
La Pedrera	35	5.46x10 <sup>-6</sup>	6.92x10 <sup>-6</sup>
	40	6.63x10 <sup>-6</sup>	6.38x10 <sup>-6</sup>
Aramuaca	35	7.05x10 <sup>-6</sup>	5.15x10 <sup>-6</sup>
	40	3.79x10 <sup>-6</sup>	7.64x10 <sup>-6</sup>

**Observaciones:**

La mayor parte de los valores de coeficientes oscilan entre 6.0 a 7.0E<sup>-6</sup> °C<sup>-1</sup>

---



---



---

METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO

Fig. 3.48: Pesando el espécimen.



Fig. 3.49: Marcando los puntos de apoyo en el espécimen.



Fig. 3.50: Colocando la muestra en la prensa hidráulica y sometiéndola a flexión.



Fig. 3.51: Leyendo la carga de ruptura y las dimensiones en la falla del espécimen.



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

<b>HOJA:</b>	1/1
--------------	-----

**METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA RESISTENCIA A  
 LA FLEXION DEL CONCRETO.**

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciado entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Norma:</b>	ASTM C78-02
<b>Fecha:</b>	12 y 16 de Septiembre de 2011

Procedencia de agregado grueso	Cantera de Aramuaca			
Procedencia de agregado fino	Cantera de Aramuaca			
Nº de muestra	1	2	3	4
<b>MR de diseño (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>35</b>	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>40</b>
Peso (kg)	32.34	32.74	32.60	32.80
d <sub>1</sub> (cm)	15.5	15.4	15.5	15.5
d <sub>2</sub> (cm)	15.6	15.4	15.6	15.4
b <sub>1</sub> (cm)	15.5	15.4	15.4	15.4
b <sub>2</sub> (cm)	15.5	15.4	15.3	15.5
Carga de ruptura (lb)	5294	4727	5211	5500

<b>Carga de ruptura (kg)</b>	2402	2145	2364	2495
<b>longitud de claro (cm)</b>	45.72	45.72	45.72	46.72
<b>peralte promedio (cm)</b>	15.6	15.4	15.6	15.5
<b>Ancho Promedio</b>	15.5	15.4	15.35	15.45
<b>MR resultante (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>29.3</b>	<b>26.8</b>	<b>29.1</b>	<b>31.6</b>
<b>MR resultante promedio (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>28.1</b>		<b>30.4</b>	

**Observaciones:**

---



---





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

HOJA:	1/1
-------	-----

**METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO.**

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamiento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Norma:</b>	ASTM C78-02
<b>Fecha:</b>	10 y 14 de Septiembre de 2011

Procedencia de agregado grueso	Cantera El Carmen			
Procedencia de agregado fino	Cantera El Carmen			
N° de muestra	1	2	3	4
MR de diseño (kg/m <sup>3</sup> )	35	35	40	40
Peso (kg)	35.88	35.32	34.52	35.14
d <sub>1</sub> (cm)	15.6	15.7	15.5	15.5
d <sub>2</sub> (cm)	15.6	15.7	15.5	15.5
b <sub>1</sub> (cm)	15.4	15.3	15.4	15.3
b <sub>2</sub> (cm)	15.3	15.3	15.4	15.4
Carga de ruptura (lb)	6217	5875	7529	7776

Carga de ruptura (kg)	2821	2666	3416	3528
longitud de claro (cm)	45.72	45.72	45.72	45.72
peralte promedio (cm)	15.6	15.7	15.5	15.5
Ancho Promedio	15.35	15.3	15.4	15.35
MR resultante (kg/m <sup>3</sup> )	34.5	32.3	42.2	43.7
MR resultante promedio (kg/m <sup>3</sup> )	33.4		43.0	

**Observaciones:**

---



---



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

HOJA:	1/1
-------	-----

**METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO.**

<b>Proyecto:</b>	Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico, para espaciamento entre juntas en pavimentos de concreto en EL Salvador
<b>Norma:</b>	ASTM C78-02
<b>Fecha:</b>	08 y 20 de Septiembre de 2011

Procedencia de agregado grueso	Cantera La Pedrera	
Procedencia de agregado fino	Cantera La Pedrera	
N° de muestra	1	2
<b>MR de diseño (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>35</b>	<b>40</b>
Peso (kg)	31.44	34.10
d <sub>1</sub> (cm)	15.4	15.5
d <sub>2</sub> (cm)	15.5	15.4
b <sub>1</sub> (cm)	15.3	15.3
b <sub>2</sub> (cm)	15.4	15.4
Carga de ruptura (lb)	6299	7381

<b>Carga de ruptura (kg)</b>	2858	3349
<b>longitud de claro (cm)</b>	45.72	45.72
<b>peralte promedio (cm)</b>	15.5	15.5
<b>Ancho Promedio</b>	15.35	15.35
<b>MR resultante (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>35.7</b>	<b>41.8</b>

**Observaciones:**

---



---





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

*RESUMEN METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO.*

<b>Cantera</b>	<b>MR de diseño (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>MR resultante (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Aramuaca	35	28.1
	40	30.4
El Carmen	35	33.4
	40	43.0
La Pedrera	35	35.7
	40	41.8

**Observaciones:**

---



---



---

# **CAPITULO IV**

## **ANÁLISIS Y APLICACION DE RESULTADOS**

---

---

#### **4.1.INTRODUCCION**

En este capítulo se presenta el seguimiento usado para obtener los resultados de la “Determinación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto hidráulico”, a partir de los datos de laboratorio, objeto de esta investigación.

También se mostrara la aplicación del coeficiente de expansión en el diseño de pavimentos de concreto hidráulico, específicamente en el espaciamiento entre juntas.

El diseño de las juntas de los pavimentos está fundamentado en estudios teóricos sobre el comportamiento de las losas, en la observación del funcionamiento de pavimentos en servicio y de pistas de ensayo, como también investigaciones de laboratorio así como la presentada este documento.

## 4.2. SINOPSIS DE CÁLCULO DE COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCIÓN TÉRMICA.

Ejemplo de cálculo para un concreto diseñado con un  $MR = 40 \text{ kg/m}^2$ , con agregados de la cantera La Pedrera probado a una edad de 28 días:

### Paso 1: tomamos los datos iniciales del espécimen de prueba

- El espécimen utilizado es un cilindro de 4 pulgadas de diámetro por 8 pulgadas de altura.
- Medimos la longitud inicial del espécimen a una temperatura ambiente en el laboratorio la cual resulto de 203.65 mm.
- Medimos el diámetro del espécimen a una temperatura ambiente en el laboratorio la cual resulto de 100.80 mm.
- Medimos la temperatura ambiente del cuarto de laboratorio la cual resulto de 27°C.

### Pasó 2: tomamos los valores de lecturas extremas para el cambio de longitud

HORA	T(°C)	Deformación (μm)
08:40:00 a.m.	9.5	184
08:50:00 a.m.	10	171.5
09:00:00 a.m.	9.5	171
09:10:00 a.m.	9.5	167
09:23:00 a.m.	10	162
09:30:00 a.m.	10.5	160.5
09:40:00 a.m.	10.5	160.5
11:22:00 a.m.	50	*128
11:36:00 a.m.	50	168
11:46:00 a.m.	50	172
11:56:00 a.m.	50	176
12:06:00 p.m.	50	178
12:16:00 p.m.	50	179
12:26:00 p.m.	50	179
12:36:00 p.m.	50	179.5
12:46:00 p.m.	50	181.5
12:56:00 p.m.	50	182
01:06:00 p.m.	50	182

01:16:00 p.m.	50	*182
02:35:00 p.m.	10	*239
02:45:00 p.m.	10	214
02:55:00 p.m.	10	208
03:05:00 p.m.	10	202
03:15:00 p.m.	9.5	200
03:25:00 p.m.	10	198
03:35:00 p.m.	10	194
03:45:00 p.m.	10	195
03:55:00 p.m.	10.5	191
04:05:00 p.m.	10.5	190
04:15:00 p.m.	10.8	188
04:25:00 p.m.	11.3	187
04:35:00 p.m.	10	*187

\* Lecturas de interés

□	Lecturas iniciales	□	Segundas lecturas	□	Lecturas finales
---	--------------------	---	-------------------	---	------------------

En el cuadro anterior se observa las lecturas tomadas durante la prueba, donde las lecturas iniciales corresponden a la primera contracción cuando se somete el espécimen desde una temperatura ambiente en el laboratorio ( $27^{\circ}\text{C}$ ) hasta una temperatura de  $(10 \pm 1)^{\circ}\text{C}$  según norma.

Las segundas lecturas corresponden a la carrera de expansión térmica, donde el espécimen se somete desde una temperatura de  $(10 \pm 1)^{\circ}\text{C}$  hasta una temperatura de  $(50 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ , en esta carrera de expansión, nos interesan las dos lecturas extremas para determinar el coeficiente de expansión térmica (las cuales resultaron ser de  $128\mu\text{m}$  y  $182\mu\text{m}$ ).

Las lecturas finales corresponden a la carrera de contracción térmica, donde el espécimen se somete desde una temperatura de  $(50 \pm 1)^{\circ}\text{C}$  hasta una temperatura de  $(10 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ , en esta carrera de contracción nos interesan las dos lecturas extremas para determinar el coeficiente de contracción térmica (las cuales resultaron ser de  $239\mu\text{m}$  y  $187\mu\text{m}$ ).

