

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



**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE LA  
RESISTENCIA DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO  
DE MAMPOSTERÍA ASTM C-91 TIPO M, EN LA CONSTRUCCIÓN  
DE VIVIENDAS COLADAS IN-SITU.**

PRESENTADO POR:

**GLENDA XIOMARA CAMPOS HERNÁNDEZ  
JORGE ANTONIO CASTANEDA CERÓN  
CÉSAR GONZALO VEGA RODRÍGUEZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2006

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTORA :

**DRA. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ**

SECRETARIA GENERAL :

**LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIO :

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

**ESCUELA DE INGERIERÍA CIVIL**

DIRECTOR :

**ING. LUIS RODOLFO NOSIGLIA DURÁN**

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título:

**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE LA  
RESISTENCIA DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO  
DE MAMPOSTERÍA ASTM C-91 TIPO M, EN LA CONSTRUCCIÓN  
DE VIVIENDAS COLADAS IN-SITU.**

Presentado por:

**GLENDA XIOMARA CAMPOS HERNÁNDEZ  
JORGE ANTONIO CASTANEDA CERÓN  
CÉSAR GONZALO VEGA RODRÍGUEZ**

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director :

**ING. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA**

Docente Director Externo :

**ING. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRÍGUEZ**

San Salvador, Marzo de 2006

Trabajo de Graduación Aprobado por:

DOCENTE DIRECTOR :

**ING. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA**

DOCENTE DIRECTOR EXTERNO :

**ING. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRÍGUEZ**

## **AGRADECIMIENTOS.**

A DIOS, por todas las bendiciones recibidas de su bondad, por darnos la oportunidad de vivir y disfrutar del logro de haber escalado un peldaño más; a nuestros padres, por apoyarnos en los momentos más difíciles de la carrera; a la Universidad de El Salvador por habernos dado la oportunidad de crecer intelectualmente dentro de sus instalaciones.

A las empresas e instituciones que nos colaboraron de forma desinteresada y oportuna, durante el desarrollo del presente trabajo de graduación. De manera muy especial les agradecemos a las siguientes instituciones, que en su debido momento, nos brindaron su valiosa colaboración.

- UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
- CONCRETERA SALVADOREÑA S.A. de C.V.
- CEMENTOS DE EL SALVADOR S.A. de C.V.
- INSTITUTO SALVADOREÑO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO
- INMOLDECOM
- INTERNATIONAL MATERIALS INDUSTRIES, L.L.C. (IMI).
- SIKA

A los diferentes profesionales y personal de las instituciones y empresas, que nos tendieron la mano y contribuyeron para el desarrollo del presente Trabajo de Graduación; especialmente a:

- Ing. Lesly E. Mendoza Mejía.
- Ing. Carlos A. Quintanilla Rodríguez.
- Ing. Luis Rodolfo Nosiglia Durán.
- Ing. José Ranulfo Cárcamo y Cárcamo.
- Ing. José Guillermo Flores
- Ing. Hugo E. Bonilla Hernández
- Ing. Oscar Sánchez.
- Personal de Laboratorio de Suelos y Materiales “Mario Ángel Guzmán Urbina”
- Cuerpo Docente y Administrativo de la Escuela de Ingeniería Civil.
- Personal de Laboratorio del Plantel Central de Concretera Salvadoreña S.A. de C.V.
- Personal de Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto.

En general a todas las personas que colaboraron de manera directa o indirecta en la presente investigación.

**A LA ING. LESLY E. MENDOZA MEJÍA.**

De manera muy especial, por el tiempo, apoyo, orientación y dedicación brindada a lo largo de éste trabajo, gracias por su esfuerzo y amistad.

**AL ING. CARLOS ANTONIO QUINTANILLA RODRÌGUEZ.**

Por el aporte brindado al impulsarnos y depositar su confianza en nosotros para desarrollar el presente tema de graduación, gracias por apoyarnos y sobre todo por haber compartido con nosotros sus valiosos conocimientos.

**GLENDAM CAMPOS**

**JORGE CASTANEDA**

**CESAR VEGA.**

## **DEDICATORIA.**

A DIOS TODOPODEROSO Y A LA VIRGEN SANTÍSIMA: por brindarme sabiduría e iluminarme cada día y permitirme culminar una de mis metas; gracias Señor por escuchar mis oraciones ya que de lo contrario no habría llegado hasta aquí.

A MIS PADRES: Raúl Antonio Campos y Rosa Emilia de Campos, por haberme inculcado buenos principios y deseos de superación; gracias por todo su amor, sacrificio, apoyo y motivación para continuar, especialmente en los momentos más difíciles.

A MIS HERMANOS: Edwin Antonio y Erick Ronald Campos, por confiar en mí y sobre todo por el apoyo que me brindaron a cada momento.

A MI ABUELITA: Carmen Ortega (Q.D.D.G.), por su amor y sabios consejos, que son de mucha importancia en el transcurso de mi vida.

A MI FAMILIA: Por el apoyo, colaboración y motivación que me han brindado; especialmente a mi tía Carmen Hernández, (sin su apoyo no hubiera logrado éste triunfo); a todos mil gracias porque ya sea de forma directa o indirecta hicieron realidad este trabajo de gradación.



A MIS COMPAÑEROS: Jorge y César, por su amistad y entrega en la elaboración de éste trabajo, sobre todo por su comprensión y paciencia en momento críticos y además por los momentos agradables que compartimos.

A MIS ASESORES: Ing. Lesly Mendoza e Ing. Carlos Quintanilla, porque generosamente compartieron sus conocimientos con mi persona.

A MIS AMIGOS: Que en todo momento me animaron, tendiéndome su mano, para seguir adelante y para lograr la meta.

A TODAS LAS PERSONAS, que de alguna manera contribuyeron a lo largo de mi carrera, y cooperaron directa ó indirectamente en la culminación de éste triunfo.

**Glenda X. Campos H.**

## **DEDICATORIA.**

A Dios Todopoderoso, por haberme permitido ver la luz del día a día y ser la fuerza que motiva mi espíritu.

A mis padres, Jorge A. Castaneda y Mirna Esperanza Cerón por inculcarme valores de respeto y responsabilidad, y porque han sido un ejemplo de perseverancia, tenacidad y amor en mi vida.

A mis hermanas Gabriela y Carolina.

A mi novia Elisa Raquel Borja, que ha sido un apoyo constante y que gracias a su comprensión, paciencia y amor, me ha dado fortaleza en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi Abuelita Yolán, mis tías, tíos y toda mi familia residente en los Estados Unidos, porque este logro es también en nombre de ellos.

A mis asesores Ing. Lesly E. Mendoza e Ing. Carlos A. Quintanilla, por compartir su conocimientos conmigo.

A mis compañeros de Tesis, por la paciencia y comprensión hacia mi persona y por el esfuerzo mostrado para la culminación del presente trabajo de Graduación.

Al personal del Centro de Pronóstico Hidrológico (CPH) por su apoyo y comprensión.

Y todas aquellas personas que de una u otra manera me han brindado su ayuda a lo largo de mi carrera.

**Jorge A. Castaneda Cerón**

## **DEDICATORIA.**

Agradezco primeramente a DIOS TODOPODEROSO por haberme regalado de su sabiduría, entendimiento y comprensión; por guiar e iluminar mi vida; dándome fuerzas en momentos de debilidad, esperanza en tiempo de angustia y preocupación, así como alegría en tiempo de felicidad.

A mis Padres EDUARDO Y MILAGRO por confiar en mi, brindándome su cariño, amor y comprensión, apoyándome incondicional, dándome la mejor herencia que le puede dar un padre a su hijo como es la Educación; gracias mil veces gracias por todo.

A mis hermanos LUPITA y EDUARDO por ser mis amigos, apoyo y por estar siempre conmigo. Gracias por estar incondicionalmente en los momentos duros y difíciles y porqué mis triunfos son sus triunfos.

A mis Compañeros Glenda y Jorge, valoro cada esfuerzo que juntos colocamos en este trabajo, especialmente a Jorge gracias por fortalecer nuestra Amistad y por compartir momentos tanto agradables como desagradables. A ambos gracias por todo su apoyo.

A mis amigos que han compartido conmigo los momentos de angustias y alegrías, gracias por brindarme su amistad incondicional y ofrecerme su apoyo para poder sacar fuerzas de la flaqueza, gracias de todo corazón.

A los Catedráticos de la Universidad que sin egoísmo me brindaron sus conocimientos. Especialmente a la Ingeniero Lesly E. Mendoza, quien nos a brindado su amistad y apoyo en cualquier circunstancia. Mil gracias

Y a todos aquellos que no menciono, que de alguna manera directa o indirectamente contribuyeron para que este paso de mi vida se lleve a cabo; les doy eternamente las gracias.

**César Vega**

## INDICE GENERAL.

TÍTULO	Nº DE PAG.
<b>SUMARIO</b> .....	i
<b>1.0 CAPÍTULO I: GENERALIDADES.</b> .....	1
1.1 Introducción. ....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Planteamiento del problema. ....	4
1.4 Objetivos. ....	6
1.5 Alcances del trabajo de graduación. ....	7
1.6 Limitaciones del trabajo de graduación.....	9
1.7 Justificación del trabajo de graduación. ....	10
<b>2.0 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.</b> .....	12
<b>2.1 CONCRETO.</b> .....	12
2.1.1 Reseña histórica sobre el descubrimiento del concreto.....	12
<b>2.2 CALIDAD DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO</b> .....	20
2.2.1 Cemento.....	20
2.2.1.1 Antecedentes .....	20
2.2.1.2 Tipos de cemento y sus aplicaciones .....	22
2.2.1.3 Reseña histórica, origen y desarrollo del cemento de Mampostería .....	47

2.2.1.4 Propiedades del cemento de mampostería ASTM C-91	
tipo M .....	50
2.2.1.5 Proceso de fabricación del cemento de Mampostería por	
Cementos de El Salvador .....	52
2.2.2 Agregados para concreto .....	58
2.2.2.1 Agregado grueso .....	61
2.2.2.2 Agregado fino .....	65
2.2.3 Agua de mezclado .....	84
2.2.4 Aditivos .....	92
2.2.4.1 Generalidades .....	93
2.2.4.2 Aditivos superfluidificantes ó reductores de agua de alto	
Rango .....	104
<b>2.3 CARACTERÍSTICAS DESEABLES EN EL CONCRETO .....</b>	<b>108</b>
2.3.1 En estado fresco .....	109
2.3.2 En estado endurecido .....	125
<b>2.4 VIVIENDAS COLADAS IN-SITU .....</b>	<b>135</b>
2.4.1 Reseña histórica en El Salvador .....	136
2.4.2 Sistema Cast-in-place .....	139
2.4.2.1 Descripción .....	139
2.4.2.2 Proceso constructivo .....	140
2.4.2.2.1 Proceso constructivo sugerido por el comité ACI	
332 .....	140

2.4.2.2.2 Proceso constructivo realizado en obra .....	168
<b>2.5 SUGERENCIA TÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE VIVIENDAS DE PAREDES PREMOLDEADAS COLADAS IN-SITU.....</b>	<b>181</b>
2.5.1 Control de Calidad en la Construcción de Viviendas Coladas In-situ.....	185
2.5.2 Proceso Constructivo Sugerido para la Construcción de Viviendas Coladas In-situ.....	186
2.5.3 Especificaciones Técnicas Generalmente Aplicadas en los Proyectos de Viviendas de un Nivel Coladas In-situ, en El Salvador.....	197
2.5.4 Problemas Frecuentes en los Procesos Constructivos .....	199
<b>3.0 CAPÍTULO III: DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DE LABORATORIO.</b>	
<b>3.1 INTRODUCCIÓN. ....</b>	<b>205</b>
<b>3.2 PRUEBAS A LOS AGREGADOS PARA CONCRETO. ....</b>	<b>212</b>
3.2.1 Práctica estándar para muestreo de agregados ASTM D75. ..	212
3.2.2 Práctica para reducir muestras de agregado a tamaños de ensayo ASTM C-702. ....	215
3.2.3 Determinación de impurezas orgánicas de los agregados finos para concreto ASTM C-40. ....	216
3.2.4 Especificación estándar para agregados para concreto ASTM C-33.....	218

3.2.5 Análisis Granulométrico y Cálculo del Módulo de finura	
ASTM C-136.....	219
3.2.6 Gravedad específica y absorción de los agregados grueso	
ASTM C-127. ....	224
3.2.7 Gravedad específica y absorción de los agregados fino	
ASTM C-128.....	227
3.2.8 Pesos Volumétrico Suelto y Varillado de gravas y arenas	
ASTM C-29.....	230
3.2.9 Contenido de humedad total del agregado ASTM C-566.....	233
<b>3.3 CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA.....</b>	<b>234</b>
3.3.1 Procedimiento teórico y experimental, para el diseño	
de la mezcla. ....	238
3.3.1.1 Diseño basado en el comité ACI 211.1. ....	239
3.3.1.2 Cálculo para el diseño de mezclas por el método de	
máxima compacidad.....	248
3.3.1.2.1 Determinación del volumen de agregados. ....	248
<b>3.4 PRUEBAS PARA CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....</b>	<b>263</b>
3.4.1 Elaboración de especímenes en laboratorio ASTM C-192.....	263
3.4.2 Prueba de extensibilidad para concreto fluido.....	268
3.4.3 Método de Ensayo para Tiempo de fraguado de mezclas de	
concreto por la resistencia a la penetración ASTM C- 403 .....	269



3.4.4 Contenido de aire del concreto fresco mezclado por el Método de Presión ASTM C-231. ....	275
3.4.5 Ensayo para la temperatura del concreto fresco mezclado de cemento Pórtland ASTM C-1064. ....	276
<b>3.5 PRUEBAS PARA CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO...</b>	
3.5.1 Resistencia a la compresión del concreto ASTM C-39. ....	277
3.5.2 Módulo de elasticidad dinámico ASTM C-597. ....	287
3.5.3 Módulo de elasticidad estático ASTM C-469. ....	290
3.5.4 Prueba de adherencia entre concreto y barras de refuerzo ASTM C-234. ....	292
<b>4.0 CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	295
<b>4.1 AGREGADOS PARA CONCRETO</b> .....	295
<b>4.2 CONCRETO EN ESTADO FRESCO</b> .....	300
<b>4.3 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO</b> .....	305
4.3.1 Análisis Estadístico. ....	309
<b>5.0 CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> ....	311
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	322
<b>REFERENCIAS</b> .....	324
<b>GLOSARIO</b> .....	327
<b>ANEXOS</b> .	

## ÍNDICE DE TABLAS.

Nº DE TABLA	TÍTULO.
<b><i>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.</i></b>	
2.1	Diversas Clases de Cementos Hidráulicos.
2.2	Diversos Tipos de Cemento Pórtland Simples.
2.3	Diversos Tipos de Cementos Mezclados.
2.4	Diversas Clases de Cementos Expansivos.
2.5	Otros Tipos de Cementos Hidráulicos.
2.6	Compuestos Principales de Clínker Pórtland.
2.7	Ajustes al Clínker para los Cinco Tipos de Cementos Pórtland Normalizados.
2.8	Calores de Hidratación Calculados de Cementos Actuales.
2.9	Efectos de Algunas Sustancias Químicas en el Concreto.
2.10	Requisitos Físicos del Cemento de Mampostería.
2.11	Requisitos Físicos Estándar para Cementos Pórtland y de Mampostería.
2.12	Clasificación de los Agregados de Peso Normal.
2.13	Denominación e Intervalos Nominales de la Granulometría.
2.14	Ejemplos de Subdivisión de la Grava Según el Tamaño Máximo del Agregado Grueso.
2.15	Tamaño Máximo y Separación Correspondiente en Fracciones.
2.16	Limites Granulométricos.

- 2.17 Principales Aspectos del Concreto Influidos por los Agregados.
- 2.18 Sustancias Perjudiciales en los Agregados.
- 2.19 Tamaños Máximos de Agregados y Sobretamaños Permisibles
- 2.20 Efectos y Tolerancias en Cuanto a las Concentraciones e Impurezas en el Uso del Agua para Concreto.
- 2.21 Relación de Aditivos para Concreto, Clasificados por sus Efectos Característicos.
- 2.22 Efectos Característicos en el Concreto en Estado Fresco y Endurecido.
- 2.23 Principales Aspectos del Comportamiento del Concreto.
- 2.24 Influencia de las Propiedades Reológicas en el Comportamiento y la Trabajabilidad de las Mezclas de Concreto.
- 2.25 Factores de Corrección Dependiendo del Número de Ensayos.
- 2.26 Parámetros de Dispersión.
- 2.27 Seleccinamiento de la Resistencia del Concreto.
- 2.28 Contenido Recomendado de Aire para Concreto de Peso Normal para Diferentes Niveles de Exposiciones al Ambiente.
- 2.29 Recomendaciones para Concreto de Peso Normal Sujeto al ataque de los sulfatos.
- 2.30 Máximo Contenido de Iones de Cloro para Protección Contra la Corrosión.
- 2.31 Proporciones de Concreto para Mezclas en el Sitio.
- 2.32 Tolerancias Establecidas para las Resistencias del Concreto.

### ***CAPÍTULO III: DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DE LABORATORIO.***

- 3.1 Coordinadas de Ubicación de la Cantera S.A. de C.V.
- 3.2 Escala de Clasificación de la Colorimetría.
- 3.3 Graduación para el Agregado Fino.
- 3.4 Tamaño de la Muestra de Ensayo, basado en el Tamaño Máximo Nominal.
- 3.5 Malla Utilizadas para el Cálculo del Módulo de Finura.
- 3.6 Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.
- 3.7 Análisis Granulométrico del Agregado Fino.
- 3.8 Masa Mínima de la Muestra para un Ensayo Representativo.
- 3.9 Determinación de la Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso.
- 3.10 Determinación de la Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino.
- 3.11 Capacidad del Depósito de Ensayo (Pesos Volumétricos).
- 3.12 Pesos Unitarios de Agregados Gruesos y Finos.
- 3.13 Propiedades de los Agregados.
- 3.14 Revenimientos Recomendados para Diversos Tipos de Estructuras.
- 3.15 Resistencia a la Compresión Promedio Requerida.
- 3.16 Requisitos Aproximados de Agua de Mezclado y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales de los Agregados.
- 3.17 Relación a/c, Basado en la Resistencia a la Compresión.

- 3.18 Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto.
- 3.19 Resumen de Proporciones de Mezclas de Prueba por Método ACI 211.1
- 3.20 Datos Utilizados para el Diseño del Esqueleto Granular.
- 3.21 Combinación de Materiales para el Diseño del Esqueleto Granular.
- 3.22 Determinación de Porcentajes de Materiales Basados en la Determinación del Esqueleto Granular.
- 3.23 Proporciones de Materiales Diseñados Considerando el Esqueleto Granular.
- 3.24 Cantidades de Materiales para Diferentes Proporciones de Esqueleto Granular.
- 3.25 Resumen de Características Observables en el Concreto con el Empleo de Tres Aditivos de Diferente Composición Química.
- 3.26 Proporcionamiento de la Mezcla Óptima Determinada
- 3.27 Número de Capas Requeridas para los Especímenes Cilíndricos.
- 3.28 Diámetro de Barra y Número de Varillados a ser Usados en el Moldeo de Especímenes.
- 3.29 Ensayo N°1 de Tiempo de Fraguado del Concreto por Resistencia a la Penetración
- 3.30 Ensayo N°2 de Tiempo de Fraguado del Concreto por Resistencia a la Penetración
- 3.31 Ensayo N°3 de Tiempo de Fraguado del Concreto por Resistencia a la Penetración
- 3.32 Tolerancias Permitidas a Diferentes Edades de Ensayo.

- 3.33 Factor de Corrección para Especímenes.
- 3.34 y 3.35 Resistencia a la Compresión del Concreto Hidráulico a Tres Días.
- 3.36 y 3.37 Resistencia a la Compresión del Concreto Hidráulico a Siete Días.
- 3.38, 3.39 y 3.40 Resistencia a la Compresión del Concreto Hidráulico a Veintiocho Días.
- 3.41 Resultado Obtenido en el Ensayo del Módulo de Elasticidad Dinámico.
- 3.42 Módulo de Elasticidad Estático.
- 3.43 Resultados del Ensayo de Adherencia entre Concreto y Acero de Refuerzo.

#### ***CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.***

- 4.1 Clasificación de la Arena Dependiendo del Módulo de Finura.
- 4.2 Propiedades de los Agregados para Concreto.
- 4.3 Propiedades del Concreto en Estado Fresco.
- 4.4 Propiedades del Concreto en Estado Endurecido.
- 4.5 Resistencia a Compresión a Edades de Ensayo.

## INDICE DE FIGURAS.

Nº	TÍTULO.
<b><i>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.</i></b>	
2.1	Pirámide Escalonada de Saqqara.
2.2	El Partenón.
2.3	El Coliseo Romano.
2.4	Catedral de Pisa.
2.5	El Faro de Eddystone.
2.6	El Canal de Erie.
2.7	Templo de la Unidad.
2.8	Edison con Casa Modelo.
2.9	La Construcción del Canal de Panamá.
2.10	Aeropuerto de Orly.
2.11	Penitenciaría Alcatraz.
2.12	La Casa de Ópera.
2.13	Puente de Barrios de Luna.
2.14	Museo Jhon F. Kennedy.
2.15	Citic Plaza.
2.16	Torres Petronas.
2.17	Taipei 101.
2.18	Curvas Granulométricas de Cementos Pórtland tipos I y III.
2.19	Prueba Comparativa de Pérdida de Revenimiento en Concretos con Cementos Pórtland Tipo I y Pórtland-Puzolana.

- 2.20 Influencia de la Finura del Cemento en el Sangrado de la Pasta.
- 2.21 Tendencia Predecible en la Evolución de Resistencia Mecánica del Concreto con Diversos Tipos de Cemento Pórtland.
- 2.22 Evolución Comparada de Resistencia, en Concretos con Cementos Pórtland tipo I y Pórtland-Puzolana.
- 2.23 Preparación de las Materias Primas.
- 2.24 Obtención del Clínker.
- 2.25 Molienda del Clínker.
- 2.26 Límites Granulométricos Especificados para la Arena.
- 2.27 Evolución de la Absorción con el Tiempo de Inmersión.
- 2.28 Optimización de la Forma de las Partículas de los Agregados.
- 2.29 Definición de Forma de las Partículas de los Agregados.
- 2.30 Condiciones para una Reacción Álcali-Agregado en el Concreto, en Grado Deletéreo.
- 2.31 Influencia de un Aditivo Reductor de Agua en la Pérdida Inicial de Revenimiento del Concreto.
- 2.32 Avance de la Rigidización y Endurecimiento del Concreto con el Tiempo.
- 2.33 Lapsos y Actividades Características en los Diferentes Estados de un Concreto Ordinario a Temperatura Normal.
- 2.34 Consistencia Plástica.
- 2.35 Consistencia Blanda ó Fluida.
- 2.36 Consistencia Dura ó sin Fluidez.
- 2.37 Piezas que Conforman los Paneles en un Molde.



- 2.38 Trazo y Colocación de Niveletas.
- 2.39 Excavación para Soleras de Fundación y Muretes.
- 2.40 Armadura de Fundaciones.
- 2.41 Ductos para Instalaciones Eléctricas.
- 2.42 Colado de Soleras de Fundación.
- 2.43 Colado de Muretes.
- 2.44 Armadura de Paredes.
- 2.45 Alineamiento del Molde.
- 2.46 Molde a Plomo.
- 2.47 Equipo Utilizado en el Colado de las Viviendas.
- 2.48 Colado de la Vivienda.
- 2.49 Vivienda Apuntalada Después de Colada.
- 2.50 Curado y Resane en Paredes Terminadas.
- 2.51 Viviendas Construidas de Manera Correcta.
- 2.52 Cimentaciones.
- 2.53 Colado de la Losa.
- 2.54 Colocación de la Electromalla.
- 2.55 Colocación de Pines.
- 2.56 Instalaciones Eléctricas y Sanitarias.
- 2.57 Montaje de Paredes.
- 2.58 Consolidación Deficiente
- 2.59 Concreto sin Fluidez

- 2.60 Formación de Colmenas.
- 2.61 Malos Procesos Seguidos para la Colocación de Cajas, Tomas de Corriente y Ducterías.
- 2.62 Grietas Generadas por Malos Procesos Constructivos.
- 2.63 Agrietamiento Ocasionado por Planos de Debilidad en Puertas y Ventanas.
- 2.64 Fallas Ocasionadas por la Falta de Juntas de Contracción, en donde el Concreto se ha Agrietado Aleatoriamente.

### ***CAPÍTULO III: DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DE LABORATORIO.***

- 3.1 Ubicación de la Cantera “La Cantera”.
- 3.2 Discontinuidades Rellenas de Óxido.
- 3.3 Discontinuidades.
- 3.4 Acopio de Agregados.
- 3.5 Partidor Mecánico para Agregado Grueso.
- 3.6 Partidor Mecánico para Agregado Fino.
- 3.7 Ensayo para la Determinación de las Impurezas en el Agregado Fino.
- 3.8 Mallas Ocupadas para Granulometría del Agregado Grueso
- 3.9 Equipo Utilizado para la Granulometría del Agregado Fino (Rop-Tap).
- 3.10 Determinación de la Masa del Agregado Grueso en Estado Saturado Superficialmente Seco.
- 3.11 Secado de Agregado Grueso
- 3.12 Equipo Utilizado para la Determinación de la Gravedad Específica del Agregado Fino.

- 3.13 Determinación del Peso Unitario para Agregado Grueso.
- 3.14 Determinación del Peso Unitario para Agregado Fino.
- 3.15 Determinación de la Humedad de los Agregados
- 3.16 Distribución de los Elementos en las Paredes de las viviendas coladas in-situ.
- 3.17 Moldes Utilizados en la Construcción de Viviendas Coladas In-situ.
- 3.18 Mezcla de Concreto, bajo el Diseño del ACI 211.1
- 3.19 Gráfica de Resistencia a Compresión vrs. Tiempo de Especímenes de Concreto Elaborados con Cemento de Mampostería y sin Aditivos
- 3.20 Problemas de Segregación al Utilizar un Aditivo a Base de Policarboxilatos
- 3.21 Rápida Pérdida de Revenimiento de Mezclas de Concreto al Utilizar un Aditivo Superfluidificante a Base de Policarbóxilatos.
- 3.22 Se observan Sangrado en la Mezcla de Concreto Utilizando un Aditivo a Base de Melamina.
- 3.23 Se Observó Sangrado en la Mezcla de Concreto Utilizando un Aditivo a Base de Melamina.
- 3.24 Gráfica de Resistencia a Compresión vrs. Tiempo de Especímenes de Concreto Elaborados con Cemento de Mampostería y con MEGAFLOW.
- 3.25 Apariencia en Fresco de a la Reproducción del Diseño Óptimo
- 3.26 Extensibilidad de 65 cm en la Mezcla Óptima.
- 3.27 Excelentes Acabados en la Mezcla Óptima en Estado Endurecido.
- 3.28 Hechura de Especímenes
- 3.29 Curado de los Especímenes

- 3.30 Ensayo de Extensibilidad
- 3.31 Hechura de Especímenes para Tiempo de Fraguado
- 3.32 Realización de la Prueba de Fraguado para el Concreto
- 3.33 Equipo Utilizado para la Determinación del Contenido de Aire en la Mezcla de Concreto.
- 3.34 Máquina de Compresión
- 3.35 Ruptura de un Espécimen.
- 3.36 Dispositivo Utilizado para la Determinación del Módulo de Elasticidad Dinámico en el Concreto.
- 3.37 Ensayo para Calcular el Módulo de Elasticidad
- 3.38 Hechura de Especímenes para Ensayo de Adherencia.
- 3.39 Colocación de Espécimen para Ensayo de Adherencia en la Máquina Universal.
- 3.40 Comparación entre Especímenes antes y Después de Ensayo.

#### ***CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.***

- 4.1 Análisis Granulométrico del Agregado Fino.
- 4.2 Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.
- 4.3. Fraguado del Concreto (Ensayo 1).
- 4.4 Fraguado del Concreto (Ensayo 2)
- 4.5 Fraguado del Concreto (Ensayo 3).
- 4.6 Gráfico Comparativo Edad vrs. Resistencia a la Compresión de Diferentes Bachadas.
- 4.7 Resultados del Ensayo de Adherencia.

## **SUMARIO.**

Tradicionalmente el cemento de mampostería ASTM C-91 tipo M se ha utilizado exclusivamente para obras de albañilería, esto debido a la baja resistencia a la compresión que presenta respecto al desempeño de otros cementos hidráulicos. Sin embargo el uso del cemento de mampostería en la construcción de obras civiles, presenta ventajas, en cuanto, a que posee una mayor retención de agua, mayor plasticidad, trabajabilidad y mejores acabados superficiales.

Es por ello que se considera factible emplear el cemento de mampostería para la construcción de viviendas coladas in-situ, ya que el concreto para este tipo de estructuras requiere baja resistencia a la compresión, y son deseables los requisitos de trabajabilidad, bajo calor de hidratación y fluidez para el concreto en estado fresco y buenos acabados superficiales para el mismo en estado endurecido.

El presente trabajo de investigación esta enfocado a la evaluación de un concreto elaborado con cemento de mampostería ASTM C91 tipo M, para ser utilizado en la construcción de viviendas de paredes premoldeadas coladas in-situ, como una alternativa técnica y un uso diferente al tradicional para este tipo de cemento.

El trabajo de investigación denominado, *EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO DE MAMPOSTERÍA ASTM C 91 TIPO M, EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS COLADAS IN-SITU*, pretende lograr al termino de su estudio un diseño de mezcla y una serie de pruebas y análisis de laboratorio que sirvan como herramientas que demuestren la factibilidad técnica del uso de este tipo de concreto para la construcción de viviendas coladas in-situ en El Salvador.

El trabajo se divide en cinco capítulos, que en términos generales describen una investigación que permite generar información para diseñar una mezcla de concreto y crear las bases para identificar los puntos importantes en el ajuste de la misma.

El capítulo primero, describe las generalidades de la investigación, el cual tiene carácter informativo, en donde se plantea el enfoque de la investigación, los antecedentes, objetivos, limitaciones y la justificación de la investigación.

El segundo capítulo corresponde a la parte teórica de tecnología del concreto en general para conceptualizar adecuadamente el tema y facilitar la comprensión de los capítulos posteriores.

El capítulo tercero presenta una serie de pruebas laboratorio realizadas tanto a los componentes del concreto, como al concreto mismo, tanto en estado fresco como en estado endurecido. Además se plantea una metodología para el

diseño de la mezcla de concreto elaborada con cemento de mampostería ASTM C 91 tipo M para ser utilizada en la construcción de viviendas de paredes premoldeadas coladas in-situ.

El cuarto capítulo corresponde al análisis de los resultados de las pruebas de laboratorio de la mezcla de concreto considerada como la mezcla óptima; en donde se hace un análisis estadístico de los resultados de la reproducción en serie, para poder generar un historial sobre la calidad de los resultados.

Finalmente, en el capítulo quinto se desarrollan las conclusiones de la investigación experimental y se proponen las recomendaciones surgidas del presente trabajo de investigación.

**CAPÍTULO I:**  
***GENERALIDADES.***



## **1.0 GENERALIDADES.**

### **1.1 INTRODUCCIÓN.**

El cemento de mampostería, presenta excelentes características de impermeabilidad y plasticidad, tanto así, que, simplifica el trabajo, al emplearlo en obras de construcción. Sin duda, esto influye beneficiosamente en la economía de la obra., al poder optimizar recursos tanto físicos como humanos.

Aunque en El Salvador, el cemento de mampostería ASTM C 91 tipo M, se ha utilizado con fines limitados específicamente de tipo no estructural; se pretende en esta oportunidad, aprovechar las propiedades del cemento de mampostería, con el objeto de emplearlas, para producir un concreto que brinde muchas ventajas, precisamente en la construcción de viviendas coladas in-situ, ya que ésta sería una alternativa más, para personas de bajos recursos económicos, que requieran de una vivienda digna.

La presente investigación, trata sobre la evaluación de la factibilidad del uso del concreto, elaborado con cemento de mampostería ASTM C-91 tipo M en la construcción de viviendas coladas in-situ, debido a la carencia habitacional existente; que viene a ser un problema de grandes proporciones en nuestro país.

De esta manera pretendemos colaborar a la solución de la problemática antes expuesta, ya que se hace necesario buscar nuevas formas y tecnologías, para

la elaboración de elementos estructurales, que brinden un desempeño eficiente y económico, logrando de esta forma dinamizar el desarrollo profesional en la rama de la Ingeniería Civil.

## **1.2 ANTECEDENTES.**

A final de la década de los 20's (1920-1930), los fabricantes de cemento Pórtland, empezaron a formular combinaciones especiales de cemento Pórtland y plastificantes (tales como: caliza, cal hidráulica o cal hidratada); logrando de esta manera, encontrar las combinaciones y dosificaciones adecuadas para obtener la clasificación tipo N, S y M, para la industria de la mampostería.

En El Salvador, solamente se puede adquirir cemento de mampostería tipo M fabricado según norma ASTM C 91, el que es elaborado con una combinación de clínker, yeso y piedra caliza molida; fabricado de la misma manera que el cemento Pórtland tipo I, con la diferencia que en la molienda final se añade caliza y una resina plastificante inclusora de aire.

Desde el surgimiento del cemento de mampostería ASTM C 91 tipo M, se le ha concebido, especificado y utilizado como un cemento de uso exclusivo para obras de albañilería; debido a las múltiples ventajas y propiedades que posee, tales como: mayor trabajabilidad, plasticidad (como efecto de la retención de agua) y adherencia.

Por otro lado, debido al déficit habitacional, que aqueja a nuestro país desde décadas pasadas y que en la actualidad afecta a un porcentaje considerable de la población [3], se hace necesario buscar alternativas que brinden solución a la problemática de la vivienda popular; anteriormente se han empleado diversos sistemas constructivos, entre los cuales figura el sistema de viviendas coladas in-situ (sistema monolítico, que utiliza moldes metálicos y es colado en el lugar) que es de especial interés para la presente investigación, ya que, además de tener un bajo costo de adquisición, han mostrado buen desempeño (desde las primeras construcciones en 1970) frente a los fenómenos sísmicos ocurridos en nuestro país.

Proyectos tales como: San José (segunda etapa), Los Ángeles, Los Conacastes, Centro Comercial Metrópoli, Unicentro Soyapango, Las Margaritas, La Cima (etapas I, II y III), Colonia Lincoln, etc, se encuentran aún en buenas condiciones; por lo que, en la actualidad este exitoso sistema se sigue utilizando en proyectos habitacionales de gran envergadura, tal es el caso, que actualmente se está desarrollando uno de los proyectos de interés social más grandes de la región Centroamericana (Altavista: con más de 10,000 viviendas construidas y habitadas y con 10,000 más por construirse en los próximos años).

---

[3] En el año 2,004 se estimó un déficit de 231,454 viviendas según el Vice-ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano (VMVDU)

Experiencias recientes en el país, documentadas por el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC), han demostrado la factibilidad técnica y económica, del uso del cemento de mampostería, en obras realizadas en el campo vial, en las que anteriormente se empleaban mezclas a base de cementos Pórtland tradicionales.

Dichas experiencias generan inquietud respecto a investigar el desempeño que tendría el cemento de mampostería, para elaborar un concreto con una trabajabilidad, resistencia y durabilidad, tal que, se adapte a los requerimientos exigidos en la construcción de viviendas moldeadas y coladas in-situ.

### ***1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.***

Básicamente, el cemento de mampostería por sus características se ha especificado para obras de albañilería, entre las cuales se pueden mencionar pegado de ladrillos y bloques de concreto, repellos y afinados, así como también, instalación de pisos, construcción de aceras, cunetas, empedrados de uso peatonal, suelo cemento en obras rurales, entre otras.

En general se le concibe como un cemento de uso no estructural, debido a que bajo condiciones normales de diseño y elaboración de mezclas de concreto, es uno de los tipos de cemento de menor resistencia; siendo ésta una de las razones por la cual se ha restringido su uso en el campo constructivo.

Sin embargo, al hacer un análisis sobre el beneficio que podrían brindar el empleo de las características propias de este tipo de cemento en otras aplicaciones, toma fuerza la idea de adecuar un diseño de mezcla que permita obtener un concreto trabajable, con buena consistencia y cohesión en estado fresco, así como también, eficiente en estado endurecido (resistencia a la compresión mayor o igual que  $f_c = 140 \text{Kg/cm}^2$  y además logrando un módulo de elasticidad adecuado), no perdiendo de vista, características como: durabilidad, y uniformidad que permiten que un concreto genere buenos resultados.

Por lo anteriormente descrito, se busca proponer una alternativa de solución a la situación, por la que actualmente atraviesa el país en cuanto al déficit habitacional; es por esto que, en la presente investigación se analizará la factibilidad técnica del uso de la resistencia del concreto elaborado con cemento de mampostería ASTM C-91 tipo M, específicamente en la construcción de viviendas de interés social moldeadas y coladas in-situ, y de esta forma verificar si este tipo de concreto cumple con las especificaciones y requerimientos estructurales exigidos para este tipo de edificación.

## **1.4 OBJETIVOS.**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL:**

- Evaluar la factibilidad técnica del uso de la resistencia del concreto elaborado con cemento de mampostería ASTM C 91 tipo M, para la construcción de viviendas coladas in-situ.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Enunciar los requerimientos que debe cumplir el concreto utilizado en la construcción de viviendas coladas in-situ según el comité ACI 332.
- Describir las propiedades físicas del cemento de mampostería.
- Determinar las características de los agregados a utilizarse en la elaboración del concreto.
- Determinar un diseño de mezcla, utilizando cemento de mampostería ASTM C 91 tipo M, que cumpla con lo establecido en el comité ACI 332, la normativa local y las especificaciones estructurales para viviendas coladas in-situ.
- Determinar para el concreto resultante propiedades tales como; trabajabilidad, temperatura, contenido de aire, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y peso volumétrico; así como también, adherencia entre concreto y acero de refuerzo.

- Evaluar la aceptabilidad de los datos resultantes en la prueba de adherencia (entre el concreto y el acero de refuerzo), de acuerdo a los requerimientos establecidos para la construcción de viviendas coladas in-situ.

### **1.5 ALCANCES.**

Se describirán los diferentes tipos de cemento Pórtland que existen y su utilización, así como también los tipos y propiedades físicas del cemento de mampostería.

Este estudio retomará una breve reseña sobre la historia del concreto y sus propiedades, para posteriormente realizar tres diseños de mezcla (que tendrán como variable la resistencia a la compresión) utilizando cemento de mampostería ASTM C 91 tipo M, y luego escoger el diseño que mejor se adapte a las especificaciones establecidas en el comité ACI 211.1; ACI 332 y la Normativa Local de Vivienda.

Con el diseño de mezcla seleccionado se elaborarán cilindros, de los cuales se harán los respectivos ensayos de resistencia a la compresión según la Norma ASTM C 39, con el propósito de conocer la evolución de resistencias a edades de tres, siete y veintiocho días. También se realizarán ensayos para obtener módulos de elasticidad estáticos (de acuerdo con la ASTM C 469) y dinámicos (según la ASTM C 597).

Adicionalmente se elaborarán especímenes, con la finalidad de medir esfuerzos de adherencia, entre el concreto y las barras de refuerzo y determinar si estos cumplen con las especificaciones establecidas para este tipo de ensayos.

En concreto fresco se conocerá el tiempo de fraguado de la mezcla seleccionada (a validar); además se registrará la temperatura y el contenido de aire; en cuanto que, para concreto endurecido se registrará el peso volumétrico.

Los agregados con los que se elaborará el concreto, serán procedentes de pedrera “La Cantera” en San Diego (ubicada al sur de San Salvador) para agregado grueso, y para agregado fino procedente de Aguilares (sobre el Km 40); a dichos agregados se les realizarán las pruebas respectivas para el cálculo de los diferentes diseños de mezclas.

Se ha previsto en esta investigación, que el uso de este tipo de concreto, sea aplicado solamente en la construcción de viviendas unifamiliares, moldeadas y coladas in-situ; las cuales deberán cumplir con lo establecido por el comité ACI 332, así como con los requisitos de resistencia y especificaciones estructurales para concreto, establecidas en la norma local de vivienda.



## **1.6 LIMITACIONES.**

Puesto que, no se han desarrollado estudios ni se cuenta con experiencias, sobre el empleo del cemento de mampostería ASTM C 91 tipo M para otras aplicaciones, diferentes a las iniciales; esta investigación estudiará la factibilidad técnica del uso del cemento de mampostería, en la construcción de viviendas moldeadas y coladas in-situ, en nuestro medio.

Debido a que no se realizará un ensayo a escala natural, el estudio será cubierto con bases teóricas y pruebas de laboratorio, lo cual reforzaremos con visitas técnicas de investigación para verificar el procedimiento constructivo y el comportamiento de las viviendas coladas y moldeadas in-situ en El Salvador.

Para la evaluación de la factibilidad técnica, del uso de la resistencia de concretos elaborados con cemento de mampostería para la construcción de viviendas coladas in-situ, se necesita de numerosos ensayos de laboratorio, lo cual involucra tiempo y recursos económicos, por tanto, las pruebas de adherencia, evaluación de módulos de elasticidad y resistencia a la compresión (a edades de: tres siete y veintiocho días), se realizarán solamente al concreto que resulte ser la mezcla óptima (excelentes características tanto en estado fresco, como en endurecido), ya que se limita a un solo diseño de mezcla, para dichas pruebas y un número representativo de ensayos que estén acordes con el tiempo disponible para la realización del trabajo de graduación.

Además es de destacar, que en el presente estudio solo se pretende verificar la factibilidad técnica del uso de la resistencia del concreto elaborado con cemento de mampostería, no así, la factibilidad económica puesto que no se ha considerado como uno de los objetivos de la investigación.

### **1.7 JUSTIFICACIÓN.**

La posibilidad de la utilización de un concreto elaborado con cemento de mampostería para la construcción de viviendas coladas in-situ se fundamenta en lo siguiente:

- Un concreto durable que alcance una resistencia con características de un concreto de peso normal de tipo estructural, no solamente se consigue con un grupo específico de cementos Pórtland, ni con una sola cantidad mínima de cemento; si se utiliza una relación agua/cemento adecuada y los agregados son de buena calidad, es posible lograr concretos durables y resistentes, con cementos que no son necesariamente Pórtland puros o de uso general.
- Por otro lado un concreto elaborado con cemento de mampostería es más trabajable, dado que en la fabricación de éste, se añade caliza y una resina plastificante inclusora de aire en la molienda final, lo que genera micro-burbujas que actúan como un lubricante; es decir, que es factible aprovechar estas características que son propias del cemento de mampostería, para utilizarlo en la construcción de viviendas, bajo el sistema de moldeado y colado in-situ.

- Además, por ser una estructura monolítica, de un solo nivel y por la disposición y tipo de refuerzo, este tipo de viviendas presenta un excelente récord de estabilidad y duración, a tal grado, que hasta la fecha no se tienen registros de viviendas colapsadas por fenómenos sísmicos, y esto a pesar de que en nuestro país, desde fines de la década de los 70's (1970-1980) se han construido varios proyectos habitacionales en los cuales se han utilizado moldes metálicos para el colado in-situ de las viviendas. Por tanto, la resistencia especificada para el concreto utilizado en este tipo de viviendas es baja, con valores cercanos a los  $140 \text{ Kg/cm}^2$ , las que pueden ser factiblemente alcanzadas por un concreto elaborado con cemento de mampostería.

Todo esto, amplifica la posibilidad de adecuar un diseño de mezcla en el cual se pretende utilizar una relación agua/cemento baja con el fin de ganar más resistencia, y hermeticidad, reduciendo así la segregación y el sangrado; e introduciéndole un aditivo superfluidificante de última generación que mejoraría la trabajabilidad de la mezcla resultante; lo que supondría obtener de manera general un concreto con un comportamiento tal, que pueda ser utilizado satisfactoriamente en la construcción de viviendas moldeadas y coladas in-situ.

**CAPÍTULO II:**  
***MARCO TEÓRICO.***

## **2.0 MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 CONCRETO.**

El concreto de uso común ó convencional, se produce mediante la mezcla de cuatro componentes esenciales: cemento, agua, agregados, y aire; a los cuales eventualmente se les incorpora un quinto componente que se designa como aditivo.

#### **2.1.1 RESEÑA HISTÓRICA SOBRE EL DESCUBRIMIENTO DEL CONCRETO.**

Entre las civilizaciones antiguas, los Egipcios fueron los que más sobresalieron en el arte de construir.

- **Egipto Antiguo.**

Los egipcios usaron el yeso calcinado para dar al ladrillo o a las estructuras de piedra una capa lisa; aunque muy vulnerable al agua.



Figura 2.1: Pirámide Escalonada de Saggara. Tomada de Microsoft Encarta.

La Pirámide Escalonada de Saqqara, fue construida en la necrópolis de la antigua capital Menfis, hacia el 2737-2717 A.C. (figura 2.1). Fue diseñada por Imhotep, el primer arquitecto conocido de Egipto. Fue construida con caliza local alcanzando una altura de 61 m.

- **Grecia antigua.**

Una aplicación de piedra caliza calcinada fue utilizada por los griegos antiguos, en sus construcciones; ejemplo de ello es El Partenón, construido entre los años 447 y 432 A.C. (figura 2.2).



Figura 2.2: El Partenón  
Tomada de Microsoft Encarta.

También utilizaron la piedra caliza en el sur de Italia y Sicilia y la caliza revestida con mármol en gran parte del continente.

- **Antigua Roma (80 D.C.).**

Los romanos con frecuencia utilizaron, una mezcla de masilla de cal, polvo de ladrillo y ceniza volcánica.



Figura 2.3: El Coliseo Romano  
Tomada de [www.culturageneral.net](http://www.culturageneral.net)

Los antiguos Romanos utilizaron losas de concreto en muchas de sus grandes estructuras públicas, ejemplo de ello es el famoso Coliseo Romano (figura 2.3).

- **1053.**



Figura 2.4: Catedral de Pisa  
Tomado de [www.culturageneral.net](http://www.culturageneral.net).

El conjunto de edificios, construidos en Pisa, Italia, entre 1053 y 1272, comprende un campanario, conocido como la torre inclinada, la que se puede observar a la derecha; la catedral en el centro, y el baptisterio a la izquierda. Está compuesta por seis pisos, dónde figura el concreto, combinado con

arquerías de mármol tallado, que presentan elegantes relieves. (figura 2.4).

- **1774.**

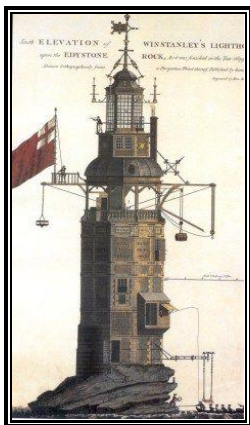


Figura 2.5: El Faro de Eddystone. Tomado de [www.monografias.com](http://www.monografias.com)

John Smeaton había encontrado que al combinar la cal viva con otros materiales creaba un nuevo material extremadamente duro que se podría utilizar para unir otros. Él utilizó este conocimiento para construir la primera estructura de concreto desde la Roma antigua.

John Smeaton, uno de los grandes ingenieros del siglo XVIII, logró un triunfo al construir el faro de Eddystone en Inglaterra (figura 2.5). Smeaton utilizó un sistema de

construcción extremadamente tenaz. Bloqueó las piedras unas con otras y utilizó una mezcla de la cal viva, arcilla, arena y escoria de hierro machacada.

- **1825.**

El primer concreto moderno producido en América se utiliza en la construcción



Figura 2.6: Canal de Erie.  
Tomado de [www.monografias.com](http://www.monografias.com)

del canal de Erie (figura 2.6). Aquí se utilizó el cemento hecho de la "cal hidráulica" encontrada en los condados de Madison en Nueva York, de Cayuga y de Onondaga.

Fue un instrumento en la apertura de la expansión a través de la región de Los Grandes

Lagos. Su éxito comercial fue atribuido a menudo al hecho de que el costo de mantenimiento de los pasos de concreto era muy bajo. El volumen del concreto usado en su construcción le constituyó como el proyecto de construcción de concreto más grande de sus días.

- **1905 .**



Figura 2.7: Templo de la Unidad.  
Tomado de [www.monografias.com](http://www.monografias.com)

Frank Lloyd Wright comenzó la construcción del famoso templo de la Unidad en Oak Park, Illinois (ver figura 2.7). Tomando tres años para terminar, Wright diseñó la masiva estructura con cuatro caras idénticas de modo que su costoso encofrado se pudiera utilizar múltiples veces.