### **Pasó 3: calculamos los cambios de longitud y de temperatura**

➤ Para la expansión tenemos:

$$\Delta L = \text{lectura final} - \text{lectura inicial}$$

$$\Delta L = 0.182\text{mm} - 0.128\text{mm}$$

$$\Delta L = 0.054\text{mm}$$

$$\Delta T = \text{Temperatura final} - \text{Temperatura inicial}$$

$$\Delta T = 50^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 40^{\circ}\text{C}$$

Para la contracción tenemos:

$$\Delta L = \text{lectura final} - \text{lectura inicial}$$

$$\Delta L = 0.187\text{mm} - 0.239\text{mm}$$

$$\Delta L = -0.052\text{mm}$$

$$\Delta T = \text{Temperatura final} - \text{Temperatura inicial}$$

$$\Delta T = 10^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = -40^{\circ}\text{C}$$

**Paso 4: calculamos los coeficientes de expansión y contracción térmica tomando en cuenta la longitud inicial:**

Para la expansión:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{(L)(\Delta T)} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

$$\alpha = \frac{0.054\text{mm}}{(203.65\text{mm})(40^{\circ}\text{C})}$$

$$\alpha = 6.63 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Para la contracción:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{(L)(\Delta T)}$$

$$\alpha = \frac{-0.052\text{mm}}{(203.65\text{mm})(-40^{\circ}\text{C})}$$

$$\alpha = 6.38 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

### 4.3. ESPACIAMIENTO ENTRE JUNTAS.

Resultados de espaciamiento entre juntas a partir de los valores de coeficiente de expansión térmica obtenidos en estas pruebas.

$$\Delta L = C L (\epsilon + \alpha_t \Delta T) \quad \text{(Darter y Barenberg)} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Donde:

**$\Delta L$ :** es la abertura de la junta causada por la contracción debida al secado del concreto por el cambio de temperatura

**$\epsilon$ :** es la contracción unitaria por secado del concreto ( $0.5$  a  $2.5 \times 10^{-4}$ )

**$\alpha_t$ :** es el coeficiente de dilatación térmica del concreto

**$\Delta T$ :** es el rango de temperatura (temperatura más alta alcanzada por el concreto - temperatura más baja del año) Fig. 4.1 y Gráfico 4.1

**$L$ :** es el espaciamiento entre las juntas. y

C: es el factor de ajuste entre la losa y la subrasante (0.65 para suelo estabilizado y 0.80 para sub-base granular)

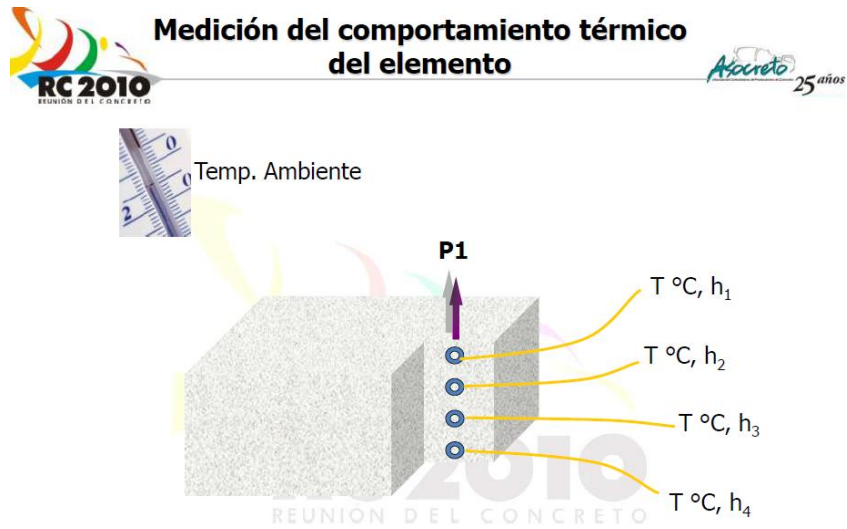


Fig. 4.1 Puntos de control en el pavimento a diferentes profundidades

Fuente: ASOCRETO, Reunión del concreto Cartagena Colombia 2010

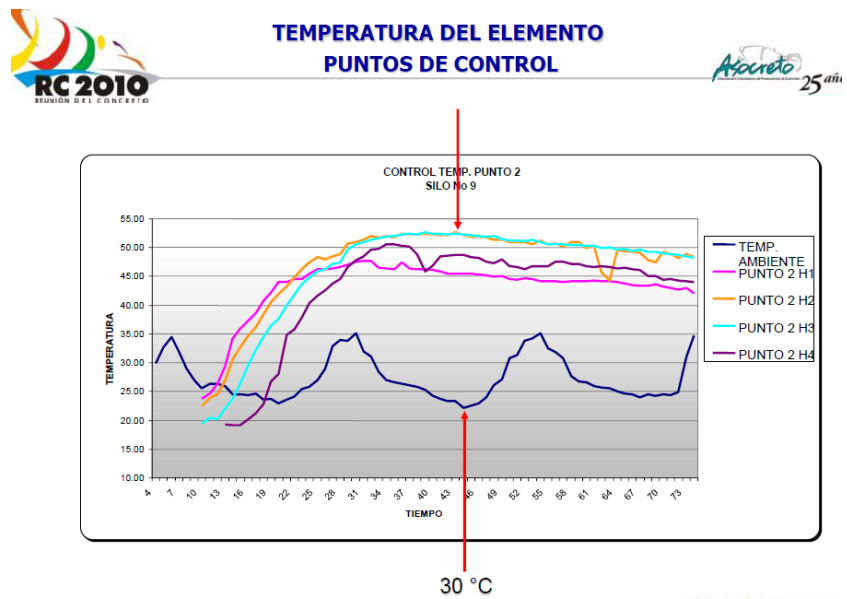


Gráfico 4.1 Temperaturas registradas por el concreto en cada uno de los puntos de control

Fuente: ASOCRETO, Reunión del concreto Cartagena Colombia 2010

Ejemplo de obtención del espaciamiento entre juntas para cantera la pedrera, MR= 40 kg/cm<sup>2</sup>.

Determinación del Espaciamiento entre juntas:

$$\Delta L = C L (\varepsilon + \alpha t \Delta T)$$

$$L = \frac{\Delta L}{C (\varepsilon + \alpha t \Delta T)} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Paso 1: Datos de entrada para la obtención del Espaciamiento entre juntas.

$\Delta L = 1.3 \text{ mm}$  (abertura razonable).

$\alpha = 6.63 \times 10^{-6}$  Seleccionamos el mayor entre los valores de expansión y contracción.

$\Delta T = 33.3 \text{ }^\circ\text{C}$  cambio de temperatura en el concreto.

$\varepsilon = 2.0 \times 10^{-4}$  (Valor más desfavorable para nuestro medio).

$C = 0.65$  para un suelo estabilizado.

Paso 2:

Cálculos:

$$L = \frac{1.3\text{mm}}{0.65 (2.0 \times 10^{-4} + 6.63 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \times 33.3 \text{ }^\circ\text{C})}$$

$$L = \frac{1.3\text{mm}}{2.74 \times 10^{-4}}$$

$$L = 4,753.1 \text{ mm}$$

$$L = 4.70 \text{ m}$$

Por lo tanto el espaciamiento entre juntas encontrado para un MR = 40 kg/cm<sup>2</sup>, con agregados de la Cantera La Pedrera es: 4.7 m



**Tabla 4.1: Resultados de espaciamiento entre juntas para MR = 35 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.**

Cantera	Resultados de coef. ( x 10 <sup>-6</sup> / °C )		Espaciamiento entre juntas L(m)
	Coef. Expans.	Coef. Contrac.	
La Pedrera	5.517	6.989	4.60
Aramuaca	7.047	5.147	4.60
El Carmen	5.14	6.486	4.80

**Tabla 4.2: Resultados de espaciamiento entre juntas para MR = 40 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.**

Cantera	Resultados de coef. ( x 10 <sup>-6</sup> / °C )		Espaciamiento entre juntas L(m)
	Coef. Expans.	Coef. Contrac.	
La pedrera	6.629	6.384	4.70
Aramuaca	3.787	7.635	4.40
El Carmen	3.679	6.377	4.90

**Nota 1:** Durante el desarrollo de la prueba, como se había mencionado en las limitantes, solo contamos con un micrómetro (deformímetro) y un montaje de acero inoxidable, esto no permitió desarrollar la prueba de modo que se lograra ensayar los dos cilindros que la norma exige como mínimo para determinar el coeficiente de expansión/contracción térmica.

**Nota 2:** No se tomaron en cuenta los valores de coeficientes de contracción térmica determinados a los siete y catorce días debido a incongruencia encontrada en los siguientes aspectos:

- Algunas lecturas de deformación resultaron inversas (contracción durante el calentamiento y expansión durante el enfriamiento). Originando valores de coeficientes negativos.
- No se lograba un evidente equilibrio térmico entre el espécimen de prueba y el agua durante el ensayo.

- El concreto gana su mayoría de resistencia a los 28 días, por lo que nos interesa conocer específicamente su comportamiento térmico a esa edad según la norma ASTM C-78.