- **1908.**

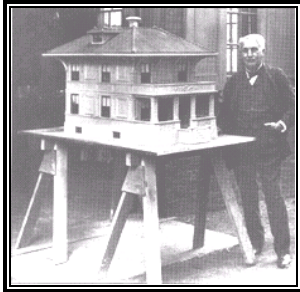


Figura 2.8: Edison con Casa Modelo. Tomado de [www.monografias.com](http://www.monografias.com)

Thomas Alva Edison construyó 11 hogares de concreto moldeados in-situ en Union, Nueva Jersey (ver figura 2.8). Esos hogares aún siguen siendo utilizados. Él también puso la primera milla de concreto en una carretera, cerca de New Village, Nueva Jersey.

- **1914.**

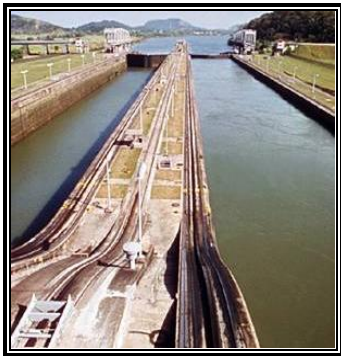


Figura 2.9: La Construcción del Canal de Panamá. Tomado de Microsoft Encarta.

El Canal de Panamá (figura 2.9), fue abierto después de décadas de construcción. Ofrece tres pares de esclusas de concreto, con suelos tan gruesos como 20 pies y las paredes tan gruesas como 60 pies en el fondo.

El Canal de Panamá tomó más de 30 años para terminarse a un costo de \$347 millones. Los desafíos de ingeniería encontrados fueron enormes. Las condiciones geológicas difíciles, la obtención de las materias primas necesarias y mano de obra, más la enorme escala del equipo requirieron la innovación ilimitada.

- **1921.**

Los vastos y parabólicos hangares de dirigibles en el aeropuerto de Orly en París fueron terminados en 1921 (figura 2.10).

Los hangares extensos de los dirigibles de Eugene Freyssinet (comenzados en 1916) fueron construidos de costillas parabólicas pretensadas. La forma

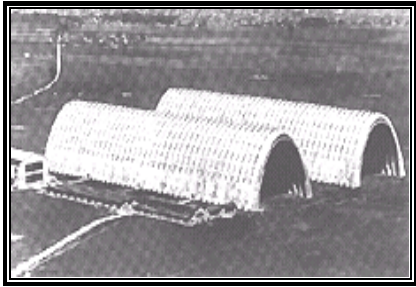


Figura 2.10: Aeropuerto de Orly.  
Tomado de [www.monografias.com](http://www.monografias.com)

permitió la más grande y posible resistencia estructural para el enorme volumen necesario para contener los dirigibles. La naturaleza incombustible del concreto fue el factor principal que convenció al equipo de Orly a que aprobara el diseño altamente inusual.

- **1933.**



Figura 2.11: Penitenciaría Alcatraz  
Tomado de [gallery.casa-sotomayor.net/alcatraz](http://gallery.casa-sotomayor.net/alcatraz)

En Alcatraz la primera cuadrilla de trabajo fue conformada por internos del recinto.

Esta prisión federal en la isla de Alcatraz fue cerrada por el ejército en 1933 y se convirtió oficialmente en una Penitenciaría en 1934 (figura 2.11). El agregado para el concreto en muchos

de los edificios de la prisión militar es ladrillo machacado.

- **1973.**



Figura 2.12: La Casa de Ópera  
Tomado de [Monografias.com](http://Monografias.com)

Se inaugura la casa de ópera en Sydney, Australia (figura 2.12). Sus distintivos picos de concreto se convirtieron rápidamente en un símbolo para la ciudad.



Figura 2.13: Puente de Barrios de Luna. Tomado de Microsoft Encarta.

- **1980 – 1990.**

El puente de Barrios de Luna (figura 2.13), construido en la década de 1980, es un puente (atirantado) de concreto, sobre el embalse del mismo nombre, en la provincia de León (España).

El puente cubre una luz de 440 metros.

- **1993.**

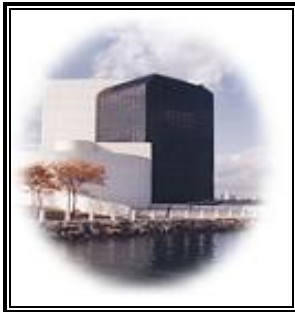


Figura 2.14: Museo JFK Tomado de Microsoft Encarta.

El Museo John F. Kennedy en Boston fue terminado en 1993 (figura 2.14). La singular estructura de concreto y cristal fue diseñada por el reconocido arquitecto I. M. Pei.

El museo por sí mismo es una estructura dramáticamente angular de cristal verde y concreto blanco, que se aprovecha del inclinado terreno costero para crear exuberantes vistas del mar y de la ciudad.

- **1996.**



Figura 2.15: Citic Plaza. Tomado de [www.rascacielos.com](http://www.rascacielos.com)

El Citic Plaza terminado en 1997, fue brevemente el edificio más alto en China (figura 2.15).

Este edificio fue construido de concreto armado y tiene una altura de 391 metros, con 80 pisos por encima de la calle.



Figura 2.16: Torres Petronas  
Tomado de [www.rascacielos.com](http://www.rascacielos.com)

- **1998.**

Las Torres Petronas de Kuala Lumpur, Malasia.

Estas imponentes torres fueron construidas en un sistema mixto, se alzan a 452 metros, y poseen 88 pisos de altura, (ver figura 2.16).

- **2004.**



Figura 2.17: Taipei 101.  
Tomado de:  
[www.rascacielos.com](http://www.rascacielos.com)

El Taipei Financial Center, en Taiwán, un edificio de acero, concreto y cristal, es el nuevo rey de los rascacielos (ver figura 2.17)

El nuevo monarca del vértigo, situado en el corazón de Taipei , alcanza una altura de 508 metros sobre el nivel del suelo.

## **2.2 CALIDAD DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO.**

### **2.2.1 CEMENTO.**

#### **2.2.1.1 ANTECEDENTES.**

El cemento "Pórtland" tiene sus orígenes en la cal u óxido de calcio, a partir del cual y luego de cientos de años de estudios empíricos y científicos, se llega a lo que hoy se conoce como cemento. A través de la historia de los pueblos egipcios, griegos y romanos, se utilizó la cal como ligante en sus construcciones. En la América Prehispánica los aztecas la emplearon también en la fabricación de tabiques y techos armados con caña y bambú.

Un breve recorrido por la historia del cemento nos muestra que hacia el año 700 A.C. los etruscos utilizan mezclas de puzolana y cal para hacer un mortero. Ya en el año 100 A.C. los romanos utilizaban mezclas de puzolana y cal para hacer una especie de concreto de resistencias a compresión cercanas a los 5 Mpa. Hasta el año 1750 sólo se utilizan los morteros de cal y materiales puzolánicos. Hacia 1750-1800 se investigan mezclas calcinadas de arcilla y caliza. John Smeaton en el año 1756 reparando el faro de Eddeystone, encontró que el mejor mortero se obtenía mezclando puzolana con caliza, y fue el primero en conocer las propiedades químicas de la cal hidráulica; 40 años más tarde, Joseph Parker calcinó nódulos de caliza arcillosa y fabricó así un cemento natural aplicándose entonces el vocablo "cemento" (anteriormente se interpretaba como "caement" a toda sustancia capaz de mejorar las

propiedades de otras). Vicat explicó en 1818 de manera científica el comportamiento de estos "conglomerantes".

El término cemento Pórtland se empleó por primera vez en 1824 cuando Joseph Aspdin, patentó un producto que él llamó cemento Pórtland, pues al endurecerse adquiría un color semejante a la piedra de la cantera de Dorset, en la localidad de la isla Pórtland en Inglaterra.

En 1838, este cemento se utilizó por primera vez en la construcción de uno de los túneles construidos bajo el río Támesis en Londres.

El primer cemento Pórtland moderno, hecho de piedra caliza y arcillas o pizarras, calentadas hasta convertirse en carbonilla (o escorias) y después trituradas, fue producido en Gran Bretaña en 1845, cuando Isaac Johnson quemó caliza y arcilla hasta obtener lo que actualmente conocemos como clínker y puede considerarse como la base del cemento moderno. En aquella época el cemento se fabricaba en hornos verticales, esparciendo las materias primas sobre capas de coque <sup>[2]</sup> a las que se prendía fuego.

Entre los años 1825 -1872 aparecen las primeras fábricas de cemento en Inglaterra, Francia y Alemania. Los primeros hornos rotatorios surgieron hacia 1880, año en el cual también se estudian las propiedades hidráulicas de la escoria de alto horno.

El uso del cemento Pórtland continuó extendiéndose hasta convertirse en la actualidad en el material de construcción más utilizado en el mundo.

---

[2] Coque: residuo duro y poroso que resulta después de la destilación destructiva del carbón.

## 2.2.1.2 TIPOS DE CEMENTO Y SUS APLICACIONES.

### CEMENTANTES EN GENERAL.

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.

Bajo la denominación genérica de cementos hidráulicos existen diversas clases de cemento con diferente composición y propiedades, en cuya elaboración intervienen normalmente las materias primas que se indican en la Tabla 2.1.

CEMENTOS HIDRÁULICOS	
Clase	Materias primas principales
Pórtland	Arcilla y caliza (materiales individuales)
Aluminoso	Bauxita, caliza
Sobre sulfatado	Escoria granulada de alto horno
Expansivo	Clinker pórtland, escoria, bauxita, yeso
Natural	Caliza-arcillosa (un solo material)

Tabla 2.1: Diversas Clases de Cementos Hidráulicos.  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

### • CEMENTOS CON CLINKER PÓRTLAND.

La ASTM define el cemento Pórtland como un producto que se obtiene al pulverizar el clinker, que consiste esencialmente de silicatos de calcio hidráulico a los cuales no se les adiciona ninguna sustancia posterior a la

calcinación, con excepción de agua y/o sulfato de calcio obtenido de la naturaleza.

Todos los cementos para concreto hidráulico que se producen en El Salvador son elaborados a base de clínker Pórtland, por cuyo motivo se justifica el interés en éste y en los tipos de cementos a que da lugar.

Para la elaboración del clínker Pórtland se emplean materias primas capaces de aportar principalmente cal y sílice, y adicionalmente óxido de hierro y alúmina, para lo cual se seleccionan materiales calizos y arcillosos de composición adecuada. Estos materiales se trituran, dosifican, muelen y mezclan íntimamente hasta su completa homogenización.

La materia prima así procesada, se introduce en hornos rotatorios donde se calina a temperaturas 1400 °C, hasta que alcanza un estado de fusión incipiente. En este estado se producen las reacciones químicas requeridas y el material se subdivide y se aglutina en fragmentos no mayores a 6 cm, cuya forma se regulariza por efecto de la rotación del horno. A este material fragmentado, resultante de la calcinación, se le denomina clínker Pórtland.

Una vez frío, el clínker se muele conjuntamente con una reducida proporción de yeso, que tiene la función de regular el tiempo de fraguado, y con ello se obtiene el polvo fino de color gris que se conoce como cemento Pórtland Simple.

También es factible incorporar aditivos durante la molienda del clínker, siendo de uso frecuente los auxiliares de molienda y los inclusores de aire. Estos últimos dan por resultado los cementos inclusores de aire para concreto.



De conformidad con lo anterior, a partir del clínker Pórtland es posible fabricar tres principales grupos o clases de cementos hidráulicos para la elaboración de concreto:

1- Los cementos Pórtland propiamente dichos, o Pórtland simples, moliendo solamente el clínker y el yeso sin componentes cementantes adicionales.

2- Los cementos Pórtland mezclados, combinando el clínker y el yeso con otro cementante, ya sea este una escoria o una puzolana.

3- Los cementos expansivos que se obtienen añadiendo al clínker otros componentes especiales de carácter sulfatado, cálcico y aluminoso

Mediante ajustes en la composición química del clínker, o la combinación con otros cementantes, o por la adición al ciertos materiales especiales, es factible obtener características y propiedades adecuadas para cada uso específico del concreto hidráulico.

Para apreciar el campo de aplicación del cemento en el concreto hidráulico, es posible incluir, en las tablas 2.2 a 2.5 los diversos tipos de cementos, que se hallan considerados y reglamentados en las especificaciones ASTM C 150 <sup>(1)</sup>; ASTM C 595 <sup>(2)</sup> y ASTM C 845 <sup>(3)</sup> y ASTM C 1157.

CEMENTOS PORTLAND SIMPLES (ASTM C 150) <sup>(1)</sup>		
Tipo	Características y uso	Opciones
I	Para usarse cuando no se requieren las propiedades especiales especificadas para los otros tipos	(A), (BA)
II	Para uso general, pero más específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación	(A), (MH), (BA)
III	Para usarse cuando se desea alta resistencia inicial	(A), (MS), (AS) (BA)
IV	Para usarse cuando se desea bajo calor de hidratación	(BA)
V	Para usarse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos	(BA), (EXP)

Tabla 2.2: Diversos Tipos de Cemento Pórtland Simples.  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

Opciones:

(A) Con inductor de aire.

(BA) Bajo contenido de álcalis: Igual o menor de 0.60%, como  $\text{Na}_2\text{O}$ .

(MH) Requisitos opcionales alternativos para un moderado calor de hidratación: 70 cal/g máximo a 7 días, o  $\text{C}_3\text{S} + \text{C}_2\text{A} < 58\%$ .

(MS) Moderada resistencia a los sulfatos:  $\text{C}_2\text{A} < 8\%$ .

(AS) Alta resistencia a los sulfatos:  $\text{C}_2\text{A} < 5\%$ .

(EXP) Requisito opcional alternativo para una alta resistencia a los sulfatos: Expansión  $< 0.040\%$  en prueba de mortero por el método ASTM C 452, a los 14 días.

CEMENTOS MEZCLADOS (ASTM C 595) <sup>(2)</sup>		
Tipo	Características y uso	Opciones
IS	Cemento pórtland-escoria de alto homo, para emplearse en construcciones de concreto en general. Su contenido de escoria granulada de alto homo puede variar entre 25 y 70%	(A), (MS), (MH), (EXP)
IP	Cemento pórtland-puzolana, para emplearse en las construcciones de concreto en general. Su contenido de puzolana puede variar entre 15 y 40%	(A), (MS), (BH), (EXP)
P	Cemento Pórtland-puzolana, para usarse en las construcciones de concreto donde no se requieren altas resistencias a edades tempranas. Su contenido de puzolana puede variar entre 15 y 40%.	(A), (MS), (BH), (EXP).
S	Cemento de escoria para emplearse en combinación con cemento Pórtland para hacer concreto, o en combinación con cal hidratada para hacer mortero de mampostería. Su contenido de escoria de alto homo debe ser mayor de 70%.	(A), (EXP).
I(PM)	Cemento Pórtland modificado con puzolana, para emplearse en construcciones de concreto en general, excepto cuando se requieren las características especiales derivadas de un alto contenido de puzolana, en cuyo caso debe optarse por el tipo IP. Su contenido de puzolana no debe exceder de 15%	(A), (MS), (MH).
I(SM)	Cemento Pórtland modificado con escoria para usarse en construcciones de concreto en general, excepto cuando se requieran las características especiales derivadas de un alto contenido de escoria en cuyo caso debe optarse por el tipo IS. Su contenido de escoria granulada de alto homo no debe exceder de 25%	(A), (MS), (MH)

Tabla 2.3: Diversos Tipos de Cementos Mezclados.  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

#### Opciones

(A) Con inclusor de aire.

(MS) Moderada resistencia a los sulfatos: debe emplearse clinker Pórtland tipo II.

(MH) moderado calor de hidratación: 70 cal / g máximo a 7 días.

(BH) Bajo calor de hidratación: 60 cal / g máximo a 7 días.

(EXP) Requisito opcional para aplicarse con agregados reactivos con los álcalis: expansión en barras de mortero (ASTM C 227) igual o menor de 0.02% a 14 días y de 0.06% a 8 semanas.

<b>CEMENTOS EXPANSIVOS (ASTM C 845) <sup>(3)</sup></b>	
<b>Tipo:</b>	Los cementos expansivos son de un solo tipo, designado como E-1, y su aplicación consiste en la fabricación de concreto de contracción compensada.
<b>Clases:</b>	Existen tres clases de cemento expansivo E-1, con iguales requisitos físicos y químicos, por lo que se les distingue de acuerdo con su composición:
<b>Clase K:</b>	Contiene aluminosulfato de calcio anhidrido, sulfato de calcio y óxido de calcio no combinado.
<b>Clase M:</b>	Contiene cemento calcico aluminoso y sulfato de calcio.
<b>Clase S:</b>	Contiene aluminato tricálcico y sulfato de calcio. Requisito opcional: Bajo contenido de álcalis (0.6% máximo).

Tabla 2.4: Diversas Clases de Cementos Expansivos.  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

<b>CEMENTOS HIDRAULICOS (ASTM C 1157)</b>	
<b>Tipo</b>	<b>Características y uso</b>
<b>GU</b>	De uso general en la construcción.
<b>HE</b>	De alta resistencia inicial.
<b>MS</b>	De moderada resistencia a los sulfatos.
<b>HS</b>	De alta resistencia a los sulfatos.
<b>MH</b>	De moderado calor de hidratación.
<b>LH</b>	De bajo calor de hidratación.
<b>R</b>	Baja reactividad álcali- agregado.

Tabla 2.5: Otros Tipos de Cementos Hidráulicos.  
Tomada de Current Research in Sulphate at the Waterway Experiment Station

Además de los cementos mostrados en las tablas anteriores, se producen otros cementos a base de clinker Pórtland entre los que se pueden mencionar el cemento blanco, cemento para pozos petroleros y cemento de mampostería <sup>(4)</sup>.

- **Características Esenciales del Cemento.**

La influencia que el cemento Pórtland ejerce en el comportamiento y propiedades de la pasta cementante y del concreto, derivan fundamentalmente de la composición química del clinker y de su finura de molienda, tal como se describe a continuación:

a) Composición química.

Una vez que el agua y el cemento se mezclan para formar la pasta cementante, se inicia una serie de reacciones químicas que en forma global se designan como hidratación del cemento. Estas reacciones se manifiestan inicialmente por la rigidización gradual de la mezcla, que culmina con su fraguado, y continúan para dar lugar al endurecimiento y adquisición de resistencia mecánica del concreto.

Aún cuando la hidratación del cemento es un fenómeno sumamente complejo, existen simplificaciones que permiten interpretar sus efectos en el concreto. La composición química de un clinker Pórtland se define convenientemente mediante la identificación de cuatro compuestos principales, cuyas variaciones relativas determinan los diferentes tipos de cemento Pórtland, tal como se muestra en la tabla 2.6:

Compuesto	Fórmula de óxido	Notación Abreviada
Silicato tricálcico	3CaO SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S (Alita)
Silicato dicálcico	2CaO SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S (Belita)
Aluminato tricálcico	3CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A (Aluminato)
Aluminoferrito tetracálcico	4CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF (Ferrita)

Tabla 2.6: Compuestos Principales de Clínker Pórtland.  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

En términos prácticos se concede que los silicatos de calcio (C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S) son los compuestos más deseables, porque al hidratarse forman los silicatos hidratados de calcio (S-H-C) que son responsables de la resistencia mecánica y otras propiedades del concreto. Normalmente el C<sub>3</sub>S aporta resistencia a corto y mediano plazo, y el C<sub>2</sub>S a mediano y largo plazo, es decir se complementan bien para que la adquisición de resistencia se realice en forma sostenida.

El aluminato tricálcico (C<sub>3</sub>A) es tal vez el compuesto que se hidrata con mayor rapidez, y por ello propicia mayor velocidad en el fraguado y en el desarrollo de calor de hidratación en el concreto. Asimismo, su presencia en el cemento hace al concreto más susceptible de sufrir daños del ataque de sulfatos. Por todo ello, se tiende a limitarlo en la medida que es compatible con el uso del cemento.

Finalmente, el aluminoferrito tetracálcico es un compuesto relativamente inactivo pues contribuye muy poco a la obtención de resistencia del concreto, y su presencia es más bien de utilidad como fundente durante la calcinación del clínker y además favorece la hidratación de los otros compuestos.

Conforme a esas tendencias de carácter general, durante la elaboración del clinker Pórtland en sus cinco tipos normalizados, se realizan ajustes para regular la presencia de dichos compuestos como se muestra en la tabla 2.7.

Tipo	Características	Ajuste Principal
I	Sin características especiales	Sin ajustes específicos
II	Moderados calor de hidratación y resistencia a los sulfatos	Moderado C3A
III	Alta resistencia a edad temprana	Alto C3S
IV	Bajo calor de hidratación	Alto C2S, moderado C3A
V	Alta resistencia a los sulfatos	Bajo C3A

Tabla 2.7: Ajustes al Clinker para los Cinco Tipos de Cementos Pórtland Normalizados. Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

Otro aspecto importante relativo a la composición química del clinker (y del cemento Pórtland) se refiere a los álcalis, óxidos de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) y de Potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), cuyo contenido suele limitarse para evitar reacciones dañinas del cemento con ciertos agregados en el concreto. Esto ha dado motivo para el establecimiento de un requisito químico opcional, aplicable a todos los tipos de cemento pórtland, que consiste en ajustar el contenido álcalis totales, expresados como  $\text{Na}_2\text{O}$ , a un máximo de 0.60% cuando se requiere emplear el cemento junto con agregados reactivos.

b) Finura de molienda.

El grado de finura del cemento tiene efectos ambivalentes en el concreto. Al aumentar la finura el cemento se hidrata y adquiere resistencia con más rapidez, y también se manifiesta mayor disposición en sus partículas para mantenerse en suspensión en la pasta recién mezclada, lo cual es ventajoso para la cohesión, manejabilidad y capacidad de retención de agua en las mezclas de concreto. Como contrapartida, una

finura más alta representa mayor velocidad en la generación de calor y mayor demanda de agua de mezclado en el concreto, cuyas consecuencias son indeseables porque se traducen en cambios volumétricos en el concreto y posible agrietamiento en las estructuras.

Cuando se fabrica cemento Pórtland simple, prácticamente se muele un solo material (clínker) que es relativamente homogéneo y de dureza uniforme, de manera que al molerlo se produce una fragmentación y pulverización gradual que se manifiesta en el cemento por curvas de granulometría continua, como las mostradas en la figura 2.18, no obstante que la molienda se prolongue para incrementar la finura como sucede en la fabricación del tipo III. En tales condiciones, la superficie específica es un buen índice de la finura del cemento y de sus efectos correspondientes en el concreto. Una consecuencia práctica de ello es que si se comparan dos cementos pórtland del mismo tipo y con igual superficie específica, suele manifestarse poca diferencia en sus requerimientos de agua al elaborar el mismo concreto, aún siendo los cementos de distinta procedencia.



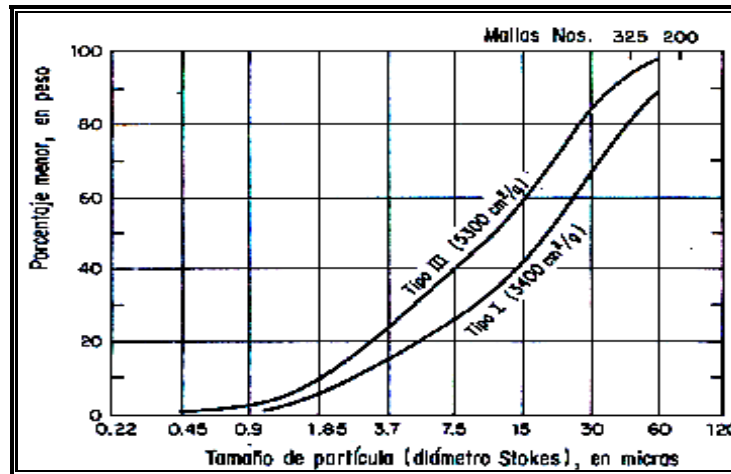


Figura. 2.18: Curvas Granulométricas de Cementos Pórtland Tipos I y III. Tomado de The Properties of Fresh Concrete. New York

No ocurre lo mismo cuando se fabrican cementos Pórtland-puzolana, debido a que se muelen conjuntamente dos materiales de diferente naturaleza (clinker y puzolana) con distinto grado de uniformidad y dureza, por lo cual debe añadirse la diversidad de materiales puzolánicos y de proporciones que se emplean para fabricar esta clase de cemento.

- **Comportamiento del Concreto Según el Tipo de Cemento Utilizado.**

Las condiciones que deben tomarse en cuenta para especificar el concreto idóneo y seleccionar el cemento adecuado para una obra, pueden determinarse por la indagación oportuna de dos aspectos principales:

- 1) Las características propias de la estructura y de los equipos y procedimientos previstos para construirla, y
- 2) Las condiciones de exposición y servicio del concreto, dadas por las características del medio ambiente, medio de contacto y, por los efectos previsibles resultantes del uso destinado a la estructura.

Existen diversos aspectos del comportamiento del concreto en estado fresco o endurecido, que pueden ser modificados mediante el empleo de un cemento apropiado, para adecuarlos a los requerimientos específicos dados por las condiciones de la obra. Las principales características y propiedades del concreto que pueden ser influidas y modificadas por los diferentes tipos y clases de cemento, son las siguientes:

- **Efectos en el Concreto Fresco.**

- ⊕ **Cohesión y manejabilidad**

La cohesión y manejabilidad de las mezclas de concreto son características que contribuyen a evitar la segregación, facilitar el manejo previo y durante su colocación en las cimbras. Prácticamente, la finura es la única característica del cemento que puede aportar beneficio a la cohesión y la manejabilidad de las mezclas de concreto. Sin embargo, existen otros factores con efectos más decisivos para evitar que las mezclas de concreto se segreguen durante su manejo y colocación. Entre tales factores puede mencionarse la composición granulométrica y el tamaño máximo del agregado, el consumo unitario de cementante, los aditivos inclusores de aire y el diseño de la mezcla de concreto.

- ⊕ **Pérdida de revenimiento**

Este es un término que se acostumbra usar para describir la disminución de consistencia, o aumento de rigidez, que una mezcla de concreto experimenta desde que sale de la mezcladora hasta que termina colocada y compactada en la estructura. Lo ideal en este aspecto sería que la mezcla de concreto conservara su consistencia (o

revenimiento) original durante todo este proceso, pero usualmente no es así y ocurre una pérdida gradual cuya evolución puede ser alterada por varios factores extrínsecos, entre los que destacan la temperatura ambiente, la presencia de sol y viento, y la manera de transportar el concreto desde la mezcladora hasta el lugar de colado, todos los cuales son aspectos que configuran las condiciones de trabajo en obra.

Para unas condiciones de trabajo dadas, la evolución de la pérdida de revenimiento también puede resultar influida por factores intrínsecos de la mezcla de concreto, tales como la consistencia o fluidez inicial de ésta, la humedad de los agregados, el uso de ciertos aditivos y las características y contenido unitario del cemento.

La eventual contribución de los factores intrínsecos, antes mencionados en el lapso inmediato posterior al mezclado, se desarrolla tal como se describe a continuación:

- 1- Las mezclas de consistencia más fluida tienden a perder revenimiento con mayor rapidez, debido a la evaporación del exceso de agua que contienen.
- 2- El empleo de agregados porosos en condición seca tiende a reducir pronto la consistencia inicial, por efecto de su alta capacidad para absorber agua de la mezcla.
- 3- El uso de algunos aditivos reductores de agua y superfluidificantes acelera la pérdida de revenimiento, como consecuencia de reacciones indeseables con algunos cementos.
- 4- El empleo de cementos Pórtland-puzolana cuyo componente puzolánico es de naturaleza porosa y se muele muy finamente, puede acelerar notablemente la pérdida de revenimiento del concreto recién mezclado al producirse un

resecamiento prematuro provocado por la avidez de agua de la puzolana, como se demuestra en la figura 2.19.

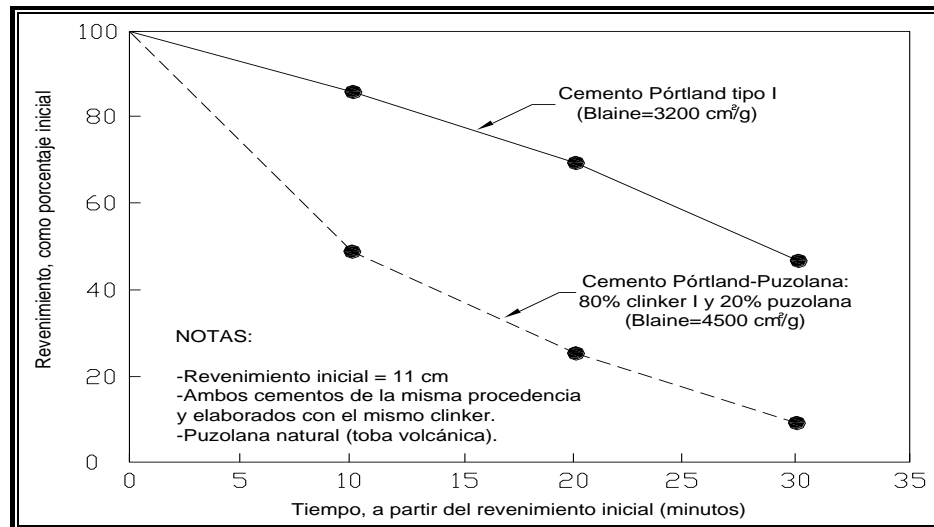


Figura 2.19: Prueba Comparativa de Pérdida de Revenimiento en Concretos con Cementos Pórtland Tipo I y Pórtland-Puzolana. Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

#### ⊕ Asentamiento y sangrado

En cuanto el concreto queda en reposo, después de colocarlo y compactarlo dentro del espacio del cimbrado, se inicia un proceso natural mediante el cual los componentes más pesados (cemento y agregados) tienden a descender en tanto que el agua, componente menos denso, tiende a subir. A estos fenómenos simultáneos se les llama respectivamente asentamiento y sangrado, y cuando se producen en exceso se les considera indeseables porque provocan cierta estratificación en la masa de concreto, según la cual se forma en la superficie superior una capa menos resistente y durable por su mayor concentración de agua.

Los principales factores que influyen en el asentamiento y el sangrado del concreto son de orden intrínseco, y se relacionan con exceso de fluidez en las mezclas, características deficientes de forma, textura superficial y granulometría en los agregados (particularmente falta de finos en la arena) y reducido consumo unitario y/o baja finura en el cementante (ver figura 2.20).

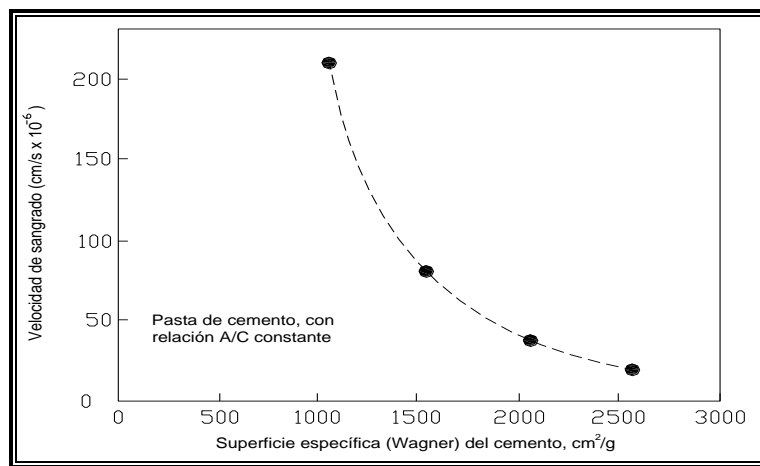


Figura 2.20: Influencia de la Finura del Cemento en el Sangrado de la Pasta. Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

#### ⊕ Tiempo de fraguado

A partir del momento en que se elabora el concreto, dan principio las reacciones químicas entre el cemento y el agua que conducen primero a la pérdida de fluidez y rigidización de la mezcla y después a su endurecimiento y adquisición de resistencia mecánica. El proceso evolutivo de este cambio de aspecto y propiedades se caracteriza por un periodo inicial, también llamado "durmiente", durante el cual la mezcla de concreto permanece sin grandes cambios en su consistencia o fluidez inicial; a continuación se manifiesta un segundo periodo en que la mezcla comienza a perder fluidez notoriamente hasta convertirse en

una masa rígida pero quebradiza que ya no es moldeable, y al cual se le denomina periodo de fraguado; finalmente, en este punto se inicia un tercer periodo que puede durar varios años, que se manifiesta por el endurecimiento propiamente dicho o adquisición de resistencia mecánica del concreto.

No hay características precisas que permitan establecer con exactitud las fronteras entre estos periodos, ya que se trata de la evolución gradual de un mismo proceso. Sin embargo, en forma un tanto arbitraria se considera que el periodo durmiente termina cuando el concreto exhibe una resistencia a la penetración (ASTM C 403) igual a  $35 \text{ kg/cm}^2$  ( $500 \text{ lb/pulg}^2$ ) a cuya condición se le denomina fraguado inicial porque marca el comienzo del segundo periodo, y este termina cuando la resistencia a la penetración del concreto es igual a  $280 \text{ kg/cm}^2$  ( $4000 \text{ lb/pulg}^2$ ) que define el estado conocido como fraguado final.

La duración del tiempo de fraguado del concreto depende de diversos factores extrínsecos dados por las condiciones de trabajo en obra, entre los que destaca por sus efectos la temperatura. En condiciones fijas de temperatura, el tiempo de fraguado puede experimentar variaciones de menor cuantía derivadas del contenido unitario, la clase y la finura del cemento.

- **Efectos en el Concreto Endurecido.**

- ⊕ Adquisición de resistencia mecánica

Conforme se expuso previamente, la velocidad de hidratación y adquisición de resistencia de los diversos tipos de cemento pórtland depende básicamente de la

composición química del clínker y de la finura de molienda. De esta manera, un cemento con alto contenido de silicato tricálcico ( $C_3S$ ) y elevada finura puede producir mayor resistencia a corto plazo, y tal es el caso del cemento tipo III de alta resistencia a edad temprana. En el extremo opuesto, un cemento con alto contenido de silicato dicálcico ( $C_2S$ ) y finura moderada debe hacer más lenta la adquisición inicial de resistencia y consecuente generación de calor en el concreto, siendo este el caso del cemento tipo IV. Dentro de estos límites de comportamiento, en cuanto a la forma de adquirir resistencia, se ubican los otros tipos de cemento pórtland.

En la figura 2.21, elaborada con datos de cementos de EUA <sup>(5)</sup>, se muestra la tendencia comparativa en la evolución de resistencia del concreto con los diferentes tipos de cemento Pórtland. Es necesario precisar que estas formas de evolución deben tomarse solamente como tendencias de carácter general, debido a las importantes diferencias que pueden manifestarse en este aspecto con relación a los cementos del mismo tipo fabricados en el país.

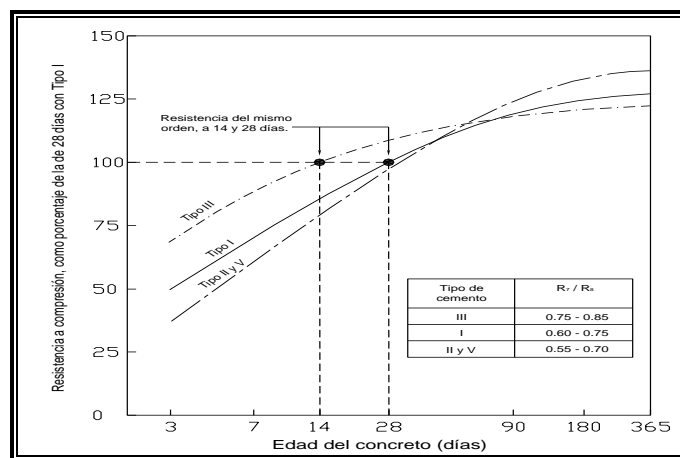


Figura 2.21: Tendencia Predecible en la Evolución de Resistencia Mecánica del Concreto con Diversos Tipos de Cemento Pórtland. Tomada de Concrete Manual. Washintong D.C.

En cuanto a los cementos Pórtland-puzolana, su adquisición inicial de resistencia suele ser un tanto lenta debido a que las puzolanas no aportan prácticamente resistencia a edad temprana. Por otra parte, resulta difícil predecir la evolución de resistencia de estos cementos porque hay varios factores que influyen y no siempre se conocen, como son el tipo de clínker con que se elaboran y la naturaleza, calidad y proporción de su componente puzolánico. Con esta salvedad, en la Figura 2.22 se indica la forma como puede esperarse que evolucione la resistencia de un concreto elaborado con cemento Pórtland-puzolana, comparativamente con el mismo concreto hecho con cemento tipo I, cuando se utiliza una puzolana de buena calidad en proporción moderada.

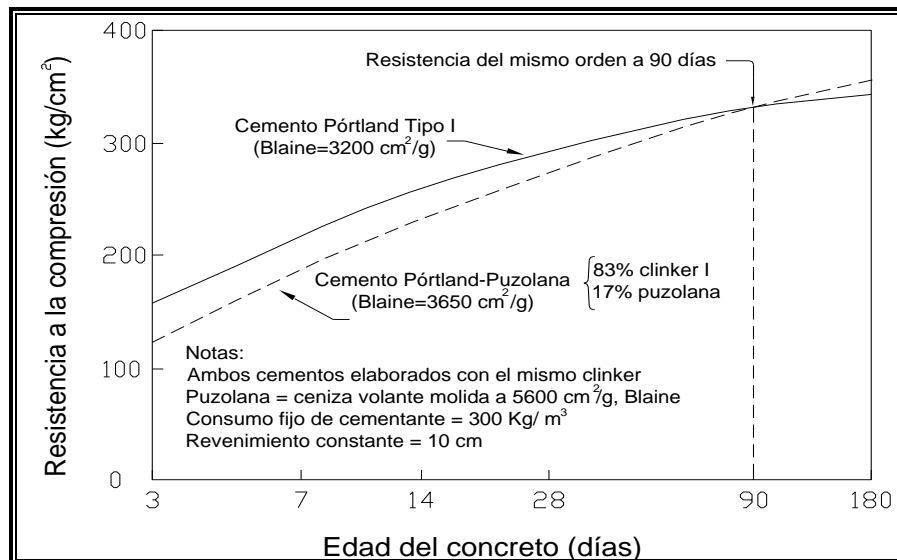


Figura 2.22: Evolución Comparada de Resistencia, en Concretos con Cementos Pórtland tipo I y Pórtland- Puzolana.. Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

También es posible adelantar la obtención de la resistencia deseada en el concreto, proporcionando la mezcla para una resistencia potencial más alta, ya sea aumentando



el consumo unitario de cemento, o empleando un aditivo reductor de agua para disminuir la relación agua / cemento.

⊕ Generación de calor

En el curso de la reacción del cemento con el agua, o hidratación del cemento, se produce desprendimiento de calor porque se trata de una reacción de carácter exotérmico. Si el calor que se genera en el seno de la masa de concreto no se disipa con la misma rapidez con que se produce, queda un remanente que al acumularse incrementa la temperatura de la masa.

El calentamiento del concreto lo expande, de manera que posteriormente al enfriarse sufre una contracción, normalmente restringida, que genera esfuerzos de tensión capaces de agrietarlo. El riesgo de agrietamiento de origen térmico se incrementa cuando se emplea un cemento de alta y rápida hidratación, como el tipo III, y cuando las estructuras tienen gran espesor.

En la tabla 2.8 se reproducen datos del Informe ACI 225 R <sup>(6)</sup> relativos al calor de hidratación calculado para diversos tipos de cementos Pórtland.

Tipo de cemento Pórtland ASTM C 150.	Calor de Hidratación, cal /g	
	7 días	28 días
Tipo I	85 – 100	93 - 100
Tipo II (sin requerimientos opcionales)	77.5	87.4
Tipo II (requisitos: $C_3S + C_3A \leq 58\%$ )	73.4	84.3
Tipo II (requisito: calor de hidratación a 7 días $\leq 70$ cal /g)	67.5	78.3
* Tipo III	93 - 108	
Tipo V	73.5	82.2

Tabla 2.8: Calores de Hidratación Calculados de Cementos Actuales (6). \*Estimado de acuerdo con la resistencia, debido a la distorsión que ocasiona la finura. Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

En lo referente a los cementos Pórtland-puzolana, su calor de hidratación depende del tipo de clínker que contiene y de la actividad y proporción de su componente puzolánico. De manera general se dice que una puzolana aporta aproximadamente la mitad del calor que genera una cantidad equivalente de cemento.

#### ⊕ Resistencia al ataque de los sulfatos

El concreto elaborado con cemento Pórtland es susceptible de sufrir daños en distinto grado al prestar servicio en contacto con diversas sustancias químicas de carácter ácido o alcalino <sup>(7)</sup>. De acuerdo con los datos de la tabla 2.9, el ataque de los sulfatos al concreto se clasifica como de avance moderado, comparativamente con otras sustancias que atacan al concreto con rapidez, sin embargo, en altas concentraciones, los sulfatos son capaces de producir en pocos años efectos destructivos considerables en las estructuras no protegidas contra sus efectos.

Sustancias químicas		Grado de ataque al concreto, a la temperatura ambiente
Ácidos inorgánicos	Clorhídrico, fluorhídrico, nítrico, sulfúrico	Rápido
	Fosfórico	Moderado
	Carbónico	Lento
Ácidos orgánicos	Acético, fórmico, lácteo	Rápido
	Tánico	Moderado
	Oxálico, tartárico	Despreciable
Soluciones alcalinas;*	Hidróxido de sodio > 20%	Moderado
	Hidróxido de sodio 10-20%, hipoclorito de sodio	Lento
	Hidróxido de sodio < 10%, hidróxido de amonio	Despreciable
Soluciones salinas	Cloruro de aluminio	Rápido
	Nitrato de amonio, sulfato de amonio, sulfato de sodio, sulfato de magnesio, sulfato de calcio.	Moderado
	Cloruro de amonio, cloruro de magnesio, cianuro de sodio	Lento
	Cloruro de calcio, cloruro de sodio, nitrato de zinc, cromato de sodio	Despreciable
Diversas	Bromo (gas), solución de sulfito	Moderado
	Cloro (gas), agua de mar, agua blanda	Lento
	Amonio (líquido)	Despreciable

Tabla 2.9 Efectos de Algunas Sustancias Químicas en el Concreto. \*Las soluciones alcalinas pueden ocasionar reacciones del tipo álcali-agregado, en concretos con agregados reactivos con los álcalis. Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

Los sulfatos forman parte de las sales inorgánicas que frecuentemente se hallan presentes en los suelos y aguas superficiales o freáticas, pero su grado de concentración es normalmente bajo e inocuo para el concreto. No obstante hay sitios donde por la naturaleza del suelo, por la intensa evaporación o por otras causas específicas, se incrementa la concentración de sulfatos en el suelo o en el agua que así se convierten en medios agresivos al concreto.

Para proteger una estructura de concreto que debe prestar servicio en contacto con agua o suelo potencialmente agresivos por su alto contenido de sulfatos, existen tres medios básicos que pueden ser utilizados:

- 1) Inhibir la reacción detrimental de los sulfatos con el concreto, seleccionando un cemento de composición química apropiada.
- 2) Evitar la penetración de los sulfatos en solución acuosa a través del concreto, produciendo un concreto compacto e impermeable.
- 3) Impedir el contacto directo de los sulfatos con el concreto, interponiendo entre ambos una barrera de separación, o cualquier otra medida que sirva para el mismo fin.

Normalmente las dos primeras medidas se aplican de manera simultánea y complementaria, en tanto que la tercera generalmente representa un medio de defensa adicional para condiciones muy severas, o bien un medio alternativo para cuando no es posible aplicar las dos primeras, e incluso para estructuras ya construidas en que no se tomaron las precauciones adecuadas en su construcción.

En cuanto a la selección del cemento apropiado, se sabe que el aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) es el compuesto del cemento Pórtland que puede reaccionar con los sulfatos externos para dar sulfoaluminato de calcio hidratado cuya formación gradual se acompaña de expansiones que desintegran paulatinamente el concreto. En consecuencia, una manera de inhibir esa reacción consiste en emplear cementos Pórtland con moderado o bajo contenido de  $C_3A$ , como los tipos II y V, seleccionados de acuerdo con el grado de concentración de los sulfatos en el medio de contacto. Otra posibilidad consiste en utilizar cementos Pórtland-puzolana de calidad

específicamente adecuada para este fin, ya que existe evidencia que algunas puzolanas como las cenizas volantes clase F son capaces de mejorar la resistencia a los sulfatos del concreto <sup>(8)</sup>.

En el caso de las estructuras de concreto que prestan servicio en contacto con el agua de mar, debe considerarse que ésta por su contenido de sulfatos que normalmente es menor de 2000 ppm, representa en este sentido un medio que es moderadamente agresivo al concreto con cemento Pórtland. Sin embargo hay otros factores de riesgo que pueden tener efectos más dañinos sobre dichas estructuras y que deben tenerse en cuenta al diseñarse y construirse.

#### ⊕ Estabilidad volumétrica

Una característica indeseable del concreto hidráulico es su predisposición a manifestar cambios volumétricos, particularmente contracciones, que suelen causar agrietamientos en las estructuras. Para corregir este inconveniente, en casos que lo ameritan, se han desarrollado los cementos expansivos que se utilizan en los concretos de contracción compensada <sup>(9)</sup>.

El concreto hidráulico experimenta cambios de volumen desde que se coloca y compacta dentro de las cimbras hasta el término de su vida de servicio; cambios que pueden ser motivados por diversas causas, tales como: las variaciones de humedad y temperatura, las reacciones químicas entre el cemento y los agregados y la pérdida de agua por evaporación, entre otras.

El primer cambio importante de volumen que se manifiesta en el concreto es la llamada contracción plástica, que ocurre en la etapa del fraguado, es la responsable de los

agrietamientos tempranos en estructuras con gran parte de la superficie expuesta. La ocurrencia de este fenómeno en grado detrimental suele relacionarse principalmente con el exceso de agua en la mezcla de concreto y su rápida pérdida por deficiencias de protección y curado y por condiciones atmosféricas adversas que intensifican la evaporación. Consecuentemente, la influencia de las características del cemento en este aspecto queda relegada a un segundo término, por la magnitud de los efectos correspondientes a dichas causas.

El segundo cambio volumétrico de importancia es la contracción térmica, que se debe al enfriamiento gradual del concreto después de haberse sobrecalentado por efecto del calor de hidratación acumulado, ya sea porque este es excesivo o por falta de disposiciones adecuadas para su disipación expedita. En este caso la influencia del cemento puede ser significativa, pues cuando la probabilidad de sobrecalentamiento es evidente, como sucede en las estructuras voluminosas, debe elegirse el cemento adecuado en función de su calor de hidratación. Finalmente, un cambio de volumen que es causa de frecuentes agrietamientos en las estructuras ordinarias de concreto es la contracción por secado, así denominada por su relación aparente con la pérdida de agua por evaporación que se produce paulatinamente en el concreto expuesto al medio ambiente.

#### ⊕ Estabilidad química

Las principales reacciones químicas detrimentales que ocurren en el concreto tienen un participante común representado por los álcalis, óxidos de sodio y de potasio, que normalmente proceden del cemento pero eventualmente pueden provenir también de

algunos agregados. Por tal motivo, estas reacciones se designan genéricamente como álcali-agregado, y a la fecha se le conocen tres modalidades que se distinguen por la naturaleza de las rocas y minerales que comparten el fenómeno, como lo son las reacciones álcali-sílice; álcali-silicato; y álcali-carbonato.

En lo referente a la selección del cemento adecuado para prevenir estas reacciones, cuando existe la seguridad de que los agregados por utilizar son reactivos con los álcalis, las recomendaciones básicas de acuerdo con la disponibilidad actual son como sigue:

1) Para prevenir el riesgo de que ocurran las reacciones álcali-sílice y álcali-silicato debe requerirse un cemento Pórtland con el requisito especial de bajo contenido de álcalis (0.60 % máximo), o bien un cemento Pórtland-puzolana con el requisito específico de que produzca una expansión menor de 0.02 % a 14 días y menor de 0.05 % a 90 días, al ser ensayado por el método ASTM C 227.

2) Para prevenir una reacción del tipo álcali-carbonato, se requieren requisitos más estrictos en el cemento, Preferentemente debe convenirse el suministro de un cemento Pórtland cuyo contenido de álcalis totales, expresados como  $\text{Na}_2\text{O}$ , no exceda de 0.40 %. De no ser esto posible, puede optarse por un cemento Pórtland de bajos álcalis (0.60 % máximo) o por un Pórtland-puzolana, con el requisito de que en la prueba efectuada por el método ASTM C 1105 <sup>(10)</sup> produzcan una expansión menor de 0.025 % a los seis meses.

### **2.2.1.3 RESEÑA HISTÓRICA, ORIGEN Y DESARROLLO DEL CEMENTO DE MAMPOSTERÍA.**

Las construcciones que realizaron los Egipcios estaban conformadas por ladrillos de arcilla y mortero de barro del río Nilo. Con estos componentes, obtenían un producto sólido final, aunque muy vulnerable al agua. La idea de avance que ellos tenían les permitió llegar a conocer, de manera empírica, que podrían fabricar un mortero de mucha más calidad, usando como elementos arena y un material adhesivo que lo obtenían de la combustión del yeso. Esta combinación fue también usada por otras civilizaciones relevantes, como la asiría.

Fueron los romanos quienes en el siglo I A.C. descubrieron la cal apagada, y al mezclarla con arena, obtuvieron el primer mortero de cal. Desde entonces, se ha venido usando esta mezcla, para unir unidades de mampostería

El mortero de cal presentaba algunos inconvenientes. El fraguado era tan lento que tardaba meses en adquirir la resistencia esperada; por esta razón, se tenían que hacer juntas muy delgadas; las unidades de mampostería estaban casi una sobre la otra.

Joseph Aspdin marcó un hito en la historia de la construcción, al patentar en 1824 el cemento Pórtland; que originalmente se obtenía calcinando una mezcla de cal y arcilla a baja temperatura. El resultado era finalmente pulverizado; Sin embargo, con este procedimiento aún se obtenía un cementante con un fraguado demasiado lento. Estas observaciones sugirieron elevar la temperatura, hasta un punto cercano al de fusión en la calcinación de la mezcla, consiguiendo un clínker bastante similar al cemento Pórtland usado actualmente.



A partir de esta fecha se comenzó a poner una pequeña cantidad de cemento Pórtland en las dosificaciones de mortero. La mezcla ahora fabricada se componía de cemento, cal y arena. Con la inclusión de este nuevo elemento se mejoró la resistencia a la compresión y se disminuyó el tiempo de fraguado.

La tendencia en el tiempo fue usar cada vez una mayor cantidad de cemento y una menor cantidad de cal. Entre 1915 y 1930 en Estados Unidos, se estaba utilizando morteros sólo con cemento y arena, o con un porcentaje muy mínimo de cal.

Este cambio en la elaboración de morteros introdujo un problema: las paredes de mampostería eran demasiado permeables.

Diferentes organizaciones se interesaron en el caso e investigaron sus causas, determinando que las filtraciones ocurrían en los casos donde se habían utilizado morteros hechos a base de cemento solamente, o donde se había empleado un porcentaje alto del mismo. El estudio reflejó también que las filtraciones se debían a grietas que se producían en la intersticie entre la unidad de mampostería y la junta de mortero. La falta de plasticidad en la mezcla era el motivo de este problema. Estas investigaciones sugirieron incluir nuevamente el uso de cal en la dosificación del mortero.

A finales de la década de los 20, Estados Unidos, desarrolló el cemento de mampostería, que es una combinación de cemento Pórtland, finos y aditivos (inclusores de aire y reductores de agua). En un principio su uso fue de gran importancia tanto en Estados Unidos como en Europa; actualmente se emplea a nivel mundial.

- **CEMENTO DE MAMPOSTERÍA.**

El cemento de mampostería es un cemento hidráulico, principalmente usado en construcciones de mampostería, y consiste en una mezcla de cemento hidráulico Pórtland o cemento hidráulico mezclado y materiales plastificantes. Todos los cementos de mampostería deben cumplir con la norma ASTM C 91 <sup>(4)</sup>.

- **Tipos.**

De acuerdo a la norma ASTM C 91 existen tres tipos de cemento de mampostería detallados a continuación:

**Tipo N:** Para uso en la preparación de morteros del tipo N, según C 270, sin la necesidad de añadir otros tipos de cemento ni cal hidratada. Morteros de los tipos M y S pueden ser elaborados usando este tipo de cemento, si son mezclados de acuerdo a las proporciones dadas en la especificación C 270.

**Tipo S:** Para uso en la elaboración de morteros tipo S, según C 270, sin la necesidad de añadir otros tipos de cemento o cal hidratada.

**Tipo M:** Para uso en la preparación de morteros tipo M, de acuerdo a la especificación C 270, sin la necesidad de añadir otros tipos de cemento ni cal hidratada.

El cemento de mampostería debe estar de acuerdo con los requisitos aplicables prescritos en la tabla 2.10 para su clasificación.

REQUERIMIENTOS FÍSICOS DEL CEMENTO DE MAMPOSTERÍA						
Tipo de cemento de mampostería	N		S		M	
Finura, residuo de tamiz de 45 µm (Nº 325) máx. %	24		24		24	
Expansión Autoclave, máx. . %	1.0		1.0		1.0	
Tiempo de fraguado, método de Gillmore:	min	hr	min	hr	min	hr
Inicial, no menor que	120	2	90	5	90	1.5
Final, no mayor que	1440	24	1440	24	1440	24
Esfuerzo a la compresión (promedio de 3 cubos)						
El esfuerzo a la compresión de 3 cubos de mortero, compuestos de 1 parte de cemento y 3 partes de arena mezclada (mitad estándar y mitad arena estándar 20-30) por volumen, preparado y probado de acuerdo con esta especificación, debe ser igual o mayor a los valores especificados para las edades indicadas a continuación.						
	Mpa	psi	Mpa	psi	Mpa	psi
	7 días	3.4	500	9.0	1300	12.4
28 días	6.2	900	14.5	2100	20.0	2900
Contenido de aire del mortero, preparado y probado de acuerdo con los requisitos de esta especificación:						
Mínimo, volumen %	8		8		8	
Máximo, volumen %	21		19		19	
Retención de agua, mínimo % del flujo original	70		70		70	

Tabla 2.10: Requisitos Físicos del Cemento de Mampostería.  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

#### 2.2.1.4 PROPIEDADES DEL CEMENTO DE MAMPOSTERÍA ASTM C-91

##### TIPO M <sup>(4)</sup>.

En El Salvador solamente se puede adquirir el cemento de mampostería tipo M. Este cemento se elabora de una combinación de clinker, yeso y piedra caliza molida.; combinados todos hacen que la mezcla preparada retenga mayor cantidad de agua durante más tiempo y sea más trabajable. En la tabla 2.11, se muestran los requisitos físicos a cumplir, según la ASTM, para cementos Pórtland y de Mampostería.

PRUEBAS ESTANDARIZADAS	TIPO DE CEMENTO		
	Mampostería	I(PM)	I
	ESPECIFICACIÓN ASTM		
	C -91 tipo M	C-595	C-150
Finura			
Permeabilidad al aire (m <sup>2</sup> / kg)	-	-	280
Tamiz de 45 µm (Nº 325) máx. %	24	-	-
Expansión en autoclave % máximo	1.0	0.8	0.8
Contracción en autoclave % máximo	-	0.2	-
Tiempo de fraguado			
Método de Vicat			
Fraguado inicial, no menor que (minutos)	-	45	45
Fraguado final, no mayor que (minutos)	-	420	375
Método Gillmore			
Fraguado inicial, no menor que (minutos)	90	-	-
Fraguado final, no mayor que (minutos)	1440	-	-
Contenido de aire del mortero			
% de volumen mínimo	8	-	-
% de volumen máximo	19	-	-
Retención de agua			
% mínimo del flujo original	70	-	-
Resistencia a la compresión en Mpa (psi)			
no menor que	-	-	-
1 día	-	13.0 (1,890)	12.0 (1,740)
3 días	12.4 (1,800)	20.0 (1,800)	19.0 (1,800)
7 días	20.0 (2,900)	25.0 (2,900)	28.0 (4,060)
28 días			

Tabla 2.11: Requisitos Físicos Standard para Cementos Pórtland y de Mampostería Adaptado de ASTM C91, C150 y C595 [1996 p. 65, p. 300, p. 131]. Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

Además dado que en la molienda final a este tipo de cemento se le adiciona caliza, es importante conocer la procedencia de ésta y los efectos que tiene como material cementante.

La cal, óxido de calcio (CaO) u óxido de calcio hidratado Ca (OH)<sub>2</sub>, es probablemente uno de los químicos cementantes más antiguos utilizados por el hombre. De acuerdo a su nivel de procesamiento la cal puede clasificarse así:

- Cal viva: Se obtiene calcinando directamente la piedra caliza.
- Cal hidratada: Resulta de la hidratación de la cal viva, y es la que se recomienda para fabricar mortero.
- Cal hidráulica: Es el resultado de la calcinación de la piedra caliza con un alto contenido de sílice y alúmina. Es capaz de endurecer tanto en el aire como en el agua. En la fase plástica, la cal provee una mayor plasticidad, trabajabilidad y alta retención de agua a la mezcla. En la fase endurecida proporciona una mayor resistencia a la adherencia y mayor flexibilidad bajo esfuerzos; aunque a mayores proporciones de cal resulta en un decremento de la resistencia a la compresión. Además el volumen de cal no debe ser demasiado alto como para aparecer como cal libre a las temperaturas en que se obtiene el clínker, ya que un exceso de cal libre produce variaciones importantes en el volumen de cemento <sup>(11)</sup>.

#### **2.2.1.5 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO DE MAMPOSTERÍA POR CEMENTOS DE EL SALVADOR.**

Las materias primas esenciales en la fabricación del cemento son las calizas y las arcillas. Cuando éstas se encuentran combinadas en forma natural, se les denomina margas, las cuales son muy difíciles de encontrar en proporciones adecuadas, por lo que para la fabricación del cemento Pórtland es necesario recurrir a dosificaciones artificiales.

En la planta de fabricación de cemento CESSA, se siguen las siguientes etapas para la elaboración del cemento de mampostería ASTM C-91 tipo M:

- La investigación geológica de los materiales
- La explotación de las materias primas
- La carga y transporte de los materiales
- La molienda final
- El empaque

Por medio de la investigación geológica de los materiales se determinan los yacimientos de materia prima que contienen los minerales indispensables para la fabricación del cemento, esto se realiza a través de perforaciones. Es en Metapán donde se ubican los yacimientos calizos que dan la materia prima fundamental para fabricar cementos de primera calidad.

Al determinar la calidad del yacimiento se procede a su explotación, para lo cual se perforan los yacimientos hasta un promedio de 14 m. Luego es el momento de efectuar lo que en el lenguaje de la planta se conoce como la “tirada”, que requiere las máximas medidas de precaución. La explosión deja al descubierto los diferentes bancos de canteras, luego se realiza la carga de los materiales a través de cargadores, palas mecánicas, tractores y camiones de volteo. Los camiones transportan la materia prima a los patios de acopio o lo más común a las trituradoras, donde el material es reducido de tamaño.

Luego se sigue el procedimiento, que a continuación se muestra en las figuras: 2.23, 2.24 y 2.25:



Figura 2.23: Preparación de las Materias Primas.  
Tomada de [www.cessa.com.sv](http://www.cessa.com.sv)

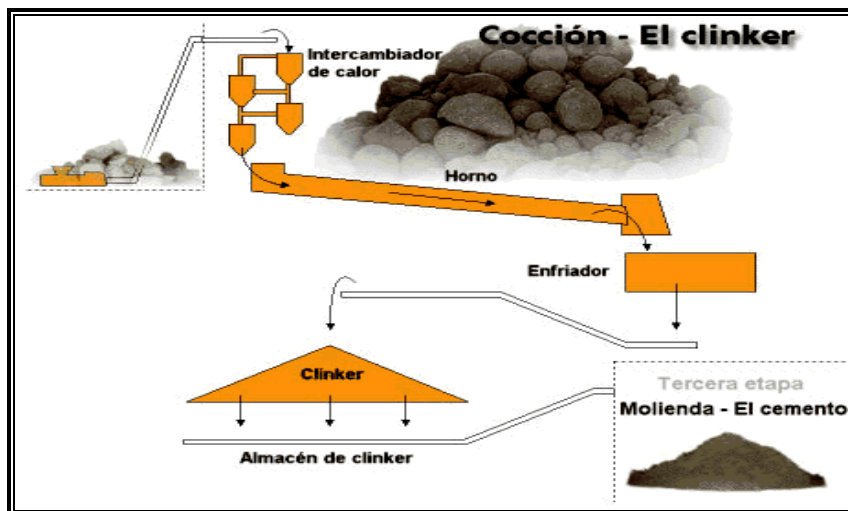


Figura 2.24: Obtención del Clinker.  
Tomada de [www.cessa.com.sv](http://www.cessa.com.sv)

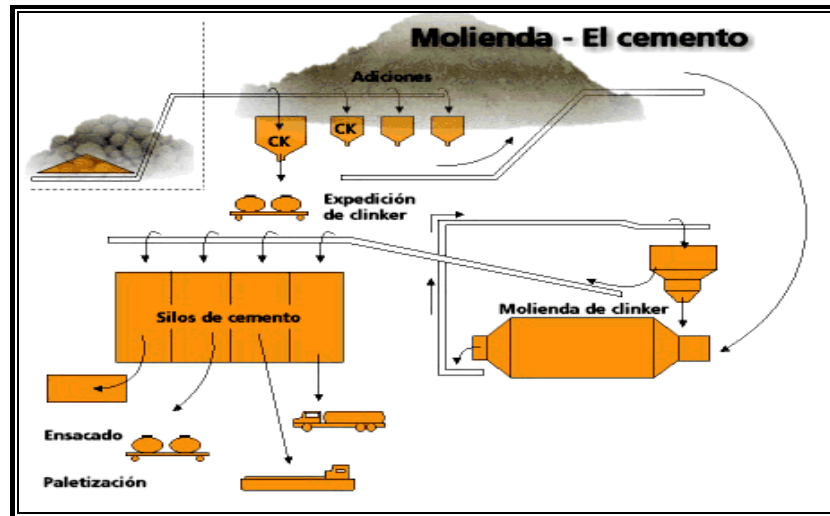


Figura 2.25: Molienda del Clinker.  
Tomada de [www.cessa.com.sv](http://www.cessa.com.sv)

1. Los materiales son descargados en la tolva de la trituradora primaria, la cual reduce el tamaño de las piedras a un promedio de 30 cm, las que se conducen a la trituradora secundaria que las reduce a un tamaño no mayor de 25 mm utilizándose para ello unas cribas vibratorias que las clasifican por tamaño. En esta etapa se agrega el corrector de hierro (la hematita). Los materiales, previamente conocido su contenido de carbonato de calcio, se clasifican y almacenan en su respectiva nave de materia prima. Luego de la trituración los materiales pasan a la clasificación y almacenamiento.
2. Los materiales clasificados en las tolvas juntamente con el corrector de hierro se alimentan por medio de una banda transportadora al sistema de molienda de crudo que consta de: separador dinámico, molino de crudo y transporte de crudo. De la operación de la molienda el material se reduce hasta un tamaño de 18 y 20% retenido en el tamiz 200 (75  $\mu$ m). El producto que se obtiene se conoce como harina, transportándose ésta por medio de bombas neumáticas hacia el silo mezclador. Una vez se ha obtenido el



material molido, se pasa a la siguiente etapa del proceso que se conoce como homogeneización de materiales molidos y su almacenamiento.

3. La harina es homogeneizada con el objetivo que alcance las mismas características físicas y químicas. Esta operación se realiza en el silo mezclador; se cuenta con un sistema de almacenamiento de 3 silos en los cuales se clasifica la harina de acuerdo a su composición química, luego se mezcla (silo mezclador) para homogenizar los materiales y la siguiente etapa es la alimentación en los hornos.

4. La harina se alimenta al horno 4 por medio de bombas centrifugas, esta harina alimentada puede ser extraída de un solo silo de almacenamiento y obtenerse mezclas de dos de ellos, o en un último caso de los tres silos simultáneamente. Luego se pasa a la siguiente etapa, la quema de materiales, que es donde se produce el clínker.

5. La harina previamente a ser alimentada al horno 4 sufre un proceso de precalentamiento, donde el material se calienta hasta una temperatura de 600°C, luego pasa al horno donde se dan los pasos de calcinación, clinkerización o sinterización y de enfriamiento, obteniendo de toda esta etapa el producto conocido como clínker. Internamente en los hornos en ambos procesos se alcanza una temperatura de 1500°C.

6. El clínker producido por los hornos se transporta por cadenas metálicas arrastradoras hacia el almacenamiento del clínker, donde también se almacena la puzolana y el yeso. Los materiales se tienen almacenados y listos para ser transportados por medio de grúas de techo.

7. En la molienda del cemento se cuenta con 4 molinos, los cuales se conocen como molinos finales: 1, 2, 3 y 4. El clínker, la puzolana y el yeso son colocados en tolvas para luego ser alimentados en su proporción respectiva a los molinos en los cuales estos materiales pasan por el proceso de intermolienda. De la intermolienda de los materiales ya mencionados se obtiene el producto conocido como cemento. El cemento producido se transporta por medio de bombas neumáticas a los silos de almacenamiento. De estos silos será extraído el material para la operación de empaque y despacho del cemento.

En cada una de las etapas descritas en la fabricación del cemento se toman muestras para ser analizadas en el laboratorio de control de calidad. El laboratorio, como parte del sistema de muestreo cuenta con un sistema de recolección y análisis de los datos para la toma de decisiones relacionadas con la calidad, tanto del producto en proceso como del producto terminado. Dentro de este sistema se realizan pruebas horarias, promedio de turnos y pruebas promedio del día de producción para lo cual se cuenta con un laboratorio de pruebas físicas y uno de pruebas químicas.

Se puede advertir que el proceso de fabricación del cemento no ha cambiado significativamente según la bibliografía investigada. Dicha aseveración fue confirmada a través de entrevistas hechas a personas conocedoras del tema. Lo único que ha cambiado es que los sistemas a través del tiempo se han ido automatizando.

## **2.2.2 AGREGADOS PARA CONCRETO.**

- **DEFINICIÓN.**

Se define como agregado, al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial, que comprenden la fase discontinua del concreto por estar embebidos en la pasta; comúnmente ocupan entre 60% y 75% del volumen de la unidad cúbica de concreto (70% a 85% en peso), e influyen notablemente tanto, en la economía como en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido.

Teniendo presente 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.

Con base en esa consideración, sólo se aborda los agregados denominados de peso normal, porque son los que se utilizan en la elaboración de los concretos que con mayor frecuencia se emplean en las construcciones ordinarias de concreto <sup>(11), (12)</sup>.

- **CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS DE PESO NORMAL.**

Los agregados de peso normal usualmente proceden de la desintegración, por causas naturales o medios artificiales, de rocas con peso específico entre 2.4 y 2.8, aproximadamente; de manera que al utilizarlos se obtienen concretos con

peso volumétrico, en estado fresco, en un intervalo aproximado de 2200 a 2550 kg/m<sup>3</sup>.

Existen características heterogéneas en los agregados, cuyas diferencias permiten clasificarlos e identificarlos. Las principales características que sirven a tal fin, se indican a continuación en la tabla 2.12.

<b>Clasificación de los Agregados</b>	
<b>Por el origen de las rocas:</b>	Ígneos Sedimentarios Metamórficos
<b>Por el modo de la fragmentación:</b>	Naturales Manufacturados Mixtos
<b>Por el tamaño de las partículas:</b>	Agregado fino (arena) Agregado grueso (grava)

Tabla 2.12: Clasificación de los Agregados de Peso Normal.  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

- **Por el Origen de las Rocas.**

Una primera razón para establecer diferencia entre los agregados, se refiere al distinto origen de las rocas que los constituyen. La definición del origen y la composición de las rocas es un asunto útil y necesario, porque permite deducir ciertos aspectos relacionados con el comportamiento de las mismas al ser utilizadas como agregados en el concreto.

- **Por el Modo de Fragmentación.**

Los agregados para concreto de peso normal habitualmente provienen de rocas comunes, cuya fragmentación pudo ser ocasionada por fenómenos naturales o

inducida por medios artificiales. En el primer caso se acostumbra decir que los agregados son naturales y en el segundo que son manufacturados. Hay un caso intermedio en que a los agregados se les llama mixtos porque son el resultado de la reducción de tamaño por trituración de grandes fragmentos de roca de origen natural (bloques, cantos rodados ó gravas mayores).

- **Por el Tamaño de las Partículas.**

Debido a que el concreto hidráulico es la aglutinación mediante una pasta de cemento, es necesario, un conjunto de partículas de roca cuyas dimensiones comprenden desde micras hasta centímetros.

El empleo de agregados con granulometría continua en las mezclas de concreto de consistencia plástica, es conveniente económicamente, con el fin de lograr en tales mezclas una adecuada manejabilidad, acorde con los procedimientos y equipos usuales de trabajo, pues la experiencia ha demostrado que a igualdad de consumos de pasta de cemento, con granulometrías continuas se obtienen mezclas de concreto manejables que cuando existe discontinuidad en la granulometría de los agregados.

En el uso normal del concreto convencional, el requisito mínimo consiste en dividir los agregados en dos fracciones cuya frontera nominal es 4.75 mm, que corresponde a la abertura de la malla N° 4, según Especificaciones de Agregados para Concreto (ASTM C 33) <sup>(13)</sup>, siendo la denominación y los intervalos nominales de estas fracciones como se indica en la tabla 2.13:

Denominación de Fracciones	Intervalo Nominal (mm)	Mallas Correspondientes (Dsig. ASTM)
Agregado fino, o arena.	0.075-4.75	Nº200-Nº4
Agregado grueso, o grava	4.75-Variable(+)	Nº4-(+)

Tabla 2.13: Denominación e Intervalos Nominales de la Granulometría. Tomada del Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1. (+) El límite superior en el Intervalo nominal del agregado grueso, y la designación de la malla correspondiente, dependen del tamaño máximo de la grava que se utilice.

### 2.2.2.1 AGREGADO GRUESO.

El agregado grueso consistirá en partículas duras, fuertes y limpias, obtenidas de grava natural o triturada, o de una combinación de ambas y debe estar exento de partículas alargadas o blandas, materia orgánica y otras sustancias perjudiciales.

El agregado grueso debe ser tamizado, lavado, depurado y sometido a los procesos que se requieran para obtener un material aceptable.

Las áreas en las cuales se apilan los agregados separadamente de acuerdo a su tamaño, deben tener un suelo firme, limpio y bien drenado, y el método de manejo y apilamiento de los diferentes tipos de agregado debe realizarse en tal forma que éstos no se entremezclen antes de que se efectúe la dosificación, para que los agregados no sufran rotura o segregación y no se mezclen con impurezas y sustancias extrañas.

El contenido de humedad de los agregados, deberá controlarse para garantizar que no varíe apreciablemente a través de la masa de los mismos.

También es frecuente el requisito de subdividir la grava en fracciones, cuyo número depende del tamaño máximo, no sólo con el fin de mantener

uniformidad en las proporciones sino también para evitar la segregación que se produce cuando se manejan juntas las partículas de tamaños diferentes. En la construcción de estructuras de concreto para edificaciones urbanas y otras obras ordinarias, lo más común en la práctica local es la utilización de grava con tamaño máximo de 20 mm (3/4") o de 40 mm (1 1/2"). Sin embargo, es relativamente frecuente el empleo de grava con mayor tamaño máximo, de acuerdo con las características de las estructuras que se construyen. En tales casos, suele especificarse la subdivisión de la grava en fracciones como las indicadas en la Tabla 2.14.

Tamaño máximo		Número de fracciones e intervalos en mm			
mm	pulg	(1)	(2)	(3)	(4)
20	¾	5 – 20			
40	1 ½	5 – 20	20 – 40		
75	3	5 – 20	20 – 40	40 – 75	
100	4	5 – 20	20 – 40	40 – 65	64 – 100
150	6	5 – 20	20 – 40	40 – 75	75 - 150

Tabla 2.14: Ejemplos de Subdivisión de la Grava, Según el Tamaño Máximo del Agregado Grueso. Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

- **Composición Granulométrica del Agregado Grueso.**

Es regularmente deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica, si bien los efectos que produce la granulometría de la grava sobre la manejabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que puede producir el agregado fino. Para analizar la composición granulométrica de la grava en conjunto, se le criba por mallas cuyas aberturas se seleccionan de acuerdo con el intervalo

dimensional dado por su tamaño máximo, buscando dividir este intervalo en suficientes fracciones que permitan juzgar su distribución de tamaños a fin de compararla con los límites granulométricos que le sean aplicables.

De acuerdo con lo anterior, cuando se verifica la granulometría de una muestra de grava, pueden presentarse dos casos que ameritan la aplicación de criterios de juicio diferentes. El primer caso es cuando se analiza una muestra de grava integral procedente de una determinada fuente de suministro propuesta y se requiere juzgar si contiene todos los tamaños en proporciones adecuadas para integrar la granulometría requerida en el concreto, o si es posible considerar la trituración de tamaños mayores en exceso para producir tamaños menores faltantes, o bien si resulta necesario buscar otra fuente de suministro para sustituir o complementar las deficiencias de la fuente en estudio.

El segundo caso se refiere a la verificación granulométrica de fracciones individuales de grava, previamente cribadas a escala de obra, a fin de comprobar principalmente si el proceso de separación por cribado se realiza con la precisión especificada dentro de sus correspondientes intervalos nominales. En tal caso, debe prestarse atención especial a la cuantificación de los llamados defectos de clasificación representados por las partículas cuyas dimensiones resultan fuera del intervalo nominal de la fracción, y para los cuales hay limitaciones específicas. A las partículas menores que el límite



inferior del intervalo se les denomina subtamaño nominal y a las mayores que el límite superior del intervalo, sobretamaño nominal.

Las designaciones y aberturas de las mallas que suelen emplearse en el análisis granulométrico de la grava, se muestran a continuación en la tabla 2.15.

Designación de malla (ASTM E 11)		Abertura nominal en milímetros
Estándar	Alternativa	
125 mm	5"	127.0
100 mm	4"	101.6
90 mm	3 1/2"	88.9
75 mm	3"	76.2
63 mm	2 1/2"	63.5
50 mm	2"	50.8
37.5 mm	1 1/2"	38.1
25 mm	1"	25.4
19 mm	3/4"	19.1
12.5 mm	1/2"	12.7
9.5 mm	3/8"	9.5
4.75 mm	No. 4	4.75
2.36 mm	No. 8	2.36

Tabla 2.15: Tamaño Máximo y Separación Correspondiente en Fracciones.  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

- **Granulometría Deseable en Agregados Gruesos.**

El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita mas agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores, para revenimiento de aproximadamente 7.5 cm para un amplio rango de tamaños de agregado grueso.

El número de tamaño se aplica a la cantidad colectiva de agregado que pasa a través de un arreglo de mallas.

Normalmente, el tamaño máximo de las partículas de agregado grueso no debe pasar:

- 1) Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
- 2) Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
- 3) Un tercio del peralte de las losas.

#### **2.2.2.2 AGREGADO FINO.**

El agregado fino deberá ser arena natural, arena elaborada, o una combinación de arenas naturales y elaboradas con tamaño máximo igual a 4.8 mm. La arena consistirá en partículas duras, fuertes, durables y limpias y deberá estar bien lavada, tamizada, clasificada y mezclada, según se requiera para producir un agregado fino aceptable que cumpla con los requisitos establecidos en la norma ASTM C33 <sup>(13)</sup>.

Las partículas deben tener, por lo general, forma cúbica, y el agregado debe estar razonablemente exento de partículas de forma plana o alargada. Las rocas que se desintegran formando partículas delgadas, planas y alargadas, sea cual fuere el tipo del equipo de procesamiento, no serán aprobadas para uso en la producción del agregado fino. Se considerarán como partículas delgadas, planas y alargadas, aquellas cuya dimensión máxima sea cinco veces mayor que su dimensión mínima.

La arena procesada deberá manejarse y apilarse en forma tal que se evite su segregación y contaminación con impurezas o con otros materiales y partículas extrañas y que su contenido de humedad no varíe apreciablemente. Las áreas

en las cuales se deposite la arena, deben tener un suelo firme, limpio y bien drenado. La preparación de las áreas para las pilas de arena, el almacenamiento de los materiales procesados y el desecho de cualquier material rechazado, debe estar sujeto a constantes chequeos.

En cuánto a la arena, no es frecuente especificar que se subdivida en fracciones para ser dosificadas por separado, debido principalmente a la dificultad y al alto costo que representa hacerlo con precisión en gran escala, por lo reducido del tamaño de sus partículas. Sin embargo, para obras donde la fuente de suministro aporta una arena de granulometría muy variable, y/o se requiere un control más estricto en este aspecto, hay equipos que permiten subdividir la arena en fracciones que, aunque no resultan delimitadas con mucha precisión, se pueden volver a reunir en proporciones ajustadas para reintegrar una sola arena de granulometría más uniforme, o bien se pueden integrar dos fracciones independientes de arena que al dosificarse por separado y que en proporciones adecuadas, produzcan la granulometría requerida.

Para definir y especificar el número y límites dimensionales de las fracciones en que deben clasificarse los agregados en una obra, es necesario considerar diversos aspectos tales como:

- 1) Las características y requisitos de las estructuras, que dictan las condiciones para establecer el tamaño máximo conveniente de la grava.

2) El volumen de concreto que debe elaborarse, que es un factor determinante en la magnitud y las características operacionales de las instalaciones para la producción de los agregados.

3) La composición granulométrica de los agregados disponibles, tal como se obtienen de las fuentes de abastecimiento.

Para satisfacer los requisitos ordinarios en los agregados para obras exigentes en cuanto a su construcción, el procedimiento de clasificación de uso más frecuente es el cribado por vía húmeda en mallas vibratorias, complementado con un sencillo equipo para el lavado de la arena en el que por decantación se eliminan los finos y otras partículas indeseables. Para el caso de estructuras de concreto con requisitos más estrictos, por conveniencia se deben complementar las instalaciones de cribado vibratorio en húmedo con un equipo de clasificación hidráulica que permita ejercer control sobre la granulometría de la arena.

- **Composición Granulométrica del Agregado Fino.**

La composición granulométrica de la arena se acostumbra analizar mediante su separación en siete fracciones, cribándola a través de mallas normalizadas como "serie estándar", cuyas aberturas se duplican sucesivamente a partir de la más reducida que es igual a 0.150 mm. De esta manera, para asegurar una razonable continuidad en la granulometría de la arena, las especificaciones de agregados para concreto (ASTM C 33) <sup>(13)</sup> requieren que en cada fracción exista

una proporción de partículas comprendida dentro de ciertos límites establecidos empíricamente. Dichos límites, que definen el uso granulométrico que se muestra en la figura 2.26 y son los que se indican en la tabla 2.16.

Serie Estándar de Mallas para Arena		Límites de Tolerancia (% en peso)	
Abertura en mm	Designación ASTM C 33	% retenido, acumulado	% que pasa acumulado
9.5	3/8"	0	100
4.75	Nº. 4	0 – 5	95 – 100
2.36	Nº. 8	0 – 20	80 – 100
1.18	Nº. 16	15 – 50	50 – 85
0.600	Nº. 20	40 – 75	25 – 60
0.300	Nº. 50	70 – 90	10 – 30
0.150	Nº. 100	90 – 98	2 – 10

Tabla 2.16: Límites Granulométricos.  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1.

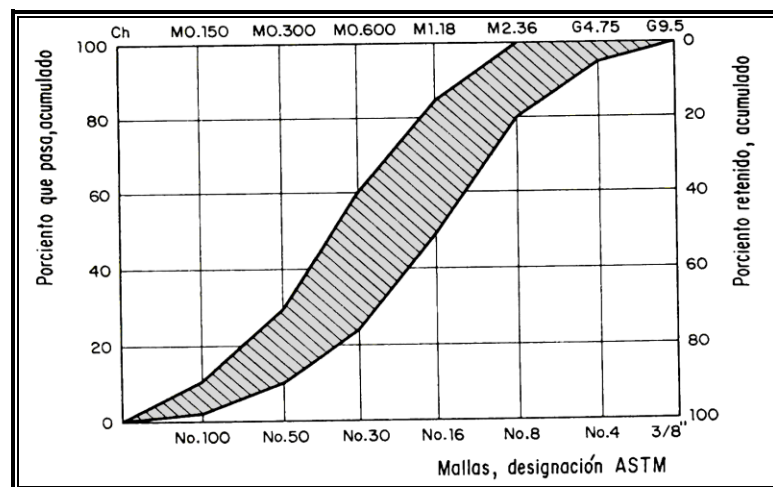


Figura 2.26: Límites Granulométricos Especificados para la Arena.  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

El análisis granulométrico de la arena se perfecciona calculando su módulo de finura (según ASTM C 125) <sup>(14)</sup>, que es igual a la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en cada una de las mallas de la serie

estándar. El módulo de finura es un índice de la finura del agregado entre mayor sea el módulo de finura, mas grueso será el agregado.

El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los agregados finos en las mezclas de concreto.

Frecuentemente se considera que la arena posee un módulo de finura adecuado para la fabricación de concreto convencional, si no es menor de 2.30 ni mayor de 3.10.

Las arenas cuyo módulo de finura es inferior a 2.30, usualmente se consideran demasiado finas e inconvenientes para esta aplicación, porque suelen requerir mayores consumos de pasta de cemento, lo cual repercute adversamente en los cambios volumétricos y en el costo del concreto. En el extremo opuesto, las arenas con módulo de finura mayor de 3.10 resultan demasiado gruesas y también se les juzga inadecuadas porque tienden a producir mezclas de concreto ásperas, segregables y propensos al sangrado.

Sin embargo, hay obras en que estas restricciones granulométricas no pueden ser respetadas ciegamente, debido a la falta de disponibilidad de arenas bien graduadas a distancias económicamente inconvenientes. En tales casos, si la calidad intrínseca de sus partículas es aceptable, existe la posibilidad de utilizar arenas con deficiente composición granulométrica corrigiendo efectos adversos en el concreto mediante un apropiado diseño de la mezcla y el uso de aditivos minerales, inclusores de aire o reductores de agua.

- **Granulometría Deseable en Agregados Finos.**

Depende del tipo de estructura, de la riqueza de la mezcla, y el tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas mas pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua - cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango de granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia.

Preferentemente no se debe utilizar una granulometría que contenga demasiado agregado fino que pase las mallas entre 0.30 mm (No. 50) y 1.15 mm (No. 100), ya que afectan la trabajabilidad, la textura superficial, y el sangrado del concreto.

- **CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS Y SUS EFECTOS EN EL CONCRETO.**

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, se relacionan en la tabla 2.17, que a continuación se presenta.

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

Tabla 2.17: Principales Aspectos del Concreto Influidos por los Agregados.  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

- **Sustancias Perjudiciales en los Agregados.**

Las sustancias perjudiciales que pueden estar presentes en los agregados incluyen las impurezas orgánicas, limo, arcilla, carbón de piedra, lignito y



algunas partículas blandas y ligeras. La mayor parte de las especificaciones limitan las cantidades permisibles de estas sustancias en los agregados.

Los métodos de prueba de la ASTM para descubrir las sustancias perjudiciales, cualitativa y cuantitativamente, se enlistan en la tabla 2.18 a continuación.

<b>Sustancias Perjudiciales</b>	<b>Efecto Sobre el Concreto</b>	<b>Nombre de Prueba de la ASTM.</b>
Impurezas Orgánicas	Afectan el fraguado y el endurecimiento, y pueden producir deterioro.	C 40 <sup>(15)</sup> C 87
Materiales más Finos que la Malla N° 200	Afectan la adherencia y aumentan la cantidad de agua necesaria.	C117
Carbón de Piedra, Lignito u Otros Materiales Ligeros.	Afectan la durabilidad, y pueden producir manchas y reventones.	C 123
Partículas Blandas	Afectan la durabilidad	C 235
Partículas Frágiles	Afectan la manejabilidad y la durabilidad, y pueden producir reventones.	C142

Tabla 2.18: Sustancias Perjudiciales en los Agregados.  
Tomado de Portland Cement Association. "Proyecto y Control de Mezclas de Concreto".

Las impurezas orgánicas pueden retrasar el fraguado y el endurecimiento del concreto y hasta pueden producir deterioro en casos raros. Otras impurezas orgánicas como la turba, el humus, y lamas (arenas) orgánicas pueden no ser tan serias pero deben evitarse.

Los materiales más finos que los que pasan por la criba N° 200, especialmente el limo y la arcilla, pueden estar presentes como polvo o pueden estar en forma de recubrimiento de las partículas del agregado. Aún cuando delgadas capas de limo o arcilla cubran las partículas de grava, puede haber peligro porque debilitan la adherencia entre la pasta del cemento y las partículas del agregado.

Si están presentes algunos tipos de limo o de arcilla en cantidades excesivas, la cantidad de agua necesaria puede aumentar demasiado.

El carbón de piedra o lignito, u otros materiales ligeros como la madera o materiales fibrosos, en cantidades excesivas, pueden afectar la durabilidad del concreto. Si estas impurezas están presentes cerca o en la superficie, pueden desintegrarse, reventar, o producir manchas.

Las partículas blandas son perjudiciales porque además de afectar la durabilidad y resistencia al desgaste del concreto y producir reventones; si son quebradizas pueden romperse durante la mezcla y aumentar por tanto la demanda de agua.

Los terrones de arcilla, cuando están presentes en el concreto, pueden absorber cierta cantidad de agua de la mezcla, producir reventones en el concreto endurecido, o simplemente desaparecer si quedan cerca de una superficie expuesta.

- **CALIDAD FÍSICA INTRÍNSECA** <sup>(12)</sup>.

Entre las características físicas que contribuyen a definir la calidad intrínseca de las rocas, destacan su peso específico, sanidad, porosidad y absorción, resistencia mecánica, resistencia a la abrasión ó de elasticidad y propiedades térmicas.

- **Peso Específico.**

Por definición <sup>(16)</sup>, el peso específico de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen igual de agua. Se usa en algunos cálculos par el control y proyecto de mezclas. La mayor parte de los agregados de peso normal tienen pesos específicos comprendido entre 2.4 y 2.8.

Los métodos de prueba para determinar el peso específico de los agregados gruesos y finos se describe en las ASTM C127 y C128, respectivamente. En los cálculos para el concreto generalmente se usa el peso específico de los agregados saturados y superficialmente secos; es decir, todos los poros de cada partícula de agregado se considera que están llenos de agua, pero sin que tengan agua sobre la superficie de la partícula

- **Humedad Superficial, Porosidad y Absorción.**

La absorción y humedad superficial de los agregados se determina con el objeto de controlar el contenido neto de agua en el concreto y de esta forma obtener los pesos correctos de cada mezcla.

La porosidad de un cuerpo sólido es la relación de su volumen de vacíos entre su volumen total, incluyendo los vacíos, y se expresa como porcentaje en volumen <sup>(17)</sup>.

Es posible tener una idea aproximada de la porosidad de los agregados mediante la determinación de su capacidad para absorber agua en condiciones establecidas. La absorción se define <sup>(14)</sup> como el incremento en la masa de un

cuerpo sólido poroso, como resultado de la penetración de un líquido dentro de sus poros permeables. En la Figura 2.27 <sup>(18)</sup> se muestra la evolución de la porosidad de acuerdo al tiempo de inmersión, lo cual también justifica porque la absorción no puede dar una medida justa de la porosidad.

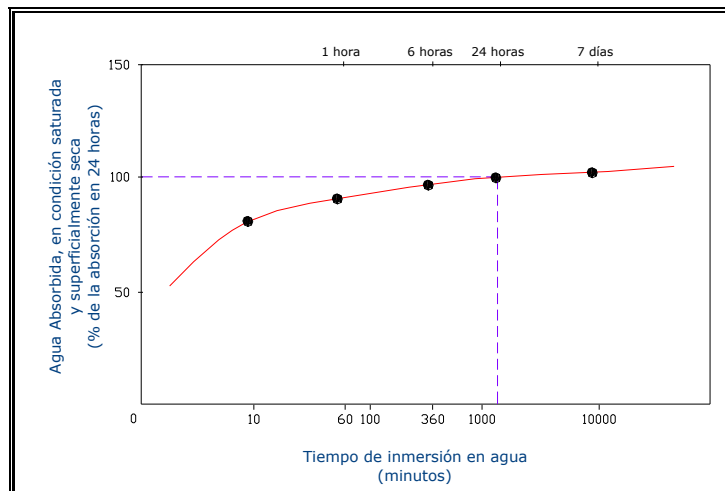


Figura 2.27: Evolución de la Absorción con el Tiempo de Inmersión. Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

La absorción no suele exceder de 3 por ciento en el agregado grueso ni de 5 por ciento en el agregado fino. Una absorción demasiado alta en los agregados, puede ser indicio de un desempeño inadecuado de éstos en el concreto.

- **Sanidad.**

Para el caso de los agregados, la sanidad <sup>(17)</sup>, se describe como su aptitud para soportar la acción agresiva a que se exponga el concreto que los contiene, especialmente la que corresponde al intemperismo. En estos términos, resulta evidente la estrecha relación que se plantea entre la sanidad de los agregados y la durabilidad del concreto.

- **Peso Volumétrico y Vacíos.**

El peso volumétrico (también llamado peso unitario o densidad en masa) de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado.

- **Resistencia Mecánica.**

En tal concepto, la resistencia mecánica del concreto endurecido, especialmente a compresión, depende más de la resistencia de la pasta de cemento y de su adherencia con los agregados, que de la resistencia propia de los agregados solos.

Es por ello que, en la práctica, no se acostumbra realizar pruebas de esta índole a los agregados, sino más bien verificar su comportamiento en el concreto, poniendo particular atención en las condiciones de falla que se producen, al ensayar a compresión o tensión por flexión, los especímenes del concreto elaborado con los agregados en cuestión.

- **Resistencia a la Abrasión.**

La resistencia que los agregados gruesos oponen a sufrir desgaste (ASTM C 131), rotura o desintegración de partículas por efecto de la abrasión, es una característica que suele considerarse como un índice de su calidad en general, y en particular de su capacidad para producir concretos durables en condiciones de servicio donde intervienen acciones deteriorantes de carácter abrasivo.

- **Módulo de Elasticidad.**

Comúnmente, las rocas que constituyen los agregados son propiamente elásticas a compresión cuando son físicamente homogéneas, es decir, que su gráfica esfuerzo-deformación unitaria entre estas variables es una recta que denota proporcionalidad.

- **Propiedades Térmicas.**

EL comportamiento del concreto sometido a cambios de temperatura, resulta notablemente influido por las propiedades térmicas de los agregados; sin embargo, estas propiedades no constituyen normalmente una base para la selección de los agregados; a menos que se vayan a diseñar estructuras en las que la influencia de ésta propiedad sea importante.

- **FORMA Y TEXTURA SUPERFICIAL DE LAS PARTÍCULAS.**

Para producir un concreto trabajable, las partículas elongadas, angulares y de textura rugosa, necesitan más agua que los agregados compactos, redondeados y lisos. En consecuencia, las partículas de agregado que son angulares, necesitan un mayor contenido de cemento para mantener la misma relación agua - cemento.

La forma y la textura superficial de los fragmentos que constituyen los agregados, son características que normalmente no se consideran representativas de la calidad intrínseca de la roca propiamente dicha, aunque pueden haber casos en que guarden alguna relación. En tal concepto, tanto la

forma como la textura superficial no suelen verse como índices de la calidad física intrínseca de los agregados, sino más bien de su comportamiento en el concreto.

Al examinar las tendencias en cuanto a la forma de los fragmentos, es necesario considerar separadamente los agregados naturales de los que son manufacturados, ya que la forma de cada uno, depende de diversos factores, debido a que existen diferencias fundamentales en su proceso de fragmentación <sup>(12)</sup>.

En términos prácticos, y más bien de acuerdo con sus efectos en el concreto, se habla de la textura superficial de las partículas de los agregados, identificándola con su grado de rugosidad o de textura superficial, y así se dice que hay texturas ásperas, porosas, acanaladas, lisas, etc.

Es necesario considerar los efectos que la variación de estas características puede producir en el concreto; específicamente, debe considerarse su influencia en la manejabilidad del concreto en estado fresco y en la adherencia de las partículas con la pasta de cemento en el concreto endurecido. La variación de forma y textura superficial en las partículas de los agregados tiende a producir efectos contrapuestos; por consiguiente lo más adecuado sería una condición intermedia que optimizara ambas tendencias, como se indica esquemáticamente en la Figura 2.28.

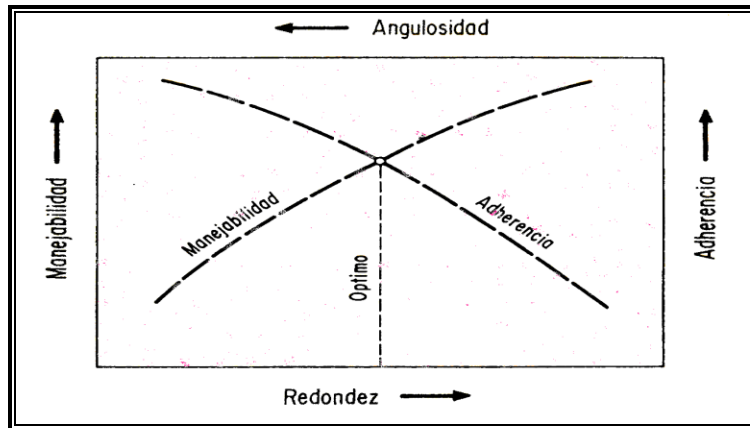


Figura 2.28: Optimización de la Forma de las Partículas de los Agregados.  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

Un criterio bastante común en este aspecto considera que, en igualdad de condiciones, son preferibles los agregados de formas redondeadas para los concretos convencionales con resistencias que no excedan valores en el orden de 200 a 250 kg/cm<sup>2</sup>.

Considerando que toda partícula puede ser inscrita en un prisma de longitud ( $l$ ), ancho ( $a$ ) y espesor ( $e$ ), normalmente se definen como partículas planas las que tienen un ancho mayor de tres veces su espesor, y alargadas aquellas cuya longitud es mayor de tres veces su ancho <sup>(19)</sup>, como se ilustra en la figura 2.29.



Partículas planas (lameadas)	Partículas alargadas (oblongadas)	Partículas planas y alargadas (tabulares)	Partículas equidi- mensionales (cúbicas o esféricas)
$\frac{a}{e} > 3$ $\frac{l}{a} < 3$	$\frac{l}{a} > 3$ $\frac{a}{e} < 3$	$\frac{a}{e} > 3$ $\frac{l}{a} > 3$	$l \approx a \approx e$ $\frac{a}{e} < 3$ $\frac{l}{a} < 3$

Figura 2.29: Definición de Forma de las Partículas de los Agregados.  
Tomada de [www . Tecnologiadeconcreto.com](http://www.Tecnologiadeconcreto.com)

La presencia de partículas planas y/o alargadas, tanto en los agregados naturales como en los manufacturados, se considera indeseable porque reduce la manejabilidad de las mezclas, dificulta el acomodo y la compactación del concreto fresco en los moldes y afecta la resistencia mecánica del concreto endurecido.

- **TAMAÑO MÁXIMO DE LAS PARTÍCULAS.**

En un conjunto de partículas de agregados para concreto, es pertinente distinguir entre el tamaño máximo efectivo y el que se designa como tamaño máximo nominal. El primero se identifica con la malla de menor abertura en que alcanza a pasar efectivamente el total de las partículas del conjunto,

cuando se le criba sucesivamente en mallas cuyas aberturas se incrementan gradualmente.

El tamaño máximo nominal del agregado es el que se designa en las especificaciones como tamaño máximo requerido para el concreto de cada estructura en particular, y se define de acuerdo con diversos aspectos tales como las características geométricas y de refuerzo de las estructuras, los procedimientos y equipos empleados para la colocación del concreto, el nivel de la resistencia mecánica requerida en el concreto, entre otros.

En la Tabla 2.19, se indican las aberturas de mallas que corresponden a los tamaños máximos nominales y efectivos de uso común, y se incluyen los porcentajes máximos de sobretamaño nominal que en cada caso se tolera, para el agregado grueso en su totalidad.