Detrás de estas anomalías, se observó que el montaje en acero inoxidable sufría mayores deformaciones térmicas que el espécimen de concreto, debido a que la conductividad térmica del acero es mayor, nos obligamos a someterlos de manera separada a cambios de temperatura, deformando primero el montaje para después deformar el espécimen de concreto y así evitar en una menor medida la doble lectura en el micrómetro.

Esta observación se realizó durante las pruebas a los catorce días, por lo cual no se tomaron en cuenta estas pruebas y las anteriores para la aplicación.

**Nota 3:** No se aplicó el coeficiente de corrección tal como se menciona en la norma ASSHTO TP-60 debido a lo siguiente:

- No se logró obtener un espécimen cilíndrico de acero inoxidable con las mismas dimensiones de los cilindros ensayados como lo exige la norma.
- Para contrarrestar el efecto de la expansión térmica del montaje en acero inoxidable, este se puso en equilibrio térmico con el agua antes que el espécimen de prueba, de tal manera que una vez alcanzado el equilibrio, se colocó el espécimen de prueba aislado con su temperatura anterior conservada, para que el micrómetro evite lecturas de deformación del montaje (Esto como producto de la observación mencionada en la nota 2).

**Nota 4:** La guía para el diseño de pavimentos de concreto de la AASHTO 1993, utiliza el coeficiente de contracción térmica del concreto para determinar la abertura de la junta, los espaciamientos entre juntas los determina bajo otros criterios que no involucran el coeficiente. En nuestro caso hemos optado por determinar el espaciamiento entre juntas utilizando el coeficiente por medio de la propuesta de una abertura óptima para las juntas.

**Nota 5:** Los coeficientes de contracción térmica del concreto, varían según las características de los agregados y según su contenido de cemento, por lo cual los valores aquí determinados solo son válidos para los proporcionamiento de ingredientes del concreto y agregados utilizados en esta investigación.

#### 4.4 OTRAS PROPUESTAS DE APLICACIÓN Y COMPARACIONES.

A continuación se presentan algunas recomendaciones sobre longitudes máximas de losas en pavimentos de concreto simples.

**Tabla 4.3: Espaciamientos máximos recomendados.**

FUENTE	RECOMENDACIÓN		
<b>Revista ISCYC</b>	$ML(\text{losa}) = T(\text{espesor}) \times Cs$	$\leq 4,5$	
<b>FHWA</b>	$\frac{\text{longitud de la losa}}{\text{radio de rigidez relativo}}$	$\leq 5$	(En las mismas unidades)
<b>FAA</b>	$\frac{\text{longitud en pies}}{\text{espesor en pulgadas}}$	$\leq 2$	
<b>PCA</b>	$\frac{\text{longitud losa}}{\text{espesor}}$	$\leq 25$	(En las mismas unidades)
	Tipo de agregado grueso		Separación máx. (m)
<b>Fordyce</b>	Granito		7,7
	Calcáreo		6,1
	Canto rodado		4,6
	Escorias		4,6

#### EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL CRITERIO REVISTA ISCYC N° 52

$$ML = (T) (Cs)$$

*Ecuación 4.4*

Donde:

ML: Longitud máxima entre juntas.

T: Espesor de losa (cualquier sistema métrico)

Cs: constante de soporte.

**Tabla 4.4: Espesores de losa recomendado**

PARA	USAR
Subrasante o sub-base granular	24
Sub-base estabilizadas pav. Existente de concreto o asfalto	21
sobrecapas ultra delgadas sobre asfalto	12 a 15

Para un espesor de losa de 9 pulgadas y una sub-base granular el espaciamiento máximo es:

$$ML = 9 \text{ pulg.} \times 24$$

$$ML = 216 \text{ pulg.}$$

$$ML = 5.5 \text{ m}$$

### EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL CRITERIO FHWA

Longitudes de losa resultantes para un espesor de losa y módulos de relación de soporte de manera que  $l/l = 5$

$$l = \{E * h^3 / [12 (1 - \nu^2) k]\}^{0.25} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Donde:

$l$  = radio de rigidez relativa, en pulg.

$E$  = módulo de elasticidad del concreto, en psi

$h$  = espesor de la losa, en pulg.

$\nu$  = coeficiente de Poisson para el concreto (generalmente 0,15)

$k$  = módulo de reacción de la base/sobrasarte (parte superior de la sub-base estabilizada), en lb./pulg.<sup>3</sup>

Espesor de losa (pg)	k=100 pci		k=200 pci		k=800pci	
	l (pg)	L (pie)	l (pg)	L (pie)	l (pg)	L (pie)
9	42.0	17.5	35.3	14.7	25.0	10.4

De acuerdo con la tabla, si los soportes son rígidos (sub-bases estabilizadas) la longitud de las losas debe ser menor.

### EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL CRITERIO FAA

$$\frac{\text{Longitud en pies}}{\text{Espesor en pulgadas}} \leq 2$$

$$L \text{ (pies)} = (9 \text{ pulg.}) * (2)$$

$$L = 18 \text{ pies.}$$

$$L = 5.5 \text{ m}$$

Comparación de longitudes máximas de losas según los criterios expuestos en la tabla 4.5

**Espesor = 9.0 pulg.**

**Tabla 4.5: Comparación de longitudes máximas.**

<b>Criterio</b>	<b>Longitud máxima</b>
<i>Revista ISCYC</i>	ML = 9x24 = 216 pulg (5.5 m)
<i>FHWA</i>	k=100 pci; L=17,5 pies (5,3 m)
	k=200 pci; L=14,7 pies (4,5 m)
	k=800 pci; L=10,4 pies (3,2 m)
<i>FAA</i>	L = 2x9 =18 pies (5,5 m)
<i>PCA</i>	L = 25x9 =18,75 pulg (5,7 m)
<i>Fordyce</i>	depende del tipo de agregado grueso

**ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS  
SIN IVA**

**PROYECTO:** COEFICIENTE DE EXPANSIÓN Y CONTRACCION DEL CONCRETO PARA ESPACIAMIENTO ENTRE JUNTAS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO

**PARTIDA No.:** 1 **UNIDAD:** ML

**ITEM No.:** 1 **JUNTAS DE CONTRACCION**

**A- MATERIALES**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SIKA FLEX EN TUBO	ml	0,1666	\$ 10,25	\$ 1,71
COMBUSTIBLE	GALON	0,0074	\$ 4,00	\$ 0,03
DISCO CORTADOR	ml	0,0004	\$ 250,00	\$ 0,10
				\$ -
				\$ -
				\$ -
				\$ -
<b>SUB - TOTAL:</b>				<b>\$ 1,84</b>

**B-MANO DE OBRA**

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Auxiliar	\$ 7,00	\$ 3,50	\$ 10,50	28	\$ 0,38
<b>SUB - TOTAL:</b>					<b>\$ 0,38</b>

**C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS**

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
COMPRESOR		8 HORAS/ DIA	1	\$ 2,50	\$ 2,50
MAQUINA CORTADORA		8 HORAS/ DIA	1	\$ 7,50	\$ 7,50
					\$ -
					\$ -
<b>SUB - TOTAL:</b>					<b>\$ 10,00</b>

**D-SUBCONTRATOS**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
				\$ -
				\$ -
				\$ -
<b>SUB - TOTAL:</b>				<b>\$ -</b>

<b>COSTO DIRECTO = A + B + C + D</b>	<b>\$ 12,22</b>
<b>COSTO INDIRECTO 24%</b>	<b>\$ 2,93</b>
<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>\$ 15,15</b>

NOMBRE Y FIRMA REPRESENTANTE LEGAL

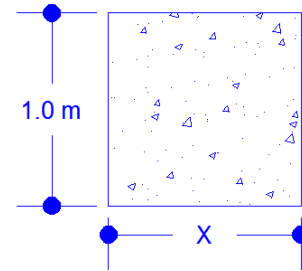
FECHA: nov-11

### COMPARACIÓN DE PRECIOS ENTRE EL DISEÑO COMUNMENTE USADO Y EL DISEÑO

El precio de la junta por metro lineal calculado anteriormente, siempre será el mismo para cada uno de los ejemplos presentados a continuación.

- ❖ Cálculo de la cantidad de junta para un espaciamiento a cada 4.0 m. de longitud y ancho de carril desconocido (X).

Tomando una sección de 1.0 m de largo por un ancho desconocido (X en metro).



$$\text{N}^\circ \text{ de juntas} = \frac{\text{Longitud (m)}}{\text{Espaciamiento de juntas (m)}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de juntas} = 1.0 \text{ m} / 4.0 \text{ m}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de juntas} = 0.25$$

$$\text{Longitud de juntas transversales} = \text{N}^\circ \text{ de juntas} \times \text{Longitud de juntas}$$

$$\text{Longitud de juntas transversales} = (0.25) (X)$$

$$\text{Longitud de juntas transversales} = 0.25X$$

$$\text{Precio} = \text{Longitud total de juntas por precios unitario de la junta}$$

$$\text{Precio} = (0.25X) (\$15.15)$$

$$\text{Precio} = \$ 3.79X$$

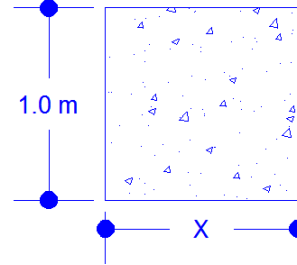
- ❖ Cálculo de la cantidad de junta para un espaciamiento a cada 4.7 m.