Tamaño máximo del agregado				Sobretamaño nominal permisible en el total de agregado grueso (%máx)
Nominal		Efectivo		
mm	pulg	mm	pulg	
10	3/8	13	1/2	15
13	1/2	19	3/4	10
19	3/4	25	1	10
25	1	38	1 1/2	5
38	1 1/2	51	2	5
51	2	63	2 1/2	5
76	3	89	3 1/2	5
102	4	127	5	5
152	6	178	7	5

Tabla 2.19: Tamaños Máximos de Agregados y Sobretamaños Permisibles.  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

Se debe tener presente que, el tamaño máximo de agregado que se utilice es una característica que debe definirse cuidadosamente en cada caso, debido a que tiene marcadas repercusiones, tanto en el costo como en el comportamiento y propiedades del concreto.

- **ACTIVIDAD QUÍMICA DE LOS AGREGADOS.**

- a) Reacciones álcali-agregado*

La combinación del cemento Pórtland con el agua en el seno del concreto, genera un medio altamente alcalino en el que se hallan permanentemente inmersas las partículas de roca que constituyen los agregados. En estas condiciones, algunas rocas reaccionan químicamente con el medio de contacto, para dar lugar a la formación de un gel, que al absorber agua se expande y crea presiones capaces de desintegrar el concreto. Estas reacciones químicas, denominadas genéricamente álcali-agregado, han sido causa del deterioro prematuro de importantes estructuras de concreto en diversas partes del mundo.

Generalmente se admite, que el mayor riesgo de que se produzca una reacción deletérea de esta índole ocurre cuando se reúnen tres condiciones en el concreto, como se muestra en la Figura 2.30.

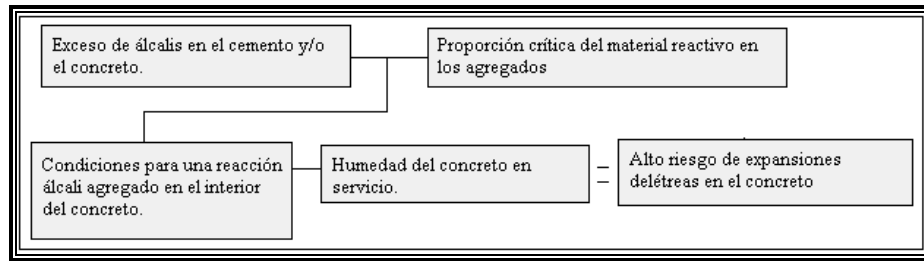


Figura 2.30: Condiciones para una Reacción Álcali-Agregado en el Concreto, en Grado Delétreo Tomada del Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1.

La primera condición para que se produzca la reacción y que sus efectos expansivos alcancen grado detrimental, es que existan suficientes álcalis disponibles para reaccionar con los agregados; es decir, que la concentración de álcalis en la solución de poro del concreto posea un determinado nivel, por encima de un cierto límite de inocuidad. <sup>(13), (20), (21), (22)</sup>.

En cuanto a la segunda condición, que se refiere al uso de agregados que contienen rocas y minerales reactivos con los álcalis, alude a un aspecto importante de la calidad de los agregados.

*b) Verificación del grado de actividad*

La primera acción que en cualquier caso debe emprenderse, en el proceso para calificar un nuevo agregado antes de su utilización, consiste en practicarle el examen petrográfico conforme al procedimiento establecido en ASTM C 295. Si como consecuencia de éste, se determina la presencia de rocas y minerales identificados como potencialmente reactivos con los álcalis, se hace necesario verificar su carácter reactivo experimentalmente, mediante las pruebas que sean aplicables al tipo de reacción previsible, de acuerdo con la índole del elemento reactivo.

### c) Pruebas aplicables a la reacción álcali-sílice

En contraposición a la reacción álcali-silicato, es la más recientemente conocida, pero debido a que se supone que no existen diferencias sustanciales entre ambas reacciones <sup>(23)</sup>, se les aplican los mismos métodos de prueba e iguales criterios para juzgar sus resultados.

### d) Pruebas aplicables a la reacción álcali-carbonato

La reacción del tipo álcali-carbonato en el concreto, es propiciada principalmente por rocas calizas que contienen dolomita y minerales arcillosos; sin embargo esta reacción se ha producido con poca frecuencia a nivel mundial, comparada con la reacción álcali-sílice, supuestamente porque las rocas involucradas son también menos frecuentes.

Como consecuencia de ello, el proceso de verificación y evaluación de la reacción álcali-carbonato suele tener una duración más prolongada, que puede ser del orden de nueve a doce meses (ASTM C 289); debido a que son muy esporádicos los casos en los cuales se tengan probabilidades de éste tipo de reacción.

## **2.2.3 AGUA DE MEZCLADO.**

El agua que se va a utilizar en las mezclas de concreto debe cumplir la norma ASTM C-94 <sup>(24)</sup>; tomando en cuenta que tiene que estar limpia, fresca, y exenta de impurezas perjudiciales, tales como: aceite, ácidos, álcalis, sales, sedimentos, materia orgánica u otras sustancias perjudiciales.

Para producir concreto, se puede utilizar casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado. Sin embargo, algunas aguas no potables se puede utilizar para fabricar concreto, si los cubos de mortero producidos con ella alcanzan resistencia a los siete días de al menos el 90% de especímenes testigo fabricados con agua potable o destilada, según la ASTM C-109,

Las impurezas excesivas en el agua no solo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, si no también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

El agua presente en la mezcla de concreto reacciona químicamente con el material cementante para lograr:

- a.** La formación de gel.
- b.** Permitir que el conjunto de la masa adquiera las propiedades que:
  - En estado fresco faciliten una adecuada manipulación y colocación de la misma.
  - En estado endurecido la conviertan en un producto de las propiedades y características deseadas.

Como requisito de carácter general y sin que ello implique la realización de ensayos que permitan verificar su calidad, se podrán emplear como aguas de mezclado aquellas que se consideren potables, o las que por experiencia se conozcan que pueden ser utilizadas en la preparación del concreto.

Debe recordarse que, no todas las aguas inadecuadas para beber son inconvenientes para preparar concreto. Pero previamente a su empleo, será necesario investigar y asegurarse que la fuente de provisión no está sometida a influencias que puedan modificar su composición y características con respecto a las conocidas que permitieron su empleo con resultados satisfactorios.

El agua que contiene menos de 2,000 ppm de sólidos disueltos totales generalmente puede ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto. El agua que contenga más de 2,000 ppm de sólidos disueltos deberá ser ensayada para investigar su efecto sobre las características del concreto tanto en estado fresco (tiempo de fraguado) como endurecido (resistencia).

- **VERIFICACIÓN DE CALIDAD.**

La verificación de la calidad del agua de uso previsto para elaborar el concreto, debe ser una práctica obligatoria antes de iniciar la construcción de obras importantes. Sin embargo, puede permitirse que esta verificación se omita en las siguientes condiciones:

- 1) El agua procede de la red local de suministro para uso doméstico y no se le aprecia olor, color ni sabor; no obstante que no posea antecedentes de uso en la fabricación de concreto.
- 2) El agua procede de cualquier otra fuente de suministro que cuenta con antecedentes de uso en la fabricación de concreto con buenos resultados, y no se le aprecia olor, color ni sabor.

Por el contrario, la verificación de calidad del agua, previa a su empleo en la fabricación de concreto, debe ser un requisito ineludible en los siguientes casos:

- 3) El agua procede de la red local de suministro para uso doméstico y, aunque posee antecedentes de uso en la fabricación de concreto, se le aprecia cierto olor, color o sabor.
- 4) El agua procede de cualquier fuente de suministro sin antecedentes de uso en la fabricación de concreto, aunque no manifieste olor, color ni sabor.

- **REQUISITOS DE CALIDAD.**

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

- **CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL AGUA PARA CONCRETO.**

Refiriéndose a las características fisicoquímicas del agua para concreto, no parece haber consenso general en cuanto a las limitaciones que deben imponerse a las sustancias e impurezas cuya presencia es relativamente frecuente, como puede ser el caso de algunas sales inorgánicas (cloruros, sulfatos), sólidos en suspensión, materia orgánica, dióxido de carbono disuelto, etc. Sin embargo, no debe tolerarse la presencia de sustancias que son francamente dañinas, como son grasas, aceites, azúcares y ácidos.



Cuando el agua de uso previsto es potable, cabe suponer en principio que sus características físico-químicas son adecuadas para hacer concreto, excepto por la posibilidad de que contenga alguna sustancia saborizante, lo cual puede detectarse fácilmente al probarla. Así, el USBR <sup>(5)</sup> considera que si el agua es clara, y no tiene sabor dulce, amargo o salobre, puede ser usada como agua de mezclado o de curado para concreto, sin necesidad de mayores pruebas.

Si el agua no procede de una fuente de suministro de agua potable, se puede juzgar su aptitud como agua para concreto mediante los requisitos físico-químicos contenidos en la ASTM C-94 <sup>(24)</sup> y AASHTO T-26 <sup>(25)</sup> (Acidez y Alcalinidad), recomendados para aguas que no son potables. Para el caso específico de la fabricación de elementos de concretos armados, hay algunos requisitos que son más estrictos en cuanto al límite tolerable de ciertas sales que pueden afectar el concreto y el acero de refuerzo.

- **EFFECTOS EN EL CONCRETO POR LA PRESENCIA DE SUSTANCIAS E IMPUREZAS EN EL AGUA DE MEZCLADO.**

A continuación en la tabla 2.20, se muestran las tolerancias y efectos, respecto a concentraciones de impurezas en el uso del agua para concreto.

SUSTANCIAS E IMPUREZAS	EFFECTOS (*)	CANTIDAD DE SALES	COMENTARIO
Carbonatos alcalinos.  Bicarbonatos alcalinos	Puede causar fraguados muy rápidos.  Pueden acelerar o retardar el fraguado.	Si la suma excede 1000 ppm.	Se recomiendan pruebas para analizar su efecto sobre el tiempo de fraguado y sobre la resistencia a los 28 días.
Carbonatos de calcio y de magnesio	No son muy solubles en el agua	Inferiores o iguales a 400 ppm de bicarbonato	No se consideran dañinas
Sulfato de magnesio		inferiores a 25,000 ppm	No se consideran dañinas
Cloruro de magnesio	Buenas resistencias	40,000 ppm	No se consideran dañinas
Cloruro de sodio	Reacciona con los concretos que tengan embebido aluminio.	20,000 ppm	Son generalmente tolerables en concretos que estarán secos y con bajo potencial de reacciones corrosivas.
Cloro	En concretos preesforzados. Concretos expuestos a la humedad del ambiente.	Superiores a 500 ppm. Menores a 1,000 ppm.	No se consideran dañinas.
Sulfato de sodio.	En concreto vaya a quedar expuesto a suelos o agua con contenidos elevados de sulfatos.	10,000 ppm. 3,000 ppm.	Puede ser tolerada para su uso. Si los sulfatos se presentan como SO <sub>4</sub>
Sulfato de magnesio.		Menores de 25,000 ppm.	No se consideran dañinas.
Manganeso, estaño, zinc, cobre y plomo.	Pueden causar reducciones significativas en su resistencia y grandes variaciones en sus tiempos de fraguado.	500 ppm	Pueden ser tolerables.
Sulfuro de sodio.		Presencia de 100 ppm.	Requiere de ensayos
Otras sales activa (yodatos, fosfatos, arsenatos y boratos de sodio).	Afectan el desarrollo de la resistencia.	Superiores a 10 por ciento del peso del cemento. Concentracion es de estas sales de hasta 500 ppm.	Pueden ser tolerables para el agua de mezclado.
Sales de hierro.	Desarrollo de la resistencia en el concreto.	40,000 ppm	Normalmente no afectan de manera adversa.

Arcilla o limos suspendidos.	No afectar la resistencia, pero sí influir en otras propiedades del concreto.	Cerca de 2,000 ppm.	Se pueden tolerar
Aceites.	Puede reducir la resistencia del concreto en 20 por ciento o más.	Superiores a 2 por ciento de peso del cemento	Efecto adverso
Aguas ácidas:	En la resistencia.	Inferiores a 10,000 ppm	No tiene un efecto adverso
Agua tratada	Reacción con los componentes del cemento y los agregados.	Concentraciones superiores a las establecidas	Puede ser muy agresiva.
Agua de mar	En su resistencia, riesgo de corrosión, eflorescencia y humedad superficial.		
Hidróxido de sodio	En la resistencia o los fraguados.	0.5 por ciento por peso de cemento (6,000 a 10,000 ppm)	no afectan
El hidróxido de Potasio	a) sobre el desarrollo de la resistencia de algunos cementos, y en otros puede reducir sustancialmente la resistencia a los 28 días.	Por encima de 1.2 por ciento de peso del cemento (18,000 a 24,000 ppm).	Afecta sustancialmente
Aguas de desperdicios industriales,	La reducción en la resistencia a la compresión generalmente es menor que del 10% al 15%.	Menos de 4,000 ppm	
Aguas negras.		400 ppm	No se consideran dañinas.
Impurezas orgánicas.	En el tiempo de fraguado del cemento o en la resistencia última del concreto.	En exceso.	Se deben ensayar
Azúcar	Normalmente retarda el fraguado del cemento; en tanto que la resistencia a los 28 días podría aumentar.	De 0.03% a 0.15% del peso del cemento.	Cada tipo de azúcar afecta al tiempo de fraguado y a la resistencia de manera distinta.
Sedimentos o partículas en suspensión	Cantidades mayores podría no afectar la resistencia, pero bien podrían influir sobre otras propiedades de algunas mezclas de concreto.	2,000 ppm	Se puede tolerar
Aguas de enjuague recicladas.		50,000 ppm	se pueden tolerar

*Tabla 2.20: Efectos y Tolerancias en Cuanto a las Concentraciones e Impurezas en el Uso del Agua para Información recopilada de Norma de Agua para Concreto, [www.tecnologiadelconcreto.com](http://www.tecnologiadelconcreto.com) y PCA Concreto. (\*) Los efectos indeseables en el concreto, surgen ya sea a corto, mediano y largo plazo <sup>(24)</sup>.*

## **USOS DEL AGUA.**

En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. En el primer caso es de uso interno como agua de mezclado, y en el segundo se emplea exteriormente cuando el concreto se cura con agua.

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

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

Como componente del concreto convencional, el agua suele representar aproximadamente entre 10 y 25 por ciento del volumen del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo del agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera <sup>(26)</sup>. Esto le concede una influencia importante a la calidad del agua de mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto.

Una práctica bastante común consiste en utilizar el agua potable para fabricar concreto sin ninguna verificación previa, suponiendo que toda agua que es

potable también es apropiada para elaborar concreto; sin embargo, hay ocasiones en que esta presunción no se cumple, porque hay aguas potables aderezadas con citratos o con pequeñas cantidades de azúcares, que no afectan su potabilidad pero pueden hacerlas inadecuadas para la fabricación de concreto <sup>(27)</sup>. En todo caso, la consideración contraria pudiera ser más conveniente, es decir, que el agua para la elaboración del concreto no necesariamente requiere ser potable, aunque sí debe satisfacer determinados requisitos mínimos de calidad.

#### **2.2.4 ADITIVOS.**

- **DEFINICIÓN.**

Debido a que los componentes básicos del concreto hidráulico son el cemento, el agua y los agregados, cualquier otro ingrediente que se incluya en su elaboración puede ser considerado, literalmente hablando, como un aditivo.

Sin embargo, en la práctica del concreto hidráulico convencional, no se consideran las puzolanas y las escorias cuando forman parte de un cemento pórtland-puzolana o pórtland-escoria, ni tampoco los polímeros o las fibras de refuerzo, porque dan origen a concretos que no se consideran convencionales.

Con estas justificaciones, resulta válida la definición propuesta por el comité ACI 116, según la cual *“un aditivo es un material distinto del agua, los agregados, el cemento hidráulico y las fibras de refuerzo, que se utiliza como*

*ingrediente del mortero o del concreto, y que se añade a la revoltura inmediatamente antes o durante el mezclado.”*

La interpretación que puede darse a esta definición es que un material sólo puede considerarse como aditivo cuando se incorpora individualmente al concreto, es decir, que se puede ejercer control sobre su dosificación. De esta manera, las puzolanas y las escorias solamente son aditivos si se les maneja y administra por separado del cemento pórtland. Lo cual no deja de ser más bien una cuestión de forma, ya que cualitativamente sus efectos son los mismos que si se administran por conducto del cemento.

Para complementar la definición anterior, tal vez cabría añadir que los aditivos para concreto se utilizan con el propósito fundamental de modificar convenientemente el comportamiento del concreto en estado fresco, y/o de inducir o mejorar determinadas propiedades deseables en el concreto endurecido.

#### **2.2.4.1 GENERALIDADES.**

##### **CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS.**

La creciente diversificación en el campo de aplicación de los aditivos y el continuo incremento en el número de sustancias o productos que se desarrollan e incorporan a este campo, hacen que cualquier intento de inventario de aditivos pierda actualidad con rapidez. Sin embargo, identificándolos por sus efectos, los aditivos pueden ser clasificados en los seis

grupos que se indican en la Tabla 2.21 <sup>(28)</sup>, <sup>(29)</sup>, en donde también se incluyen las especificaciones ASTM que son aplicables.

<b>GRUPOS DE ADITIVOS</b>	<b>SUBGRUPOS</b>	<b>NORMAS ASTM</b>
ACELERANTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Sales inorgánicas solubles.</li> <li>* Compuestos orgánicos solubles.</li> <li>* De fraguado ultra-rápido.</li> <li>* Sólidos diversos.</li> </ul>	D 98
INCLUSORES DE AIRE	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Líquidos o polvos solubles en agua.</li> <li>* Partículas sólidas minúsculas, insolubles.</li> </ul>	C 260
REDUCTORES DE AGUA Y REGULADORES DE FRAGUADO	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Reductores de agua</li> <li>* Retardadores</li> <li>* Acelerantes</li> <li>* Reductores de agua y retardadores</li> <li>* Reductores de agua y acelerantes</li> <li>* Reductores de agua en alto grado</li> <li>* Reductores de agua en alto grado y retardadores.</li> </ul>	C 494
MINERALES FINAMENTE DIVIDIDOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Cementantes.</li> <li>* Puzolánicos.</li> <li>* Puzolánicos y cementantes.</li> <li>* Diversos.</li> </ul>	C 989 C 618
PARA PRODUCIR CONCRETO FLUIDO	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Plastificantes</li> <li>* Plastificantes y retardadores</li> </ul>	C 1017
MISCELANEOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Aditivos expansores que forman gas.</li> <li>* Para mezclas de inyección.</li> <li>* Para generar expansión regulada.</li> <li>* Adhesivos integrales (látex)</li> <li>* Auxiliares de bombeo.</li> <li>* Colorantes.</li> <li>* Floculantes.</li> <li>* Fungicidas, germicidas e insecticidas.</li> <li>* Repelentes de humedad.</li> <li>* Reductores de permeabilidad.</li> <li>* Para reducir la expansión álcali-agregado.</li> <li>* Inhibidores de corrosión.</li> </ul>	C 937 C 621 C 979 C 618

Tabla 2.21: Relación de Aditivos para Concreto, Clasificados por sus Efectos Característicos.  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

- **Aditivos Acelerantes.**

En términos generales, puede considerarse que existen dos diferentes clases de aditivos acelerantes: los que aceleran la adquisición de la resistencia con una reducción moderada en el tiempo de fraguado, y los que producen un fraguado muy rápido y también aceleran la obtención de resistencia.

*a) Acelerantes de resistencia:*

La necesidad de anticipar el fraguado y la adquisición de resistencia del concreto, se origina por diversos requerimientos técnicos, conveniencias económicas y de otra índole.

Para lograr estas propiedades en el concreto, se puede decir que los medios más viables para acelerar la resistencia del concreto, son:

- 1) Utilizar una relación agua/cemento más baja, ya sea con un aumento en el contenido de cemento o mediante un aditivo reductor de agua.
- 2) Emplear un aditivo acelerante de la resistencia, como un ingrediente adicional de las mezclas de concreto.

En cuanto a los acelerantes de resistencia en general, su calidad normalmente debe ajustarse a los requisitos de la especificación ASTM 494 en las cuales se consideran dos tipos: los acelerantes solos y los acelerantes combinados con un reductor de agua.

*b) Acelerantes de fraguado muy rápido:*

Existen aditivos acelerantes especialmente formulados para provocar un fraguado muy rápido en el cemento, el cual mediante ajustes de dosificación



puede hacerse variar desde unos cuantos segundos hasta varios minutos tal como se requiere con el mortero o el concreto lanzados, o con las mezclas de pasta o de mortero que se emplean para obturar filtraciones de agua.

- **Aditivos Incluidores de Aire.**

La inclusión intencional de aire en el concreto durante el mezclado se consigue mediante el uso de aditivos designados como incluidores de aire, representados por una gran variedad de sustancias, de las cuales probablemente la más conocida es la resina de vinsol neutralizada, que inclusive se emplea como aditivo incluidor de aire de referencia, en las pruebas comparativas que se realizan para verificar la calidad de esta clase de aditivos, según el método ASTM C 233.

La inclusión de aire en el concreto produce como efecto secundario una cierta disminución en su resistencia a compresión. Por otra parte, como la inclusión de aire sólo manifiesta sus efectos en el mortero; el contenido de aire incluido en el concreto como un todo debe variar de acuerdo con su proporción de morteros, a fin de que en éste el contenido de aire se mantenga prácticamente constante.

Dichos aditivos se han utilizado eventualmente en algunas obras con el propósito de mejorar el comportamiento de mezclas de concreto con deficiente manejabilidad o excesivo sangrado, cuando no ha sido posible corregir por otros medios estas características indeseables.

- **Reductores de Agua y Reguladores del Fraguado.**

En este grupo están incluidos los aditivos que probablemente se emplean con mayor frecuencia. Si bien, el grupo comprende cuatro tipos básicos de aditivos, que son los reductores de agua normales.

*a) Reductores de agua normales*

La cantidad de agua que es necesario incorporar en una mezcla de concreto, depende esencialmente de las características de los agregados (granulometría, tamaño máximo, forma de partícula, etc.) y del revenimiento o grado de fluidez que se requiere, lo cual constituye un concepto básico para el diseño de mezclas <sup>(26)</sup>.

Para obtener el revenimiento o la fluidez deseada con menos cantidad de agua, existen aditivos llamados reductores de agua, de los cuales hay dos categorías: los reductores de agua normales, para los que se especifica una reducción mínima de 5 por ciento en el requerimiento de agua de mezclado, y los reductores de agua en alto grado, o plastificantes, que deben producir una reducción mínima de agua igual a 12 por ciento <sup>(30)</sup>.

Con el empleo de un aditivo reductor de agua se pueden producir mezclas de concreto con tres diferentes modificaciones, valuadas a partir de una mezcla sin aditivo, con determinados contenidos de agua y de cemento y con un cierto revenimiento.

- **Efectos en el Concreto de los Reductores de Agua Normales.**

**1) Aumento de la resistencia.**

Se reduce el contenido de agua, sin cambiar el contenido de cemento ni el revenimiento, con lo cual disminuye la relación agua/cemento y aumenta la resistencia.

**2) Aumento del revenimiento.**

Se conservan los mismos contenidos de agua y de cemento, con lo cual se incrementa el revenimiento y se mantiene la misma resistencia.

**3) Reducción del cemento.**

Se reducen los contenidos de agua y de cemento, de manera que se conserven iguales la relación agua/cemento, el revenimiento y la resistencia.

El efecto secundario de algunos aditivos reductores de agua que tal vez provoca mayor incomodidad, aún con dosificación normal, es el que ocurre cuando apresuran la rigidización de las mezclas de concreto en el lapso inmediato posterior al mezclado; que no es propiamente una aceleración del fraguado sino más bien una rápida pérdida inicial de revenimiento, como se indica en la Figura 2.31.

Se dice que este efecto indeseable se produce cuando ciertos aditivos reductores de agua se emplean conjuntamente con cementos que resultan incompatibles por sus contenidos relativos de anhídrido sulfúrico ( $SO_3$ ) y de aluminato tricálcico ( $C_3A$ ). Lo cual viene a reafirmar la necesidad ya

mencionada de verificar el comportamiento de los aditivos, en combinación con el cemento de uso dispuesto, previamente a su utilización en obra.

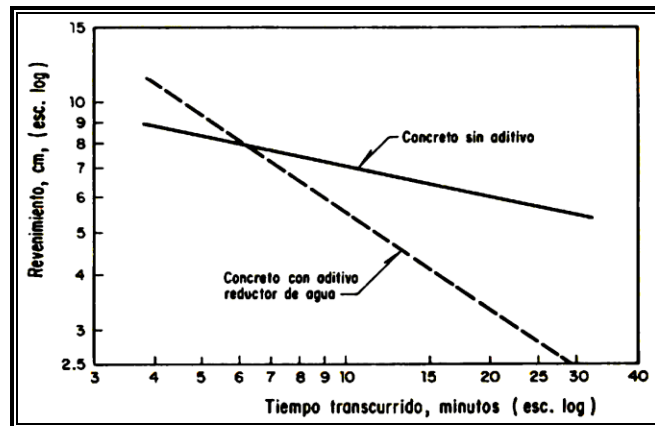


Figura 2.31: Influencia de un Aditivo Reductor de Agua en la Pérdida Inicial del Revenimiento del Concreto. Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

b) Retardadores de fraguado:

Tienen como objetivo incrementar el tiempo de vida normal en estado fresco hasta el inicio del endurecimiento, con el fin de disponer de un período de plasticidad mayor, que asegure que el concreto se transportará, colocará y compactará durante el proceso constructivo, sin que haya ocurrido aún el fraguado inicial que normalmente sucede luego de 1/2 horas a 3 horas de mezclados los ingredientes.

Cuando se emplea un aditivo retardador en el concreto, el efecto fundamental que se requiere es producir un retraso controlado en el tiempo de fraguado, pero sin afectar la evolución de las resistencias inmediatas. Sin embargo, debido a que el efecto retardador de algunas sustancias se prolonga más allá del fraguado del concreto, la adquisición de las resistencias en las

primeras edades (1 a 3 días) también sufre un cierto atraso. Para compensar las consecuencias de este efecto secundario indeseable, es frecuente que los aditivos retardadores de fraguado desempeñen la función adicional de reducir el agua de mezclado, en cuyo caso se les designa como retardadores y reductores de agua.

- **Materiales Finamente Divididos:**

El grupo de los materiales finamente divididos está integrado principalmente por escorias, puzolanas y ocasionalmente, polvos minerales inertes; todos los cuales solamente se consideran como aditivos cuando se incorporan al concreto por separadamente del cemento.

- **TIPOS DE ADITIVOS.**

Los aditivos químicos usados conforme lo especificado en la norma ASTM C 494 <sup>(30)</sup>, pueden ser del tipo A a la G, según su formulación pueden ser usados para propósitos propios de cada caso, de acuerdo a lo siguiente:

**TIPO A:** Reductor de agua

**TIPO B:** Retardante

**TIPO C:** Acelerante

**TIPO D:** Reductor de agua y retardante

**TIPO E:** Reductor de agua y acelerante

**TIPO F:** Reductor de agua de alto rango

**TIPO G:** Reductor de agua de amplio rango y retardante.

- **OTROS ADITIVOS.**

- ┆ **Aditivos para Concreto Fluido:**

La conveniencia de formar un grupo específico de aditivos para la elaboración de concreto fluido, derivó de la creciente utilización de este tipo de concreto y la correspondiente necesidad de reglamentar sus efectos, de donde se originó la Especificación ASTM C 1017 <sup>(31)</sup>. De acuerdo con ésta, el concreto fluido se caracteriza por tener un revenimiento mayor de 19 cm sin perder su naturaleza cohesiva, y para fines de ensaye se le obtiene a partir de una mezcla de concreto sin aditivo cuyo revenimiento es del orden de 8 a 10 cm, a la cual se le incorpora un aditivo capaz de incrementar el revenimiento en 9 cm adicionales, por lo menos, hasta lograr el revenimiento; mínimo de 19 cm pero sin exceder de 24 cm.

El concreto fluidificado con aditivos, prácticamente no requiere ser compactado en los moldes, y frecuentemente se logra acomodarse por simple gravedad. De esta característica derivan sus principales aplicaciones, que son aquellas donde existen dificultades de acceso para la colocación y/o compactación del concreto, o donde los elementos son muy estrechos y hasta cierto punto complicados para realizar el colado, o donde hay excesivo acero de refuerzo, etc.

Debido a que el concreto fluidificado con algunos aditivos de esta clase tiende a perder revenimiento con mayor rapidez que el concreto del mismo revenimiento sin aditivo, suele recomendarse que la incorporación del aditivo a

la mezcla de concreto se efectúe en el punto más cercano que sea posible al de la colocación final del concreto. Sin embargo, actualmente hay información sobre aditivos que ya no producen dicho efecto indeseable, lo cual debe ser motivo de comprobación mediante ensayos preliminares.

- **VENTAJAS POR EL EMPLEO DE ADITIVOS.**

Según los informes del Comité ACI 212, los aditivos suelen emplearse en la elaboración de concretos, morteros o mezclas de inyección, no sólo para modificar sus propiedades en los estados frescos y endurecido, sino también por economía, para ahorrar energía y porque hay casos en que el uso de un aditivo puede ser el único medio factible para obtener el resultado requerido.

Asimismo, señalan que los principales efectos que se persiguen con el uso de los aditivos, son los que a continuación se muestran en la tabla 2.22, para ambos estados del concreto.

<b>EFFECTOS CARACTERÍSTICOS EN EL CONCRETO.</b>	
<b>ESTADO FRESCO</b>	<b>ESTADO ENDURECIDO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Aumentar la trabajabilidad sin incrementar el contenido de agua.</li> <li>⊕ Retrasar o adelantar el tiempo de fraguado inicial.</li> <li>⊕ Reducir o prevenir el asentamiento, o crear una ligera expansión.</li> <li>⊕ Modificar la rapidez y/o la capacidad de sangrado.</li> <li>⊕ Reducir la segregación.</li> <li>⊕ Mejorar la aptitud para el bombeo.</li> <li>⊕ Reducir la rapidez en la pérdida de revenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Retrasar o reducir la evolución de calor durante el endurecimiento inicial.</li> <li>⊕ Acelerar la velocidad de desarrollo de la resistencia a edades tempranas.</li> <li>⊕ Incrementar la resistencia (a compresión, tensión o flexión).</li> <li>⊕ Aumentar la durabilidad.</li> <li>⊕ Disminuir el flujo capilar de agua.</li> <li>⊕ Disminuir la permeabilidad del concreto.</li> <li>⊕ Controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis.</li> <li>⊕ Producir concreto celular.</li> <li>⊕ Mejorar la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.</li> <li>⊕ Mejorar la adherencia entre concreto viejo y concreto viejo y concreto nuevo.</li> <li>⊕ Mejorar la resistencia al impacto y a la abrasión.</li> <li>⊕ Inhibir la corrosión del acero de refuerzo y otros metales inmersos.</li> <li>⊕ Producir concreto coloreado.</li> </ul>

Tabla 2.22: Efectos Característicos en el Concreto en Estado Fresco y Endurecido.  
Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 1.

No se debe esperar que con el uso de aditivos en el concreto, se puedan omitir las prácticas tradicionalmente reconocidas como eficaces para la obtención de estructuras resistentes y durables. En síntesis, un aditivo no es una panacea ni un paliativo, y su función específica consiste en complementar o mejorar el resultado de las prácticas anteriores, cuando estas no son suficientes para lograr el comportamiento requerido en el concreto fresco, de acuerdo con las ambientales y de trabajo en obra, o bien son incapaces de obtener concreto endurecido con las propiedades necesarias para resistir los efectos físicos, mecánicos o químicos, derivados de las condiciones de exposición y servicio previstas.



Es por ello que, antes de emplear un aditivo en el concreto, deben cumplirse las siguientes actividades:

- 1) Evaluar las condiciones ambientales y de trabajo en obra.
- 2) Determinar el comportamiento y las propiedades que se obtienen en el concreto sin aditivos, y confrontarlos con los requerimientos impuestos por las condiciones y acciones previamente evaluadas.
- 3) Si de la confrontación anterior resulta insuficiencia en el comportamiento o en las propiedades del concreto sin aditivos, hay que considerar la necesidad de emplear un aditivo.
- 4) Ensayar el aditivo específicamente seleccionado, con objeto de definir la dosificación apropiada.

Prácticamente todos los aditivos de uso común manifiestan algún efecto secundario inconveniente; sin embargo, esto no quiere decir que deba regirse su empleo por esta sola razón, sino que deben prevenirse las medidas necesarias para evitar en lo posible dichos efectos secundarios, o por lo menos reducir su influencia perjudicial en el concreto.

#### **2.2.4.2 ADITIVOS SUPERFLUIDIFICANTES Ó REDUCTORES DE AGUA DE ALTO RANGO.**

- **DEFINICIÓN.**

El superfluidificante es una sustancia química, o una combinación de sustancias químicas que cuando se adicionan al concreto normal:

- a) Le imparten una trabajabilidad extrema.
- b) Le proporcionan una gran reducción de agua. Lo cual sobrepasa los límites de aquella obtenida por medio de los aditivos fluidificantes normales.

Estos aditivos cumplen normas ASTM C 494 tipo F y ASTM C 1017 tipo I.

Se caracterizan por su alto poder dispersante permitiendo una perfecta distribución de las partículas de cemento del concreto, provocando su hidratación completa, obteniendo así el máximo efecto del cemento.

- **TIPOS DE SUPERFLUIDIFICANTES.**

En general estas sustancias químicas pueden agruparse en cuatro categorías:

Categoría A: condensados de formaldehído melamina sulfonatados.

Categoría B: condensados de formaldehído naftalina sulfonatados.

Categoría C: lignosulfonatos modificados.

Categoría D: a base de policarboxilatos.

Sin excepción los aditivos superfluidificantes poseen una marcada capacidad para dispersarse, sin presentar efectos laterales adversos; Sin embargo, las floculaciones de cemento aparecen normalmente cuando el cemento se encuentra en una suspensión de agua.

Los superfluidificantes de las categorías A y B se distinguen de los demás en que su sustancia química activa no origina una disminución significativa de la tensión superficial. Probablemente es debido a esta razón que dichos aditivos pueden tolerarse en altos niveles de dosificación sin que exista volumen

excesivo de aire atrapado; en contraste se disminuye la tensión superficial y, por lo tanto, mejora la capacidad del agua para humedecer los granos de cemento y proporcionar así una mejor “lubricación interna”.

- **Áreas de Aplicación.**

Se usan principalmente en aquellos casos donde se requiera una alta trabajabilidad. Sin embargo, resulta importante mencionar sus aplicaciones particulares:

- ⊕ En colocaciones de concreto con vibración reducida, en áreas con congestamiento de acero de refuerzo y en áreas de difícil acceso.
- ⊕ Cuando se requiere la capacidad de colocar concreto rápida y fácilmente y sin vibración en áreas limitadas.
- ⊕ Cuando sea necesario efectuar un rápido bombeo del concreto.
- ⊕ En los casos en que se requiere facilitar la producción de superficies de concreto uniformes y compactas.
- ⊕ Para la fabricación de estructuras pretensadas, postensadas, prefabricadas, de diseño especial, colados en serie, desencofrados a corto plazo; entre otros.

- **VENTAJAS DE LOS ADITIVOS SUPERFLUIDIFICANTES:**

- **EN EL DISEÑO DE LA MEZCLA.**

- ⊕ Incrementa la eficiencia del cemento con la reducción del mismo.
- ⊕ Generalmente actúan a la vez como reductores de agua de alto rango y permite reducciones considerables del cemento.
- ⊕ Reducción en la relación A/C, produciendo un concreto más durable.
- ⊕ Adición que no produce inclusión de aire a la matriz del concreto, basados muchas veces en la tecnología de los policarboxilatos.

- **EN CONCRETO FRESCO.**

- ⊕ Reducción en la segregación y el sangrado.
- ⊕ Permite reducir el tiempo de construcción, el costo de colocación, vibrado y moldeado.
- ⊕ Permite colocarse y acabarse sin demora.
- ⊕ Transportes a largas distancias sin pérdida de trabajabilidad.
- ⊕ Terminación superficial de alta calidad.
- ⊕ La permanencia del efecto de superfluidez, se mantiene alrededor de 30 a 60 minutos.
- ⊕ El lapso de la permanencia de fluidez obedece al revenimiento inicial y a las temperaturas del concreto fresco y del ambiente.
- ⊕ Se pueden remediar demoras imprevistas en un colado mediante una segunda dosis del aditivo superfluidificante, al concreto.

⊕ Efectos satisfactorios sobre los tiempos de fraguado.

● **EN CONCRETO ENDURECIDO.**

⊕ Reduce la permeabilidad y disminuye la tendencia a la fisuración.

⊕ Produce excelentes acabados.

⊕ Puede actuar a la vez acelerando la resistencia del concreto dependiendo de la dosificación, con relación al concreto sin aditivo, permitiendo acortar los tiempos de desencofrado.

⊕ Disminuye el riesgo de oquedades en el concreto de estructuras esbeltas, estrechas o densamente armadas.

⊕ Obtención de resistencias tempranas y elevadas a compresión.

⊕ No ejercen ninguna acción corrosiva sobre el acero de refuerzo.

⊕ Aumento de las resistencias mecánicas.

⊕ Mayor adherencia a las armaduras.

⊕ Mayor durabilidad.

⊕ Menor contracción.

**2.3 CARACTERÍSTICAS DESEABLES EN EL CONCRETO.**

El objetivo al diseñar una mezcla de concreto es determinar la combinación más práctica y económica de los materiales con los cuales se dispone, para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las

condiciones particulares de su uso. Para lograr tal objetivo, una mezcla de concreto bien proporcionada, deberá poseer las siguientes propiedades:

1. En el concreto fresco, trabajabilidad aceptable.
2. En el concreto endurecido, durabilidad, resistencia y presentación uniforme.
3. Economía.

En base al uso que se pretende dar al concreto en cuanto a: condiciones de exposición, tamaño y forma de los elementos, y a las propiedades físicas del concreto (tales como la resistencia) que se requieren para la estructura, así se deberán seleccionar las características de la mezcla.

### **2.3.1 CONCRETO EN ESTADO FRESCO.**

- **EVOLUCIÓN DE LOS CAMBIOS DE ESTADO DEL CONCRETO.**

El concreto convencional, es un material que en horas se transforma y cambia de estado; cuando está fresco (moldeable), su condición inicial es blanda, no tiene forma, pero con el transcurso del tiempo se vuelve rígido y toma la forma del recipiente que lo contiene, luego continúa evolucionando para adquirir propiedades definitivas.

La etapa del fraguado, normalmente dura pocas horas, es decir es el cambio de estado en que el concreto deja de ser un material sin una forma definida para convertirse en un cuerpo rígido pero frágil, es decir el concreto recién fraguado es un material solidificado que prácticamente no tiene resistencia mecánica. Se considera que la etapa de la verdadera adquisición de

resistencia mecánica, se inicia cuando termina el fraguado, y se prolonga durante un lapso que dura meses, e incluso años.

A continuación, en la figura 2.32, se presenta la evolución de la resistencia del concreto, aunque no se manifiesta alguna característica específica que permita precisar el final del fraguado y el principio del endurecimiento, ni tampoco se identifica el límite de conservación del estado fresco.

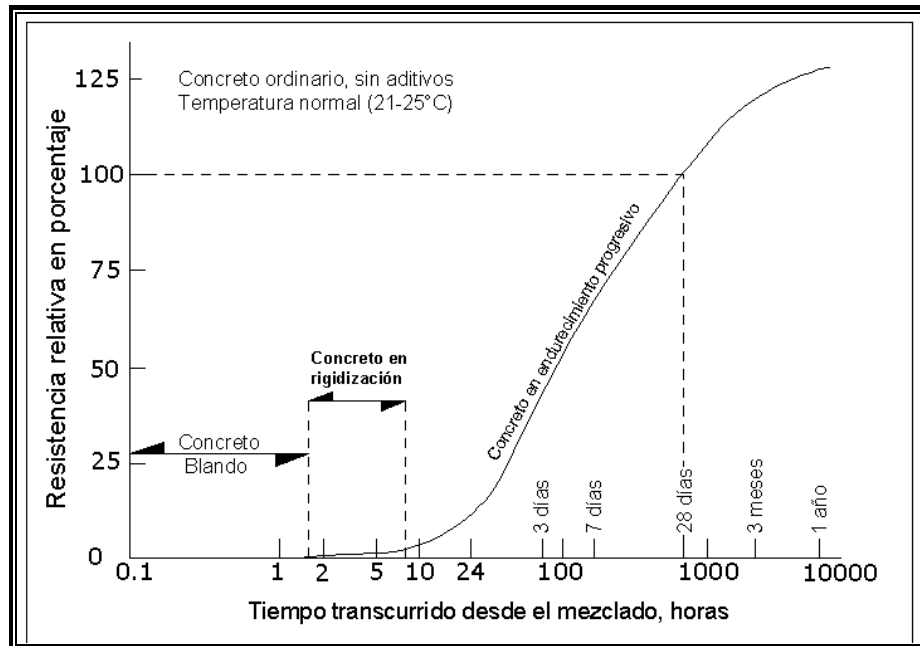


Figura 2.32: Avance de la Rigidización y Endurecimiento del Concreto con el Tiempo.  
Tomado del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 2.

## • DELIMITACION DE LOS ESTADOS DEL CONCRETO.

Debido a la importancia que posee el concreto en estado fresco en la etapa constructiva, interesa estudiar la evolución de éste, desde que se elabora hasta que resulta finalmente colocado, compactado y en reposo dentro de los moldes que le darán su forma final; así como también el comportamiento en estado

endurecido, ya que es decisivo en el funcionamiento operativo de las estructuras durante su vida útil.

Aún cuando el concreto experimenta gradualmente una serie de estados sucesivos, es conveniente establecer hasta donde se puede considerar en estado fresco el concreto y cuando se le debe juzgar en estado endurecido.

Concreto fresco se le llama a la mezcla recién elaborada, que en el caso del concreto convencional, es una masa plástica que puede ser moldeada con relativa facilidad, y que tal efecto permanece por muy poco tiempo. El periodo del fraguado comienza cuando el concreto fresco empieza a perder plasticidad y finaliza hasta que alcanza un cierto grado arbitrario de rigidez (Fraguado final).

Una vez rebasado el fraguado inicial, el concreto entra a un estado de rigidización progresiva, en el que ya no debe ser perturbado a manera de evitar el riesgo de producirle un daño irreversible, lo cual significa que, al cumplirse el tiempo de fraguado inicial, el concreto ya debe estar perfectamente colocado y compactado en su posición definitiva dentro de la estructura. Este proceso de rigidización o de fraguado avanza con relativa rapidez hasta llegar al fraguado final, y continua hasta entrar al periodo de endurecimiento. Al concreto recién fraguado, el cual se encuentra en el inicio del periodo de endurecimiento y que por ello casi no posee mucha resistencia mecánica, en la terminología de EUA se le denomina concreto "verde", el cual es llamado comúnmente concreto "tierno". El curado en esta condición es indispensable para que el periodo de



endurecimiento continúe; de ahí la necesidad de proveer un buen sistema de curado para el concreto en la estructura a partir del fraguado, este proceso debe mantenerse el tiempo que sea posible.

La mayoría de las veces, el proyecto se realiza con base en las propiedades que el concreto debe adquirir al cabo de 28 días de endurecimiento, por lo cual se considera que a esta edad el estado del concreto es representativo al de un concreto ya endurecido. Sin embargo, un concreto no alcanza el 100 por ciento de su resistencia a esta edad, sólo alcanza a desarrollar el 80 por ciento de su endurecimiento potencial; de modo que el concreto después de los 28 días seguirá adquiriendo resistencia.

A continuación se presenta la figura 2.33, nos muestra la duración de los lapsos correspondientes a los cambios de estado, para el caso de un concreto convencional realizado con cemento Pórtland ordinario, sin aditivos, a temperatura normal (21-25°C). Aquí también se indican las principales actividades que realmente se efectúan en dichos lapsos, al utilizar el concreto en la construcción de estructuras.

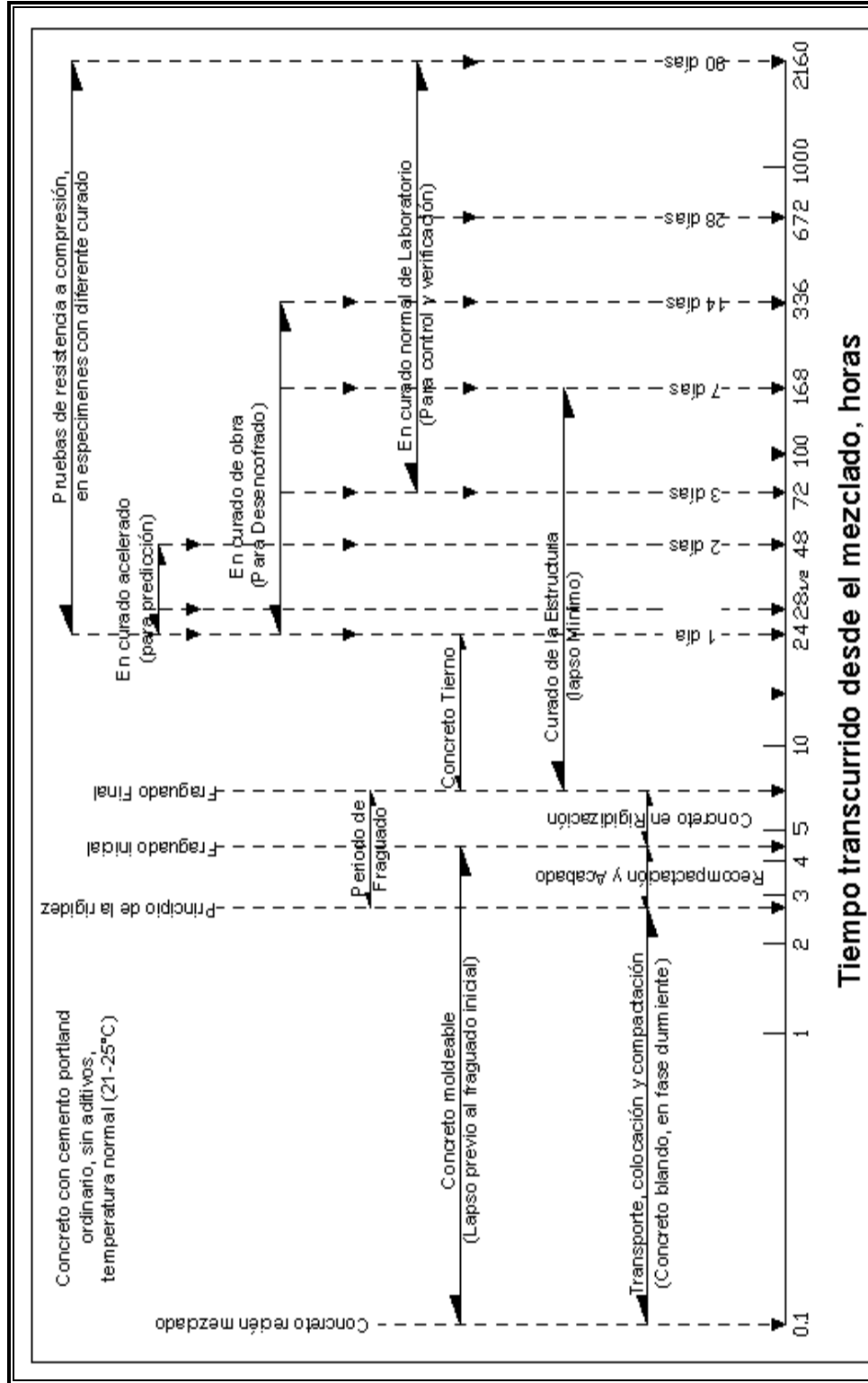


Figura 2.33: Lapsos y Actividades Características en los Diferentes Estados de un Concreto Ordinario a Temperatura Normal. Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 2.

- **ATRIBUTOS DEL CONCRETO FRESCO.**

El atributo mas importante es el de la trabajabilidad del concreto, y de acuerdo con el Comité ACI 116 es “Aquella propiedad del mortero o del concreto recién mezclado que determina la facilidad y homogeneidad con que puede ser mezclado, transportado, colocado, compactado y acabado” <sup>(17)</sup> debido a los diferentes parámetros que son definidos en este concepto, no se ha llegado a establecer un procedimiento único y confiable para medir la trabajabilidad de las mezclas de concreto, ya que posee propiedades intrínsecas y extrínsecas.