Tomando una sección de 1.0 m de largo por un ancho desconocido.

$$\text{N}^\circ \text{ de juntas} = \frac{\text{longitud (m)}}{\text{Espaciamiento de juntas (m)}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de juntas} = 1.0 \text{ m} / 4.7 \text{ m}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de juntas} = 0.21$$



Longitud de juntas transversales = N° de juntas x Longitud de juntas

$$\text{Longitud de juntas transversales} = (0.21) (X)$$

$$\text{Longitud de juntas transversales} = 0.21X$$

Precio = Longitud total de juntas por precios unitario de la junta

$$\text{Precio} = (0.21X) (15.15)$$

$$\text{Precio} = \$ 3.18X$$

Al comparar los precios entre los espaciamientos entre juntas comúnmente usadas y los propuestos por esta investigación, se puede observar que se obtiene un ahorro de **\$0.61** por metro lineal de carretera para juntas transversales.



# **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  $\frac{3}{4}$ ", para la cantera de El Carmen y Aramuaca, y de 1" para la cantera de La Pedrera; 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 en un 95% dentro de los límites establecidos en la norma ASTM C 33, para los bancos de las canteras: Aramuaca, El Carmen y La Pedrera; por otra parte los Módulos de Finura que se registran en estas granulometría son los que se muestran en la tabla 5.1, siendo aceptable su magnitud por encontrarse dentro del rango establecido por la norma ASTM C-33:  $2.3 < MF < 3.1$

**Tabla 5.1 Tamaño máximo y Módulo de finura**

Cantera	Tamaño máximo nominal de agregado grueso (pulgada)	Módulo de finura en agregado fino
<b>EL Carmen</b>	3/4	2.86
<b>Aramuaca</b>	3/4	2.61
<b>La Pedrera</b>	1	2.92

3. El ensayo de desgaste del agregado grueso suministró resultados cuyos valores como porcentaje en peso fueron de 16.84%, 14.87% y 11.50%, para las canteras de La Pedrera, Aramuaca y El Carmen respectivamente, mismos que son inferiores al 50% establecido por las especificaciones de la SIECA. Por lo tanto el agregado grueso utilizado en esta investigación, es apto para ser utilizado en la elaboración de concreto hidráulico para pavimentos.
4. La gravedad específica obtenida en los ensayos de nuestros agregados gruesos son las que se muestran en la tabla 5.2, valores que guardan 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”.

**Tabla 5.2 Gravedad específica y Absorción (agregado grueso)**

Cantera	Gravedad Específica	Absorción (%)
<b>EL Carmen</b>	2.426	1.14
<b>Aramuaca</b>	2.384	2.30
<b>La Pedrera</b>	2.390	2.04

5. La gravedad específica obtenida de los agregados finos se muestra en la tabla 5.3, el cual se asemeja 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.

**Tabla 5.3 Gravedad específica y Absorción (agregado fino)**

Cantera	Gravedad Específica seca promedio	Absorción promedio (%)
<b>EL Carmen</b>	2.67	2.25
<b>Aramuaca</b>	2.07	6.97
<b>La Pedrera</b>	2.47	3.01

6. Los pesos volumétricos de los agregados gruesos se muestran en la tabla 5.4, valores que se encuentra incluido en el rango (1200 - 1760 Kg/m<sup>3</sup>). sugerido para agregados de peso normal por diversos textos que tratan sobre tecnología del concreto. Por lo tanto los agregados tienen pesos normales para ser incluidos como ingredientes del concreto.

**Tabla 5.4 Peso volumétrico seco promedio (agregado grueso)**

Cantera	Peso volumétrico seco promedio (kg/m <sup>3</sup> )
<b>EL Carmen</b>	1607.19
<b>Aramuaca</b>	1587.04
<b>La Pedrera</b>	1537.78

7. 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 los resultados de nuestros ensayos.
8. Al comparar los valores de coeficiente de expansión térmica obtenidos en este estudio se observa que la diferencia en comparación con el valor de expansión utilizado normalmente en El Salvador es de 31% más bajo.
9. Para concretos con un MR= 35 kg/cm<sup>2</sup> y características similares a este estudio, el espaciamiento entre juntas recomendado según esta investigación es de 4.6 m.
10. Para concretos con un MR= 40 kg/cm<sup>2</sup> y características similares a este estudio, el espaciamiento entre juntas recomendado según esta investigación es de 4.7 m.

### 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 elección adecuada de las pruebas de laboratorio como: granulometría, resistencia al desgaste, 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<sup>3</sup>), 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 más longitud a lo largo de la viga, propiciando un diagrama de esfuerzo más uniforme que con el otro método.
8. En el ensayo de expansión, se debe de colocar al montaje de acero en el baño de maría, y dejar que el acero se deforme, cuando este se ha deformado, colocar el cilindro de concreto; esto para evitar errores ya que el acero se deforma más rápido que el concreto.
9. Se recomienda sujetar muy bien el deformimetro, para obtener lecturas más precisas.
10. En futuros estudios se recomienda hacer pruebas con sensores de madurez para tomar lecturas para determinar cuánto se tarda el concreto en alcanzar el equilibrio térmico con el agua del baño de maría.
11. Lubricar el deformimetro utilizando alcohol etílico, para así evitar la fricción en dicho instrumento.
12. Mantener el espécimen por una hora y media a temperatura de ensayo, para especímenes en edad de 28 días.
13. Utilizar guantes para manipular el marco de acero inoxidable a temperaturas altas.

14. Establecer una lectura inicial lo suficientemente grande en el deformímetro de manera que al someter el espécimen de prueba a contracción pueda leer este cambio de longitud.
15. Se recomienda construir pavimentos de prueba (tramos de prueba) con juntas espaciadas con el uso de los coeficientes de expansión/contracción determinados en esta investigación, y con el uso de los criterios empíricos para poder comparar el comportamiento real de cada diseño.
16. Investigar el uso de los coeficientes de expansión/contracción térmica en los programas de diseño estructural.
17. Realizar las pruebas con dos montajes en acero inoxidable, dos micrómetros y de manera correspondiente ensayar simultáneamente dos especímenes cilíndricos para obtener el promedio de sus resultados como lo establece la norma AASHTO TP-60, con el objeto de que sus valores determinados sean representativos en cuanto a sus propiedades y edades en el concreto.
18. Realizar ensayos para diferentes proporcionamientos de concreto con los mismos tipos de ingredientes de manera que se pueda observar si existe alguna variación en cuanto a sus propiedades térmicas al variar los proporcionamientos de sus ingredientes.
19. Verificar la relación entre el espaciamiento entre juntas transversales y longitudinales.

20. Indagar la aplicación del coeficiente de expansión y contracción térmica del concreto en los diferentes software de estructuras de concreto, y las alteraciones en el comportamiento estructural simulado por computadoras.
21. Mantener temperaturas extremas constantes entre el espécimen de concreto aislado y el montaje de acero con agua dentro del baño de maría, antes de combinarlos, para así leer las deformaciones del espécimen de concreto con mayor precisión y evitar lecturas de expansión o contracción en el montaje de acero, de manera simultánea.
22. Utilizar un nivel para verificar que el espécimen de concreto este colocado con su eje en posición vertical.
23. Utilizar un nivel para ubicar la placa superior del montaje en acero inoxidable, junto con el micrómetro instalado dentro de ella ,en una posición horizontal entre sus extremos, debido a que su altura es ajustada con tuercas, es fácil que su ubicación final tenga desnivel.
24. Realizar de la manera más rápida y precisa la combinación del espécimen cilíndrico con el montaje en acero inoxidable y la placa superior del montaje con el micrómetro instalado, para sumergirlo en el agua dentro del baño de maría rápidamente, esto con el objeto de que el espécimen y el montaje, no ganen o pierdan demasiada temperatura durante la operación.



# **BIBLIOGRAFIA**

# BIBLIOGRAFIA

- ✓ MEJORES PRÁCTICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CEMENTO PÓRTLAND (PAVIMENTO RÍGIDO PARA AEROPUERTOS)  
DOCUMENTO ACPA N° JP007P.
  - AUTOR: FUNDACIÓN DE INVESTIGACIONES DE PAVIMENTOS INNOVADORES (IPRF)
  - WASHINGTON DC, ABRIL 2003
  
- ✓ DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO PCA
  - AUTOR: STEVEN H. KOSMATKA, BEATRIX KERKHOFF, WILLIAM C. PANARESE, Y JUSSARA TANESI PRIMERA EDICIÓN © 2004 PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.
  - SKOKIE, ILLINOIS EE.UU., 2004.
  
- ✓ APUNTES DE CLASES DE LA MATERIA DE INGENIERIA DE MATERIALES.
  - CICLO II-2008
  
- ✓ CURSO SOBRE PAVIMENTOS DE CONCRETO
  - AUTOR: INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES (IECA)
  - SAN SALVADOR, 22 A 26 DE MARZO DE 1999
  
- ✓ CURSO SOBRE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAULICO
  - AUTOR: ING. CARLOS QUINTANILLA. (ISCYC)
  - SAN SALVADOR, ABRIL 2002
  
- ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO EN LAS CANTERAS MAS IMPORTANTES DE EL SALVADOR PARTE II.
  - AUTOR: HENRRY ALEXANDER BERRIOS, HUGO ERNESTO ALFARO Y JULIO CESAR MONTES MOLINA.
  - TESIS UES, 1999

- ✓ MANUAL DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO SECCIÓN 1
  - AUTOR: COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD
  - LIMUSA NORIEGA E, PRIMERA EDICIÓN 1994.
  
- ✓ 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.
  - AUTOR: BORIS ANTONIO GONZÁLES MIRANDA.
  - TESIS UES, ENERO 2003.
  
- ✓ MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LOSAS CORTAS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO
  - AUTOR: INGENIERO CIVIL LUIS ROLANDO ROMÁN ÁVILA.
  - TESIS UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA, ENERO 2008.
  
- ✓ CAUSAS, EVALUACIÓN Y REPARACIÓN DE FISURAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN.
  - (ACI 224) ACI 224.1R-93
  
- ✓ GUIA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS
  - AUTOR: ING. AURELIO SALAZAR RODRÍGUEZ. (IMCYC)
  - MEXICO, 1997
  
- ✓ TECNOLOGÍA DEL CONCRETO.
  - AUTOR: NEVILLE, A.M. Y BROOKS, J.J.
  - EDITORIAL TRILLAS. MÉXICO D.F. 1998.
  
- ✓ EFFECT OF MOISTURE CONTENT ON THE COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION OF CONCRETE DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
  - AUTOR: AHMEDAL-OSTAZ
  - THE UNIVERSITY OF MISSISSIPPI. SEPTIEMBRE 2007

<http://www.gomdot.com/Divisions/Highways/Resources/Research/pdf/Reports/InterimFinal/SS187.pdf>

- ✓ DOSIFICACION DEL CONCRETO
  - ING. ANA TORRE CARRILLO
  - UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, LIMA PERU, NOVIEMBRE DEL 2002

<http://es.scribd.com/doc/25317035/DOSIFICACION-DISENO-DE-MEZCLAS-DE-CONCRETO-HORMIGON>

- ✓ AASHTO JOINT TECHNICAL COMMITTEE ON PAVEMENTS
  - JACKSON HOLE, WY. MAY 27 – 28, 2009

**ANEXOS**

# ***A N E X O I***

## ***REALIZACION DE ENSAYOS DE LABORATORIO***

### **A.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 capítulo 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.

## A.2. PRUEBAS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS.

### I. 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 Específica 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 está 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 Practica 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 agregad 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

$\frac{3}{4}$ " 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 alimentado 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. A-1 y Fig. A-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.A-1 Cuarteador mecánico para agregado grueso.  
Fuente: ASTM C 702-01**



**Fig. A-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**

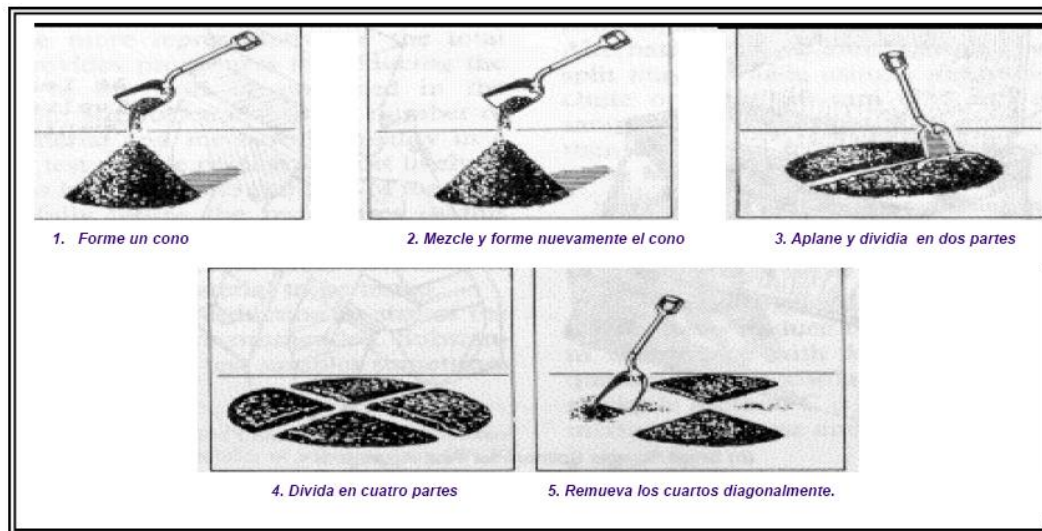
#### **Equipo y Herramientas.**

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).

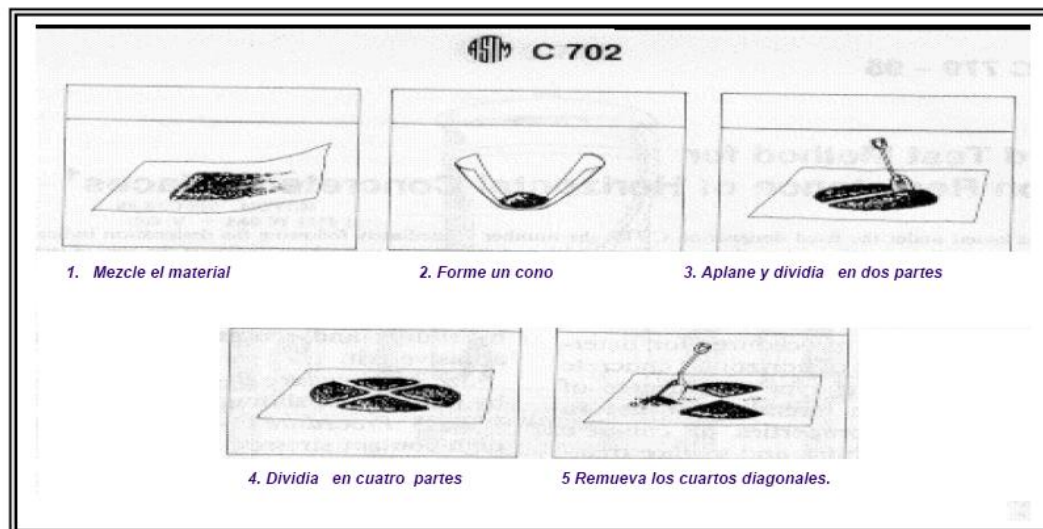
**Procedimiento.**

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 él. 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. A-3)



**Fig. A-3 Pasos para el cuarteo manual sobre una superficie plana**  
**Fuente: ASTM C 702-01**



*Fig. A-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 él. Obtenga una muestra para cada ensayo seleccionado al menos cinco porciones de material localizados al azar del apilamiento miniatura, utilizando uno de los dispositivos muestreadores descritos en equipo y herramienta.

## **II. 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 A-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 mín. 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 A-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:

$$W = 100 \frac{m - d}{d} \quad \text{Ecuación A-1}$$

Donde:

W = 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.

### **III. 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 ½", 2", 1" y ½".

### **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 A-2:

GRADUACION DEL AGREGADO FINO				
Abertura de la maya		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 A-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/m<sup>3</sup> (400lb/yd<sup>3</sup>) de cemento, o en concreto sin aire incluido que contenga más de 297 Kg/m<sup>3</sup>, de cemento (500lb/yd<sup>3</sup>), 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 el agregado grueso*



*Fig. A-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		TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO,
ABERTURAS CUADRADAS		MINIMO,
mm.	(pulg.)	kg. (lb)
9.5	(3/8)	1 (2)
12.5	(1/2)	2 (4)
19	(3/4)	5 (11)
25	(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)
<i>Tabla A-3 Tamaño de la muestra de ensayo de agregado grueso.</i>		
<i>Fuente: ASTM C 33</i>		

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 (Tamaño ABERTURAS CUADRADAS), % EN PESO.												
	100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37.5 mm	25 mm	19 mm	12.5 mm	9.5mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm
	4"	3.54"	3"	2.5"	2"	1.5"	1"	3/4 "	1/2 "	3/8 "	No 4	No 8	No 16
3.5 a 1.5 "	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
2.5 a 1.5 "	-	-	100	90 a 100	35 a 70	1 a15	-	1 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. A-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 periodo 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. A-6 Tamizador mecánico*

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 O RETENIDO	% QUE PASA
xi	W1	$(W1/W \text{ total}) \times 100 = p1$	P1	100 – P1
xi	W2	$(W2/W \text{ total}) \times 100 = p2$	P1 + P2	100 – (P1 + P2)
xi	W3	$(W3/W \text{ total}) \times 100 = p3$	P1 + P2 + P3	100 – (P1 + P2 + P3)
xi	W4	$(W4/W \text{ total}) \times 100 = p4$	P1 + P2 + ...P4	100 – (P1 + P2 + ...P4)
xi	W5	$(W5/W \text{ total}) \times 100 = p5$	P1 + P2 + ...P5	100 – (P1 + P2 + ...P5)
xi	W6	$(W6/W \text{ total}) \times 100 = p6$	P1 + P2 + ...P6	100 – (P1 + P2 + ...P6)
xi	W7	$(W7/W \text{ total}) \times 100 = p7$	P1 + P2 + ...P7	100 – (P1 + P2 + ...P7)
xi	Wn	$(Wn/W \text{ total}) \times 100 = pn$	P1 + P2 + ...Pn	100 – (P1 + P2 + ...Pn)
Totales	Wtotal		100	

**Tabla A-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.



#### **IV. 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. A-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  $110 \pm 5$  °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 A-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" (9.50 mm)	⅜" (9.5 mm)	1250 ± 10	2500 ± 10		
⅜" (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)				2500 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

*Tabla A-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 A-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 A-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 Máquina de Los Ángeles, haciéndola girar a una velocidad de 30 a 33 r.p.m. hasta completar 500 revoluciones; la máquina deberá mantener una velocidad periférica sustancialmente uniforme.
5. Descargar el material de la máquina, 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  $110 \pm 5$  °C hasta peso constante con un gramo de precisión.