Los factores que debe de cumplir un diseño de mezclas para una determinada construcción han sido especificados única y exclusivamente para ese tipo de construcción. Es decir, que debe cumplir los requisitos o características que este tipo de estructura demande, es por esto, que nos auxiliamos con diferentes pruebas para el aseguramiento de la calidad del concreto tanto en estado fresco como endurecido.

A continuación en la tabla 2.23, se presentan los principales aspectos del comportamiento que se desean en el concreto fresco, durante la utilización en la construcción de estructuras.

ETAPA DE UTILIZACIÓN	COMPORTAMIENTO DESEABLE DEL CONCRETO FRESCO	CARACTERÍSTICAS DOMINANTES
<b>Mezclado</b>	Después de dosificar y mezclar los componentes del concreto en la proporción y forma especificadas, se obtienen revolturas que son uniformes y homogéneas y que poseen el grado de fluidez, o consistencia, requerido.	Uniformidad
		Homogeneidad
		Consistencia (Fluidez)
<b>Transporte y Colocación</b>	El concreto conserva la homogeneidad y consistencia originales, esto es, no se produce segregación ni pérdida de fluidez en grado objetable.	Consistencia
		Plasticidad (Cohesión y Viscosidad)
<b>Compactación</b>	El concreto recién colocado, este deberá conservar la suficiente blandura para ser moldeado con el equipo previsto sin que se produzca segregación ni permanezcan cavidades, de modo que así resulte un concreto compacto,	Plasticidad
		Deformabilidad
		Tiempo de Fraguado
<b>Acabado</b>	El concreto ya compactado y enrasado ofrece condiciones favorables para realizar esta última operación, sin que se requiera adicionar agua o pasta de cemento en la superficie del concreto, ni ejercer una excesiva manipulación sobre la superficie.	Tiempo de Fraguado
		Textura de la Superficie
		Estabilidad
<b>Fraguado</b>	El concreto se deberá conservar homogéneo y estable en el periodo de fraguado, es decir no deberá haber evidencia de sedimentación excesiva de los componentes sólidos (asentamiento) ni demasiado afloramiento de agua (sangrado). Tampoco deberán aparecer agrietamientos superficiales tempranos.	Estabilidad
		Cambios Volumétricos (contracción plástica)

Tabla 2.23: Principales Aspectos del Comportamiento del Concreto. Tomada del Manual de Tecnología del Concreto (CFE), Sección 2.

## • CARACTERÍSTICAS REOLOGICAS DEL CONCRETO.

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y tener la capacidad de ser moldeable con equipos y procedimientos convencionales. Una mezcla muy húmeda de concreto se puede moldear en el sentido de que puede colocarse en una cimbra, pero esto no significa que tenga la propiedad de la

"plasticidad" que se da cuando el material es plegable y capaz de ser moldeado.

En una mezcla de concreto plástico todos los granos de arena y las piezas de grava o de piedra quedan en un estado de suspensión en un medio acuoso. Los ingredientes no están predispuestos a segregarse durante el transporte; y cuando el concreto endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes. El concreto de consistencia plástica no se desmorona, si no que fluye como líquido viscoso sin segregarse. Es decir se comporta como un fluido de Bingham, los cuales "son cuerpos viscosos que poseen cierta cohesión que les permite oponerse al flujo cuando comienza a actuar la fuerza motriz, pero una vez que esta genera esfuerzos que rebasan el de cedencia se anula el esfuerzo de cohesión y el cuerpo comienza a fluir".

Al utilizar una mezcla de concreto, de consistencia plástica, se requiere de un estricto control sobre los siguientes aspectos:

- ⊕ La consistencia de la pasta de cemento
- ⊕ La proporción óptima de agregados que esta pueda admitir.

La consistencia de la pasta, con un cemento dado, depende principalmente de su concentración de sólidos, es decir, de su relación agua/cemento, a menos que se le incorporen aditivos o finos adicionales. Esta relación se define con la finalidad de determinar una resistencia mecánica o una cierta durabilidad potencial.

La proporción óptima de agregados que una cierta pasta de cemento puede admitir, para obtener la mezcla de concreto geológicamente idónea, depende de numerosas características propias de cada conjunto de agregados en particular, tales como la composición granulométrica y el tamaño máximo, forma y textura superficial de las partículas.

De esta manera, puede considerarse que si a una pasta de cemento con determinada consistencia se le incrementa progresivamente el contenido de partículas de agregados, tendrá como resultado mezclas de concreto con decrementos en sus cualidades, tales como: fluidez y trabajabilidad. A continuación se presentan las figuras de la 2.34 a la 2.36, para ejemplificar diferentes mezclas de concreto, con diferente concentración de agregados por unidad de volumen.

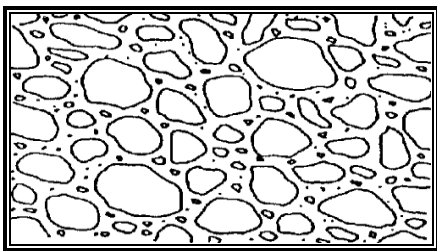


Figura 2.34: Consistencia Plástica.  
Tomada del Manual de Tecnología del  
Concreto (CFE), Sección 2.

a) <sup>(32)</sup>Corresponde a una mezcla ordinaria de consistencia plástica, la cual es la relación óptima necesaria de pasta de cemento para que las partículas de agregados se mantengan ligeramente separadas. Es decir, tienen una movilidad limitada y se mantienen

uniformemente dispersas en la pasta de cemento.

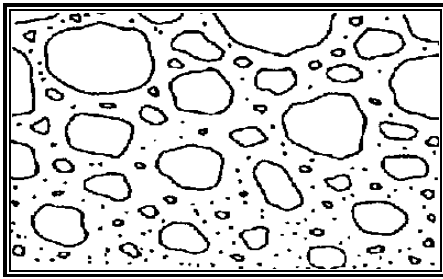


Figura 2.35: Consistencia Blanda ó Fluida.  
Tomada del Manual de Tecnología del  
Concreto (CFE), Sección 2.

b) <sup>(32)</sup> Aquí existe un exceso de pasta de cemento, y por ello aumenta la separación entre las partículas, con lo cual la mezcla de concreto presenta una consistencia mas blanda, o fluida. Es por esto que disponen de una gran movilidad, y las de mayor tamaño se

sedimentan; muestra poca cohesividad, por lo que se deforma y fluye con facilidad, pero con tendencia a segregarse.

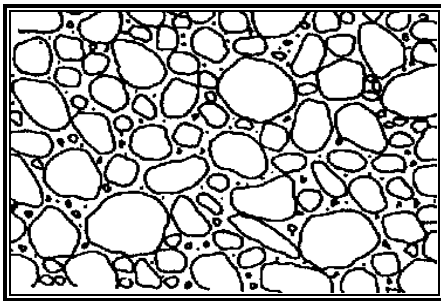


Figura 2.36: Consistencia Dura ó sin Fluidez  
Tomada del Manual de Tecnología del  
Concreto (CFE), Sección 2.

c) <sup>(32)</sup> En este caso la cantidad de pasta de cemento es reducida, lo cual causa un contacto permanente entre algunas partículas de los agregados, en consecuencia la mezcla de concreto adquiere una consistencia dura o sin fluidez. No se dispone de movilidad, por lo

que la mezcla de concreto requiere la aplicación de un alto esfuerzo para lograr su deformación y compactación.

Es por esto que el revenimiento se utiliza como una medida de la consistencia del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia dura. En la practica de la construcción, los elementos delgados de concreto y los elementos del concreto fuertemente reforzados requieren de mezclas trabajables, pero en ningún caso mezclas similares como la mezcla (b), aunque estas a simple vista ofrecen mayor facilidad para ser trabajadas, porque

exhiben una consistencia mas blanda, puede resultar con muchos problemas por la falta de cohesión y el exceso en el sangrado de esta. Es decir, se necesita una mezcla plástica que tenga resistencia y que mantenga su homogeneidad durante el manejo y la colocación.

- **CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO <sup>(32)</sup>.**

- **Trabajabilidad.**

La trabajabilidad se define en función de las facilidades que ofrece el concreto, para ser utilizado sin perder su homogeneidad, lo cual involucra todos los aspectos relacionados con la fabricación y uso del concreto.

En la tabla 2.24 se presentan las características del concreto en estado fresco que determinan la trabajabilidad de una mezcla en particular.



CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES	COMPORTAMIENTO DESEABLE	PROPIEDADES REOLÓGICAS DESEABLES.
MOVILIDAD	<p>Poca resistencia par iniciar el flujo.</p> <p>Poca resistencia durante el flujo.</p> <p>Movimiento sin “rupturas” (flujo continuo).</p>	<p>Poca cohesión.</p> <p>Baja viscosidad plástica de la pasta de cemento.</p> <p>Alta deformabilidad del concreto fresco.</p>
ESTABILIDAD	<p>Capacidad de retención de agua, para evitar todo tipo de sangrado en exceso.</p> <p>Capacidad de la pasta para soportar movimientos relativos de las partículas mayores del agregado, a fin de evitar su segregación.</p>	<p>Altas tensiones superficiales y contribución de una mayor cohesión de la masa.</p> <p>Se requieren mayores niveles de cohesión.</p>
COMPACTABILIDAD	<p>Baja cohesión y baja fricción interna del concreto fresco.</p> <p>Poca adhesión y poca fricción superficial del concreto fresco.</p> <p>Suficiente contenido de pasta de cemento cohesiva en la mezcla de concreto.</p>	<p>Se somete al efecto de compactación del método utilizado.</p> <p>Altos niveles de cohesión en el concreto.</p>

Tabla 2.24: Influencia de las Propiedades Reológicas en el Comportamiento y la Trabajabilidad de las Mezclas de Concreto. Información Tomada de Fresh Concrete Important Properties an Teir Measurement.

Lo anteriormente observado, reafirma que las características de las mezclas de concreto deben definirse de acuerdo con los requerimientos que imponga la estructura por construir.

- **Estabilidad.**

Se refiere a la resistencia que las mezclas oponen para segregarse y exudar agua (sangrado); representa su disposición para conservarse homogéneas.

- **Consistencia (Movilidad).**

Representa la aptitud de las mezclas de concreto para deformarse y fluir, cuya característica depende de la cohesión, viscosidad y ángulo de fricción interna del concreto fresco.

- **Compactabilidad (Densidad Relativa).**

Facilidad con que las mezclas de concreto permiten la remoción del aire atrapado (pero no las del aire incluido intencionalmente) durante el moldeo, a fin de lograr un alto grado de compacidad en el concreto.

También definida como el proceso según el cual un volumen de concreto recién colocado se reduce al espacio mínimo practicable, por medio de vibración, centrifugación, apisonamiento ó una combinación de éstas acciones, para moldearlo dentro del encofrado y alrededor del acero de refuerzo.

- **INCONVENIENTES QUE PUEDE PRESENTAR EL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.**

- **Segregación.**

Se puede definir como una concentración diferencial de sus componentes que da como resultado proporciones no uniformes en la masa, es decir, que representa el estado opuesto de la homogeneidad.

- **Pérdida de Revenimiento.**

Este es un término que se acostumbra usar para describir la disminución de consistencia, o aumento de rigidez, que una mezcla de concreto experimenta desde que sale de la mezcladora hasta que termina colocada y compactada en la estructura. Lo ideal en este aspecto sería que la mezcla de concreto conservara su consistencia (o revenimiento) original durante todo este proceso, pero usualmente no es así y ocurre una pérdida gradual cuya evolución puede ser alterada por varios factores extrínsecos, entre los que destacan la temperatura ambiente, la presencia de sol y viento, transporte del concreto desde la mezcladora hasta el lugar del colado, todos los cuales son aspectos que configuran las condiciones de trabajo en obra.

Para unas condiciones de trabajo dadas, la evolución de la pérdida de revenimiento también puede resultar influida por factores intrínsecos de la mezcla de concreto, tales como la consistencia o fluidez inicial de ésta, la humedad de los agregados, el uso de ciertos aditivos y las características y contenido unitario del cemento.

- **Asentamiento y Sangrado.**

Cuando el concreto queda en reposo, después de ser colocado y compactado dentro del espacio establecido, se inicia un proceso natural mediante el cual los componentes más pesados (cemento y agregados) tienden a descender en tanto que el agua, componente menos denso, tiende a subir. A estos

fenómenos simultáneos se les llama respectivamente asentamiento y sangrado, y cuando se producen en exceso se les considera indeseables porque provocan cierta estratificación en la masa de concreto, según la cual se forma en la superficie superior una capa menos resistente y durable por su mayor concentración de agua. Esto resulta muy problemático puesto que las propiedades del concreto deben ser homogéneas, es decir, debe tener las mismas características en todo su volumen.

- **PROPIEDADES MEDIBLES EN EL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.**

- **Revenimiento.**

Las mezclas de concreto fluido se consideran inconvenientes cuando dicha fluidez se obtiene como resultado de utilizar un mayor contenido de agua, pues esto causa efectos negativos en el concreto. No así cuando la mezcla se fluidifica mediante la incorporación de un aditivo reductor de agua de alto rango, que produce un aumento transitorio de fluidez sin disminuir la calidad potencial del concreto.

La consistencia del concreto fluido normalmente se define en función del revenimiento (mayor de 19 cm según la ASTM C1017), pero con frecuencia se evalúan adecuadamente consistencias muy fluidas con otros procedimientos y dispositivos alternativos, tales como la prueba de extensibilidad del concreto.

- **Tiempo de Fraguado del Concreto.**

Para seguir la evolución del fraguado del concreto, existen diversos procedimientos que miden los cambios que se operan en el concreto conforme se rigidiza, de los cuales sólo está reglamentado el que mide la resistencia a la penetración con agujas tipo Proctor (ASTM C 403). Método en el cual es posible definir dos estados de rigidez del concreto que convencionalmente se designan como fraguado inicial (resistencia a la penetración igual a 35 kg/cm<sup>2</sup>) y fraguado final (resistencia a la penetración igual a 280 kg/cm<sup>2</sup>); a partir de éste momento comienza propiamente la adquisición de resistencia mecánica.

- **Contenido de Aire del Concreto Mezclado Fresco.**

El contenido de aire evaluado por el Método de Presión (ASTM C 231), se basa en la Ley de Boyle, donde se relaciona la presión con el volumen. Se debe tener presente que los ensayos con éste método no son adecuados para determinar el contenido de aire de los concretos de baja densidad ó elaborados con materiales muy porosos.

Son comúnmente utilizados, porque no es necesario conocer las proporciones de la mezcla, ni las masas unitarias del material.

- **Temperatura del concreto.**

La variación de la temperatura del concreto al ser mezclado, puede ser una causa importante de cambios en la consistencia de las mezclas y obstáculo para lograr una adecuada uniformidad en la calidad del concreto.

La temperatura con que se elabora el concreto tiene consecuencias inmediatas en el requerimiento de agua y en la consistencia de la mezcla; puede ser medida a través del ensayo ASTM C 1064.

### **2.3.2 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.**

La resistencia del concreto a compresión, es la propiedad que frecuentemente se toma como medida de su endurecimiento, asociado a las propiedades mecánicas en general.

Sin embargo, es de hacer notar que el uso de la resistencia mecánica del concreto como índice general de su aptitud para prestar un buen servicio permanente, no es siempre la opción más acertada, puesto que la evaluación de otras características importantes y propiedades del concreto pueden ser más importantes, todo esto de acuerdo con las condiciones específicas en que opera la estructura.

#### **• PROPIEDADES Y CUIDADOS EN EL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.**

Las principales propiedades que debe tener un concreto endurecido, deben garantizar, que el concreto elaborado tendrá una durabilidad y una consistencia que permita una buena colocación y una vida útil prolongada, además de un diseño de mezcla económico, que además brinde una buena apariencia, tomando en cuenta las especificaciones que solicita el proyecto.

- **Resistencia.**

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto sometido a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{Kg/cm}^2$ ) a una edad de 28 días que se le designa con el símbolo  $f_c$ .

Por ello, la determinación de la resistencia a compresión del concreto, en especímenes representativos, es una práctica que comúnmente se realiza en diferentes estados para medir el avance del proceso de endurecimiento, con tres fines principales:

- 1) Obtener información temprana que permita predecir la resistencia del concreto a la edad de proyecto, mediante relaciones empíricamente establecidas; una vez conocido el comportamiento de la mezcla. .
- 2) Conocer la resistencia del concreto desde sus primeras edades, con objeto de definir el tiempo adecuado para la remoción de los encofrados.
- 3) Determinar la resistencia del concreto a edades cortas, medianas y largas, incluyendo la de proyecto, para seguir su evolución y para verificar el cumplimiento del nivel de resistencia requerido en las especificaciones de la obra.

- **Peso Unitario.**

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras tiene un peso unitario dentro del rango de 2,240 y 2,400

kg/m<sup>3</sup>. El peso unitario (densidad) del concreto puede variar, 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. Para el diseño de estructuras de concreto, comúnmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo pesa 2400 kg/m<sup>3</sup>.

El peso del concreto seco es igual 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 y capilares y no se evapora bajo condiciones normales. La cantidad de agua que se evapora al aire a una humedad relativa del 50% es de aproximadamente 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.

Además del concreto convencional, existe una amplia variedad de otros concretos que se pueden ocupar dependiendo de las necesidades y características que se deseen, pueden ser desde concretos aisladores ligeros con pesos unitarios de 240 kg/m<sup>3</sup>, a concretos pesados con pesos unitarios de 6400 kg/m<sup>3</sup>, que se emplean para contrapesos o para blindajes contra radiaciones.



- **Durabilidad.**

La durabilidad es uno de los problemas más comunes que no se pueden medir o especificar solo con aceptar la calidad de un concreto, basándose solamente en la resistencia mecánica.

Siguiendo esta consideración, al concreto endurecido no solo debe exigírsele capacidad mecánica para soportar esfuerzos, sino, además debe tener una composición que lo haga resistente al paso del tiempo, es decir, deben conocerse las características de los materiales previstos para la elaboración del concreto y las condiciones de exposición en las cuales estará este tipo de estructura, con la finalidad de poder adoptar las precauciones necesarias.

- **Curado Húmedo.**

El aumento de resistencia en el concreto, incrementará con la edad, mientras éste presente cantidades de cemento sin hidratar, a condición de que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior a aproximadamente el 80% y permanezca favorable la temperatura del concreto. Cuando la humedad relativa dentro del concreto cae aproximadamente al 80% o la temperatura del concreto desciende por debajo del punto de congelación, la hidratación y el aumento de resistencia virtualmente se detiene.

Si se vuelve a saturar el concreto luego de un periodo de secado, la hidratación se reanuda y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo lo mejor es aplicar el curado húmedo al concreto de manera continua desde el momento en que se

ha colocado hasta cuando haya alcanzado la calidad deseada debido a que el concreto es difícil de restaurar.

- **Control del Agrietamiento.**

Las dos causas básicas por las que se producen grietas en el concreto son:

1. Esfuerzos debidos a cargas aplicadas.
2. Esfuerzos debidos a contracción por secado o a cambios de temperatura en condiciones de restricción.

La contracción por secado es una propiedad inherente e inevitable del concreto, por lo que se utiliza acero de refuerzo colocado en una posición adecuada para reducir los anchos de grieta, o bien juntas que predeterminen y controlen la ubicación de las grietas. Los esfuerzos provocados por las fluctuaciones de temperatura pueden causar agrietamientos, especialmente a edades tempranas.

- **PROPIEDADES MEDIBLES EN EL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.**

- **Resistencia a la Compresión.**

Para determinar la resistencia a la compresión (ASTM C 39), se realizan pruebas especímenes de concreto con dimensiones de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para el diseño de

muchas estructuras. El concreto de uso generalizado tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 kg/cm<sup>2</sup> un concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de cuando menos 420 kg/cm<sup>2</sup>. Las resistencias del concreto generalmente varían entre 100 kg/cm<sup>2</sup> y 1,400 kg/cm<sup>2</sup> según la aplicación que tendrá en la construcción.

#### ⊕ **Evaluación de la Resistencia a la Compresión del Concreto.**

La resistencia de cilindros de concreto es generalmente la única evidencia tangible de la calidad del concreto utilizado en la construcción de una estructura. Debido a la potencial disparidad entre la resistencia de los cilindros de prueba y la capacidad de carga de una estructura, resulta imprudente fiarse de datos que posiblemente son inadecuados en cuanto a resistencia. Es por eso que el número de ensayos más bajos que la resistencia deseada, es más importante en el cálculo de la capacidad de carga de una estructura que la resistencia media obtenida.

Los factores de seguridad son considerados en las ecuaciones de diseño, los cuales permiten desviaciones de resistencias especificadas sin comprometer la seguridad de la estructura. Esto se ha desarrollado en base a la práctica constructiva, procedimientos de diseño y técnicas de control de calidad usadas por la industria de la construcción.

Tomando en cuenta que si un pequeño porcentaje de los resultados de ensayo caen por debajo de la resistencia de diseño (para una resistencia promedio obtenida), implicará que el correspondiente porcentaje de resultados será

mayor que dicha resistencia, con una alta probabilidad de localizarse en un área crítica. Las consecuencias de una zona localizada de concreto de baja resistencia en una estructura dependen de varios factores; incluida la posibilidad de sobrecarga temprana, la localización y la magnitud de la zona de baja resistencia y baja calidad en la unidad estructural, el grado de confianza en la resistencia de diseño, orígenes económicos y la falta de un buen diseño estructural.

Para satisfacer los requerimientos de desarrollo de resistencia expresados anteriormente, la resistencia promedio ( $\bar{X}$ ) debe ser superior a la resistencia de diseño  $f'c$  del concreto. La cantidad de superioridad de resistencia depende de la variabilidad esperada en resultados de ensayos expresados a través de un coeficiente de variación o desviación estándar y sobre la proporción permisible de ensayos con resultados de resistencia bajos.

Los datos de resistencia para la determinación de la desviación estándar o el coeficiente de variación deben ser representativos de un grupo de por lo menos 30 ensayos (1 ensayo = 2 especímenes) consecutivos del concreto, producido bajo condiciones similares durante la ejecución del proyecto.

El requisito mencionado previamente, sobre los resultados de la prueba, es bajo el hecho de que de 25 a 30 resultados de ensayos seleccionados aleatoriamente de una población normalmente distribuida, proporcionan las estimaciones más valederas del promedio poblacional y la desviación estándar, los cuales se pueden utilizar como valores representativos de la población.

En general, los cambios en los materiales y procedimientos tendrán un gran efecto sobre el nivel de la resistencia promedio, como sobre la desviación estándar o el coeficiente de variación. Esos cambios, usualmente se deben al tipo y marca del cemento Pórtland, aditivos, fuente de agregados, proporciones de la mezcla, producción por bachada, mezclado, transporte o ensayo.

Si como base para la estimación, se dispone de un número pequeño de resultados, entonces los valores, especialmente para la desviación estándar, no son confiables y por lo tanto no hay manera de determinar el fcr.

Para predecir la variabilidad existente entre los ensayos de resistencia, se toma en cuenta la Desviación Estándar que permite a la vez indicar el grado de dispersión existente entre los resultados de resistencia a la compresión para un determinado f'c, y se define así:

$$D_s = \sqrt{\frac{\sum (X - X_{prom})^2}{n - 1}}$$

Donde:

$D_s$  = Desviación Estándar

$X_{prom}$  = Resistencia Promedio

$X$  = Resistencia individual

$n$  = Número de ensayos

Y la variación viene dada por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{D_s}{X_{PROM}} \times 100$$

Se debe enfatizar, que cuando no se tienen datos históricos de una determinada mezcla de concreto se utilizan las recomendaciones del capítulo IV del ACI 318, para calcular el valor de  $D_s$ , según la tabla tabla 2.25.

<b>Nº Ensayos</b>	<b>Factor de Incremento</b>
Menos de 15	Ver Tabla Cuando no se Conoce $D_s$
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 ó más	1.0

Tabla 2.25 : Factores de Corrección Dependiendo del Número de Ensayos.  
Tomada del Capítulo IV del ACI 318.

En la tabla 2.26 se muestran los parámetros tolerables en cuanto a desviación estándar y variación de acuerdo a los datos obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión del concreto.

DISPERSIÓN TOTAL					
Clase de Operación	Desviación Estándar para Diferentes Grados de Control (Kg/cm <sup>2</sup> )				
	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	>49.2
Concreto en Laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	>24.6
DISPERSIÓN ENTRE TESTIGOS					
Clase de Operación	Coeficiente de Variación V para Diferentes Grados de Control (%)				
	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	>6.0
Concreto en Laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	>5.0

Tabla 2.26: Parámetros de Dispersión.  
Tomada del ACI 214.

- **Módulo de Elasticidad.**

El módulo de elasticidad (estático ASTM C 469 y dinámico ASTM C 597), denotando por medio del símbolo E, se puede definir como la relación del esfuerzo normal y la deformación correspondiente para esfuerzos de tensión o de compresión por debajo del límite de proporcionalidad de un material.

El módulo de elasticidad del concreto puede variar en función de diversos factores tales como el estado de humedad y de compactación del concreto, la relación agua/cemento, la edad de la pasta y las características de los agregados principalmente.

Para concretos de peso normal, el módulo de elasticidad (E) fluctúa entre 140,600 y 422,000 kg/cm<sup>2</sup>, y se puede aproximar como 15,100 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión.

- **Adherencia entre Concreto y Acero de Refuerzo.**

Para el correcto funcionamiento de una estructura de concreto reforzado, es necesario que se cumplan las previsiones de diseño en cuanto a la adherencia del concreto con el acero de refuerzo, pues de esta adherencia suelen depender aspectos tales como los agrietamientos.

La ASTM C 234, propone un método normalizado de prueba de extracción de varillas en especímenes reducidos, propuesto para la comparación de concretos sobre la base de la adherencia con el acero de refuerzo.

La resistencia por adherencia se evalúa por el esfuerzo medio de adherencia que se desarrolla entre el concreto y la varilla de refuerzo, cuando a ésta se le aplica una fuerza de tensión, capaz de producir un deslizamiento.

## ***2.4 VIVIENDAS COLADAS IN-SITU.***

Antes de 1950, en El Salvador, el panorama de la vivienda mostraba la persistente precariedad, en la mayoría de las viviendas dispersas por todo el país. En este contexto se observó un mercado habitacional poco desarrollado y una débil intervención pública y social en torno a esta problemática.

Esta situación cambia enérgicamente, con la necesaria implementación de otros sistemas constructivos, no tradicionales, esto con el afán de brindar una oportunidad de vivienda digna a personas de ingresos bajos; y que dicha incorporación poco a poco conlleva a una configuración de mercado habitacional progresiva.



En la medida que transcurre el tiempo el objetivo primordial ha sido aminorar el déficit habitacional que ha aquejado al país; debido a muchos factores, entre los que sobresalen: el impacto negativo que causó la guerra, desastres naturales (ocurridos a través de los años); y asimismo el incremento poblacional experimentado, que dieron la pauta para poner en práctica nuevas alternativas de construcción de viviendas, tales como: el Sistema Cast in Place “colado in-situ”; generando así una nueva opción para la producción en serie de viviendas de forma industrializada, es decir: producir viviendas reemplazando la mano de obra artesanal, con máquinas utilizadas por obreros especializados en su manejo; que para el caso se realiza la construcción utilizando moldes metálicos, sustituyendo así la mano de obra de los albañiles, por mano de obra especializada (molderos).

#### **2.4.1 RESEÑA HISTÓRICA EN EL SALVADOR.**

Se tiene conocimiento que el sistema Cast-in-Place, se originó en Estados Unidos y que paulatinamente se fue introduciendo en otros países, tal es el caso que el país Centroamericano que ejecutó el sistema anteriormente a El Salvador, fue Honduras.

En El Salvador, se introdujo el sistema Colado In-situ, para paredes de viviendas moldeadas, desde finales de la década de los años 60`s (1960 - 1970). Hasta la fecha se han construido cantidades exageradas de viviendas con este sistema constructivo, debido a las bondades que ha presentado con el paso de los años.

Según fuentes informativas, fue en el año de 1974 que se desarrolló a plenitud el sistema constructivo Cast-in-Place, con la construcción de la colonia El Matazano, edificada por el Arquitecto Hans Bodem; simultáneamente se estaba construyendo la colonia Llano Verde, a cargo del Ingeniero Orfilio Valiente; claro que para implementar este sistema, anteriormente tuvieron que tecnificarse en el extranjero varias personas, que inmediatamente serían pioneras del sistema constructivo en nuestro país.

Luego en los años posteriores 1975 y 1976 se ejecutó el proyecto de la colonia San José Las Flores, en la cual se construyeron 300 viviendas. Asimismo el Ingeniero Orfilio Valiente en 1976 tenía en construcción el proyecto de la colonia Bosques del Río; paralelamente a este proyecto en 1975, 1976 y 1977 el Ingeniero García construyó, la colonia Monte Blanco.

Inmediatamente en 1978, Inversiones Roble inicia el proyecto de la colonia San José Soyapango; luego en 1979 reanuda la construcción de la colonia antes mencionada, después de haber suspendido su construcción por nueve meses; una vez finalizado este proyecto, a principios de 1982 se inicia la construcción de la colonia Los Conacastes.

Desde entonces Inversiones Roble ha sido el mayor productor de viviendas con el sistema colado in-situ, tal es el caso que han construido: colonia San Antonio (1984-1985); colonia Los Ángeles con 850 viviendas y Centro Comercial Los Ángeles (1985); Miraflores y Unicentro Soyapango (1986); en el período 1987-1988, se inicia la construcción de la colonia Lincoln y Metrópolis; para esta

época también se estaba proyectando la ejecución del edificio en el que actualmente funciona Fusal, para que en 1989 se iniciara la construcción del proyecto de la Cima I (Ilopando), construyendo 500 viviendas. En los años siguientes 1991 a 1993 se finalizaron los proyectos de Lincoln, Metrópolis, Cima I y se realizó la construcción de la Plaza Metrópolis.

Luego en 1994 se efectuó la construcción de Metrocentro San Miguel, ejecutando este proyecto en ocho meses.

En seguida se inicia el proyecto Altavista, en 1995, proyecto habitacional más grande en su género, ya que actualmente cuenta con 10,000 viviendas construidas y habitadas y 10,000 viviendas más por construirse en los próximos años; simultáneamente en el período 2000-2005, se llevó a cabo la construcción de la colonia Libertad (Apopa).

Además de los proyectos antes mencionados, se han edificado las colonias: Sabana I, II, III, y IV, Buena Vista I y II (Santa Tecla), Cumbres de Santa Tecla, Nuevo Lourdes y Centro comercial Nuevo Lourdes, por la empresa constructora Orión (1980-2005).

Igualmente, la empresa conocida como TP a cargo de el Ingeniero y el Arquitecto Díaz Nuila en el año de 1985 construyó Prados I, II, y III, y luego en 1987 finalizaron el proyecto con la construcción de Prados IV, posteriormente construyeron Villa Lourdes (Lourdes Colón) y en este momento se encuentran ejecutando el proyecto Los Portales. (Campos Verdes en Lourdes Colón).

Con el paso del tiempo otras empresas han retomado la técnica de construcción, como en el caso de Concretera Salvadoreña que tiene tres años de haber implementado el sistema Vivienda Crecedora. Asimismo Concretera Mixto Listo se ha dedicado a la producción de viviendas en serie con este sistema (llamándolo Moldecreto); y hasta la fecha se conoce que es una de las pocas empresa en el país, que han construido viviendas de dos niveles basándose en el sistema colado in-situ, ejemplo de ello son ocho viviendas construidas en Jacarandas.

Del mismo modo pequeños constructores están poniendo en práctica este sistema para la construcción de proyectos similares, principalmente en zonas urbanas.

## **2.4.2 SISTEMA CAST-IN-PLACE** <sup>(33)</sup>.

### **2.4.2.1 DESCRIPCIÓN**

El Comité ACI 332, cubre el trabajo realizado en la construcción de viviendas de concreto coladas in-situ, tanto uni como bi familiares. Incluyen las prácticas recomendadas para las cimentaciones (fundaciones), zapatas, paredes y losas en rasante (interiores y exteriores).

Las recomendaciones prácticas son proporcionadas en este documento, para aquellas personas comprometidas en la construcción de viviendas de concreto. También se recopilan los detallados aceptables, estándares y provisiones del código ajustadas en el documento; las cuales tienen como finalidad asistir a

los constructores, viviendistas, contratistas y cualquier otro que tengan que ver con la recepción de la calidad de la construcción de las viviendas de concreto.

#### **2.4.2.2 PROCESO CONSTRUCTIVO.**

##### **2.4.2.2.1 PROCESO CONSTRUCTIVO SUGERIDO POR EL COMITÉ ACI 332.**

- **REQUISITOS PARA EL CONCRETO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS.**

- **Generalidades.**

El concreto para la construcción de viviendas involucra un equilibrio entre una economía razonable y los requisitos para lograr un concreto trabajable, con buenos acabados, durable, resistente y a la vez con una buena apariencia.

Las características requeridas son gobernadas por el uso previsto del concreto, las condiciones imperantes en el momento de la colocación y los factores medio ambientales que afectan el uso del producto.

- **Trabajabilidad.**

La trabajabilidad incluye la manejabilidad, consistencia y características de acabados. Buena trabajabilidad significa que el concreto puede ser desplazado, consolidado y brindar así acabados satisfactorios.

- **Durabilidad.**

La durabilidad es la capacidad del concreto de resistir el deterioro debido al desgaste provocado por acción atmosférica. Esto incluye efectos de: humedad y secado, exposición al calor-enfriamiento (cambios térmicos), agua de mar, sulfatos solubles en el suelo y productos químicos tales como fertilizantes.

- **Resistencia.**

La mínima resistencia a la compresión del concreto en libras/pulgadas cuadradas (Mpa) a los 28 días es la propiedad generalmente especificada para la mayoría de las construcciones con concreto. Esto es fácilmente medible e indica otras características deseables.

La dosificación para lograr un adecuado nivel de resistencia a la compresión es usualmente garantizada con propiedades vinculadas como resistencia a la tensión y baja permeabilidad para su satisfactorio empleo.

Cuando el concreto tiene un diseño especializado, puede ser necesario especificar la resistencia que será requerida a edades tempranas, por ejemplo para concreto post-tensado, la resistencia a los siete días debe ser especificada o sino la resistencia de trabajo en el sitio por postensionamiento. Sin embargo, la durabilidad puede ser un factor de calidad controlado en determinado tipo de concreto.

Especificar diseños por resistencia a la compresión no siempre garantiza una adecuada resistencia al deterioro producto de los ciclos de hielo-deshielo,

ataque de sulfatos o exposición al agua de mar. Además un buen proporcionamiento de aire incluido es siempre esencial para lograr una durabilidad adecuada.

- **Seleccionamiento del Concreto.**

La tabla 2.25 es una guía para el seleccionamiento de la resistencia del concreto adecuado para su uso en la construcción de viviendas de poca elevación. La primera consideración al usar esta tabla es identificar las condiciones medioambientales según el diseño a ser resistidas por la estructura. Se describen tres tipos de exposiciones: severa, moderada y leve, junto con las resistencias para el concreto y las aplicaciones típicas.

Tipo o localización de la construcción	Áreas regionales de desgaste por la acción atmosférica			Revenimiento nominal In (mm)
	Leve	Moderada	Severa	
	f'c	f'c	f'c	
Paredes de sótano y fundaciones no expuestas a la intemperie.	2500 psi 17 Mpa 175 Kg/cm <sup>2</sup>	2500 psi 17 Mpa 175 Kg/cm <sup>2</sup>	2500 psi 17 Mpa 175 Kg/cm <sup>2</sup>	6±1(150±25)
Losas de sótano y losas interiores en rasante	2500 psi 17 Mpa 175 Kg/cm <sup>2</sup>	2500 psi 17 Mpa 175 Kg/cm <sup>2</sup>	2500 psi 17 Mpa 175 Kg/cm <sup>2</sup>	5±1(125±25)
Paredes de sótano, fundaciones paredes exteriores, y otros elementos de concreto expuesto a la intemperie.	2500 psi 17 Mpa 175 Kg/cm <sup>2</sup>	3000 psi 21 Mpa 210 Kg/cm <sup>2</sup>	3000 psi 21 Mpa 210 Kg/cm <sup>2</sup>	6±1(150±25)
Vías de acceso, bordillos, pasillos, patios, pórticos, gradas y escaleras y pisos de cochera si calefacción, expuestos al intemperismo.	2500 psi 17 Mpa 175 Kg/cm <sup>2</sup>	3000 psi 21 Mpa 210 Kg/cm <sup>2</sup>	3500 psi 24 Mpa 246 Kg/cm <sup>2</sup>	5±1(125±25)
<b>IMPORTANTE:</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- El concreto debe ser proporcionado para que produzca la resistencia de diseño y el revenimiento necesario.</li> <li>- No se debe agregar agua adicional a la cantidad del diseño, puesto que provocaría una reducción en la resistencia.</li> <li>- Donde la experiencia local demuestra una historia de funcionamiento satisfactorio y cuando los códigos locales lo permitan, se puede utilizar una menor resistencia para el concreto (pero no menor de 2000 psi, 14 Mpa ó 140 Kg/cm<sup>2</sup>).</li> <li>- El método de ensayo ASTM C 143 debe ser utilizado para medir el revenimiento.</li> <li>- Con el uso de reductores de agua, o aditivos controladores de fraguado usados para producir concreto fluido (más de 7 in de revenimiento) se deben de mantener todos los demás requisitos de calidad del concreto.</li> </ul>				

Tabla 2.27: Selección de la Resistencia del Concreto. Mínima resistencia a la compresión f'c a los 28 días. Tomada de Guide to Residential Cast-in-Place Concrete Construction.



- **Concreto con Aire Incluido.**

Los concretos que estén sujetos a exposiciones severas o moderadas deberán ajustarse a los contenidos de aire acorde a los valores dados en la tabla 2.25.

Los valores indicados en la tabla 2.25, son necesarios para evitar, debido a un inadecuado contenido de aire, problemas de descascaramientos superficiales en climas donde las condiciones de exposición son severas.

La tabla 2.26, también brinda contenidos de aire para exposiciones mínimas de intemperismo, los concretos expuestos a este nivel de severidad no requieren aire incluido; pero en algunos casos es útil para mejorar la trabajabilidad y la cohesividad de las mezclas que podrían ser demasiado ásperas.

Un concreto con aire incluido puede obtenerse a través del uso de aditivos inclusores de aire o por el uso de concretos con aire incluido. Se recomienda que las mezclas de concreto estén proporcionadas con aire incluido porque la adición de aditivos inclusores de aire a este tipo de mezcla puede llegar a generar, por exceso, problemas de acabado.

Tamaño máximo nominal del agregado		Contenido típico de aire para concretos sin aire incluido (%)	Contenido Promedio de aire recomendado para concretos con aire incluido		
in	mm		Exposición mínima	Exposición moderada	Exposición severa
3/8	10	3.0	4.5	6.0	7.5
1/2	13	2.5	4.0	5.5	7.0
3/4	19	2.0	3.5	5.0	6.0
1	25	1.5	3.0	4.5	6.0
1 1/2	38	1.0	2.5	4.5	5.5

Tabla 2.28: Contenido Recomendado de Aire para Concreto de Peso Normal para Diferentes Niveles de Exposiciones al Ambiente. Tomado de Guide to Residential Cast-in-Place Concrete Construction.

#### ▪ Concretos Resistentes a los Sulfatos.

Los tipos de cemento y proporciones de agua-cemento conveniente para un concreto resistente al ataque de los sulfatos se muestran en la tabla 2.27. Las concentraciones del sulfato pueden determinarse mediante pruebas de laboratorio.

Exposición	Sulfatos solubles en agua (SO <sub>4</sub> ) en el suelo (%)	Sulfatos en el agua (SO <sub>4</sub> ), ppm	Cemento	Relación A/C máxima.
Mínima	0.00-0.10	0-150	-	-
Moderada	0.10-0.20	150-1500	II, IP(MS), IS(MS)	0.5
Severa	0.20-2.00	1500-10,000	V	0.45
Muy severa	Más de 2.00	Más de 10,000	V + puzolana	0.45

Tabla 2.29: Recomendaciones para Concreto de Peso Normal Sujeto al Ataque de los Sulfatos. Tomado de Guide to Residential Cast-in-Place Concrete Construction.

- **Características de Acabado.**

Una de las claves para una buena calidad de las superficies de las losas, es un concreto con buenos acabados. Esto significa que debe haber un buen equilibrio entre cantidad de materiales gruesos y finos, de modo que la mezcla no sea ni demasiado áspera ni demasiado viscosa o pegajosa. La mezcla debe ser proporcionada de manera que no se endurezca ni muy rápido ni muy lento a la temperatura a la cual será usada.

- **Pruebas al Concreto.**

Para verificar que el concreto entregado cumpla con las especificaciones, el comprador puede obtener una copia certificada de las proporciones de la mezcla. Para la construcción de pequeñas residencias normalmente no se le realizan ensayos al concreto. En proyectos con un considerable número de viviendas, el comprador puede solicitar pruebas de laboratorio, para determinar el revenimiento, resistencia a la compresión y (opcionalmente) el contenido de aire.

- **MATERIALES PARA CONCRETO.**

- **Ingredientes.**

El concreto consiste en cuatro ingredientes básicos. Un quinto ingrediente (aditivo), puede utilizarse para modificar al concreto.

Estos son:

- Cemento Pórtland
- Arena (agregado fino)
- Grava o roca triturada (agregado grueso)
- Agua
- Aditivos (químicos y/o minerales)

- **Cemento.**

El cemento con el agua actúan como un adhesivo entre las partículas de agregado para formar el concreto. El cemento utilizado para el concreto de las viviendas es usualmente cemento Pórtland tipo I o II, ó cemento con aire incluido tipo IA ó IIA. Los cementos mezclados, hechos con una combinación de cemento Pórtland con puzolana, o escoria de alto horno, también pueden usarse. Estos cementos se designan como tipo IP o IS, o (si tienen aire incluido) IP-A, ó IS-A en áreas geográficas donde los agregados son reactivos con los álcalis, deben ser utilizados cementos con bajo contenido de álcalis.

Para exposiciones moderadas a los sulfatos (150-1500 partes solubles de sulfatos por millón) y agua marina, es recomendado el uso de cemento tipo II, IP-MS, ó IS-MS. Para exposiciones severas (encima de 1500 partes solubles de sulfato por millón) podría requerirse el uso de cemento tipo V.

- **Arena.**

La arena utilizada para el concreto debe de cumplir con los requisitos dados por la ASTM C 33. Es conveniente que sea una arena limpia, sin contaminación de

cantidades dañinas de materia orgánica, arcilla, carbón, marga, ramas, raíces, maleza, u otro material deletéreo. Para agregados que son reactivos con el cemento, debe utilizarse cemento con bajo contenido de álcali, y en algunos casos también con una adición mineral.

- **Grava o Roca Triturada.**

La grava utilizada como agregado para concreto debe de cumplir con los requerimientos de la ASTM C33, con una gama que va desde ½ in (13 mm) hasta 1 ½ in (38mm) como tamaño máximo nominal; según sea la aplicación.

Generalmente cuanto más grande sea el tamaño del agregado la mezcla de concreto será más económica. Sin embargo con agregados gruesos más pequeños se mejoran la trabajabilidad y los acabados. Para agregados que son reactivos con el cemento, debe utilizarse cemento con bajo contenido de álcali, y en algunos casos también con una adición mineral.

- **Agua.**

Cualquier agua que sea potable y que no tenga ni sabor ni olor es satisfactoria como agua de mezclado para hacer concreto.

- **Adiciones Químicas.**

Adiciones químicas, o aditivos inclusores de aire pueden ser agregados al concreto para lograr ciertos efectos deseables como:

- Reducción de la cantidad necesaria de agua de mezclado.

- Incremento de la trabajabilidad con el mismo contenido de agua y cemento sin pérdida de resistencia.
- Acelerar del fraguado del concreto.
- Retardar el fraguado del concreto.
- Inclusión de cantidades apropiadas de aire para lograr mayor durabilidad y resistencia.

Si se usa un aditivo que contiene iones de cloruro en concreto reforzado o el concreto posee otro tipo de metales embebidos o si se utiliza un concreto colado sobre una placa de metal, la cantidad de iones de cloruro disueltas en agua debe de estar conforme a los límites impuestos en la tabla 2.28.

Categoría de servicio del concreto	Máximo contenido en el concreto de iones solubles en agua (Cl <sup>-</sup> ) en porcentaje por peso de cemento.
Concreto pre-tensado	0.06
Concreto reforzado que estará expuesto al ataque de cloruros, como muros de retención en el océano.	0.15
Concreto reforzado en seco o protegido la humedad.	1.0
Concreto reforzado que no estará expuesto a cloruros pero estará expuesto a ambientes húmedos	0.3

Tabla 2.30: Máximo Contenido de Iones de Cloro para Protección Contra la Corrosión.  
Tomada de Guide to Residential Cast-in-Place Concrete Construction.

- **Adiciones Minerales.**

Puzolanas naturales, cenizas volantes, y escoria de alto horno son adiciones que pueden ser utilizadas con el propósito de incrementar la resistencia del concreto a edades tardías, reduciendo las excesivas expansiones, producto de

la reacción álcali-sílice, o como finos adicionales cuando se requiere una mezcla más trabajable.

- **PROPORCIONAMIENTO, PRODUCCIÓN Y TRANSPORTE DE CONCRETO.**

- **Concreto.**

- ⊕ Proporciónamiento del concreto

El proporciónamiento del concreto es normalmente la responsabilidad del productor del concreto (premezclado). Sólo las consideraciones principales se perfilan aquí. El objetivo del proporciónamiento es determinar la más económica y práctica combinación de materiales disponibles para producir un concreto que cumpla, bajo las condiciones de servicio, satisfactoriamente las expectativas.

Esto requiere un buen conocimiento de las sollicitaciones de servicio y de las características básicas de los materiales disponibles, de las condiciones de colado y construcción, y de las características requeridas para el concreto a largo plazo.

Para alcanzar la calidad deseada, en el proceso de proporciónamiento de la mezcla se debe de tomar en cuenta las siguientes características: La resistencia de diseño, la durabilidad necesaria para la estructura, y que la trabajabilidad y consistencia de la mezcla sea tal que pueda llenar fácilmente el encofrado y envolver el refuerzo. Para lograr buenos acabados en las losas de concreto el diseñador de la mezcla deberá seleccionar los materiales para el

concreto de modo que se logre una dosificación adecuada de cemento, agregados, agua y adiciones químicas ó minerales.

El uso de cemento con demasiado fino mineral o demasiada cantidad de arena que pase los tamices N° 50, N°100 ó N° 200 pueden llegar a producir una mezcla demasiado viscosa o pegajosa. Asimismo si es necesario el uso de un aditivo inclusor de aire puede ser necesario reducir la cantidad de finos en la mezcla ya que podrían darse problemas de acabado.

En la tabla 2.29 se muestran las proporciones para concreto mezclado en el sitio para agregados en condiciones húmedos y sueltos.

Tamaño máximo del agregado		Mínimo contenido de cemento		Máximo contenido de agua		Proporción aproximada por volumen					
						Cemento		Agregado fino		Agregado grueso	
in	mm	b/yd <sup>3</sup>	b /m <sup>3</sup>	gal/b	l/b	ft <sup>3</sup> /b	m <sup>3</sup> /b	ft <sup>3</sup> /b	m <sup>3</sup> /b	ft <sup>3</sup> /b	m <sup>3</sup> /b
<sup>3</sup> / <sub>8</sub>	9	6.4	8.4	5	18.9	1	0.028	2 ½	0.07	2 <sup>3</sup> / <sub>8</sub>	0.067
½	13	6.3	8.3	5	18.9	1	0.028	2 ½	0.07	2 ½	0.070
¾	19	6.0	7.9	5	18.9	1	0.028	2 ½	0.07	2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	0.077
1	25	5.8	7.6	5	18.9	1	0.028	2 ½	0.07	3	0.084
1 ½	38	5.4	7.1	5	18.9	1	0.028	2 ½	0.07	3 ½	0.098
2	50	5.2	6.8	5	18.9	1	0.028	2 ½	0.07	4	0.112

Tabla 2.31: Proporciones de Concreto para Mezclado en el Sitio.  
Tomada de Guide to Residential Cast-in-Place Concrete Construction.