**Cálculos:**

$$\text{Porcentaje de desgaste} = \frac{(W_{inicial} - W_{final})}{W_{inicial}} \times 100 \quad \text{Ecuación A-2}$$

Donde:

*W<sub>inicial</sub>*: Peso Inicial de la muestra.

*W<sub>final</sub>*: Peso Final de la muestra.

- v. **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 de masa (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 5 - 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 de masa que son necesarios para su uso en muchos métodos de selección, proporcionamiento de mezclas de concreto, etc.

La densidad de masa 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 de masa:* es la masa de un volumen unitario de material de 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/pe<sup>3</sup> (Kg/m<sup>3</sup>).

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

*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.A-8), 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 A-8 para el tamaño del agregado a ser ensayado. El espesor del metal en el recipiente será como se describe en la Tabla A-9. La pared interior del depósito será una superficie continua y lisa.

Nota 6 - 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. A-8 Recipiente estandarizado para la obtención del peso volumétrico.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		CAPACIDAD DEL DEPÓSITO	
Pulgadas	mm	Pie <sup>3</sup>	L(m <sup>3</sup> )
1/2	12.5	0	2.8 (0.0028)
1	25	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 A-8 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 <sup>3</sup>	0.20 pulg.	0.10 pulg.	0.10 pulg.
0.4a 1.5 pie <sup>3</sup> incl.	0.20 pulg.	0.20 pulg.	0.12 pulg.
> 1.5 a 2.8 pie <sup>3</sup> incl.	0.40 pulg.	0.25 pulg.	0.15 pulg.
>2.8 a 4.0 pie <sup>3</sup> 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 A-9 Requisitos para Depósitos Medidores Fuente: ASTM C 29/C29M-97**

- Sí el depósito también es usado para ensayos de densidad de masa 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 esté 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 pie<sup>3</sup> (28 L) serán hechos de acero para rigidizar, o el espesor mínimo de metal listado en la Tabla A-9 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 A-10, interpolando si es necesario.

Temperatura		Lb/pie <sup>3</sup>	Kg. / m <sup>3</sup>
°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	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
<b>Tabla A-10 Valores de densidad según la temperatura.</b>			
<b>Fuente: ASTM C 29/C29M-97</b>			

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 7 - Para el cálculo de la densidad bruta, el volumen del depósito medidor en unidades SI deberán ser expresados en m<sup>3</sup>, o el factor como 1/m<sup>3</sup>. 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 8: Al varillar tamaños grandes de agregados gruesos, pueden que no sea posible penetrar la capa que se está 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. Nivela 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 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:

$$M = \frac{(G-T)}{V} \text{ o } M = (G - T) \times F \quad \text{Ecuación A-3}$$

Donde:

M = densidad bruta del agregado. Lb/pie<sup>3</sup> (Kg/m<sup>3</sup>)

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

T = masa del recipiente. lb (Kg.)

V = volumen del recipiente, pie (m<sup>3</sup>)

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:

$$M_{SSS} = M \left( 1 + \left( \frac{A}{100} \right) \right) \quad \text{Ecuación A-3.1}$$

Dónde:

$M_{SSS}$  = densidad bruta en condición SSS, lb/ pie<sup>3</sup> (Kg/m<sup>3</sup>)

A = % de absorción determinado de acuerdo con el Ensayo ASTM C 127 ó ASTM C 128

M = densidad bruta del agregado. Lb/pie<sup>3</sup> (Kg/m<sup>3</sup>).

#### **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:

$$\% \text{ de Vacios} = 100 \left( \frac{(SxW) - M}{SxW} \right)$$

**Ecuación A-4**

*Donde:*

M = densidad bruta del agregado. lb/ pie<sup>3</sup> (Kg/m<sup>3</sup>)

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/pie<sup>3</sup> (998 Kg/m<sup>3</sup>)

**VI. 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 ( $\text{Kg/m}^3$ ,  $\text{lb/pe}^3$ ) 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  $\text{Ib/pulg.}^3$ , 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  $24 \pm 4$  h para esencialmente llenar los poros. Entonces la muestra es removida del agua, y el exceso de agua en la superficie de las partículas seca 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 especifica), y absorción.

La densidad relativa (gravedad especifica) es la característica generalmente usada para cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas conteniendo agregados, incluyendo concreto de cemento Portland, 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 especifica) (SSS) es usada si el agregado está 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 está seco o se asume estar seco.

La densidad aparente y densidad relativa aparente (gravedad especifica 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 seca (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,  $\text{Kg/m}^3$  o  $\text{lb/ pie}^3$ .

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 9 - 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 está dada a continuación.

Es permitido ensayar el agregado grueso en algunas fracciones de tamaño. Si la muestra contiene más 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) (o malla de 2.36 mm (No. 8)

Nota 10 - 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) o 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 A-11 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  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ; 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  $50^\circ \text{C}$ ). Posteriormente sumerja el agregado en agua a la temperatura del cuarto por un periodo de  $24 \pm 4 \text{ h}$ .

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  $24 \pm 4$  h de saturación es también opcional.

Nota 11 - 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  $23 \pm 2.0^\circ$  C. Tenga cuidado de eliminar todo el aire atrapado antes de pesar, agitando el recipiente mientras es sumergido.

Nota 12 - 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 13 - 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  $110 \pm 5$  °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:

$$\text{Densidad Relativa (gravedad específica) (SH)} = B / (B - C) \quad \text{Ecuación A-5}$$

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)

$$\text{(SSS)} = B / (B - C) \quad \text{Ecuación A-6}$$

### Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente)

Calcule la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) como sigue.

$$\text{Densidad Relativa Aparente (gravedad específica aparente)} = A / (A - C) \quad \text{Ecuación A-7}$$

### Densidad:

Densidad (SH): Calcule la densidad en la base de agregado secado al horno

$$\text{Densidad (SH), Kg/m}^3 = 997.5 A / (B - C) \quad \text{Ecuación A-8}$$

$$\text{Densidad (SH), lb/pe}^3 = 62.27 A / (B - C) \quad \text{Ecuación A-9}$$

Nota - Los valores constantes usados en los cálculos ( $997.5 \text{ Kg/m}^3$  y  $62.27 \text{ lb/pie}^3$ ) representan la densidad del agua a  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Densidad (SSS)

Calcule la densidad en la base de agregado saturado superficialmente seco como sigue:

$$\text{Densidad (SSS), Kg/m}^3 = 997.5 \text{ B} / (\text{B} - \text{C}) \quad \text{Ecuación A-10}$$

$$\text{Densidad (SSS), lb/pie}^3 = 62.27 \text{ B} / (\text{B} - \text{C}) \quad \text{Ecuación A-11}$$

### Densidad Aparente.

Calcule la densidad aparente como sigue:

$$\text{Densidad aparente, Kg/m}^3 = 997.5 \text{ A} / (\text{A} - \text{C}) \quad \text{Ecuación A-12}$$

$$\text{Densidad aparente, lb/pie}^3 = 62.27 \text{ A} / (\text{A} - \text{C}) \quad \text{Ecuación A-13}$$

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:

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100G_1} + \frac{P_2}{100G_2} + \frac{P_n}{100G_n}} \quad \text{Ecuación A-14}$$

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.

G1, G2...Gn = promedio de densidad o densidad relativa (gravedad específica) valores para cada fracción dependiendo del tipo de densidad o densidad relativa (gravedad específica) siendo promediada.

P1, P2 ...Pn = porcentajes de masa de cada fracción presente en la muestra original (no incluye materiales finos)

**Absorción.**

Calcule el porcentaje de absorción como sigue:

$$\text{Absorción \%} = (B-A)/A \times 100 \quad \text{Ecuación A-15}$$

Nota 14 - Algunas autoridades recomiendan usar la densidad del agua a 4 °C: 1000 Kg/m<sup>3</sup> ó 1 g/cm<sup>3</sup>; 62.43 lb/pie<sup>3</sup> para ser más precisos.

**VII. 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 de masa y aparente, 23/23 °C (73.4/73.4 °F), y absorción del agregado fino.

Nota 15 - El subcomité está 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  $24 \pm 4$  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 horno y la masa determinada de nuevo. Usando entonces los valores de masa obtenida y fórmulas 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 cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas conteniendo agregado incluyendo concreto de cemento Portland, 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 cálculo 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. A-9) de 500  $\text{cm}^3$  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. A-10) - El molde metálico será de la forma de un cono truncado con las dimensiones siguientes:  $40 \pm 3 \text{ mm}$  en el borde superior,  $90 \pm 3 \text{ mm}$  de diámetro interno en la base y  $75 \pm 3 \text{ mm}$  de altura, con el metal teniendo un espesor mínimo de 0.8 mm. El pisón metálico tendrá una masa de  $340 \pm 15 \text{ g}$  y una cara golpeadora circular y plana de  $25 \pm 3 \text{ mm}$  de diámetro.