- **ENCOFRADOS.**

El encofrado se utiliza para mantener el concreto fresco en una posición y forma determinada. El encofrado utilizado puede ser fabricado en madera, plywood, o secciones modulares de acero, aluminio o fibra de vidrio. La hechura, alquiler o compra de los moldes depende de la precisión en las dimensiones, el rápido montaje y desmontaje de sus piezas, y del número de rehusos que se le puedan dar.

La mayoría de los sistemas utilizados pertenecen a las siguientes categorías:

- Marcos de madera laminada o metálicos.
- Todo de aluminio
- Madera laminada, con revestimiento metálico,
- Madera laminada
- Metálico.

- **ACERO DE REFUERZO.**

De manera general aunque no se requiere acero de refuerzo para viviendas de un nivel, es necesario realizar un diseño estructural y cumplir con los lineamientos de los códigos locales y las condiciones de soporte del suelo.

En algunos casos se debe de utilizar acero de refuerzo por temperatura para evitar ó minimizar el apareamiento de grietas, y fisuras.

- **JUNTAS.**

El concreto cambia su volumen debido a las fuerzas que actúan en él, tal como cargas sobrepuestas, contenido de humedad y temperatura. Estos cambios de volumen causan tensiones internas si se restringe la circulación del concreto. Para reducir estas fuerzas que lo restringen, el concreto no deberá colocarse contra otra parte de la estructura directamente, sin que se tenga el espacio adecuado para que el concreto circule libremente.

- **Tipos de Juntas** <sup>(33)</sup>.

Existen tres tipos de Juntas, las cuales se utilizan en losas y paredes de concreto, estas se mencionan a continuación:

- Juntas de aislamiento (también llamadas juntas de dilatación)
- Juntas de contracción (también llamadas Juntas de Control)
- Juntas de construcción.

- **Localización de las Juntas en Paredes.**

- ⊕ Juntas de aislamiento para paredes

Una junta de aislamiento se utiliza en cualquier sitio en donde una pared es unida a una losa o una pared independiente. Una junta de aislamiento entre la pared y la losa de piso o losa exterior permite un movimiento pequeño o leve, el cual sirve como una ayuda para prevenir el agrietamiento al azar debido a la contracción, rotaciones leves, o establecimiento de la losa.

#### ⊕ Juntas de contracción para paredes

Las juntas de contracción se recomiendan para la eliminación de contracción al azar, que agrieta las paredes cuando aún proporcionan estabilidad e impermeabilidad estructural. En general, el concreto residencial en paredes de sótano deberá tener 8 pies (2.5 m) alto nominal y 8 pulg. (200 milímetros) de espesor, las juntas de contracción verticales deben situarse a una distancia de 30 pies (9 m) a lo largo de la pared. Para las paredes de menos altura, el espaciamiento común de las juntas debe ser reducido.

Las juntas de contracción en paredes se forman, uniendo madera, metal, o tiras de plástico en las caras interiores del encofrado. Al lado exterior de la junta se le debe colocar un sellante termoendurecible químicamente tal como polisulfato, poliuretano, o silicón que siga siendo flexible después de su colocación. Después de que el surco se haya sellado cuidadosamente, con una cubierta protectora tal como una tira de fieltro de 12 pulgadas (300 milímetros) debe ser colocada sobre toda la junta por debajo de esta. Algunos constructores colocan un aislante de agua en las localizaciones de la junta de contracción para la protección adicional. Otro método es cortar las juntas de contracción en la pared con una sierra manual. Esto se debe hacer después de algunas horas de llevar a cabo el desmoldado (precisamente sin dejar pasar mucho tiempo), para prevenir que el agrietamiento ocurra al azar. En este método debe ser utilizado un aislante contra agua.

#### ⊕ Juntas de construcción en paredes

Las juntas verticales de construcción son raramente necesarias en una o dos casas situadas a la par. Si las juntas de construcción son necesarias casi siempre se localizan en las esquinas, los bordes de los pilotes, u otros lugares en donde serán encubiertos con eficacia. Por lo menos tres barras #4 se deben utilizar en cada junta de construcción vertical (tapa, fondo y centro) para mantener las secciones de la pared juntas. Un aislante contra agua puede ser requerido. Si es así antes del primer colado, el tapajuntas debe unirse con el concreto colado con anterioridad para formar un sello hermético. Después de que se haya sellado y se desmolde, el borde libre del tapajuntas debe sobresalir del concreto. De esa manera formará una barrera a través de una junta fría.

### • Unidades Empotradas

#### ⊕ Tapajuntas

Si las tapajuntas se necesitan en las paredes de fundación o en la construcción de otra sub-superficie, el tapajuntas debe ser colocado con seguridad y correctamente en el concreto de modo que su centro esté en línea con la junta.

#### ⊕ Sistema de tubería para conducir líquidos

Generalmente los tubos están hechos de cobre o hierro y estos descansan sobre una capa de concreto de 2 pulgadas. (50 milímetros) de profundidad y de 2 a 3 pulgadas (50 a 75 milímetros) de concreto sobre esta la cual es colocada habitualmente. Sin embargo el uso de estas dos capas separadas ha causado

problemas de mantenimiento. Por lo que son recomendados, cubos elaborados de concreto sólido o bloques para la ayuda de la tubería. Esta no debe apoyarse directamente en ningún suelo aislado o una sub-base. La tubería debe colocarse sobre una maya soldada de alambre, pero si esta es de cobre, la maya no debe estar en contacto con la tubería. Las juntas de contracción permiten el movimiento de la tubería así como también brindan protección contra cualquier contacto de agentes corrosivos tales como sales. Esta debe ser probada a presión antes de colocar el concreto. Durante la colocación del concreto la tubería deberá tener una presión de aire con la cual evita que esta se agriete por el peso del concreto. También para prevenir el agrietamiento el agua utilizada inicialmente debe ser tibia para calentar la losa gradualmente.

#### ⊕ Otros Elementos Empotrados

Todas las anclas empotradas, deberán estar colocadas, unidas y aseguradas en su posición para trabajar en conjunto antes de la colocación del concreto. Los pernos de las anclas para asegurar un travesaño de madera a una pared de la fundación pueden ser colocados después de que se coloque el concreto y antes de que endurezca.

- **CIMIENTOS Y PAREDES**

- **Localización de las Condiciones y Consideraciones de Drenaje para las Paredes y Cimientos.**

Con respecto a la investigación del suelo esta debe ser bastante cuidadosa para asegurar el diseño y la construcción de las fundaciones, estas deben tener bien presentes las condiciones del lugar donde se encontrará el edificio. En muchos casos, para la construcción residencial no es necesaria una investigación especial para la clasificación del suelo puesto que la experiencia local con los suelos encontrados en un sitio es extensa.

La topografía del sitio, la zona, la elasticidad, las condiciones inusuales del suelo y la experiencia en el área indica a veces que existe agua subterránea en grandes cantidades. Si es así las pruebas de sondeos deberán ser realizadas. Y estas consisten en cavar un agujero en un punto a varios pies por debajo del nivel propuesto de la base o cimentación del sótano. La altura del agua en el agujero indicará la elevación o el nivel del agua subterránea que se observa. Las pruebas o exámenes de sondeos también indicarán el tipo de suelo que existe en el lugar. Los suelos se clasifican ampliamente por su textura en grueso o fino. Los suelos de textura gruesa, como grava y arena, consisten en partículas relativamente grandes. En suelos de textura fina, como limo y arcilla, las partículas son relativamente pequeñas. Los limos y arcillas pueden requerir largos períodos de tiempo, para su consolidación cuando estos están bajo cargas de fundación, mientras que los suelos de textura gruesa consolidan

rápidamente. Las cargas de fundación residenciales son generalmente pequeñas y no causarán asentamientos significativos en la mayoría de los tipos de suelo; pero cuando se encuentran suelos de tipo orgánico, cohesivo y pegajoso como el de las arcillas, se debe tomar en consideración que el suelo puede variar o asentarse mucho tiempo después debido al asentamiento diferencial a largo plazo. Generalmente, los sitios que tienen suelos granulares de textura gruesa son los mejores, puesto que el agua en el lugar es baja.

El agua superficial se debe drenar lejos de la estructura. El acabado para el sitio debe tener una caída de  $\frac{1}{2}$  a 1 pulg. por pie (40 a 80 milímetros por m) por lo menos 8 a 10 pies (2.5 a 3.0 m) de la pared de fundación. En sitios de ladera la construcción de un drenaje de atajo en el lado alto del edificio puede ser necesario para conducir el agua superficial lejos de la pared del sótano. En sitios bajos, el edificio se debe construir arriba con un terraplén de agregado alrededor de las paredes, de modo que el agua fluya lejos en todos los lados. La salida del agua lluvia deberá ser en tubos de bajada la cual se debe desviar lejos de las paredes del sótano. Se deberán poner en práctica todos los medios aceptables para desviar el agua lejos de la casa por lo menos 3 pies (1 m), se pueden utilizar canaletas y soleras subterráneas.

- **Cimentaciones y Excavación.**

- ⊕ Excavación general

En buenos suelos cohesivos o de arcilla, la excavación se hace con el equipo mecánico por lo menos al nivel de donde empezara la cimentación. (la excavación debe ser más profunda si existe una capa granular por debajo de la losa del piso.) En los suelos no cohesivos o arenosos porosos se debe excavar toda la altura de la cimentación. Excepto en donde el ancho nominal es de 8 pulg. (200-milímetro) o paredes más gruesas deben ser hechas solamente en un lado, la excavación debe ser de 2 pies (0.6 m) más grande en todos los lados que el contorno de las paredes del sótano para proporcionar el sitio de trabajo para las operaciones de la construcción del sótano. Taludes muy altos deberán de aplanarse de 6 pies (2 m) o más.

- ⊕ Tamaño de la cimentación y excavación de la cimentación

Las cimentaciones se deben excavar a mano o con equipo especializado y por lo menos 2 pulg. (50 milímetros) en suelo natural el cual soportara la cimentación. La excavación de la cimentación debe ser por lo menos 6 pulg. (150 milímetros) debajo de la zona de la penetración, aunque el suelo firme que soportara la cimentación se encuentra en una profundidad más baja. El fondo de la excavación debe estar nivelado de modo que el fondo de la cimentación este uniformemente distribuido. Los constructores deben consultar el código local y regirse con sus regulaciones. En caso de que la excavación se haga demasiado profunda, se debe compactar bajo la cimentación, ya que la carga



no uniforme puede causar que el edificio tenga asentamientos desiguales. El exceso en la excavación se debe llenar de concreto como parte de la cimentación.

Donde las cimentaciones llevan parcialmente rocas, existe la posibilidad de un soporte desigual, la roca debe quitarse a aproximadamente 18 pulg (450 milímetros) debajo del fondo de la cimentación propuesta y sustituirlo por un amortiguador de arena. Un método alternativo de construcción es aumentar la profundidad de la cimentación de modo que toda la cimentación este apoyada en la roca.

En los lugares en donde el relleno controlado es permitido por códigos locales y donde el sitio se ha condensado a la densidad requerida, la cimentación se puede situar directamente en el relleno controlado. Si no, se recomienda que las cimentaciones estén hechas en el suelo imperturbado natural.

Los lados de la cimentación deben basarse en la carga y la fuerza que el suelo pueda soportar. Para la colocación de la pared, las cimentaciones deben ser por lo menos 4 pulg (100 milímetros) a cada lado de la pared que se construirá.

#### ⊕ Distribución de carga

Donde las condiciones del suelo son pobres, las cimentaciones deben ser más anchas para la distribución de las cargas sobre un área grande. Esto reduce la presión en el suelo de soporte. Estas cimentaciones requieren a menudo un

refuerzo especial. Cuando se encuentran las condiciones inusuales del suelo, las cimentaciones deben ser diseñadas por un ingeniero profesional registrado.

#### ⊕ Diseño de las paredes de la fundación

El refuerzo de las paredes sólidas de concreto del sótano o las cimentaciones no son necesarias, Excepto en áreas sísmico activas y donde existen condiciones de carga inusuales. Los requisitos nominales locales se presentan en el grosor de la pared para paredes de concreto sin refuerzo no cubiertas.

#### ⊕ Accesorios para las paredes de fundación

Losas de concreto o pasos que deben ser utilizados en una entrada a una residencia debe ser apoyados por una o más ménsulas en voladizo de la pared principal de la fundación. Las ménsulas se deben atar a la pared principal con las barras de refuerzo y al molde monolíticamente con la pared principal.

### • **Fundaciones Aisladas, Cimientos, y otras Paredes Exteriores.**

En algunas áreas el aislamiento se requiere 24 pulg. (600 milímetros) arriba de las paredes de los cimientos. El aislamiento se puede poner en la superficie exterior o interior de la pared, o puede ser colocado en el centro de la pared según se detalla a continuación:

- Aislamiento en la superficie exterior de la pared: Se guarda el concreto en el interior del aislamiento para proporcionar una ventaja en verano e invierno usando el concreto como disipador de calor. Sin embargo el aislamiento se

debe proteger (con una capa de yeso de cemento Pórtland), .contra daños mecánicos.

- Aislamiento en superficies exteriores e interiores: En algunos sistemas propios, el tablero de aislamiento se utiliza inicialmente como encofrado dentro del cual se cola el concreto para una pared y se deja en el lugar como aislamiento.

- **COLOCACIÓN DEL CONCRETO EN CIMENTACIONES Y PAREDES.**

- **Preparación de Encofrados y de la Subrasante.**

Antes de que el concreto se coloque en las cimentaciones, la subrasante debe ser humedecida. Los interiores de los encofrados y la subrasante bajo las cimentaciones se deben humedecer para prevenir la absorción excesiva del agua de mezcla del concreto. La humedad adicional no tiene que ser aplicada a los encofrados engrasados o a la subrasante húmeda. Los charcos de agua lluvia que se han formado en los encofrados de la cimentación o en la rasante deben ser bombeados antes de colocar el concreto. No siempre es posible conseguir una superficie totalmente seca, especialmente donde el nivel del agua es alto. Si esto sucede el concreto debe colocarse de una manera que desplace el agua sin mezclarse.

Los encofrados deben estar apoyadas y ser alineados antes de que el concreto se coloque para formar las paredes. Los encofrados deben ser construidos con seguridad. Cuando el sistema de encofrado es instalado, estos deben estar

sujetos unos con otros con seguridad y estar apoyados de acuerdo con las instrucciones del fabricante. La alineación de los encofrados debe ser comprobada antes y después de la colocación para asegurarse que la pared esté dentro de tolerancias requeridas.

- **Acceso para Maniobrar.**

Es importante planear el acceso de los trompos para concreto lo mas cerca posible a las paredes. Si no es posible que los trompos tengan acceso a varias localizaciones alrededor de los encofrados, las canaletas, los cochecillos, o las carretillas se pueden utilizar para movilizar el concreto. Cuando las canaletas de acero o canaletas cubiertas de acero con fondos redondeados se utilizan, la pendiente no debe ser mayor de 1 vertical a 2 horizontal y no menos que 1 vertical a 3 horizontal. El concreto del sótano también se puede colocar con un transportador o una bomba. Una bomba al máximo puede distribuir generalmente el concreto a todas las áreas de un sótano desde una sola posición.

- **Evitando la Segregación.**

El concreto se debe depositar en los encofrados que conforman la pared tan cerca como sea posible a su posición final. A excepción del concreto que se ha conocido como el "concreto fluido" con un movimiento lateral del concreto dentro de los encofrados evitando que se produzcan líneas de flujo, decoloración, así como también la segregación. Aunque éstos son a veces

aceptables y no son visualmente desagradables si están cubiertos con otros materiales, estos representan planos debilitados. Pueden también ofrecer una abertura para que el agua se filtre. Si las líneas de flujo ocurren estas pueden ser eliminadas mezclándolas con un concreto fresco. Pueden ser reducidas al mínimo por la buena ejecución y colocación en varios puntos críticos simultáneamente. Las prácticas de la construcción deben ser seguidas para reducir la posibilidad de segregación. El revenimiento excesivo hará que el concreto se separe en agregado y mortero, es decir, no tendrá cohesión, dando como resultado los bolsillos de piedra, panales y concreto permeable, aunque el concreto fluido, puede estar libre de estos problemas.

- **Revenimiento.**

Revenimientos de  $6 \pm 1$  pulg. ( $150 \pm 25$  milímetros) está se utiliza para la construcción residencial de paredes. La mezcla se debe proporcionar con bastante cemento para que la relación agua-cemento produzca la resistencia necesaria para tales revenimientos. La segregación y el sangrado excesivo puede ocurrir fácilmente con estos revenimientos. La proporción de la mezcla debe superar estos efectos aumentando la proporción de la arena y del cemento, por la adición de aire en el concreto o introduciendo una cantidad seleccionada de materiales tales como: cenizas volantes u otra adición mineral; logrando así reducir el contenido de agua, a través del control de las adiciones.. Si la colocación del concreto va a ser bombeado, la cantidad de agregado

grueso es disminuida generalmente en cantidades hasta de un 10 %, esta práctica es mejor cuando el revenimiento se ha aumentado.

El concreto con la alta fluidez, a veces es llamado “concreto fluido”, esta hecho usando varias adiciones.

El alto costo del concreto fluido puede ser compensado por ahorros en trabajos de colocación más eficiente, Los materiales siguientes se pueden utilizar en proporciones para la mezcla con la finalidad de hacer fluido el concreto:

- Es un Reductor del agua de alto rango (HRWR) conocido como súper plastificante.
- Aditivo convencional reductor de agua del (Tipo A\*) usada en dosificación muy altas.
- Un sistema de aditivos que incluye una alta dosificación de ajuste normal, aditivo reductor de agua (Tipo A \*) combinado con un acelerante, Tipo C o E, \* y así balancear el retraso causado por la alta dosificación.

- **Colocación del Concreto en Paredes.**

El concreto se debe colocar en una operación continua y en elevaciones uniformes de no más de 4 pies (1.2 m). La colocación del concreto se debe programar para llenar totalmente los encofrados.

- **Compactación del Concreto.**

El apisonamiento a mano y la consolidación del concreto proporciona la compactación adecuada. El concreto residencial es generalmente compactado

moviendo un pedazo de madera de construcción, o una barra de acero, hacia arriba y hacia abajo verticalmente, para consolidar el concreto y deshacer las bolsas de aire atrapado. Debe tenerse cuidado en este proceso para no golpear o raspar las superficies interiores de los moldes; tal acción podría quitar el desencofrante y crear problemas que pelen el molde.

Los vibradores son muy útiles en los moldes que se llenan debajo de los bloques que salen de la ventana, alrededor de los tapajuntas y de otros rellenos; también se recomiendan donde el aspecto arquitectónico de la pared es importante. Cuando se usa, el vibrador debe insertarse en muchos intervalos cerrados, para que el campo en el que influye cada inserción se traslape levemente en la inserción anterior. Este debe ser hundido en una masa colocada recientemente y bastante profunda para penetrar 6 pulg. (150 milímetros) y este es removido lentamente con un movimiento continuo. Los vibradores deben moverse de arriba hacia abajo, nunca deben permanecer en una posición en el concreto por seguridad, y ellos no debe ser arrastrado.

- **CURADO, ASERRADO, SELLADO E IMPERMEABILIZADO.**

El concreto correctamente mezclado, también colocado, y acabado requiere un curado apropiado. Esto implica prevenir la pérdida de humedad del concreto y mantener una temperatura en el concreto de 40 a 90 F (4 a 32 C) conveniente para el envejecimiento del concreto. Condiciones de curado favorables deben mantenerse como tal en la práctica. De tres a cinco días se consideran como

requisitos mínimos para la época de verano. En el invierno, las condiciones de favorables de curado, deben mantenerse aún por un tiempo mayor.

Las características deseables del concreto tales como: resistencia, hermeticidad, durabilidad, y resistencia al desgaste de la superficie es reforzada por un curado apropiado. En trabajos residenciales el curado todavía se omite ampliamente. Cualquier persona que esté involucrado en la buena calidad del concreto residencial debe cerciorarse de que el curado se realice correctamente.

- **Humedad para Curar el Concreto.**

Es necesario que la humedad y las temperaturas moderadas estén disponibles durante la hidratación (reacción química con agua) del cemento Pórtland en concreto. Si no hay humedad disponible, o si las temperaturas están por debajo de 40 °F (4 °C), la reacción de la hidratación prácticamente es suspendida; en estas condiciones la resistencia del concreto y otras propiedades deseables se desarrollan muy lentamente.

La pérdida de humedad puede reducir al mínimo, usando los métodos siguientes:

- ⊕ Por acumulación

Un método usado a veces para curar las losas es construir diques de tierra o de arena alrededor de los bordes de la losa y luego colocar agua dentro del área



delimitada. Mientras que este método es eficaz para curar, dependiendo de la construcción y puede también decolorar la losa.

#### ⊕ Aspersión

Se realiza la aspersión que se puede hacer, humedeciendo el concreto continuamente. Este método requiere la atención constante (puesto que la superficie no se debe permitir que se reseque) y, por esta razón, se utiliza en lo posible una cubierta para la conveniente retención de la humedad.

- **Temperatura de Curado.**

Cuando la temperatura del aire está por debajo de 50 °F (hasta aproximadamente 10 °C) o arriba de 90 F (máximo 32 °C), se debe considerar un curado en tiempo frío ó un curado en período caliente <sup>(33)</sup>.

#### **2.4.2.2 PROCESO CONSTRUCTIVO REALIZADO EN OBRA.**

El sistema de construcción para viviendas moldeadas y coladas in- situ, es un método que goza de mucha popularidad entre los ingenieros y arquitectos que se dedican a construir proyectos urbanos, ya que privilegia la velocidad y la sistematización, en cuanto a la administración y dirección técnica de los proyectos de viviendas.

- **ASPECTOS TÉCNICOS DEL SISTEMA.**

El sistema consiste: en el colado de paredes, utilizando concreto fluido (con un revenimiento mínimo de 7"), el cual es colocado entre moldes metálicos

(aleación de aluminio) contruidos con piezas que oscilan entre 4" x 12" hasta piezas de 24" x 24" (ver figura 2.37), con las cuales se forman los paneles de 24" de ancho por 96". (4 piezas de 24" verticales) ó 120" (5 piezas de 24" verticales), altura que depende de la ubicación del panel en la pared de la vivienda que se desea construir.

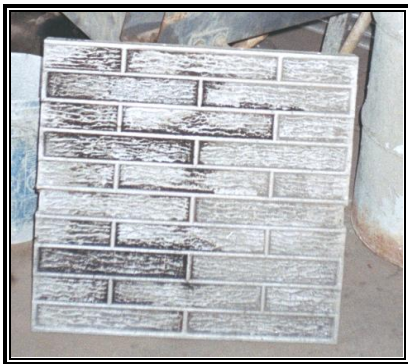


Figura 2.37: Piezas que conforman los paneles en un molde.

El ancho de los paneles de 24" por las alturas indicadas, resulta ideal operativamente hablando a la hora de moldear una vivienda; los paneles se modulan y se ajustan prácticamente a cualquier tipo de vivienda de un solo nivel.

Las soleras de coronamiento y los mojinetes, son un caso particular en la modulación, pues se deben ajustar tomando en cuenta el resto de las piezas de los moldes, sin olvidar, las pendientes establecidas para los techos.

Otras piezas que se ajustan de forma especial, son las que se colocan en espacios modulados para marcos de puertas, marcos de ventanas y esquineros, cuyo tamaño debe adaptarse según las necesidades del caso.

Los espesores de las paredes son variables, actualmente oscilan entre 0.08m y 0.12 m, dependiendo de las condiciones de la vivienda. Logrando los espesores requeridos con las piezas accesorias de los moldes y particularmente con los tamaños adecuados de los separadores utilizados.

- **VALOR ESTRUCTURAL DEL SISTEMA.**

Estructuralmente hablando, el sistema constructivo ha proporcionado una buena respuesta en viviendas de un solo nivel, sin embargo, la utilización del sistema en edificios de varios niveles, muros de retención, muros de cortantes y, en edificios de gran altura dependerán fundamentalmente del diseño de los mismos.

El diseño de algunos elementos estructurales tales como: las fundaciones, depende principalmente de la calidad de los suelos, ya que es un factor de mucha importancia aún en la construcción de viviendas de un nivel y que puede constituir una condicionante económica tanto para su estructuración como para la conformación de los demás elementos.

Los suelos arcillosos son indeseables en la cimentación de edificaciones, en este sentido es importante una evaluación inicial de la calidad y resistencia de los suelos donde se pretende desarrollar un determinado proyecto. En el caso de las viviendas coladas in-situ, cimentadas en suelos arcillosos, su deformación no solo afecta a las soleras de fundación, sino que también provocan grietas y fisuramientos en paredes.

- **PROCESO CONSTRUCTIVO.**

La construcción de viviendas se divide principalmente en dos etapas:

- a) Colado de la vivienda
- b) Acabado de la vivienda

En el colado de la vivienda se incluye desde el trazo inicial hasta el colado propiamente de las paredes, mientras que el acabado de la vivienda incluye desde la instalación de la estructura metálica que soportará el techo, hasta la limpieza final de la vivienda.

#### **a) COLADO DE LA VIVIENDA.**



Figura 2.38: Trazo y Colocación de Niveletas.

⊕ *Trazo y nivelación:* Con la incorporación de una cuadrilla topográfica (que realiza los trazos de los ejes principales del proyecto) se procede al trazo de la vivienda. Siempre y cuando se tengan las terrazas y lotes terminados (figura 2.38).

Esta actividad es desarrollada por un "topógrafo" quien se encarga de colocar niveletas (formando un corral) de tubo industrial cuadrado de 1" x 1", con lo cual marca los ejes de las paredes que conformaran la vivienda.

⊕ *Excavación para soleras de fundación y muretes:* Terminado el trazo, se procede a realizar la excavación para las soleras de fundación y muretes, respetando las dimensiones estructurales requeridas en el diseño tal cual se observa en la figura 2.39.



Figura 2.39: Excavación para Soleras de Fundación y Muretes.

⊕ *Armaduría de soleras de fundación y muretes:* El armador se dispone a



Figura 2.40: Armaduría de Fundaciones.

colocar el refuerzo estructural para las soleras y los muretes de cimentación de toda la vivienda, atendiendo siempre las especificaciones técnicas (ver figura 2.40).

Cuando se usa refuerzo prefabricado como en el caso de la estructo-malla, se logra una mayor rapidez en el tiempo de

colocación de los refuerzos, logrando armar la fundación de una vivienda en un tiempo de aproximadamente media hora. Para evitar el contacto del acero con el suelo se colocan "helados" de concreto (cubitos de 5x5x5 cm).

⊕ *Instalaciones eléctricas e hidráulicas:* Se hace una instalación "preliminar" (ver figura 2.41) de ductos eléctricos (para toma corriente e interruptores y polo a tierra), cajas de conexión, cajas rectangulares para instalaciones hidráulicas (mechas para lavamanos, inodoros y grifos).



Figura 2.41: Ductos para Instalaciones Eléctricas.

⊕ *Colado de solera de fundación:* Luego se elabora el concreto, siguiendo la dosificación proporcionada por un laboratorio de suelos y materiales. Para el colado de la solera, se debe tener limpia y necesariamente húmeda la



Figura 2.42: Colado de Soleras de Fundación.

superficie de contacto del suelo para proceder a depositar el concreto en el lugar correspondiente (ver figura 2.42).

Finalmente es indispensable nivelar con cuidado el colado de la solera, de tal manera que la superficie no afecte, cuando se realice la colocación del molde

para las paredes. La nivelación se realiza colocando un hilo que corre por encima de las soleras, apoyado en las niveletas y usando un escantillón para determinar el nivel de las soleras; éste es un aspecto muy importante en el proceso de construcción de la vivienda, ya que de ello depende la correcta colocación de los moldes.

⊕ *Moldeado del murete:* (pequeños muros que se localizan en la colindancia de los lotes y que son necesarios siempre y cuando exista una diferencia de niveles entre dos o más terrazas). Una vez colada la solera de fundación, se realiza la colocación de la estructo-malla y el moldeado del murete, cuando ya se ha colocado, nivelado, plomeado y apuntalado el molde metálico.



Figura 2.43: Colado de Muretes.

⊕ *Colado del murete:* Cuando el molde que conformará los muretes se ha colocado sobre la solera de fundación en las dos caras que conformarán el murete, se efectúa un colado preliminar hasta el nivel inferior de la solera de

fundación de la terraza superior (ver figura 2.43). Luego se retira el molde para dar paso a la compactación interior (al lado de la terraza superior) del murete; por último se hace un colado que es el de la solera de fundación de la terraza superior colindante.

Los muretes pueden tener diferentes estructuras tales como: doble malla o hierro especialmente diseñado. Esto depende específicamente de la altura del mismo, ya que actúa no sólo como un muro por gravedad, sino también como muro de retención.

Es importante dejar su colado a nivel, lo cual ayuda a que el molde de la pared se acomode perfectamente.



Figura 2.44: Armadura de Paredes.

*Armaduría de paredes:* El grupo de armadores comienza anticipadamente a preparar el refuerzo de cada una de las paredes que forman la vivienda; para ello recortan la estructo-malla (que es la que le proporciona el confinamiento necesario al concreto) a la medida de

cada pared, formando huecos para puertas y ventanas. Una vez que se tienen todas las piezas recortadas se procede a su colocación, amarrándolas a los pines que fueron dejados a propósito en la solera de fundación tal como se observa en la figura 2.44.

⊕ *Instalaciones eléctricas:* Se hace la instalación completa de ductos y cajas eléctricas para toma corriente, interruptores, luces y acometida principal. El trabajo consiste en colocar ductos, cables, cajas rectangulares y cajas térmicas. Todos estos elementos deben asegurarse lo suficiente como para que no sean removidos a la hora del colado de las paredes. Esta actividad es realizada por dos electricistas quienes logran instalar cinco viviendas en un día.

⊕ *Instalaciones hidráulicas:* Paralelo a la instalación eléctrica puede hacerse la instalación de las válvulas del sistema hidráulico, así como de todas las tuberías que quedarán embebidas en las paredes. Este trabajo es efectuado por un fontanero que es capaz de realizar la instalación a siete viviendas durante un día.



⊕ *Moldeado de paredes:* Inicialmente se preparan los paneles individuales de 24" de ancho por 96" ó 120" de altura dependiendo de la altura requerida y de la condición de la pared que se va moldear.

⊕ *Modulación.*

Es necesario comprender que la modulación es obligatoria para verificar la congruencia con el diseño de la vivienda, tomando en cuenta espacios arquitectónicos y tamaños de pared; y de ésta forma lograr una mayor eficiencia en la construcción misma.

Convenientemente, el diseño de cada vivienda se debe ajustar al tamaño estándar de los moldes, para luego obtener una comprobación práctica del diseño con la modulación y de ésta forma proceder a la construcción de la vivienda.

En la construcción con éste sistema, son determinantes los procesos que preceden el moldeado y colado de las paredes; así por ejemplo: el alineamiento tanto de soleras de fundación como de muretes, para la colocación de la estructo-malla (malla de alambón de aproximadamente 3 mm de diámetro, que es soldado de forma perpendicular entre sí, conformando cuadros de 0.10 m. por 0.10 m. o de 0.15 m por 0.15 m; y que a nivel local es comercializado en piezas de 2.40 m. por 6.00 m) que es un factor de suma importancia para lograr el alineamiento vertical en la pared ya terminada.

Usualmente, los moldes se ensamblan siguiendo un eje central en las soleras de fundación y en el caso de los muretes siguiendo la línea central de la cara exterior construida.

Es importante señalar que antes de hacer el colado se deben instalar parcialmente los sistemas hidráulico y eléctrico; simultáneamente la estructomalla de las paredes.

Una vez confirmada la modulación es necesario que una cuadrilla topográfica verifique los puntos de referencia para localizar el eje de una de las paredes laterales o de fachada.

Con los puntos de referencia establecidos, se procede al moldeado de la vivienda que comprende dos pasos: a) Alineado y b) Plomeado.



Figura 2.45: Alineamiento del Molde.

- *Alineado del molde:* Consiste en alinear el molde con respecto al murete, que ha sido colado con anterioridad, respetando un punto topográfico (ver figura 2.45).

- *Plomeado del molde:* Consiste en colocar de manera perfectamente vertical todo el molde que confinará las paredes, para lo cual juega un papel importante la distribución correcta de los puntales metálicos (ver figura 2.46).



Figura 2.46: Molde a Plomo.

⊕ *Colado de las paredes:* El último paso en esta etapa de la construcción de la vivienda es el colado (proceso que puede demorar entre ochenta y noventa minutos).

Es muy importante contar con el equipo necesario y adecuado, así como también con los materiales para la elaboración del concreto, ubicándolos cerca



Figura 2.47: Equipo Utilizado en el Colado de las Viviendas.

de las viviendas que serán coladas; con el objeto de optimizar el proceso de construcción. Con frecuencia se utiliza una concretera de dos bolsas y una bomba concretera con su respectiva tubería y accesorios (ver figura 2.47).

El proceso consiste en elaborar un concreto lo suficientemente fluido, para depositarlo entre los moldes (figura 2.48), vibrándolo (vibrador de aguja) ó varillándolo, de tal manera que pueda lograrse un buen acabado en las paredes.



Figura 2.48: Colado de la Vivienda.

Inmediatamente después de finalizar el colado (figura 2.49) se procede a realizar una verificación del alineamiento con el fin de asegurarse de que no haya un desplazamiento del molde después del colado de las paredes.

Una vez transcurrido un período de aproximadamente cuatro horas (en condiciones normales), se procede a desmoldar, para luego iniciar el curado de las paredes de la vivienda.

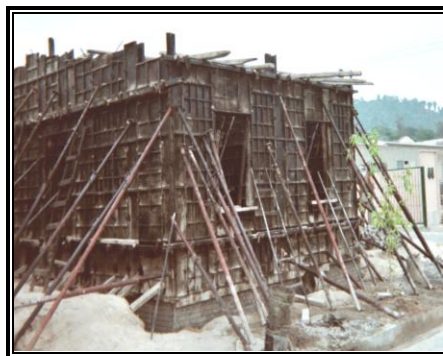


Figura 2.49: Vivienda Apuntalada después de Colada.

⊕ *Curado de las paredes:* Proceso que puede iniciar 12 horas después del colado y se puede realizar con una bomba fumigadora. Un buen curado permite

que el concreto alcance la resistencia deseada a los 28 días y además evita agrietamientos no deseables.

Cuando ya se ha removido el molde de las paredes de la vivienda, un grupo de trabajadores ligado estrictamente al sistema, se dedican a resanar todos los defectos dejados en las paredes durante el colado, y de esta forma finalizan el proceso de construcción de las paredes de la vivienda para luego iniciar la etapa de acabado de la vivienda (figura 2.50).



Figura 2.50: Curado y Resane en Paredes Terminadas.

Se considera que un conjunto de viviendas de tamaño mínimo (de 25.00 m.<sup>2</sup> de construcción c/u) con pared de colindancia entre dos viviendas, pueden ser coladas ambas viviendas, realizando dos colados al día; es decir que se pueden construir cuatro viviendas diarias con un juego de moldes; calculando un gasto aproximado de 184 bolsas de cemento (utilizando aproximadamente 8 bolsas por m<sup>3</sup> de cemento tradicional) para elaborar una cantidad de 23.00 m.<sup>3</sup> de concreto.

Comúnmente, se lleva a cabo el proceso constructivo tal cual se ha planteado; pero no es muy recomendable, debido al corto período que se proporciona para

la etapa de fraguado del concreto, al efectuar el desmoldado pasado un período de cuatro horas, no respetando el tiempo de fraguado inicial indicado por el A.C.I (correspondiente a 12 horas en condiciones normales). Aunque, el uso de aditivos justifica la reducción en los tiempos de fraguado inicial en el concreto.

## ***2.5 SUGERENCIA TÉCNICA PARA LA CONSTRUCCION DE VIVIENDAS DE PAREDES PREMOLDEADAS COLADAS IN-SITU.***

Como se ha mencionado a lo largo del presente trabajo de graduación, el sistema CAST-IN-PLACE (Viviendas Coladas In-situ) se caracteriza por ser uno de los sistemas de mayor estabilidad e integridad estructural, ya que su forma regular y la manera en que se construye, permite en la mayoría de los casos que se integren perfectamente los diversos elementos estructurales.

Es un sistema práctico y de altos rendimientos, que por su naturaleza, requiere de resistencias a compresión del concreto relativamente bajas, que varían desde  $140 \text{ kg/cm}^2$  hasta  $250 \text{ kg/cm}^2$ , siendo esta última especificada para casos extremos de exposición agresiva en condiciones de servicio.

En El Salvador se cuenta con una experiencia considerable en cuanto al uso del sistema CAST-IN-PLACE, debido a que gran parte del desarrollo habitacional ocurrido entre los años de 1980-1985 en municipios como Soyapango, Apopa, Ciudad Delgado, Ciudad Merliot, etc. muestran un excelente comportamiento estructural y funcional.

Además es de destacar que a pesar de haber ocurrido tres catastróficos terremotos (10/ octubre/1986; 13/enero/2001 y 13/febrero/2001) la durabilidad que han mostrado estos y otros proyectos construidos con el sistema, hace más de 30 años, ha sido admirable; es importante mencionar que la resistencia a la compresión especificada para los proyectos antes mencionados oscila entre los  $100 \text{ kg/cm}^2$  y  $120 \text{ kg/cm}^2$ , evidenciándose que para nuestras condiciones ambientales dichas resistencias a compresión se comportan satisfactoriamente. Sin embargo, en algunos de los últimos proyectos construidos se han observado problemas de durabilidad en las estructuras residenciales; y es donde al buscar las causas de dichos problemas y consultar con los viviendistas, se toca un punto muy importante; del cual existe una enorme discrepancia y desinformación por parte de los constructores, ya que en la mayoría de los casos se cree erróneamente que la durabilidad de las estructuras esta garantizada por la resistencia a la compresión del concreto. Entonces, si esta formulación errática fuera cierta, ¿Cómo es que las nuevas viviendas duran mucho menos que los proyectos desarrollados hace más de 30 años, si se sigue utilizando para la mayoría de los casos, concretos con resistencia a compresión cercanos a los  $100 \text{ kg/cm}^2$  ?.

Una de las razones de la falta de consenso sobre este punto, es que para muchos, resistencia es sinónimo de durabilidad, y esto surge del hecho de que algunos diseñadores, no obstante al estar altamente calificados en el análisis estructural, saben muy poco sobre el comportamiento del concreto, o inclusive

acerca de los factores que influyen en la puesta en servicio de éste. Por otro lado, gran parte del trabajo de laboratorio de la tecnología del concreto es realizado por profesionales que tienen un conocimiento mínimo de la acción estructural, y este desajuste crea a menudo conflictos especialmente cuando se trata de relacionar conceptos funcionales, estructurales y de durabilidad. Sin embargo los códigos vigentes fundamentados en prácticas ACI ordenan y definen claramente cada uno de estos conceptos; así como las diversas relaciones que existen entre ellos; por tal razón, los desacuerdos generados se podrían evitar, si los responsables de la obra prestaran atención a dichos documentos. Por tanto, a continuación se describen de manera general los términos Durabilidad y Resistencia:

#### ⊕ **DURABILIDAD.**

Es la capacidad del concreto de resistir el deterioro debido al desgaste provocado por la acción atmosférica, y/o cualquier proceso o condición de servicio de una estructura, Esto puede incluir efectos de humedad-secado, exposición generadoras de cambios térmicos, agua de mar, sulfatos solubles en el suelo, productos químicos, abrasión, etc.

Es decir, que la durabilidad no depende únicamente del diseño de la mezcla, ni de la resistencia alcanzada por el concreto; sino, que está en función del ambiente de exposición y las condiciones de servicio a las que está sometido el concreto. Por tanto, un concreto durable no existe por si mismo, ya que las características físico-químico-mecánicas que pudieran ser adecuadas para



ciertas solicitudes en particular, no necesariamente lo habilitan para seguir siendo durable bajo condiciones diferentes.

En este sentido, se obtienen resultados erróneos al exigir el cumplimiento de cierta resistencia como parámetro único de medida de la durabilidad.

#### ⊕ **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.**

La mínima resistencia a la compresión del concreto en unidades de fuerza/área a 28 días, es la propiedad generalmente especificada para la mayoría de las construcciones de concreto. Esta propiedad es fácilmente medible e indica algunas otras características deseables, en el concreto.

La resistencia a la compresión es usualmente garantizada por el diseño de la mezcla. Cuando el concreto tiene un diseño especializado, puede ser necesario especificar la resistencia que será requerida a edades tempranas.

Especificar diseños por resistencia a la compresión no siempre garantiza una adecuada resistencia al deterioro, producto de las condiciones ambientales, ataque de sulfatos o exposición al agua marina.

#### ⊕ **RELACIÓN DURABILIDAD-RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.**

Tradicionalmente, se asoció la durabilidad a las características resistentes del concreto y particularmente a su resistencia a la compresión, pero las experiencias prácticas y el avance en la ciencia en este campo, han demostrado que es solo uno de los aspectos involucrados, pero no el único ni el suficiente para obtener un concreto durable.

Un concreto puede estar diseñado para una resistencia a compresión relativamente alta; sin embargo esto no garantiza que durante la colocación del concreto, se logre la impermeabilidad y durabilidad requerida en el concreto endurecido, esto puede generarse por diversos motivos, los más usuales son la ausencia de buenas prácticas de colocación, compactación, curado y, en general del control de calidad del concreto en sí; es por ello que se considera de suma importancia tocar este punto a continuación, y enfocarlo al sistema de construcción de paredes premoldeadas coladas in-situ.

### **2.5.1 CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS COLADAS IN-SITU.**

⊕ **CALIDAD.** Del Latín Qualitas Ates; propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa, que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie.

Es importante destacar que las etapas del Control de Calidad básicamente son tres:

- Previsión (control de calidad de los constituyentes de la obra de ingeniería tales como arena, agua, agregados y aditivos).
- Acción (procesos constructivos).
- Historia (resultados obtenidos de las pruebas realizadas al concreto).

Durante la etapa de ejecución de la obra se deben de verificar las prácticas recomendadas para los procesos constructivos, como lo son el mezclado, manejo y colocación del concreto dentro del sistema de encofrado.

Para finalmente realizar informes y análisis estadísticos de la evolución de las características del concreto mediante el comportamiento histórico de la estructura expuesta a las solicitaciones medioambientales, y de diseño. Formando así de manera integral un “TODO”, con el objetivo de lograr los resultados esperados en el proyecto.

## **2.5.2 PROCESO CONSTRUCTIVO SUGERIDO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS COLADAS IN-SITU.**

Por décadas, los reglamentos y normas técnicas de diseño estructural (en El Salvador), han sufrido modificaciones, con la finalidad de mejorar y racionalizar diversos parámetros relacionados directamente con el comportamiento de las edificaciones.

Los documentos que generalmente se utilizan en la etapa del proyecto y diseño son:

1. Reglamento de la Seguridad Estructural de las Construcciones de la República de El Salvador.
2. Ley de Urbanismo y Construcción.
3. Norma Técnica para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.
4. Norma Técnica para el Control de Calidad de los Materiales.

Sin embargo, en el campo de la construcción y control de calidad de viviendas de uno y dos niveles, los esfuerzos por generar una norma iniciaron recientemente, hasta lograr obtener en la actualidad un documento muy valioso; que posee los elementos básicos para el diseño estructural y consideraciones importantes para la construcción de viviendas con concreto estructural.

Este documento es conocido como Norma Especial para el Diseño y Construcción de Viviendas (NEDCV), y aunque todavía no tiene carácter oficial, posee el amparo de un decreto ejecutivo.

Tomando en cuenta que en general, el comité ACI 318 no cubre todos los campos de la tecnología del concreto, se propone que la NEDCV debería de contener la información mínima de los materiales, técnicas y sistemas mencionados, remitiendo al consultor al comité ACI respectivo.

Para profundizar en determinado tópico, ésta acción debería realizarse mientras no se tenga en El Salvador normas propias, que enfatizen particularmente en cada una de las técnicas mencionadas.

El resumen de las referencias ausentes en NEDCV se menciona en el siguiente listado.

- ACI 211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Concrete. (Práctica Estándar para la Selección y Proporcionamiento de Mezclas de Concreto).
- ACI 225R Guide to the Selection and Use of Hydraulic Cements. (Guía para la Selección y Usos de Cementos Hidráulicos).

- ACI 332 Guide to Residential Cast-in-Place Concrete Construction. (Guía para la Construcción de Sistemas Estructurales Utilizando Concreto Moldeado y Colocado en el Lugar, para Uso Residencial).
- ACI 303 Guide to Cast-in-Place Architectural Concrete Practice. (Guía para la Práctica de la Construcción de Sistemas Estructurales Utilizando Concreto Moldeado y Colocado en el Lugar par Uso Arquitectónico).
- ACI 530 Specifications for Masonry. (Especificaciones par Mampostería Utilizando Bloques de Concreto).
- ACI 333R Guide for Precast Concrete Wall Panels. (Guía para la Construcción de Paredes y Paneles Prefabricados de Concreto).
- ACI 549R State-of-the-Art on Ferrocement. (Estado del Arte del Ferrocemento).
- ACI 506 Guide to Shotcrete. (Guía para el Concreto Lanzado).
- ACI 117 Tolerances for Concrete Construction and Materials. (Tolerancias para los Materiales Utilizados en la Construcción con Concreto).
- ACI 230.1R State-of-the-Art on Soil Cement. (Estado del Arte del Suelo Cemento).
- ACI 229R Controlled Low Strength Materials. (Materiales de Resistencia Baja Controlada).
- ACI 302.1R Guide for Concrete Floor and Slab Construction. (Guía para la Construcción de Losas y Pisos de Concreto).

- ACI 360R Design of Slab on Grade. (Diseño de Losas de Concreto sobre el Terreno).
- ACI 121R Quality Assurance Systems for Concrete Construction. (Sistemas de Aseguramiento de la Calidad para la Construcción Utilizando Concreto).
- **RESULTADO DE LA CORRECTA APLICACIÓN DE LAS NORMAS TÉCNICAS ANTERIORMENTE MENCIONADAS.**

En la figura 2.51, se muestra un tipo de viviendas moldeada y colada in-situ, siguiendo el proceso sugerido por las especificaciones.



Figura 2.51: Viviendas Construidas de Manera Correcta.  
Tomada de Revista Iscyc Nº38; Septiembre, 2005.

- **SUGERENCIA CONSTRUCTIVA PARA VIVIENDAS COLADAS IN-SITU.**

Inmediatamente de haber realizado todas las obras de terracería, topografía y excavaciones respectivas, se aplica el proceso que se describe a continuación:

- ⊕ **CIMENTACIÓN.**

Trazar el perímetro de la vivienda, para luego colocar los moldes que conformarán las soleras de cimentación, según los planos de la vivienda.

Luego, descapotar el terreno removiendo la capa vegetal, rellenar con material nuevo (selecto), hasta dejarlo compactado y nivelado.

A continuación, se puede ubica exactamente el acero de refuerzo, de la cimentación, las instalaciones hidráulicas, sanitarias y eléctricas. (ver figura 2.52).

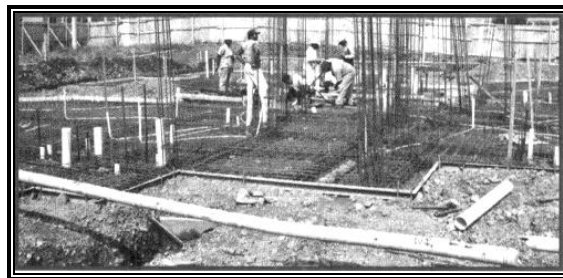


Figura 2.52: Cimentaciones.  
Tomado de Manual de Forza.

- ⊕ **COLADO DE LA LOSA DE CIMENTACIÓN.**

Antes de colar el concreto, se debe hacer una revisión final, para asegurarse que todo el molde este debidamente fijo. Luego para obtener un mejor acabado en la losa, utilizar una regla niveladora y un vibrador durante el proceso de colado. (ver figura 2.53).

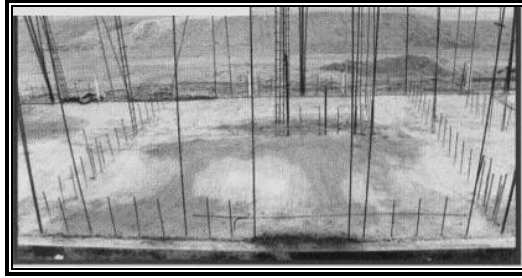


Figura 2.53: Colado de la Losa.  
Tomado de Manual de Forza.