Fig. A-9 Picnómetro para arena y grava fina



Fig. A-10 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 Practica 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  $110 \pm 5$  °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  $24 \pm 4$  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  $24 \pm 4$  h es también opcional.

Nota 16 - 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 está 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 saturada y superficialmente seca. 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 17: 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 más agregado fino y use de nuevo 10 caídas del pisón. Entonces, adicione material dos veces más usando 3 y 2 caídas del pisón, respectivamente.

Nivele el material con el borde superior del molde, removiendo el material suelto de la base; 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 lámina 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 está presente en el agregado fino.

(3) Para alcanzar la condición de saturado superficialmente seco en material de un solo tamaño, que se desploma cuando está 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  $500 \pm 10$  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 o mecánicamente).

3. Manualmente ruede, invierta y agite el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire

Nota 18 - 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 (2) indicado en la Tabla A-12 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  $23.0 \pm 2.0$  °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  $110 \pm 5$  °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  $23.0 \pm 2.0$  °C.

Prueba	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos Resultados
<b>Precisión de un sólo operador:</b>		
Densidad (SH), Kg./m <sup>3</sup>	11	13
Densidad (SSS), Kg./m <sup>3</sup>	9.5	27
Densidad aparente, Kg./m <sup>3</sup>	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
<b>Precisión de Multilaboratorio:</b>		
Densidad (SH), Kg./m <sup>3</sup>	23	64
Densidad (SSS), Kg./m <sup>3</sup>	20	56
Densidad aparente, Kg./m <sup>3</sup>	20	56
Densidad relativa (gravedad especif.) (SH)	0.023	0.066
Densidad relativa (gravedad especif.) (SSS)	0.02	0.056
Densidad relativa aparente (G. E. aparente)	0.02	0.056
Absorción, %	0.23	0.66

**Tabla A-12** 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  $23.0 \pm 2.0$  °C. Añada  $55 \pm 5$  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 19). Tome una lectura final con el frasco y contenido dentro de 1 °C de la temperatura original.

Nota 19 - Puede ser usada una pequeña cantidad medida (que no exceda de 1 ml) de alcohol isopropilico 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  $500 \pm 10$  g de agregado fino saturado superficialmente seco, seque a masa constante y determine la masa seca.

**Cálculos.**

Símbolos:

A = masa del espécimen secado al homo. 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<sub>1</sub> = lectura inicial del nivel de agua en el frasco Le Chatelier, ml

R<sub>2</sub> = 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:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SH)} = A / (B + S - C) \quad \text{Ecuación A-16}$$

Procedimiento Volumétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SH)} = [S_1 (A/S)] / [0.9975 (R_2 - R_1)] \quad \text{Ecuación A-17}$$

Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSS)

Calcule la densidad relativa (gravedad específica) en la base de agregado saturado y superficialmente seco, como sigue:

Procedimiento Gravimétrico:

$$\text{Densidad Relativa (gravedad específica) (SSS)} = S / (B + S - C) \quad \text{Ecuación A-18}$$

Procedimiento Volumétrico:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)} = S_1 / [0.9975 (R_2 - R_1)] \quad \text{Ecuación A-19}$$

Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente)

Calcule la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) como sigue:

Procedimiento Gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = A / (B + A - C) \quad \text{Ecuación A-20}$$

Procedimiento Volumétrico:

$$\text{(Gravedad específica aparente)} = \frac{S_1 (A/S)}{0.9975 (R_2 - R_1) - [S_1 / S] (S - A)} \quad \text{Ecuación A-21}$$

Densidad:

Densidad (Secada al Horno). Calcule la densidad en la base de agregados secados al horno como sigue:

Procedimiento Gravimétrico:

$$\text{Densidad (SH)} = 997.5 A / (B + S - C) \text{ (Kg./m}^3\text{)} \quad \text{Ecuación A-22}$$

$$\text{Densidad (SH)} = 62.27 A / (B + S - C) \text{ (lb / pie}^3\text{)} \quad \text{Ecuación A-23}$$

Procedimiento Volumétrico:

$$\text{Densidad (SH)} = 997.5 S_1 (A / S) / [0.9975 (R2 - R1)] \text{ (Kg./ m}^3\text{)} \quad \text{Ecuación A-24}$$

$$\text{Densidad (SH)} = 62.27 S_1 (A / S) / [0.9975 (R2 - R1)] \text{ lb / pie}^3 \quad \text{Ecuación A-25}$$

Nota 20 - Los valores constantes usados en los calculo (997.5 Kg./m<sup>3</sup> y 62.27 lb/pie<sup>3</sup>) son la densidad del agua a 23 °C. Algunas autoridades recomiendan usar la densidad del agua a 4° C (1000 Kg./m<sup>3</sup> ó 1.0 g/cm<sup>3</sup> ó 62.43 lb/pie<sup>3</sup>) siendo suficientemente preciso.

Densidad (SSS)

Calcule la densidad con base en agregado saturado superficialmente seco como sigue:

Procedimiento Gravimétrico:

$$\text{Densidad (SSS)} = 997.5 S / (B+S-C) \text{ (Kg./m}^3\text{)} \quad \text{Ecuación A-26}$$

$$\text{Densidad (SSS)} = 62.27 S / (B + S - C) \text{ (lb/pie}^3\text{)} \quad \text{Ecuación A-27}$$

Procedimiento Volumétrico:

$$\text{Densidad (SSS)} = 997.5 S_1 / [0.9975 (R2 - R1)] \text{ (Kg./m}^3\text{)} \quad \text{Ecuación A-28}$$

$$\text{Densidad (SSS)} = 62.27 S_1 / [0.9975 (R2 - R1)] \text{ (lb./pie}^3\text{)} \quad \text{Ecuación A-29}$$

Densidad Aparente.

Calcule la densidad aparente como sigue:

Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad Aparente (SSS)} = 997.5 A / (B + A - C) \text{ (Kg./m}^3\text{)} \quad \text{Ecuación A-30}$$

$$\text{Densidad Aparente (SSS)} = 62.27 A / (B + A - C) \text{ (lb/pie}^3\text{)} \quad \text{Ecuación A-31}$$

Procedimiento Volumétrico:

$$\text{Densidad Aparente (SSS)} = \frac{997.5 S_i f(A/S)}{0.9975 (R_2 - R_i) - [(S_i / S) (S - A)]} \text{ (Kg./m}^3\text{)} \quad \text{Ecuación A-32}$$

$$\text{Densidad Aparente (SSS)} = \frac{62.27 S_i (A/S)}{0.9975 (R_2 - R_i) - [(S_i / S) (S - A)]} \text{ (lb/pie}^3\text{)} \quad \text{Ecuación A-33}$$

Absorción

Calcule el porcentaje de absorción como sigue:

$$\text{Absorción \%} = 100[(S - A) / A] \quad \text{Ecuación A-34}$$

## **ENSAYOS PARA CONTROLAR LA CALIDAD DEL CONCRETO.**

### **A.3. 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 21 - 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 22 - 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 más 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).(A-11)

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. A-11 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 A-11. 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 A-11. 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. A-11) - 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 23 - Un tercio del volumen del molde de revenimiento se llena hasta una altura de 2 5/8 pulgadas (67 mm); dos tercios del volumen se llena hasta una altura de 6 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 más concreto para mantener un exceso de concreto sobre la superficie del molde todo el tiempo. Después de que la capa superior ha sido compactada, enrase 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  $5 \pm 2$  segundos 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.

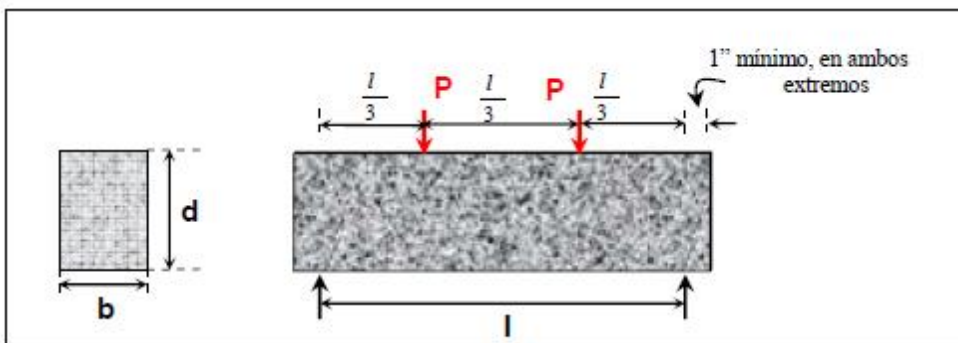
4. Inmediatamente mida el revenimiento, determinando la diferencia vertical entre la altura de la superficie del molde y el centro original de la superficie desplazada de la superficie superior del espécimen. Si ocurre la caída de un desprendimiento o un corte del concreto de un lado o una porción de la masa (Nota 24), deseche la prueba y haga una nueva prueba con otra porción de la muestra.

NOTA 24 - 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.