#### ⊕ COLOCACIÓN DE LA MALLA.

La primera operación en el encofrado del muro, es realizar el replanteo; verificando el trazo de la losa de cimentación, ubicación exacta de los muros y su correspondiente espesor, comprobando que los amarres estén lo más centrados posibles, dentro del espesor del muro.

En cuanto al espesor de los muros: se deben trazar 4 líneas, las dos internas establecen el ancho del muro y las dos externas corresponden al ancho del muro, más el espesor del molde (formaleta, espesor de 55 mm).

Se continúa amarrando con alambre las varillas salientes de la losa, a las mallas electrosoldadas de los muros, y si es necesario se instalan las varillas de refuerzo de los mismos.

Al colocar la malla, se debe tener cuidado con las esquinas, para que quede instalada en ángulo recto y no se genere una curva, es decir que esté a plomo. (ver figura 2.54).





Figura 2.54: Colocación de la Electromalla.  
Tomado de Manual de Forza.

#### ⊕ COLOCACIÓN DE PINES.

Sobre las dos líneas interiores marcadas, perforar con un taladro a cada 60 cm e introducir un pasador sobrante de malla.

La función del pasador es servir de tope a la formaleta, para mantener el ancho del muro y servir de guía para que los moldes queden bien alineados, (ver figura 2.55).

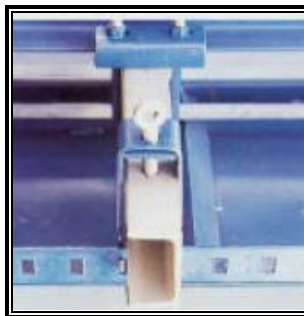


Figura 2.55: Colocación de Pines.  
Tomado de Manual Uni - Span.

#### ⊕ INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y SANITARIAS.

Instale los separadores (helados) para evitar que la malla se fije al muro; así como también para que el refuerzo se ubique en su posición final.

Sujete muy bien a la malla las cajas eléctricas y los conductos eléctricos, sanitarios y de gas (si existieran) para evitar que se desplacen y/o queden dobladas al momento del colado.

Para que las cajas eléctricas tengan un excelente amarre, utilizar una varilla en la base de la caja y dos verticales conformando una U.

Las cajas eléctricas deben ser rellenas con papel mojado para evitar la filtración del concreto. (ver figura 2.56).



Figura 2.56: Instalaciones Eléctricas y Sanitarias. Tomado de Manual de Forza.

#### ⊕ **MONTAJE DE PAREDES.**

NOTA: Antes de iniciar el montaje se verifica que los moldes tengan aplicado el desencofrante.

Se inicia con la instalación en las esquinas de la edificación, ubicándolas sobre los trazos o replanteo de la vivienda.

Se debe fijar al esquinero del muro un molde a cada lado, formando escuadra, para dar estabilidad. (ver figura 2.57).

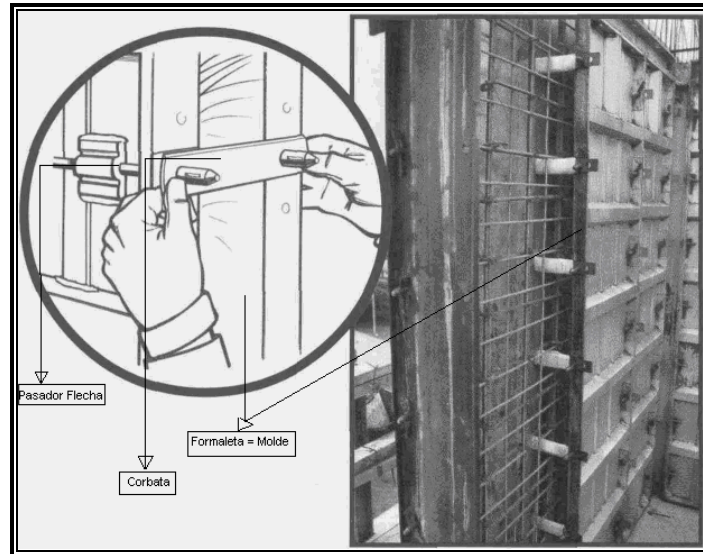


Figura 2.57: Montaje de Paredes.  
Tomado de Manual de Forza.

#### ⊕ SECUENCIA DE INSTALACIÓN.

Colocar la corbata (separador de las formaletas, permitiendo obtener un muro de espesor homogéneo y absorber el esfuerzo de la fundición), insertándola en el extremo de los pasadores, amarrando así el molde interior con el molde exterior.

Finalmente, se inserta una cuña a través de la ranura del pasador con el fin de fijar el molde.

Una vez asegurada la esquina, continúe ensamblando simultáneamente los moldes exteriores del muro y las del muro interior repitiendo los pasos anteriores, hasta completar la vivienda.

A medida que se unen los moldes entre sí, verificar que estén alineados en la línea demarcada.

#### ⊕ **MARCOS DE PUERTAS Y VENTANAS.**

Para garantizar que las puertas y ventanas mantengan la dimensión requerida, se coloca un tensor. En las ventanas se debe colocar a 1/3 en la parte superior del vano y en las puertas se coloca en la parte inferior del vano.

#### ⊕ **REVISIÓN FINAL.**

Antes de cada colado de concreto, el personal de supervisión debe revisar todo el montaje, verificar que los muros queden bien a plomo, nivelados y alineados. Asegurándose de la correcta y total instalación de los accesorios.

#### ⊕ **ESPECIFICACIONES DE CONCRETO PARA PAREDES.**

En paredes, utilizar concreto desde 84 kg/cm<sup>2</sup> hasta 210 kg/cm<sup>2</sup>; con extensibilidades entre 18” y 24” pulgadas” y la grava empleada desde 3/8” hasta 1” pulgada, dependiendo del ancho de pared requerido.

La temperatura del concreto debe ser menor de 32 °C, y el contenido de aire en la mezcla debe ser menor del 5%.

Generalmente, para obtener la fluidez necesaria se utiliza un aditivo superfluidificante y muchas veces también se hace necesario usar un aditivo acelerante de fraguado, que permite agilizar el proceso de desencofrado.

#### ⊕ **COLADO DEL CONCRETO.**

El colado del concreto premezclado se puede realizar con grúa (bache), bomba ó baldes, teniendo en cuenta las ventajas o desventajas en cuanto a la edad, tiempo, costo, productividad, calidad, etc.

Cualquiera que sea el sistema utilizado se debe tener en cuenta las siguientes precauciones, para lograr un buen resultado:

Inicie el colado en una esquina del muro, permitiendo que el concreto fluya.

Luego se procede a golpear exteriormente el molde, con un martillo o mazo de caucho (para que el agregado del concreto sea desplazado hacia el centro y así obtener una superficie de muy buen acabados simultáneamente con el vaciado del concreto).

Inicie el vibrado una vez que el concreto empiece a estabilizarse, utilizando un vibrador de aguja de 35 mm, para extraer el aire del concreto.

Evite efectuar colados de concreto a alturas mayores a 4 m, que es la altura máxima donde el comportamiento del molde es excelente.

Nota: inmediatamente después del colado del concreto, lave con agua a presión el dorso de los moldes, evitando que el concreto se adhiera.

#### ⊕ **DESMONTAJE DE LOS MOLDES EN PAREDES.**

- Inicie el desencofrado de los moldes de las paredes, justamente a la mitad de una pared interior y en una esquina de las paredes exteriores.
- Retire los alineadores y los porta-alineadores, las cuñas y pasadores y desplace hacia la izquierda los pasadores-flecha que van fijos al molde.
- Desencofre en ambos lados de la pared, asegurándose que los paneles se halen hacia atrás de forma uniforme para garantizar la calidad en el acabado del concreto.

### **2.5.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALMENTE APLICADAS EN LOS PROYECTOS DE VIVIENDAS DE UN NIVEL COLADAS IN-SITU, EN EL SALVADOR.**

El sistema constructivo será de paredes de concreto colado y moldeado en sitio, con simulación de ladrillo visto como acabado.

El sistema estructural consiste:

- Paredes de concreto reforzado de 8.0 cm de espesor armadas internamente con una malla electrosoldada de alambre calibre 70 distribuido en cuadrículas de 150 x 200 mm. Esta malla está anclada a las estructuras de la cimentación, mediante pines de acero grado 70 de 3.2 mm de diámetro.
- El sistema de fundación de la estructura principal consiste en soleras continuas, desplantadas a una profundidad mínima de 30 cm, bajo el nivel de piso, sobre un suelo con capacidad portante de 15 T/m<sup>2</sup>, de acuerdo a lo estipulado en el estudio de suelos.
- El sistema de techos esta diseñado con cubierta de lámina acanalada estándar de fibrocemento, soportada por polines espaciales.
- En todos los bordes de los vanos, debe colocarse, como mínimo una varilla N° 3 adicional al refuerzo de la pared. Este refuerzo debe extenderse por lo menos 60 cm más allá del vano <sup>[4]</sup>. Norma Especial para el Diseño y Construcción de Viviendas N° 6.4.6

---

[4] Norma Especial para el Diseño y Construcción de Viviendas N° 6.4.6

- Los materiales estructurales deberán cumplir con las especificaciones para varilla corrugada ASTM C-615 y tendrá un esfuerzo de fluencia mínimo de  $f_y = 500 \text{ kg/cm}^2$  (para la malla de refuerzo y los bastones de anclaje a la fundación).
- Los agregados para el concreto deberán cumplir con la norma ASTM C-33, a menos que se demuestre con pruebas especiales que producen un concreto con resistencias adecuadas.
- La autorización y recepción de los sistemas de abastecimiento y drenaje de aguas negras, será responsabilidad de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillado (ANDA).
- Deberán construir las obras de protección necesarias dentro de los límites de propiedad cuando las diferencias de niveles entre terrazas proyectadas y las colindantes sean mayores o iguales a 1.00 m.
- La presente obra deberá regirse en materia estructural por el reglamento para la seguridad estructural de las construcciones de La República de El Salvador. Especialmente por:
  - La Norma Especial para Diseño y Construcción de Viviendas.
  - La Norma Técnica para Diseño Sísmico y Construcción de Viviendas.
  - Por las especificaciones técnicas establecidas en la memoria de cálculo y los planos.

#### ⊕ **ESPECIFICACIONES ESTRUCTURALES GENERALMENTE APLICADAS.**

- Se deberá usar acero de alta resistencia grado 70.
- Refuerzo Vertical de  $\Phi 6$  mm
- En Soleras se usará 3  $\Phi 5.5$  mm, 5 mm @15 cm.
- EL refuerzo en cargaderos de puertas y ventanas será igual que en las soleras.
- En el refuerzo de coronamiento se usará  $\Phi 6$  mm
- Bastones de Puertas y ventanas se usará  $\Phi 6$  mm
- Concreto  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ .

Aunque respecto a las resistencias del concreto utilizado en este tipo de obra, en la tabla 2.32, se muestran las tolerancias establecidas por las diferentes entidades que rigen al país.

<b>MINIMA RESISTENCIA EXIGIDA PARA LAS VIVIENDAS COLADAS IN-SITU</b>	
OPAMMS	140 $\text{kg/cm}^2$
Norma Local de Vivienda 2004	175 $\text{kg/cm}^2$
Comité ACI 332 para Viviendas Coladas in-situ	175 $\text{kg/cm}^2$

Tabla 2.32: Tolerancias Establecidas para las Resistencias del Concreto.

#### **2.5.4 PROBLEMAS FRECUENTES EN LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS.**

La planificación para la realización de cualquier obra de construcción debe ser tomada muy en cuenta, como un compromiso de todos los que participan en la elaboración de determinada obra, para brindar una buena calidad y así evitar problemas que puedan perjudicar a las empresas y más aún al propietario de la



obra. Algunos de los problemas que se dan por un mal control de calidad se presentan a continuación:



Figura 2.58: Consolidación Deficiente  
Tomada de Revista ISCYC.

En la figura 2.58 se puede observar que el concreto ha sido varillado y/o golpeado de manera errónea, es decir, tiene una mala consolidación.

No se debe perder de vista como un mal proceso constructivo puede afectar a toda la obra; es por ello que es necesario ejercer un estricto control de la fluidez del concreto, el cual esta dado en las especificaciones de la obra, y así evitar colmenas y burbujas de aire en los miembros colados (tal cual se muestra en las figuras 2.59 y 2.60.)



Figura 2.59: Concreto sin Fluidez  
Tomada de Revista ISCYC.



Figura 2.60: Formación de Colmenas.  
Tomada de Revista ISCYC.

Los vicios en la construcción pueden causar muchos inconvenientes en la obra, las figuras 2.62 y 2.63, muestran los planos de debilidad después de colocado el concreto, en donde una vez terminada la estructura se observa la falla (grietas).

Las fallas más comunes se dan generalmente, donde se colocan los helados, (debido a que normalmente se realizan con un concreto de menor resistencia al que será empleado en la obra). También donde se coloca la ductería, toma corriente o cajas de electricidad, puesto que no se tiene un estricto control de calidad en cuanto a la colocación de estos. A continuación en las figuras 2.61, 2.62 y 2.63 se muestran los vicios más comunes.



Figura 2.61: Malos Procesos Seguidos para la Colocación de Cajas, Tomas de Corriente y Ducterías.  
Tomada de Revista ISCYC.



Figura 2.62: Grietas Generadas por Malos Procesos Constructivos.  
Tomada de Revista ISCYC.



Figura 2.63: Agrietamiento Ocasionado por Planos de Debilidad en Puertas y Ventanas.  
Tomada de Revista ISCYC.

Además de las fallas anteriormente observadas, se presentan fallas en las uniones o esquinas (puertas y/o ventanas) que generan desconfianza en la obra terminada.

El concreto cambia su volumen debido a las fuerzas que actúan en él, tal como cargas sobrepuestas, contenido de humedad y temperatura. Estos cambios de volumen causan tensiones internas si se restringe la circulación del concreto; es

por esto que para evitar que el concreto se agriete se le debe dejar un espacio adecuado para la libertad de movimientos, conocido en el medio como “junta”.

Las juntas pueden ser de diferentes tipos tales como: Juntas de aislamiento (también llamadas juntas de dilatación), Juntas de contracción (también llamadas juntas de control) y Juntas de construcción.

Las juntas de aislamiento se utilizan en los puntos de acoplamiento incluyendo el ensamblaje entre los elementos similares y los no similares de una estructura de concreto. Por ejemplo: separan las paredes y las columnas de los pisos (en altura).

Las juntas de contracción se llevan a cabo dentro de un elemento estructural, para acomodar los movimientos causados por los inevitables cambios de temperatura.

Las juntas de construcción son juntas realizadas por conveniencia, o debido a las necesidades del proceso constructivo. Esto significa que generalmente las juntas de construcción están localizados en donde se termina de colar el concreto al final del día y que luego se continúa al día siguiente, o donde, por otras razones, el colado del concreto es interrumpido por un lapso considerable de tiempo, es decir donde el concreto nuevo no enlaza con el concreto viejo.

La planificación de las juntas es muy importante, porque de lo contrario, la junta queda en mal estado, o si no se realiza, el concreto se agrietara en forma aleatoria. La figura 2.64 muestra un mal planteo y realización de las juntas de

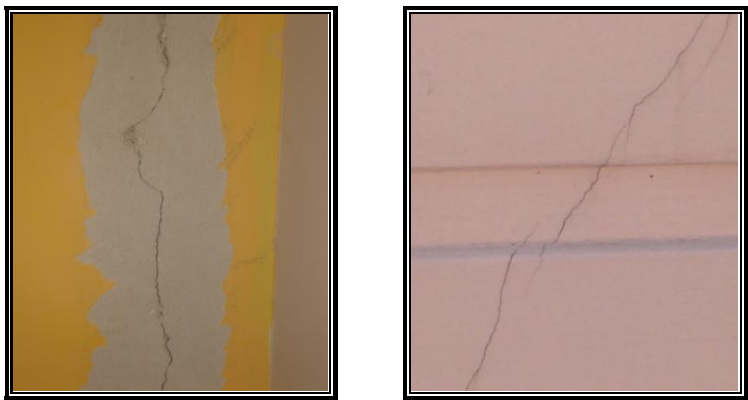


Figura 2.64: Fallas Ocasionadas por la Falta de Juntas de Contracción, en donde el Concreto se ha Agrietado Aleatoriamente.  
Tomada de Revista ISCYC.

contracción.



## **CAPÍTULO III:**

### ***DISEÑO DE MEZCLA Y ENSAYOS DE LABORATORIO.***

#### ***3.1 INTRODUCCIÓN.***

La dosificación del concreto implica el equilibrio entre una economía razonable y los requisitos específicos de consistencia, resistencia, durabilidad y apariencia.

Para fines de éste análisis se deben considerar los parámetros que se detallan a continuación:

La trabajabilidad: es una propiedad del concreto que determina su capacidad de ser colado, compactado apropiadamente y poseer un acabado sin segregación nociva.

La consistencia es la relativa movilidad del concreto al momento de su colocación y se mide en términos del revenimiento; cuanto más elevado sea el revenimiento, más agua contiene la mezcla e interviene en la facilidad con que el concreto fluye durante el colado.

El requerimiento de agua aumenta conforme los agregados son más angulosos y de textura más áspera, en cambio disminuye conforme aumenta el tamaño máximo de los agregados bien graduados y con la inclusión de aire.

La resistencia a la edad de 28 días es frecuentemente usada como parámetro para el diseño estructural, proporcionamiento y evolución del concreto.

Respecto a la durabilidad, se puede decir, que el seguimiento de buenas prácticas para la elaboración, manejo y colocación del concreto, así como una baja relación agua-cemento prolonga la vida de éste al reducir la penetración de líquidos agresivos.

En caso de utilizar un aditivo, siempre se deben consultar las especificaciones del producto para determinar la dosificación requerida.

Es importante destacar que en la presente investigación para obtener el diseño de mezcla óptimo, se toman en cuenta las recomendaciones descritas por el comité ACI 332R (Cast in place) para la construcción de Viviendas Coladas In-situ, en las cuales predominan los requisitos de cohesividad, fluidez y trabajabilidad; teniendo presente también que el concreto deberá adecuarse a los demás elementos que conforman el sistema, tales como: mallas electrosoldadas, instalaciones eléctricas e hidráulicas, dimensiones de moldes y espesores de paredes.

Tomando en cuenta que el procedimiento para la dosificación de mezclas por el método ACI 211.1, es aplicable al concreto de peso normal, se considera que:



- a. La estimación de los pesos de la mezcla de concreto requerido, implica una secuencia de pasos lógicos y directos que de hecho, ajustan las características de los materiales disponibles a una mezcla adecuada para el trabajo.
- b. Para la obtención de los pesos por metro cúbico de concreto, se puede aplicar la secuencia de pasos que se muestra a continuación:
  - Elección del Revenimiento.
  - Elección del Tamaño Máximo del Agregado.
  - Cálculo del Agua de Mezclado y el Contenido de Aire.
  - Selección de la Relación Agua-Cemento.
  - Cálculo del Contenido de Cemento.
  - Estimación del Contenido de Agregado Grueso.
  - Estimación del Contenido de Agregado Fino.
  - Ajustes por Contenido de Humedad y
  - Ajustes en la Mezcla de Prueba.

- **AGREGADOS PARA CONCRETO DE PESO NORMAL**

- ⊕ **AGREGADO GRUESO.**

El material utilizado en el diseño de mezcla pertenece a las reservas de la EMPRESA CONCRETERA SALVADOREÑA S.A. DE C.V. se trata de una grava procedente de la pedrera denominada La Cantera S.A. de C.V., ubicada

sobre el km 57 ½ , carretera que conduce al Puerto de La Libertad en San Diego a un costado de la Carretera Litoral.

Dicha cantera es propiedad de CONCRETERA SALVADOREÑA S.A. DE C.V.; y se ubica a una distancia de 35 km de San Salvador, limitando al norte con la Hacienda Tepeagua, al sur con la Carretera Litoral, al este con la montaña El Zancudo y al oeste con el río El Jute (ver figura 3.1 y tabla 3.1).

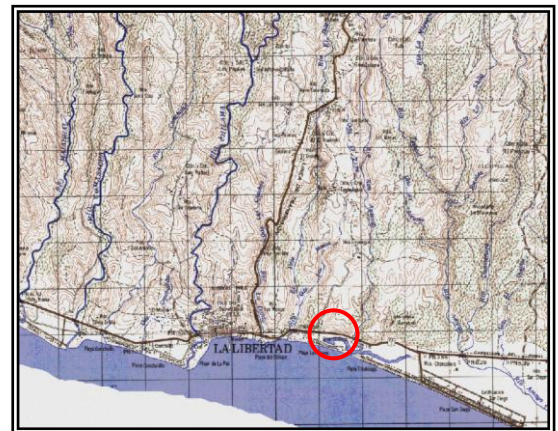
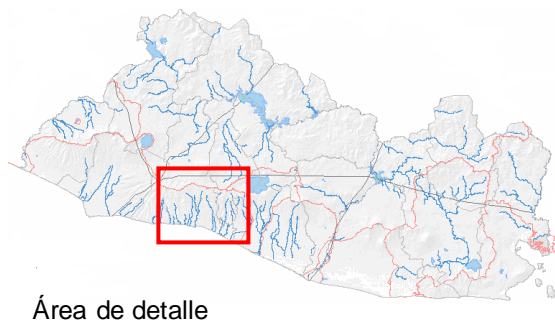


Figura 3.1: Ubicación de la Cantera "La Cantera".

Cuadrante Esc: 1:50 000		Coordenadas		Lambert	
Nombre	Hoja	Latitud	Longitud	x : 4 68 720	x : 4 68 440
La Libertad	2356 IV	263.0-263.5	467.7-468.5	y : 2 63 920	y : 2 63 300

Tabla 3.1: Coordenadas de Ubicación de la Cantera S.A. de C.V.

- **Geología del Yacimiento.**



Figura 3.2: Discontinuidades Rellenas de Óxido.

El yacimiento está constituido por dos derrames de lavas de composición básica (basalto - andesita basáltica). La colada inferior contiene basaltos columnares, mientras que la superior es muy variable desde vertical progresando a sub-horizontal y a veces

hasta formando rosetas. En ambos casos forman prismas hexagonales (ver figura 3.2).

- Basaltos columnares: La colada lávica basal está compuesta por basaltos de color gris oscuro en fractura fresca, y café amarillento en la superficie. Poseen textura afanítica con fenocristales de plagioclasas; dureza y densidad alta.

Los hexágonos tienen lado mayor que va desde 1.00 a 1.25 m las cuales contienen fisuras con manchas de óxidos de hierro y óxidos de manganeso que sirven de planos de debilidad por donde se rompen los bloques.

- Colada Superior: Está constituida por lavas basálticas a andesitas basálticas, de color gris muy oscuro en fractura fresca y café amarillenta en la superficie. Textura afanítica con matriz hialina y fenocristales de plagioclasas; dureza y densidad alta. Debido a que en estas lavas se observa una matriz más vítrea,

los fragmentos se rompen dejando aristas muy agudas. Estas lavas presentan discontinuidades semicirculares, convexas, hasta llegar a formar rosetas.

Dichas lavas se depositaron en una superficie irregular de acumulación y por eso tienen un espesor desigual, consecuentemente dispusieron de condiciones de enfriamientos heterogéneos, generando corrientes de convección durante el proceso de enfriamiento. Esta condición particular genera juntas parcialmente verticales a sub-verticales progresando a horizontales y cóncavas hasta dar formas de rosetas.

De las dos capas de lavas, la superior tiene mayor número de juntas debido a la presencia de las complejas discontinuidades y al tamaño de las secciones pequeñas de sus hexágonos, además es la que más facilidad presenta para el



Figura 3.3: Discontinuidades.

proceso de explotación y de trituración (ver figura 3.3). Estos factores hacen más económicos el proceso de reducción del tamaño de las partículas para su comercialización. Los bloques inferiores (de basalto) resultantes del proceso de

explotación deben ser sometidos a fragmentación, usando pólvora para reducirlos a los tamaños adecuados ya que sus secciones son muy grandes.

- **Clasificación del Agregado Grueso.**

El agregado Grueso se puede clasificar como sigue:

- Por su origen: Es definida como un "Agregado Natural", formado a partir de rocas ígneas o endógenas de tipo extrusivo, producto de la solidificación por enfriamiento rápido del magma fundido; geológicamente es definido como un basalto con una superficie fina de color negro.
- Por el método de fragmentación: Se considera como una "Grava Manufacturada" producto de la trituración artificial, que garantiza la forma, granulometría y limpieza del mismo.
- Por el tamaño de las partículas: Se clasifica como un "Agregado Grueso" con tamaño máximo nominal de 3/4".
- Por sus propiedades químicas: Se considera un "Material Inerte", es decir que no reacciona químicamente con los otros componentes del concreto.

#### ⊕ **AGREGADO FINO**

El material fino utilizado para la mezcla de concreto de peso normal fabricado con cemento de mampostería, pertenece a las reservas de Concretera Salvadoreña S.A. de C.V. Es una arena natural de color gris con presencia de pómez, procedente de Aguilares sobre el km 40.

- **Clasificación del Agregado Fino.**

- Por su origen: Es definida como un "Agregado Natural", producto de la desintegración o fragmentación de rocas preexistentes debido al intemperismo y la erosión; su ubicación es producto del proceso de transporte y su depositación es por causas naturales en las riveras del cause.

- Por el método de fragmentación: Se considera una "Arena Natural" triturada únicamente por fuerzas de origen natural, sometida posteriormente a un proceso de sanidad a través de un lavado antes del acopio, por lo que se define como la "Arena de Mediano Proceso".

- Por el tamaño de las partículas: Se clasifica como un "Agregado Fino" con partículas de tamaños menores a 4.75 mm (malla N° 4).

- Por sus propiedades químicas: Se considera un "Material Inerte", es decir que no reacciona químicamente con los otros componentes del concreto.

### **3.2 PRUEBAS A LOS AGREGADOS PARA CONCRETO.**

El muestreo de los agregados es muy importante, podría decirse, que es igual de importante como el ensayo, es decir que, si existe un mal muestreo los datos que se obtendrán no serían confiables ni homogéneos, y esto daría como resultado una pérdida de recursos y tiempo. Por lo cual se requieren métodos y especificaciones ya establecidas que brinden los cuidados que se tendrían para un buen muestreo y así conseguir datos y resultados confiables. Las prácticas o

métodos que a continuación se presentan han sido utilizados para la obtención de muestras de agregados, los cuales serán empleados en la presente investigación para la elaboración del diseño de mezclas de concreto.

### **3.2.1 Práctica Estándar para Muestreo de Agregados ASTM D-75.**

Este método muestra las precauciones y consideraciones que se tienen para el muestreo de los agregados, los cuales pueden servir para los siguientes propósitos:

- Investigación preliminar en la fuente potencial de suministro
- Control del producto en la fuente de suministro
- Control de las operaciones en el sitio de uso
- Aceptación o rechazo de los materiales

Existen varios procedimientos que deben seguirse para las diferentes condiciones en las que se encuentren los agregados, tales como:

- Muestreo de un Flujo de Descarga de Agregados (Descarga de una Banda o Contenedor.
- Muestreo desde una Banda Transportadora.
- Muestreo desde una pila de Almacenamiento o Unidad de Transporte y
- Muestreo desde la Carretera (Bases y Sub-bases).

Para la presente investigación se utilizó el procedimiento de “muestreo desde una pila de almacenamiento o unidad de transporte”. En general, se debe evitar muestrear agregado grueso o mezclas de agregado grueso y fino de una pila de

almacenamiento o unidades de transporte siempre que sea posible, para tales casos el procedimiento debe asegurar que la segregación (la cual ocurre frecuentemente cuando el material es apilado, con partículas gruesas rodando a la base exterior de la pila) no presenta una seria desviación en los resultados. Se deben emplear equipos mecanizados para desarrollar una separación adecuada, realizar muestras pequeñas para formar apilamientos compuestos de materiales, los cuales son tomados de varios niveles y localizaciones en el apilamiento principal, después del cual algunas porciones pueden ser combinadas para formar la muestra de campo. Cuando no es posible emplear equipo mecanizado, las muestras del apilamiento deben ser realizadas por lo menos de tres porciones, las cuales son tomadas de la parte superior, de la zona media y de la parte inferior del volumen de la pila. Una tabla empujada verticalmente en la pila justamente por arriba del punto de muestreo ayuda a prevenir la segregación.

Las muestras deben protegerse para evitar pérdidas o contaminación de alguna parte de la muestra o daño del contenido, por lo cual serán colocadas en bolsas, sacos u otros recipientes que sean adecuados para el transporte. También deben tener una identificación individual fijada en etiquetas que estén protegidas para evitar el deterioro, en la cual se incluya: lugar de procedencia, fecha de muestreo, tipo de agregado y nombre de los ensayos a realizar y de ésta forma tener un acopio de materiales, tal como el que se observa en la figura 3.4.





Figura 3.4: Acopio de Agregados.

### **3.2.2 Práctica para Reducir Muestras de Agregado a Tamaños de Ensayo ASTM C-702.**

Esta práctica describe tres métodos; el método A (Cuarteo mecánico), método B (Cuarteo Manual) y el método C (Apilamiento en Miniatura), para la reducción de muestras de agregado total obtenida en el campo a un tamaño apropiado para ser ensayado, para la realización de un número de ensayos que sirvan 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. Para la reducción de las muestras de agregados gruesos y finos, se utilizó el Método A, se realiza con un partidador de muestras mecánico, el cual debe tener un número igual de

conductos a ambos lados, pero no menos que un total de ocho conductos para agregado grueso, y doce conductos para agregado fino (para agregado grueso y mezclas de agregado, el ancho mínimo del conducto individual será aproximadamente de 1.5 veces o más el tamaño máximo de las partículas en la muestra) en donde se coloca la muestra original que se deberá distribuir uniformemente en toda la longitud de este, para cuando pase por las aberturas el agregado, fluya aproximadamente en igual cantidad a través de ellas (ver figura 3.5 y 3.6). La velocidad que tendrá el agregado al ser depositado en los receptáculos debe ser tal que permita un flujo continuo por las aberturas, este procedimiento se usa hasta que aproximadamente la muestra tenga la masa requerida para los ensayos solicitados.



Figura 3.5: Partidor Mecánico para Agregado Grueso.



Figura 3.6: Partidor Mecánico para Agregado Fino.

### 3.2.3 Determinación de Impurezas Orgánicas de los Agregados Finos para Concreto ASTM C-40.

Este ensayo es realizado para la determinación preliminar de la aceptabilidad del agregado fino con respecto a los requerimientos de la Especificación ASTM C 33, en lo referente a la presencia de impurezas orgánicas perjudiciales en el agregado fino, el cual será usado para la elaboración de una mezcla de concreto hidráulico. Estos procedimientos son a base de una solución de color estándar o el uso de una carta de colores estándar. La muestra de ensayo deberá tener una masa alrededor de 450g y este será reducido por cualquiera de los procedimientos descritos en la Práctica ASTM C 702. Se agrega una solución de hidróxido de sodio en un recipiente junto con el agregado fino hasta que el volumen combinado de agregado fino y solución sea de aproximadamente 200 ml, después es dejado en reposo por 24 horas y son comparadas con una carta de colores para ser examinadas y así determinar si existen impurezas perjudiciales en el agregado fino (ver figura 3.7).

El uso de un agregado fino que no cumpla con el ensayo no es prohibido, siempre que la decoloración sea debida principalmente a la presencia de carbón, lignito o partículas discretas similares.



Figura 3.7: Ensayo para la Determinación de las Impurezas en el Agregado Fino.

De acuerdo con la tabla 3.2, se determinó que la placa orgánica correspondiente al ensayo en cuestión es la N° 2, (Color Estándar Gardner N° 8); por lo que resultó un color más claro que el de referencia, ó Placa Orgánica N° 3.

COLOR ESTÁNDAR GARDNER N°	PLACA ORGÁNICA N°
5	1
8	2
11	3 (Estándar)
14	4
16	5

Tabla 3.2: Escala de Clasificación de la Colorimetría.  
Tomada de la ASTM C 40.

### 3.2.4 Especificación Estándar para Agregados para Concreto ASTM C-33.

Esta especificación define los requisitos para graduación y calidad del agregado grueso y fino, y se considera que es adecuada para asegurar materiales satisfactorios para la mayoría de concretos.

El agregado fino deberá consistir en arena natural, arena manufacturada o una combinación de ambas y deberá ser graduado de acuerdo a los límites que se muestran en la tabla 3.3, que a continuación se muestra.

Malla (Especificación E11)	Porcentaje Pasando
9.5 mm (3/8pulg.)	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85

600 $\mu\text{m}$ (N° 30)	25 a 60
300 $\mu\text{m}$ (N° 500)	5 a 30
150 $\mu\text{m}$ (N° 100)	0 a 10

Tabla 3.3: Graduación para el Agregado Fino.  
Tomada de ASTM C-33.

Además el agregado fino no deberá tener más del 45% pasando cualquier malla y su módulo de finura debe estar en el rango de 2.3 a 3.1.

El agregado grueso deberá consistir de grava, grava triturada, piedra triturada, escoria de alto horno enfriada al aire o concreto de cemento hidráulico triturado, o una combinación de ellos, conforme a los requisitos de esta especificación. Los requisitos para el tamaño máximo especificado se muestran en la tabla 2 del anexo de la especificación ASTM C 33.

### **3.2.5 Análisis Granulométrico y Cálculo del Módulo de finura ASTM C-136.**

En este método de ensayo determina la distribución del tamaño de las partículas del agregado grueso y fino por medio de un tamizado o cribado por mallas sucesivas de una masa conocida de este, que será tomada en base al Tamaño Máximo Nominal, para determinar la cantidad en porcentaje de los diferentes tamaños de las partículas (la cantidad de material en cada una de las mallas debe ser tal que todas las partículas tengan oportunidad de alcanzar las aberturas de las mallas un número de veces durante el tamizado), en el agregado fino las mallas que se utilizan en este ensayo van desde la malla No 4 hasta la malla No 100 (para concreto las mallas utilizadas son 3/8", No 4, No 8,

No 16, No 30, No 50 y No 100 ); ver figura 3.8 y 3.9. Los agregados deberán ser secados en horno a una temperatura constante de  $110\pm 5$  °C por un tiempo de  $20\pm 4$  horas.

El tamaño de la muestra de ensayo de agregado grueso o mezclas de agregado grueso y fino será conforme con la tabla 3.4.

Tamaño Máximo Nominal, Aberturas Cuadradas		Tamaño de la muestra de ensayo, mínimo.	
Milímetros	Pulgadas	Kilogramos	Libras
9.5	3/8	1	2
12.5	1/2	2	4
19.0	3/4	5	11
25.0	1	10	22
37.5	1 ½	15	33
50	2	20	44
63	2 ½	35	77
75	3	60	130
90	3 ½	100	220
100	4	150	330
125	5	300	660

Tabla 3.4: Tamaño de la Muestra de Ensayo, basado en el Tamaño Máximo Nominal. Tomada de ASTM C-136

El tamaño de la muestra de ensayo para el agregado fino, después de secado debe ser mayor o igual a 300 g. Las mallas que son ocupadas para él cálculo

del módulo de finura en el agregado fino se presentan a continuación en la tabla 3.5:

<b>Mallas utilizadas para el Cálculo del Módulo de Finura</b>	
150 $\mu\text{m}$	No 100
300 $\mu\text{m}$	No 50
600 $\mu\text{m}$	No 30
1.18 mm	No 16
2.36 mm	No 8
4.75 mm	No 4
9.5 mm	3/8"

Tabla 3.5: Mallas Utilizadas para el Cálculo del Módulo de Finura. Tomada de ASTM C-136

El módulo de finura es el resultado de adicionar el porcentaje total de material en la muestra que es mas gruesa que cada una de las mallas que se presentaron en la tabla 3.5 (porcentaje retenido acumulado) dividido por 100.

Para prevenir una sobrecarga de material en una malla individual se puede usar uno de los siguientes métodos:

- Inserte una malla adicional con tamaño de abertura intermedia entre la malla que puede ser sobrecargada y la malla inmediata superior del conjunto original de mallas.
- Se debe partir la muestra en dos o más porciones, tamizando cada porción individualmente. Combine la masa de las porciones retenidas en una malla específica.
- Usar mallas que tengan un tamaño de marco grande y provea un área de tamizado mayor.

- El período suficiente para el tamizado por mallas es tal que después de completado, no más del 1% de la masa del material retenido en alguna malla individual pase esa malla durante 1 minuto de continuo tamizado manual.

Cuando el tamizado de la masa total de la muestra este terminado, se deberán sumar las masas retenidas parciales de cada una de las mallas y esta se verificará con la masa inicial de la muestra. Si la cantidad difiere por más del 0.3% basado en la masa original de la muestra seca, el resultado no debe ser usado para propósitos de aceptación.

Los resultados son usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de las partículas el cual es expuesto en la norma ASTM C 33.



Figura 3.8: Mallas para Granulometría del Agregado Grueso



Figura 3.9: Equipo Utilizado para la Granulometría del Agregado Fino (Rop-Tap)



Los resultados de las granulometrías realizadas a los materiales en estudio se presentan a continuación en las tablas 3.6 y 3.7.

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM C-136</b>					
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>		<u>Agregado Grueso (Grava)</u>			
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>		<u>16 de Julio de 2005</u>			
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>		<u>18 de Julio de 2005</u>			
<b>RESPONSABLES:</b>		<u>Jorge Castaneda</u>			
<b>MASA TARA, g =</b>	<b>226.5</b>	<b>MASA TARA + MUESTRA, g =</b>	<b>6250</b>	<b>MASA MUESTRA, g =</b>	<b>6023.5</b>
<b>MALLA</b>	<b>M. RETENIDO PARCIAL (g)</b>	<b>MASA RETENIDA (%)</b>	<b>RETENIDO ACUMULADO (%)</b>	<b>QUE PASA LA MALLA (%)</b>	
<b>1"</b>	0	0	0	100.0	
<b>3/4"</b>	212.5	3.5	3.5	97.0	
<b>1/2"</b>	2600.5	43.2	46.7	53.0	
<b>3/8"</b>	1342.0	22.3	69.0	31.0	
<b>No.4</b>	1611.0	26.7	95.7	4.0	
<b>FONDO</b>	257.0	4.3	100.0	0.0	
<b>SUMAS</b>	6023.0	100.0			

Tabla 3.6: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM C-136</b>					
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>		<u>Agregado Fino (Arena)</u>			
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>		<u>15 de Julio de 2005</u>			
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>		<u>18 de Julio de 2005</u>			
<b>RESPONSABLES:</b>		<u>Glenda Campos</u>			
<b>MASA TARA, g =</b>	<b>160.6</b>	<b>MASA TARA + MUESTRA, g =</b>	<b>513.8</b>	<b>MASA MUESTRA, g =</b>	<b>353.2</b>
<b>MALLA</b>	<b>M. RETENIDO PARCIAL (g)</b>	<b>MASA RETENIDA (%)</b>	<b>RETENIDO ACUMULADO (%)</b>	<b>QUE PASA LA MALLA (%)</b>	
<b>3/8"</b>	0	0	0	100.0	
<b>No.4</b>	6.90	1.95	1.95	98.0	
<b>No.8</b>	29.50	8.35	10.31	90.0	
<b>No.16</b>	55.40	15.69	25.99	74.0	
<b>No.30</b>	89.90	25.45	51.44	49.0	
<b>No.50</b>	97.30	27.55	78.99	21.0	
<b>No.100</b>	53.90	15.26	94.25	6.0	
<b>No.200</b>	13.50	3.82	98.07	2.0	
<b>FONDO</b>	6.80	1.93	100.00	0.0	
<b>SUMAS</b>	353.20	100.00			

Tabla 3.7: Análisis Granulométrico del Agregado Fino.

### 3.2.6 Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso ASTM C-127

En este método de ensayo una muestra de agregado grueso (ver tabla 3.8.) es inmerso en agua por  $24 \pm 4$  h con el objeto de rellenar sus poros. (el agregado deberá pasarse por la malla N° 4 y lavarse antes de comenzar el ensayo) Después la muestra se remueve del agua y las partículas son secadas superficialmente con un paño o franela absorbente hasta que toda la película visible de agua sea removida (se debe evitar la evaporación de agua de los poros del agregado durante la operación de secado superficial) para mantenerse en estado saturado superficialmente seco (SSS), se procede a determinar su masa en este estado. El volumen de la muestra es determinado por el método de desplazamiento de agua (método de la canastilla), Finalmente

la muestra es secada al horno, para determinar su masa seca. Los resultados obtenidos en este método son utilizados para el diseño de la mezcla de concreto. Para una mejor comprensión se muestran las figuras 3.10 y 3.11.

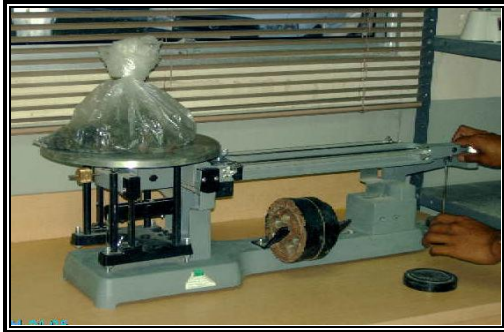


Figura 3.10: Determinación de la Masa del Agregado Grueso en Estado Saturado Superficialmente Seco



Figura 3.11: Secado de Agregado Grueso

La tabla 3.8, muestra la masa mínima que debe tener la muestra para que el ensayo sea representativo:

Tamaño Máximo Nominal		Masa mínima de la Muestra de Prueba	
Milímetros	Pulgadas	Kilogramos	Libras
12.5 o menos	1/2 o menos	2	4.4
19.0	3/4	3	6.6
25.0	1	4	8.8
37.5	1 ½	5	11
50	2	8	18
63	2 ½	12	26
75	3	18	40
90	3 ½	25	55
100	4	40	88
125	5	75	165

Tabla 3.8: Masa Mínima de la Muestra para un Ensayo Representativo. Tomada de ASTM C-127

La tabla 3.9, que se presenta a continuación contiene los resultados de los agregados para la determinación de la gravedad específica:

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO  
ASTM C-127**

MUESTRA: Grava  
 F. DE MUESTREO: 14 de Julio de 2005  
 F. DE ENSAYO: 16 de Julio de 2005  
 RESPONSABLES: Glenda Campos, Jorge Castaneda

<b>MUESTRA No: 1</b>		<b>MUESTRA No: 2</b>	
MASA TARA (g):	803	MASA TARA (g):	810
MASA SATURADA, W <sub>sss</sub> + TARA (g):	3873	MASA SATURADA, W <sub>sss</sub> + TARA (g):	3992
MASA SATURADA, W <sub>sss</sub> (g):	3070	MASA SATURADA, W <sub>sss</sub> (g):	3182
MASA SUMERGIDA NETA, W <sub>sum</sub> (g):	1895	MASA SUMERGIDA NETA, W <sub>sum</sub> (g):	1974
MASA SECA, W <sub>seca</sub> + TARA (g):	3827	MASA SECA, W <sub>seca</sub> + TARA (g):	3950
MASA TARA (g):	803	MASA TARA (g):	810
MASA SECA, W <sub>seca</sub> (g):	3024	MASA SECA, W <sub>seca</sub> (g):	3140
AGUA (g):	46	AGUA (g):	42
ABSORCION, (%)	1.52	ABSORCION, (%)	1.34
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA:	2.57	GRAVEDAD ESPECIFICA SECA:	2.60
GRAVEDAD ESPECIFICA SSS:	2.61	GRAVEDAD ESPECIFICA SSS:	2.63
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA PROM	2.59	GRAVEDAD ESPECIFICA SSS PROM	2.62
ABSORCION PROMEDIO, (%)			1.40

**FORMULAS:**

Absorcion (%):  $[W_{sss}(g) - W_{seca}(g)] \times 100 / W_{seca}(g)$

G. E. Seca:  $W_{seca}(g) / [W_{sss}(g) - W_{sum}(g)]$

G. E. SSS:  $W_{sss}(g) / [W_{sss}(g) - W_{sum}(g)]$

Tabla 3.9: Determinación de la Gravedad Especifica y Absorción del Agregado Grueso.

### **3.2.7 Práctica Estándar para la Gravedad Específica y Absorción del**

#### **Agregado Fino ASTM C-128**

La muestra de agregado que será ocupada para este ensayo deberá haberse tamizado por la malla N° 4 y después sumergirse en agua por  $24 \pm 4$  h para rellenar sus poros, la muestra (o una porción de esta) se coloca en un recipiente graduado y el volumen de la muestra se determina por el método gravimétrico (es usado un frasco con un picnómetro en el borde superior) o volumétrico (es usado un frasco de Le Chatelier). Finalmente, la muestra se seca al horno y la masa se determina nuevamente. Usando entonces los valores de masa obtenida y formulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción.

El procedimiento se describe a continuación: La muestra es secada al aire hasta llegar a la condición saturado superficialmente seco (SSS), la cual es comprobada por el llenado de un molde en forma de cono truncado con parte de la muestra, y esta deberá ser apisonada dentro del molde con 25 golpes ligeros por medio de un pison, cuando el agregado se desmorone después de remover el molde, es allí donde se habrá obtenido la condición deseada para este ensayo. Teniendo la masa del picnómetro aforado ó lleno totalmente, se procede a pesar una masa de  $500 \pm 10$  g de agregado fino para el ensayo, el cual será introducido en el picnómetro vacío y luego se llenará con agua hasta alcanzar aproximadamente el 90% de la capacidad del frasco y de ésta manera determinar la gravedad específica del agregado. Manualmente agite, ruede e

invierta el frasco o picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire (normalmente al utilizar métodos manuales se requieren de 15 a 20 minutos para eliminar en su totalidad las burbujas de aire) se puede sumergir la esquina de una toalla de papel dentro del picnómetro para dispersar la espuma que a veces se forma cuando se eliminan las burbujas de aire. En la figura 3.12 se muestra el quipo utilizado en el ensayo para la determinación de la gravedad específica.



Figura 3.12. Equipo Utilizado para la Determinación de la Gravedad Especifica del Agregado Fino.

Los resultados de las pruebas para la gravedad específica del agregado fino se muestran en la tabla 3.10.

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADOS FINOS  
ASTM C-128**

MUESTRA: Agregado Fino  
 F. DE MUESTREO: 19 de Julio de 2005  
 F. DE ENSAYO: 21 de Julio de 2005  
 RESPONSABLES: Cesar Vega, Jorge Castaneda

<b>MUESTRA No: 1</b>		<b>MUESTRA No: 2</b>	
MASA TARA (g):	226.5	MASA TARA (g):	226.5
B. MASA PICNOMETRO + AGUA (g):	1445.1	B. MASA PICNOMETRO + AGUA (g):	1445.1
C. MASA PICNOM. + AGUA + MUESTRA (g):	1738.8	C. MASA PICNOM. + AGUA + MUESTRA (g):	1738.1
A. PESO SECO DE LA MUESTRA (g):	483.5	A. PESO SECO DE LA MUESTRA (g):	486.4
S. MASA DE LA MUESTRA SSS (g):	500	S. MASA DE LA MUESTRA SSS (g):	500
AGUA (g):	16.5	AGUA (g):	13.6
ABSORCION, (%)	3.41	ABSORCION, (%)	2.80
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA:	2.34	GRAVEDAD ESPECIFICA SECA:	2.35
GRAVEDAD ESPECIFICA SSS:	2.42	GRAVEDAD ESPECIFICA SSS:	2.42
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA PROMEDIO:	2.35	GRAVEDAD ESPECIFICA SSS PROMEDIO:	2.42
ABSORCION PROMEDIO, (%)			3.10

**FORMULAS**

Agua (g):  $W_{sss} (g) - W_{seco}(g)$   
 Absorcion (%):  $(S - A) \times 100 / A$   
 G. E. Seca:  $A / (B+S-C)$   
 G. E. SSS:  $S / (B+S-C)$

Tabla 3.10: Determinación de la Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino.



### **3.2.8 Pesos Volumétrico Suelto y Varillado de Gravas y Arenas ASTM C-29.**

Este método de ensayo determina el peso unitario (densidad bulk) de los agregados (grueso y fino) en condiciones suelta y compactada.

Peso Volumétrico Suelto (P.V.S): se utilizará invariablemente para la conversión de peso a volumen; es decir, para conocer el consumo de agregados por metro cúbico de concreto.