#### A.4. METODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO. ASTM C78-02

##### INTRODUCCION

Este método de prueba cubre la determinación de la resistencia de flexión de especímenes de concreto, a través del uso de vigas simplemente apoyadas cargadas en los tercios medios de su claro (ver figura A-12)



*Fig. A-12 Ensayo de flexión en vigas aplicando carga al tercio medio. Fuente: Tecnología del concreto. Sección III*

El concreto no es diseñado para resistir tensión directamente. Eso dirige a determinar la carga bajo la cual se desarrollan grietas. El esfuerzo de tensión máxima que se alcanza teóricamente en las fibras del fondo de la viga de prueba se llama Modulo 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 variara cuando hay diferencias en: tamaño del espécimen, preparación, condición de humedad o curado. Cabe mencionar que este método no es sustitutivo del ensayo ASTM C293, y los resultados obtenidos serán significativamente más altos que la citada prueba.

### **Documentos de Referencia.**

C31 Práctica Estándar para la Elaboración y curado de Especímenes de prueba de concreto.

C 78 Método de Ensayo Estándar para la Resistencia a flexión del concreto

C 617 Practica para cabeceado de especímenes cilíndricos de concreto

C192 Practica estándar para la elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de prueba de concreto.

Práctica para la verificación de fuerza en máquinas de pruebas.

### **Equipo y Herramientas.**

- Especímenes prismáticos.
- Maquina 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 máquina de prueba y el manejo de la misma deberá cumplir con lo establecido en la norma ASTM E 4.
- La fuerza que aplique la maquina 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 Angulo 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 C31 o C192 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 libres 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 evitara el secado superficial en el momento de prueba ya que de otra forma se observara 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 este 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 aspereza de esta 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, 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 1.21MPa/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 tomaran con precisión de 1 mm.

### **Cálculos.**

Si el espécimen falla en su tercio medio, el módulo de ruptura se determinara de la siguiente manera:

$$\text{Modulo de Ruptura} = \frac{Pl}{bd^2} \quad \text{Ecuación A-35}$$

Donde:

P: Carga máxima aplicada (carga de falla) en Kg.

l: Longitud del claro, cm.

b: Ancho del espécimen en el área de fractura, cm.

d: Profundidad o altura del 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:

$$\text{Módulo de Ruptura} = \frac{3 P a}{b d^2} \quad \text{Ecuación A-36}$$

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 del 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 ensayo debe desecharse.

#### A.4.1. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA EXPANSIÓN DEL CONCRETO

##### I. METODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LA DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA DEL CONCRETO Y DEL CEMENTO HIDRAULICO AASHTO TP-60

#### INTRODUCCION

Este método determina el coeficiente de expansión térmica (CTE) de un espécimen de cilindro de concreto, mantenido en una condición saturada, por mediciones de cambio de longitud del espécimen gracias a un especificado cambio de temperatura. La medición del cambio de longitud es correcto para algunos cambios en longitud de los aparatos de medición (determinados previamente) y el CTE es entonces calculado dividiendo el correcto cambio de longitud entre el cambio de temperatura y la longitud del espécimen, como describiremos en la sección de los cálculos.

El grado de saturación del concreto influye en la medida del coeficiente de expansión térmica, las condiciones de muestra de los especímenes de concreto deben ser controladas. Para este procedimiento de ensayo, los especímenes deben estar en una condición saturada.

#### APARATOS

**Sierras de concreto:** capaces de cortar los extremos de un espécimen cilíndrico perpendicular al eje y paralelo el uno del otro (rostros extremos)

**Balanza:** una escala o balanza teniendo una capacidad de 20 kg (44lb), y precisión del 0.1% sobre su rango.

**Calibrador:** comparador u otro dispositivo adecuado para medir la longitud del espécimen con una precisión de 0.1 mm (0.004 in).

**Baño de agua:** un baño de agua con controlador de temperatura para un rango de 10 a 50°C (50 a 122 °F) capaz de controlar la temperatura con una precisión de 0.1°C (0.2°F).

**Marco de soporte:** un rígido marco de soporte para el espécimen a ser utilizado durante la medición del cambio de longitud. El marco debe ser diseñado para tener la mínima influencia en la medición del cambio de longitud obtenida durante la prueba, y soportar el espécimen de tal manera que permita libremente ajustar el mismo para cualquier cambio de temperatura. Un adecuado marco de soporte es descrito en detalle en el apéndice XI.

**Dispositivos de medición de temperatura:** cuatro dispositivos medidores de temperatura sumergibles con una resolución de 0.1°C (0.2°F) y precisión de 0.2°C (0.4°F).

**Calibrador:** Un sumergible cabezal calibrador LVDT con excitación fuerte y lectura digital con una mínima resolución de 0.00025 mm (0.00001 in), y un rango adecuado para la prueba (para la facilidad en la creación del aparato, un rango de + 3 mm (0.1 in) han sido encontrado practico) (nota 1).

**Micrómetro:** Un micrómetro u otro dispositivo adecuado para la calibración del LVDT superior al rango a ser usado en el ensayo y con una mínima resolución de 0.00025 mm (0.00001 in).

## PROCEDIMIENTO

Acondicionamiento de las muestras: Las muestras deberán estar condicionada por la inmersión en agua saturada de cal a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73 \pm 4^\circ\text{F}$ ) durante no menos de 48 horas y hasta las dos pesadas sucesivas de la superficie de la muestra seca a intervalos de 24 horas, un aumento en el peso de menos del 0,5 por ciento. Una muestra de la superficie seca se obtiene mediante la eliminación de la humedad de la superficie con una toalla.

Procedimiento de prueba:

Coloque el aparato de medida, con LVDT adjunto, en el baño de agua y llene la bañera con agua fría del grifo. Coloque los cuatro sensores de temperatura en el baño en los lugares que ofrecen una temperatura media para el baño en su conjunto. Para evitar cualquier pega en los puntos de contacto con la muestra, poner una película muy delgada de grasa de silicona en el extremo de los botones de apoyo y la punta del LVDT.

Sacar la muestra del tanque de saturación y medir su longitud a temperatura ambiente con una precisión de 0,1 mm (0,004 pulgadas). Después de medir la longitud, colocar la muestra en el extremo inferior de la pieza está firmemente asentado contra los botones de apoyo, y que la punta LVDT se asienta contra el extremo superior de la muestra (Nota 2).

Ajuste la temperatura del baño de agua a  $10 \pm 1$  ° C ( $50 \pm 2$  ° F). Cuando el baño alcanza esta temperatura permite el baño a permanecer así hasta que el equilibrio térmico de la muestra se ha alcanzado, según lo indicado por la lectura coherente del LVDT con una precisión de 0.00025 mm (0.00001 pulgadas) tomadas cada 10 minutos durante media hora. También en este tiempo, comprobar que la muestra quede firmemente asentada contra los botones de apoyo según lo confirmado por la lectura del LVDT.

Registro de las lecturas de temperatura de los cuatro sensores con una precisión de 0,1 ° C (0.2 ° F). Registre la lectura LVDT con una precisión de 0.00025 mm (0.00001 pulgadas). Estos serán los valores iniciales. Ajuste la temperatura del baño de agua a  $50 \pm 1$  ° C ( $122 \pm 2$  ° F). Una vez que el baño ha llegado a  $50 \pm 1$  ° C ( $122 \pm 2$  ° F), permiten el baño a permanecer así hasta que el equilibrio térmico de la muestra se ha alcanzado, según lo indicado por la lectura coherente del LVDT con una precisión de 0,00025 mm (0.00001 en) tomadas cada 10 minutos durante un período de una hora y media.

Registro de las lecturas de temperatura de los cuatro sensores con una precisión de  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $0,2\text{ }^{\circ}\text{F}$ ). Registre la lectura LVDT con una precisión de  $0.00025\text{ mm}$  ( $0.00001\text{ pulgadas}$ ). Estas son las segundas lecturas.

Ajuste la temperatura del baño de agua a  $10 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $50 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{F}$ ). Cuando el baño alcanza esta temperatura permite el baño a permanecer así hasta que el equilibrio térmico de la muestra se ha alcanzado, según lo indicado por la lectura coherente del LVDT con una precisión de  $0.00025\text{ mm}$  ( $0.00001\text{ pulgadas}$ ) tomadas cada 10 minutos a la mitad período de la hora.

Registro de las lecturas de temperatura de los cuatro sensores con una precisión de  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $0,2\text{ }^{\circ}\text{F}$ ). Registre la lectura LVDT con una precisión de  $0.00025\text{ mm}$  ( $0.00001\text{ pulgadas}$ ). Estos serán los valores finales.

## ANEXO II



1) CONCRETERA DE 1 BOLSA UTILIZADA PARA ELABORAR LA MEZCLA.



2) COLOCACION DEL CONCRETO EN MOLDES CILINDRICOS DE 8"



3) COLOCACION DEL CONCRETO EN LOS MOLDES PARA VIGA



4) DESENMOLDADO Y ETIQUETADO DE VIGAS Y CILINDROS.





5) ESPECIMENES EN CURADO



6) PRUEBA A FLEXION DE VIGETAS



8) FALLA DE UNA VIGA



7) COLOCACION DEL ESPECIMEN EN EL MARCO.



9) EJEMPLO DE MOMENTO EN QUE SE TOMA LA LECTURA DE DEFORMACION



10) MONTAJE CON EL ESPECIMEN DENTRO DEL BAÑO DE MARIA.