Peso Volumétrico Compactado (P.V.C.): este valor se usará para el conocimiento de volúmenes de materiales aplicados y que están sujetos al acomodamiento o asentamiento provocados por el tránsito sobre ellos ó por la acción del tiempo. En la determinación del P.V.C. se vierte el material en tres capas aproximadamente de igual volumen, compactando cada capa con 25 golpes con una varilla de 5/8", igualmente distribuidos sobre la superficie.

Este método de ensayo es aplicable para agregados que no excedan los 5" (125 mm) de tamaño máximo nominal. Para el presente estudio el agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 3/4" y fue ensayado en un recipiente de 1/3 de pie<sup>3</sup> para agregado grueso y para el agregado fino se utilizó el recipiente de 1/10 de pie<sup>3</sup> (según tabla 3.11). La muestra de agregado que se requiere para este ensayo deberá ser del 125% al 200% del volumen del recipiente. El agregado será descargado desde una altura de 2" por encima del borde del recipiente, para después ser pesado y calcular así su peso unitario (ver figura 3.13 y 3.14).

En la tabla 3.11 se muestra la capacidad del recipiente medidor que será utilizado de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado:

Tamaño Máximo Nominal del Agregado		Capacidad del Deposito	
Pulgadas	Milímetros	Pie <sup>3</sup>	L (m <sup>3</sup> )
½	12.5	1/10	2.8 (0.0028)
1	25.0	1/3	9.3 (0.0093)
1 ½	37.5	½	14 (0.014)
3	75.0	1	28 (0.028)
4	100.0	2 ½	70 (0.070)
5	125	3 ½	100 (0.100)

Tabla 3.11: Capacidad del Depósito de Ensayo (Pesos Volumétricos).  
Tomada de ASTM C-29



Figura 3.13: Determinación del Peso Unitario para Agregado Grueso.



Figura 3.14: Determinación del Peso Unitario para Agregado Fino.

En la tabla 3.12 se presentan los resultados de los Pesos Unitarios de los Agregados utilizados para el diseño de mezcla:

**PESO UNITARIO  
ASTM C-29**

MUESTRA: Agregado Grueso (Grava)  
 FECHA DE MUESTREO: 19 de Julio de 2005  
 FECHA DE ENSAYO: 20 de Julio de 2005  
 RESPONSABLES: Cesar Vega, Jorge Castaneda

SUELTO		VARRILLADO	
A · MASA RECIPIENTE VACIO (kg):	5.427	A · MASA RECIPIENTE VACIO (kg):	5.427
B · VOLUMEN RECIPIENTE (m <sup>3</sup> ):	0.0094386	B · VOLUMEN RECIPIENTE (m <sup>3</sup> ):	0.0094386
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #1:	18.65	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #1:	19.4
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #2:	18.8	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #2:	19.4
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #3:	18.7	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #3:	19.5
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) PROM:	18.72	MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) PROM:	19.43
C · MASA AGREGADO (kg) PROMEDIO:	13.29	C · MASA AGREGADO (kg) PROMEDIO:	14.01
PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	1410.00	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	1480.00

MUESTRA: Agregado Fino (Arena)  
 FECHA DE MUESTREO: 19 de Julio de 2005  
 FECHA DE ENSAYO: 20 de Julio de 2005  
 RESPONSABLES: Glenda Campos, Jorge Castaneda

SUELTO	
A · MASA RECIPIENTE VACIO (kg):	1.728
B · VOLUMEN RECIPIENTE (cm <sup>3</sup> ):	0.0028412
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #1:	5.698
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #2:	5.7
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) #3:	5.716
MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) PROM:	5.705
C · MASA AGREGADO (kg) PROMEDIO:	3.977
PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	1400.00

**FORMULAS:**

C (Masa Agregado Promedio) = [MASA RECIPIENTE + AGREGADO (kg) PROM] - A  
 Peso Unitario: (C / B)

Tabla 3.12: Pesos Unitarios de Agregados Gruesos y Finos.

### **3.2.9 Contenido de Humedad Total del Agregado por Secado ASTM C-566.**

En 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 esta químicamente combinada con los minerales en el agregado. Dicha agua no es evaporable y no esta incluida en el porcentaje determinado por este método de ensayo.

Es utilizado para propósitos usuales, como ajuste en peso de las cantidades de materiales en una revoltura de concreto, se determina la masa en estado húmedo y es colocada en un horno que es capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C por  $20 \pm 4$  horas, con lo cual se asegura que el agregado esta completamente seco, se toma nuevamente el peso para determinar de ésta manera el contenido de agua de la muestra. Si se usa una fuente de calor diferente al horno de temperatura controlada, pueden usarse fuentes compatibles de calor como cocina eléctrica o de gas, lámparas eléctricas y hornos microondas (cuando se use un horno microondas a veces existe presencia de minerales en los agregados los cuales pueden causar que el material se sobre caliente y explote, si esto ocurre se puede dañar el horno de microondas). Un método utilizado en campo para obtener humedades en menor tiempo, es el de colocar una muestra en una cocina para determinar su contenido de humedad, tal como se muestra en la figura 3.15.



Figura 3.15: Determinación de la Humedad de los Agregados

Éste ensayo es necesario realizarlo cada vez que se hace una batchada, ya que de esta forma se ejerce un mejor control sobre los agregados.

Una vez, estudiadas las propiedades de los agregados, se procede a la determinación del diseño de mezcla.

### **3.3 CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA.**

- **MATERIALES UTILIZADOS.**

- **CEMENTO.**

El cemento utilizado es conocido comercialmente como Cemento de Albañilería, fabricado por CESSA, según la especificación ASTM C 91 tipo M.

El cemento de mampostería es un cemento hidráulico, principalmente usado en construcciones de mampostería, y consiste en una mezcla de cemento hidráulico Pórtland o cemento hidráulico mezclado y materiales plastificantes

Este cemento tiene la particularidad de poseer RESINA DE VINSOL NEUTRALIZADA, una sustancia utilizada como patrón para la elaboración de aditivos inclusores de aire.

Es importante mencionar que por las características especificadas para este tipo de cemento como mayor trabajabilidad, retención de agua, plasticidad y adherencia es de suponer que posee un alto porcentaje de caliza y que ésta le da la personalidad al cemento de albañilería.

#### **- AGUA.**

El agua como componente del concreto es el elemento que hidrata las partículas de cemento y hace que éstas desarrollen sus propiedades aglutinantes.

El agua utilizada para esta investigación es potable, clasificada como satisfactoria para agua de mezclado según el criterio de calidad que se especifica usualmente a través de la norma AASHTO M 157

#### **- ADITIVOS**

Fueron utilizados tres tipos de aditivos, normados bajo la especificación ASTM C 494 tipo F; un aditivo superplastificante reductor de agua de última generación a base de policarboxilatos (Ultraflow), otro a base de melamina (Sikament 100) y, por último se utilizó un aditivo a base de naftaleno (Megaflow), cuyas descripciones técnicas se muestran a continuación:

#### REDUCTOR DE AGUA A BASE DE POLICARBOXILATOS (Ultraflow):

Pertenece a la última generación de superfluidificantes; especialmente formulado y modificado para mejorar las propiedades del concreto. Es un efectivo dispersante, fluidificador y poderoso reductor de agua que provee excelentes propiedades reholplásticas al concreto.

#### VENTAJAS:

- Fluidez.
- Resistencia a temprana edad.
- Alta trabajabilidad con bajos contenidos de agua.
- Baja relación agua/cemento.
- Reducción del cemento
- Mejora la superficie.

#### REDUCTOR DE AGUA A BASE DE MELAMINA (Sikament - 100):

Cumple con las normas ASTM C 494 tipo F y ASTM C 1017 tipo I.

Aditivo líquido color café oscuro, polímero tipo dispersión a base de melamina formaldehído; se caracteriza por un alto poder dispersante permitiendo una perfecta distribución de las partículas de cemento del concreto, provocando su hidratación completa, obteniendo el máximo efecto adherente del cemento; es utilizado para impartir una consistencia superfluida de alta trabajabilidad, alta reducción de agua en el concreto, obteniéndose alta resistencia a edades tempranas.

## VENTAJAS

- Incrementa la eficiencia del cemento con la reducción del mismo.
- Por ser un reductor de agua de alto rango, permite reducciones considerables del cemento.
- Reduce la segregación y el sangrado.
- Reduce la permeabilidad disminuyendo la tendencia a fisuración, así como la contracción.
- Produce excelentes acabados.

## REDUCTOR DE AGUA A BASE DE NAFTALINA (Megaflow):

Cumple con la norma ASTM C-494 Tipo F y no contiene cloruros

Es un compuesto líquido color café, formulado con poderosos reductores de agua que funcionan de forma electro-química con las partículas del cemento. Al tener contacto con el cemento, hace que las partículas de cemento se carguen negativamente, causando que se repelan entre sí, produciendo un movimiento de plasticidad al tratar de polarizarse con una cantidad mínima de agua presente en la mezcla.

## VENTAJAS

- Aumento a temprana edad de la resistencia a la compresión, flexión y adherencia que se obtiene por la reducción de 15% a 30% de agua de mezclado.



- Reduce el contenido de cemento substancialmente mientras mantiene el nivel de resistencia y trabajabilidad deseado.
- Produce concretos fáciles de colocar con revenimiento alto, eliminando o reduciendo la necesidad de compactación mecánica.
- Reduce la permeabilidad, produciendo un concreto más denso.

### **3.3.1 PROCEDIMIENTO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA.**

Importante es destacar la carencia en El Salvador de un antecedente que permita obtener de primera instancia proporciones óptimas en la dosificación de mezcla de concreto elaboradas con cemento de mampostería ASTM C-91 tipo M, por lo que el siguiente cálculo de diseño es descrito como un procedimiento de ajuste a base de prueba y error que finaliza con la obtención de una mezcla óptima, entendiendo mezcla óptima como aquella proporción de agregados, pasta, aire y aditivos que presente buena cohesión, fluidez, trabajabilidad y una extensibilidad adecuada (45 cm – 60 cm según ensayo spread) para lograr una compactación tal que por influencia única de la gravedad, brinde excelentes acabados superficiales en estado endurecido y que no evidencie problemas por segregación excesiva y sangrado en estado fresco, para posteriormente ser reproducida en serie y sometida a la comprobación de sus propiedades físicas tanto en estado fresco como endurecido.

### 3.3.1.1 Diseño de mezcla basado en el comité ACI 211.1.

El método utilizado para el diseño de una primera mezcla patrón fue tomado del comité ACI 211.1 realizando para esta primera etapa una serie de diseños de mezcla con revenimientos entre 1" y 4"; relación a/c con valores entre 0.74 y 0.6 y además buscando una resistencia requerida de  $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$  ( $110 \text{ kg/cm}^2 + 70 \text{ kg/cm}^2 = 180 \text{ kg/cm}^2$ ) a los 28 días.

Los datos de insumo para los diseños de mezcla se presentan en la tabla 3.13:

PROPIEDADES DE LOS CONSTITUYENTES DEL CONCRETO			
Propiedad	Agregados		Cemento ASTM C 91 tipo M
	Grueso $\frac{3}{4}$ "	Fino	
Gravedad Específica	2.62	2.42	2.95
Peso Volumétrico Varillado	1480 $\text{kg/m}^3$		
Absorción	1.4 %	3.1%	
Módulo de Finura		2.63	

Tabla 3.13: Propiedades de los Agregados.

A continuación se detalla paso a paso el método de diseño:

- **Elección del Revenimiento.**

La elección del revenimiento se hace en función del tipo de construcción para la cual se diseñará la mezcla, tal como se muestra en la tabla 3.14.

Tipo de Construcción	Revenimiento	
	Máximo (cm)	Mínimo (cm)
Muros de cimentación y zapatas reforzadas	7.5	2.5
Zapatas, campanas y muros de subestructura sencillos	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10.0	2.5
Columnas para edificios	10.0	2.5
Pavimentos y losas	10.0	2.5
Concreto masivo	2.0	2.5

Tabla 3.14: Revenimientos Recomendados para Diversos Tipos de Estructuras.  
Tomada del ACI 211.1

Eligiendo para nuestro caso diversos revenimientos que variaban entre 2.5cm y 10cm, para luego con la aplicación de un aditivo superfluidificante hacer llegar la mezcla a una extensibilidad de cerca de 50 cm.

- **Elección del tamaño máximo del agregado.**

Por regla general, el tamaño máximo nominal del agregado debe ser el mayor disponible económicamente y guardar relación con las dimensiones de la estructura. En ningún caso el tamaño máximo nominal debe exceder de 1/5 de la menor dimensión entre los costados de la cimbra, 1/3 del espesor de la losa, ni 3/4 del espacio libre mínimo entre varillas de refuerzo individuales, paquetes de varillas o torones de pretensado (referirse a las figuras 3.16 y 3.17).

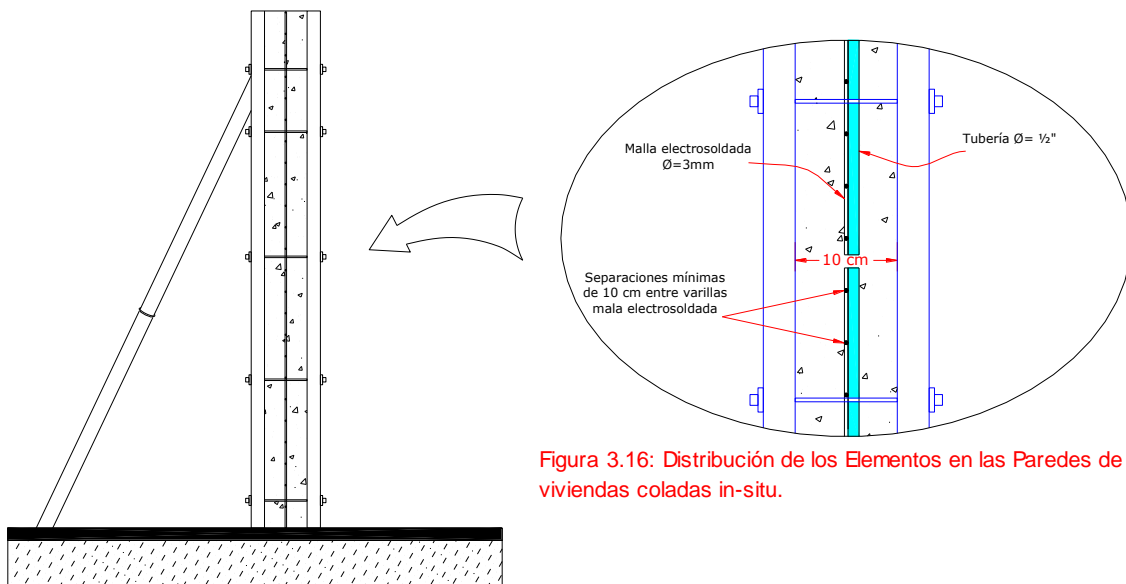


Figura 3.16: Distribución de los Elementos en las Paredes de las viviendas coladas in-situ.

Según se observa en la figura 3.16 el tamaño elegido como el tamaño máximo nominal del agregado es de  $\frac{3}{4}$ ", pues cumple con los requisitos enunciados anteriormente.

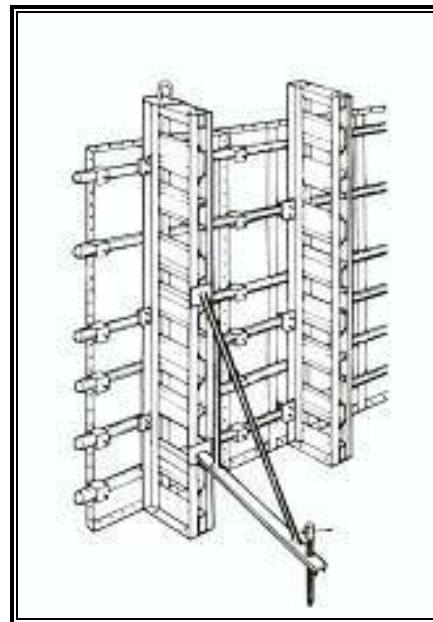


Figura 3.17: Moldes Utilizados en la Construcción de Viviendas Coladas In-situ.

- **Resistencia de diseño**

Dado que no se disponían datos para establecer una desviación estándar, se estimo una resistencia a la compresión promedio utilizando el criterio de diseño que se muestra en la tabla 3.15:

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 de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 85$
Mayor que 350	$f'_c + 100$

Tabla 3.15: Resistencia a la Compresión Promedio Requerida.  
Tomada del ACI 211.1

Se optó por diseñar para una resistencia de  $f'_{cr}=180$  kg/cm<sup>2</sup> como la requerida, dado que la resistencia de diseño utilizada comúnmente en nuestro país oscila entre 100 kg/cm<sup>2</sup> y 110 kg/cm<sup>2</sup>.

- **Cálculo del agua de mezclado.**

La cantidad de agua de mezclado se calcula en base al tamaño máximo del agregado, la forma de la partícula, la granulometría de los agregados, la cantidad de aire y el revenimiento, de acuerdo con la tabla 3.16.

<b>Agua , kg/cm<sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos nominales indicados</b>							
Revenimiento (cm)	9.5mm (3/8")	12.5mm (1/2")	19.0mm (3/4")	25mm (1")	37.5mm (1 1/2")	50mm (2")	75mm (3")
Concreto sin aire incluido							
2.5 - 5.0	207	199	190	179	166	154	130
7.5 – 10.0	228	216	205	193	181	169	145
15 – 17.5	243	228	216	202	190	178	160
aire atrapado en el concreto sin inclusión de aire, %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3
Concreto con aire incluido							
2.5 - 5.0	181	175	168	160	150	142	122
7.5 – 10.0	202	193	184	175	165	157	134
15 – 17.5	216	205	197	184	174	166	154
Nivel de exposición, Aire recomendado %							
Exposición baja	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5

Tabla 3.16: Requisitos Aproximados de Agua de Mezclado y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales de los Agregados. Tomada del ACI 211.1

Estimándose para la presente investigación, cantidades de agua entre 190 kg/cm<sup>3</sup> y 205 kg/cm<sup>3</sup> para un diseño de mezcla de concreto sin aire incluido; estas cantidades corresponden a revenimientos de entre 2.5 cm y 10 cm, y un tamaño máximo nominal del agregado de ¾".

- **Selección de la relación agua-cemento.**

La relación a/c requerida se determina no solo por los requisitos de resistencia, sino también por otros factores como la durabilidad y las características de acabado; dichas relaciones se muestran en la tabla 3.17:

Resistencia a la compresión a los 28 días kg/cm <sup>2</sup>	Relación a/c y la resistencia a la compresión requerida	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
408	0.42	-
357	0.47	0.39
306	0.54	0.45
255	0.61	0.52
204	0.69	0.60
153	0.79	0.70

Tabla 3.17: Relación a/c, Basado en la Resistencia a la Compresión.  
Tomada del ACI 211.1

Eligiendo una relación a/c preliminar según la tabla 3.17 por interpolación se obtiene que es de 0.74 y luego por ajustes a base de prueba y error, se logra obtener 0.6 como relación a/c. Las cantidades resultantes, se detallan en la tabla 3.19.

- **Calculo del contenido de cemento.**

El cemento se calcula a partir de la cantidad de agua de mezclado y la relación a/c descritos en los pasos anteriores. Las cantidades utilizadas se detallan en resumen en la tabla 3.19.

- **Estimación del contenido de agregado grueso.**

La cantidad de agregado grueso se obtiene de multiplicar el factor obtenido de la tabla 3.18, la cual muestra factores para diferentes tamaños máximos de agregado y distintos valores de módulo de finura, por el valor del peso volumétrico de la grava.

Tamaño máximo nominal mm (pulg.)	MODULO DE FINURA DE LA ARENA.			
	2.4	2.6	2.8	3.0
9.5 ( 3/8" )	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5 ( 1/2" )	0.59	0.57	0.55	0.53
19 ( 3/4" )	0.66	0.64	0.62	0.6
25 ( 1" )	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 ( 1 1/2" )	0.75	0.73	0.71	0.69
50 ( 2" )	0.78	0.76	0.74	0.72

Tabla 3.18: Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto.  
Tomada del ACI 211.1

Para un módulo de finura de 2.63 y un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ ", se obtiene un factor de 0.637 que multiplicado por el peso volumétrico varillado de la grava ( $1480 \text{ kg/m}^3$ ); se obtiene un peso de  $943 \text{ kg/m}^3$  de agregado grueso.

- **Estimación del contenido de agregado fino.**

Al finalizar el paso anterior, se han estimado los pesos de todos los componentes del concreto, excepto el agregado fino, cuya cantidad se calcula por diferencia, restando al total del volumen neto de 1000 litros, la sumatoria de los pesos de cada material dividido entre su respectiva gravedad específica.

- **Ajuste por contenido de humedad.**

La cantidad de agua (humedad) presente en la arena y en la grava debe considerarse como parte del agua de mezclado, por lo tanto deben hacerse correcciones como sigue:



Agua libre en arena: Humedad – Absorción

Agua libre en grava: Humedad – Absorción

Tanto el agua libre en arena, como en la grava, se debe calcular restando siempre el valor de humedad menos el de absorción, en este orden, y debe acompañarse del signo resultante de la suma algebraica que se efectúe.

Agua aportada por la arena: Peso de arena x agua libre en arena (con su signo)

Agua aportada por la grava: Peso de grava x agua libre en grava (con su signo)

La suma del agua aportada por la arena, más el agua aportada por la grava debe sumarse algebraicamente a la cantidad de agua obtenida en el cálculo del agua de mezclado.

Si la arena y grava utilizada para elaborar el concreto se encuentran húmedas, los pesos de grava y arena, deberán incrementarse en cantidad igual a la humedad de cada una de ellas, en caso contrario deberán disminuir en la misma proporción.

## **RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS MEDIANTE EL PROPORCIONAMIENTO SEGÚN EL MÉTODO ACI 211.1.**

A continuación se presenta en la tabla 3.19 un resumen de las cantidades de cada uno de los materiales utilizados en el diseño de las mezclas preliminares sin aditivo, bajo las especificaciones del comité ACI 211.1.

		<b>Bachadas</b>					
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>G.E. (sss)</b>	<b>Elemento</b>	<b>Pesos (sss) kg</b>					
1.00	<b>Agua</b>	190.00	205.00	205.00	205.00	205.00	205.00
2.95	<b>Cemento</b>	256.76	277.03	292.86	305.97	315.38	341.67
2.62	<b>Grava</b>	943.00	943.00	943.00	943.00	943.00	943.00
-	<b>Aire</b>	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%
2.42	<b>Arena</b>	830.16	777.23	764.24	753.49	745.76	724.20
	<b>Sumatoria</b>	2220	2202	2205	2207	2209	2214
	<b>Revenimiento</b>	0	1 <sup>1/2</sup> "	1"	1 <sup>1/4</sup> "	3/4"	1"
<b>Resistencia</b>	<b>28 días</b>	-	76.3	78.5	80.4	82.9	90.7

Tabla 3.19: Resumen de Proporciones de Mezclas de Prueba por Método ACI 211.1

**Observación:**



Figura 3.18. Mezcla de Concreto, bajo el Diseño del ACI 211.1

Las mezclas basadas en los parámetros establecidos por el comité ACI 211.1 presentaron poca cohesión, mínimo revenimiento y deficiencia de fluidez y trabajabilidad (ver figura 3.18).

Dado que estas primeras pruebas diseñadas bajo los requisitos establecidos por el ACI 211.1 evidenciaban mezclas pobres de concreto con poca cohesión, fluidez y trabajabilidad, se decidió cambiar de metodología y en virtud de tratar de limitar el número de incertidumbres se optó por buscar en primera instancia una proporción equilibrada de agregado grueso y agregado fino mediante el diseño basado por la determinación del esqueleto granular.

### **3.3.1.2 CALCULO PARA EL DISEÑO DE LAS MEZCLAS POR EL MÉTODO VOLUMÉTRICO.**

#### **3.3.1.2.1 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE AGREGADOS.**

Para la elección del procedimiento de diseño se consideró de mucha importancia reducir el uso de parámetros arbitrarios y fundamentar todas las proporciones a través de procedimientos de ensayo y análisis de resultados.

Partiendo de que no existe una metodología particular para el diseño de mezclas de concreto utilizando cemento de mampostería se optó por aplicar una metodología de diseño basado en la determinación de un esqueleto granular, el cuál es expuesto a continuación:

- **Diseño del Esqueleto Granular**

Para obtener la mejor compacidad entre grava-arena se efectuó el ensayo del diseño del esqueleto granular basado en la teoría del peso unitario sin compactar, propuesto por Peterson (1996) [5], el cual establece que la composición del esqueleto granular en términos de la relación grava / arena según el criterio de máxima compacidad en seco y sin compactar, pretende propiciar el mínimo contenido de vacíos en el mismo. Para ello, existen distintos procedimientos de ensayo, habiéndose adoptado en este caso el método experimental según la norma ASTM C 29, pero sin realizar la compactación del material. El ensayo consiste esencialmente, en llenar un recipiente de 9.4 litros con una mezcla seca correspondiente a una determinada relación grava / arena. Luego a partir de las gravedades específicas y pesos unitarios de los componentes, se determinó el peso unitario de la mezcla y el contenido de vacíos de ésta; optando por la relación grava/arena con la máxima compacidad, para realizar un primer tanteo en el ajuste de la mezcla.

- **Procedimiento Experimental.**

Utilizando un recipiente de aproximadamente 9.4 litros se mezclaron diferentes combinaciones de grava y arena, que oscilaron entre 60%-40% de grava y entre 40%-60% de arena.

---

[5] PEÑA, Bernardo de la (2000) “Consideraciones para el diseño y colocación de hormigón Autocompactable”, Revista Bit. Departamento Técnico-Sika S.A. de C.V. Chile pag. 14-16, diciembre.

Para un peso total de 20 kg en condición seca; se procedió a llenar tres veces el recipiente utilizando solamente la acción gravitatoria para el acomodo del material, luego fue enrazado y pesado, obteniendo de esta manera el peso unitario suelto de la mezcla, para posteriormente determinar el porcentaje de vacíos.

A continuación en la tabla 3.20 se presentan los datos utilizados para el cálculo del esqueleto granular y el porcentaje de vacíos:

<b>DATOS UTILIZADOS PARA EL CALCULO DEL ESQUELETO GRANULAR</b>			
	<b>Agregados</b>		<b>Molde</b>
	Grueso ¾"	Fino	
Gravedad Específica	2.62 ( $G_{SGrava}$ )	2.42 ( $G_{SArena}$ )	
Absorción	1.43 %	3.11%	
Módulo de Finura		2.63	
Peso (kg)	12	12	4.96 ( $W_{molde}$ )
Volumen (litros)			9.40 ( $V_{molde}$ )
Peso total material ( $W_{material}$ ) = 20.0 kg			

Tabla 3.20: Datos Utilizados para el Diseño del Esqueleto Granular.

Los resultados obtenidos, en la determinación del mínimo contenido de vacíos, para el establecimiento de la combinación adecuada del esqueleto granular, en la búsqueda del diseño de mezcla óptimo se presentan en la tabla 3.21.

Porcentaje de Agregados		Peso de los Agregados kg		Peso Neto de los Agregados, kg			Prom. Kg	Peso Unitario Kg/m <sup>3</sup>	Volumen de Agregados litros		Volumen de Agregados %		Volumen de Vacíos %
Grava	Arena	Grava	Arena	1	2	3			Grava	Arena	Grava	Arena	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
40%	60%	8.0	12.0	15.34	15.53	15.55	15.47	1646.10	2.36	3.84	25.13	40.81	34.06
45%	55%	9.0	11.0	15.55	15.70	15.75	15.67	1666.67	2.69	3.56	28.63	37.88	33.50
<b>50%</b>	<b>50%</b>	<b>10.0</b>	<b>10.0</b>	<b>15.89</b>	<b>16.34</b>	<b>16.39</b>	<b>16.21</b>	<b>1724.11</b>	<b>3.09</b>	<b>3.35</b>	<b>32.90</b>	<b>35.62</b>	<b>31.47</b>
55%	45%	11.0	9.0	16.21	16.15	16.28	16.21	1724.82	3.40	3.01	36.21	32.07	31.72
60%	40%	12.0	8.0	15.71	15.70	15.73	15.71	1671.63	3.60	2.60	38.28	27.63	34.09

Tabla 3.21: Combinación de Materiales para el Diseño del Esqueleto Granular.

### Fórmulas Utilizadas

$$C = W_{\text{material}} * A$$

$$D = W_{\text{material}} * B$$

$$H = (E + F + G) / 3$$

$$I = (1000 * H) / V_{\text{molde}}$$

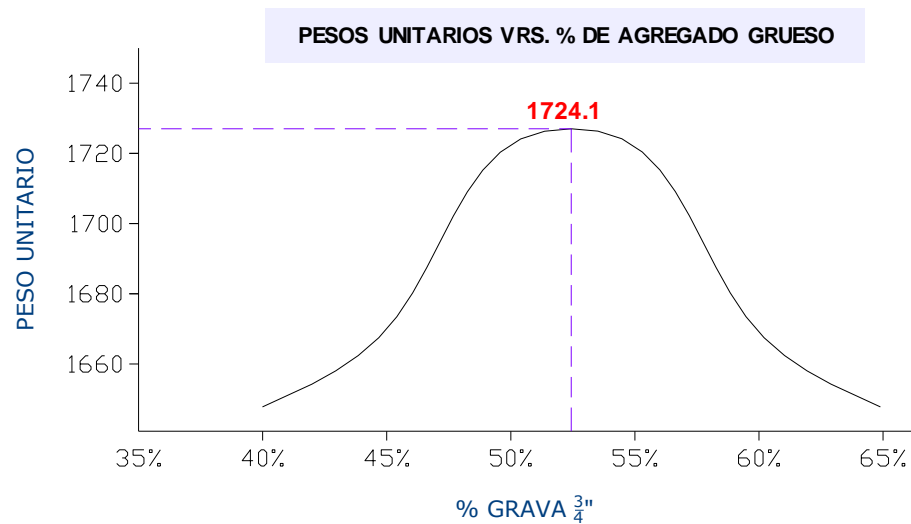
$$J = (H * A) / G_{S\text{Grava}}$$

$$K = (H * B) / G_{S\text{Arena}}$$

$$L = (100 * J) / V_{\text{molde}}$$

$$M = (100 * K) / V_{\text{molde}}$$

$$N = 100 - (L + M)$$



Con los datos obtenidos hasta el momento es posible realizar un primer proporcionamiento de la mezcla que deberá ser ajusta posteriormente.

A continuación se presenta la memoria de cálculo para uno de los diseños preliminares de la mezcla de concreto elaborado con cemento de mampostería, en la que se tomó en cuenta diferentes proporciones de esqueleto granular tal como se muestra en la tabla 3.22

Porcentaje de Agregados		Agregados Combinados %	Pasta	Cemento	Agua	Concreto
Grava %	Arena %		A+C %	%	%	%
<b>Gr.</b>	<b>Ar.</b>	<b>EGr.</b>	<b>P</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>Conc.</b>
40%	60%	65.94	29.06	13.33	15.73	100%
45%	55%	66.50	28.50	13.07	15.42	100%
<b>50%</b>	<b>50%</b>	<b>68.53</b>	<b>26.47</b>	<b>12.14</b>	<b>14.33</b>	<b>100%</b>
55%	45%	68.28	26.72	12.26	14.46	100%
60%	40%	65.91	29.09	13.34	15.74	100%

Tabla 3.22: Determinación de Porcentajes de Materiales Basados en la Determinación del Esqueleto Granular.

La cantidad de aire utilizada fue establecida en un 5% ya que en mezclas previas basadas en diseños ACI 211.1 se tomaron las lecturas de la proporciones de aire en las mezclas de concreto, llegando a estimarse cantidades entre el 5% y 7% de aire atrapado en ella; esta cantidad elevada de aire en el concreto es debida a la influencia de la resina de vinsol, aditivo inclusor de aire adicionado al cemento de mampostería en la molienda final, con el propósito de lograr una mayor trabajabilidad en las mezclas de concreto.

El procedimiento de cálculo para obtención de las proporciones de las mezclas se muestra a continuación:



Se escogió una relación a/c en peso así:

$$Y = 0.4$$

La relación a/c en volumen (Z) se obtuvo así:

Z = Relación a/c en volumen

$$Z = \frac{Y}{\left( \frac{GE_{\text{Agua}}}{GE_{\text{Cemento}}} \right)}$$

Dado que:

$$\text{Conc.} = \text{EGr.} + \text{P} + \text{Aire}$$

$$\text{EGr} = 100\% - \% \text{ Volumen de vacíos}$$

Despejando P

$$P = 100\% - \% \text{EGr} - \% \text{ Aire}$$

Si:

El Esqueleto Granular representa para este caso el 68.53% de la mezcla de concreto

$$\text{EGr} = 100\% - \% \text{ Volumen de vacíos}$$

$$\text{EGr} = 100\% - 31.47\%$$

$$\text{EGr} = 68.53\%$$

Entonces:

La Grava representa 34.2% de la mezcla de concreto.

La Arena representa 34.2% de la mezcla de concreto.

$$P = A + C$$

$$A = P - C$$

Además

$$A/C = Z$$

$$A = Z \times C$$

Igualando

$$P - C = Z \times C$$

$$P = C + Z \times C$$

$$P = C(1 + Z)$$

$$C = \frac{P}{(1 + Z)}$$

Como:

$$\text{Conc.} = \text{Esqueleto Granular} + \text{Pasta} + \text{Aire}$$

Entonces:

$$100\% = 68.53\% + 26.47\% + 5\%$$

$$\text{Esqueleto Granular} = \text{Grava} + \text{Arena}$$

$$100\% = 50\% + 50\%$$

**Proporción final en Porcentaje de Volumen:** las proporciones quedan determinadas como sigue, y se muestran en la tabla 3.23.

Material	Porcentaje (%)	
Aire	5%	
Agua	14.33%	
Cemento	12.14%	
Grava	34.26%	} Esqueleto Granular
Arena	34.26%	
Sumatoria	100 %	

PROPORCIONES DE MATERIALES PARA CONCRETO				
Material	Porcentaje (%)	Volumen Neto (l)	G.E. SSS	Pesos SSS kg
	A	B	C	D
Agua	14.33	143.30	1.00	143.3
Cemento	12.14	121.44	2.95 <sup>[6]</sup>	358.3
Grava	34.26	342.63	2.62	897.7
Aire	5	50.0	-	-
Arena	34.26	342.63	2.42	829.2
<b>Sumatoria</b>	<b>100</b>	<b>1000</b>	<b>-</b>	<b>2228</b>

Tabla 3.23: Proporciones de Materiales Diseñados Considerando el Esqueleto Granular.

### Fórmulas Utilizadas

$$B = A \times 10$$

$$D = B \times C$$

[6] Este parámetro de Gravedad Específica es el utilizado en el Laboratorio del Instituto Salvadoreño del Cemento y El Concreto (ISCYC).

- **Análisis.**

Se estimo como primer tanteo que el volumen del agregado grueso sería igual al 50% del esqueleto granular, lo que corresponde a la mitad de un 68.53% del volumen total de la mezcla de concreto; tal como se puede apreciar en las tablas 3.23 y 3.24; en donde, también se muestran las proporciones tanto en volumen como en peso de los diferentes materiales que conforman la mezcla de concreto. Sin embargo la mezcla resultante en estado fresco mostró susceptibilidad a generar trabazón de agregados entre los moldes y los elementos internos en éste, como la ductería y la malla electrosoldada debido al exceso de agregado grueso en el concreto; es decir que la mezcla resultante se puede clasificar como áspera, poco trabajable y no apta para su aplicación en las casas de paredes premoldeadas coladas in-situ.

Debido a los resultados observados anteriormente se optó por realizar otras pruebas y elevar en porcentaje de agregado fino de 50% a 55% y finalmente a un 60%, del esqueleto granular tal como se muestra en la tabla resumen 3.24:

<b>Esqueleto Granular</b>	<b>68.53%</b>		<b>66.50%</b>		<b>65.94%</b>	
<b>Materiales</b>	<b>50% Grava-50% Arena</b>		<b>45% Grava-55% Arena</b>		<b>40% Grava-60% Arena</b>	
	Porcentaje (%)	Pesos (kg)	Porcentaje (%)	Pesos (kg)	Porcentaje (%)	Pesos (kg)
Agua	14.33	143.3	15.42	154.2	15.73	154.2
Cemento	12.14	358.3	13.07	385.6	13.33	393.2
Grava	34.26	897.7	29.93	784.1	26.38	784.1
Aire	5.0%	-	5.0%	-	5.0%	-
Arena	34.26	829.2	36.58	885.2	39.57	885.2
Sumatoria	100%	2228	100%	2209	100	2199

Tabla 3.24. Cantidades de Materiales para Diferentes Proporciones de Esqueleto Granular.

- **Observación.**

El comportamiento evidenciado en las mezclas preliminares de concreto en estado fresco nos sugirió utilizar una mezcla de prueba con una proporción de 40% de Grava y 60% de Arena, lo que representa un 26.38% y un 39.57% de la mezcla total de concreto respectivamente; pues era ésta la que mejores resultados ofrecía en estado fresco; presentaba una buena consistencia plástica, mayor trabajabilidad y ausencia de problemas segregación.

Pero en estado endurecido luego de varias mezclas de prueba y debido a la deficiencia en cuanto a la ganancia de resistencia de los especímenes de concreto a edades tempranas, se optó por incrementar la cantidad de cemento en la mezcla de concreto; buscando así una proporción de cemento para una resistencia dada.

- **Determinación de la Cantidad de Cemento de Mampostería**

Para obtener la proporción de cemento se hizo necesario establecer ciertos parámetros comparativos en común para las batchadas de prueba, los cuales se detallan a continuación:

- En primer lugar se fijaron las proporciones de agregados del esqueleto granular, en porcentajes de 60% de agregado fino y 40% de agregado grueso, obtenidas del análisis anterior.
- Y en segundo lugar, se buscó que las mezclas de prueba presentaran un revenimiento común de 9" sin el uso del aditivo superfluidificante, para tomar

esta medida de consistencia como un punto de partida y luego ajustar la reducción de agua de mezclado conjuntamente con la introducción del aditivo superfluidificante.

Teniendo en cuenta los parámetros anteriores, se procedió a la hechura de las mezclas y especímenes de concreto variando la cantidad de cemento para cada mezcla. Los resultados de los ensayos de resistencia a compresión para edades de 3, 7 y 28 días se muestran en la figura 3.19.

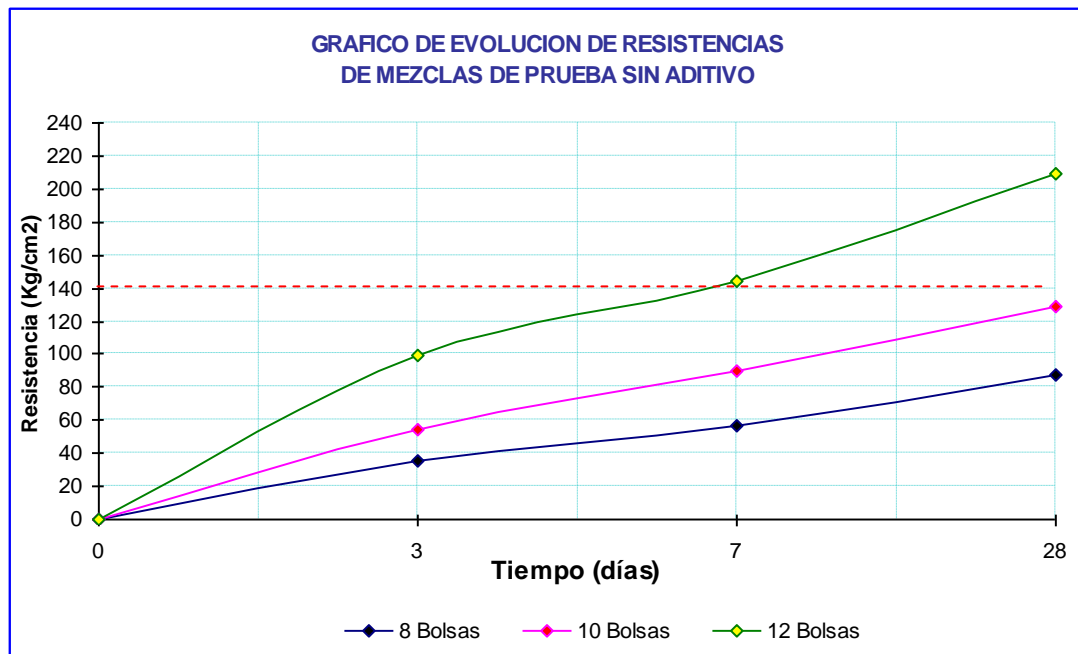


Figura 3.19: Gráfica de Resistencia a Compresión para diferentes cantidades de cemento vrs. Tiempo de Especímenes de Concreto Elaborados con Cemento de Mampostería, sin Aditivos

- **Análisis.**

En la grafica anterior se puede apreciar la ganancia de resistencia del concreto con respecto al tiempo; destacando el hecho, de que, para obtener un concreto con una resistencia a la compresión cercana al punto medio entre  $100\text{kg/cm}^2$  y  $180\text{kg/cm}^2$  es decir los  $140\text{kg/cm}^2$ , que es la resistencia a la compresión que se

utilizará como la requerida para este nuevo método de diseño de mezcla, es necesario utilizar una cantidad de cemento de mampostería superior a los 425 kg.

Posteriormente y luego de muchas pruebas y correcciones para tratar de reducir la cantidad de cemento mediante un equilibrio entre la reducción de agua de mezclado y la inclusión de un aditivo superfluidificante se hicieron una serie de ensayos cuyo resumen se muestra a continuación:

Se llevaron a cabo pruebas utilizando un aditivo superfluidificante de última generación A BASE DE POLICARBOXILATOS (Ultraflow), pero los resultados demostraban que existe una reacción química desfavorable cuando se combina este tipo de aditivo con el cemento de mampostería (ver figura 3.20).



Figura 3.20: Problemas de Segregación al Utilizar un Aditivo a Base de Policarboxilatos

También se observó una rápida pérdida de revenimiento (entre 5-10 min) y el apareamiento de una especie de mancha verde en la superficie de la mezcla de concreto en estado fresco. (ver figura 3.21).

En vista de los resultados anteriores, se realizaron otra serie de mezclas de prueba pero en este caso utilizando otro tipo de aditivo SUPERFLUIDIFICANTE A BASE DE MELAMINA (Sikament 100) para tratar de evitar la reacción



Figura 3.21: Rápida Pérdida del Revenimiento de Mezclas de Concreto al Utilizar un Aditivo Superfluidificante a Base de Policarboxilatos

química adversa de los elementos sintéticos de los policarboxilatos con el cemento de mampostería.

En esta ocasión se observaron mejores resultados de la mezcla en fresco y menor pérdida de revenimiento con el tiempo (10-15min), pero debido a que el cemento de

mampostería ASTM C 91 tipo M, posee un

aditivo inclusor de aire a base de resina de vinsol neutralizada, presentaba problemas de acabado superficial en estado endurecido (ver figura 3.22 y 3.23), esto debido al exceso de aire en la mezcla de concreto, que ascendió a un valor cercano al 6%.



Figura 3.22: Se observan Sangrado en la Mezcla de Concreto Utilizando un Aditivo a Base de Melanina.



Figura 3.23: Se Observó Sangrado en la Mezcla de Concreto Utilizando un Aditivo a Base de Melanina.

Con la experiencia y resultados de las pruebas anteriores se estimó conveniente utilizar un aditivo que además de ser superfluidificante densificara la mezcla de concreto, por medio de la reducción del contenido de aire inmerso en ella; para lograr este objetivo se optó por la utilización de un aditivo tipo F reductor de agua de alto rango A BASE DE NAFTALINA (Megaflow). Los resultados obtenidos con otra serie de pruebas utilizando este aditivo, sugerían utilizar mezclas en fresco con un revenimiento de 7”.

La razón del uso de éste elevado revenimiento, proviene primero de los requerimientos propios de trabajabilidad y fluidez para la aplicación del concreto y del hecho de que se observaban problemas de segregación al sustituir más del 5% del agua de mezclado.

El resumen de las características observables en las mezclas de prueba se muestra en la tabla 3.25.

<b>ADITIVOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DE LA MEZCLA</b>					
<b>ADITIVO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS OBSERVABLES EN EL CONCRETO</b>				
	Pérdida de revenimiento	Reacción química adversa	% Aire	Acabado superficial	Sangrado
ULTRAFLOW	5-10 min	Mancha verde	7	NA	Si
SIKAMENT-100	10-15 min	-	6	Colmenas	Si
MEGAFLOW	35 min	-	3.5	Excelentes	-

Tabla 3.25: Resumen de Características Observables en el Concreto con el Empleo de Tres Aditivos de Diferente Composición Química.

Posteriormente utilizando las nuevas correcciones en la mezcla, es decir, con la reducción de agua y la inclusión del aditivo superfluidificante tipo F, se



realizaron algunas batchadas de prueba en donde al igual que las anteriores, se varió la cantidad de cemento con el objetivo de generar curvas de evolución de la resistencia del concreto para edades de 3, 7 y 28 días; obteniendo los resultados tal como se muestran en la figura 3.24.

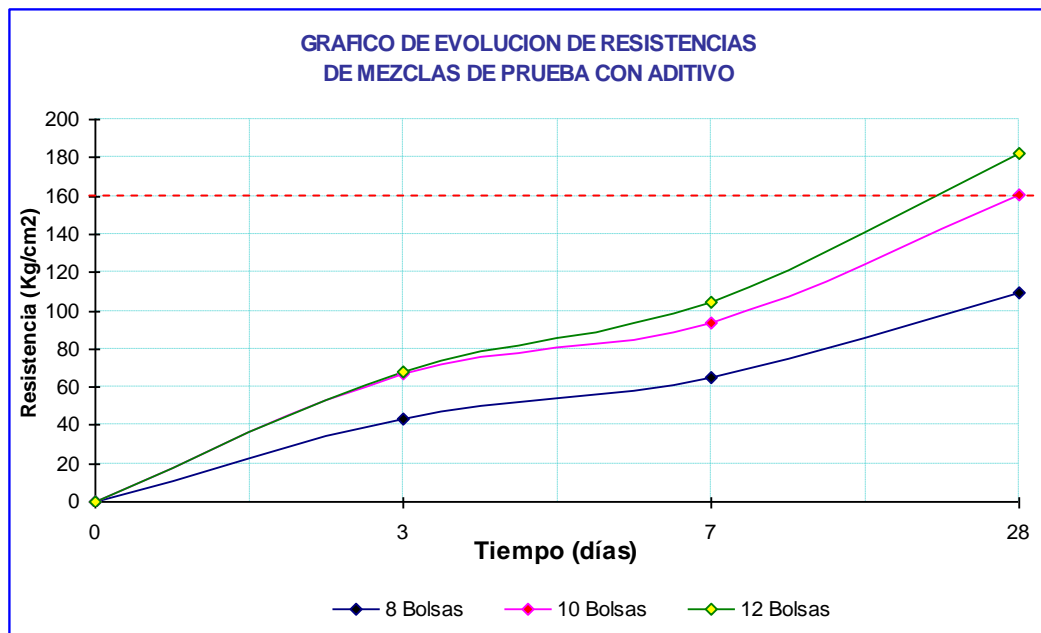


Figura 3.24: Gráfica de Resistencia a Compresión vs. Tiempo de Especímenes de Concreto Para diferentes proporciones de Cemento de Mampostería y utilizando aditivo MEGA FLOW.

Finalmente y luego de evaluar las características del concreto tanto en estado fresco como endurecido de las diferentes mezclas de prueba, se concluye en este apartado, que, se observaron mejores resultados en la mezcla de 425 kg/m<sup>3</sup> de cemento tal como se muestran en las figuras de la 3.25 a 3.27; por lo que es ésta la mezcla que se considerará como la mezcla óptima a reproducir; la cual, luego de los últimos ajustes quedó configurada tal como se muestra en la tabla 3.26.



Figura 3.25: Apariencia en Fresco de la la Reproducción del Diseño Óptimo.



Figura 3.26: Extensibilidad de 65 cm en la Mezcla Óptima.



Figura 3.27: Excelentes Acabados en la Mezcla Óptima en Estado Endurecido.

	<b>Pesos SSS kg</b>	<b>G.E. SSS</b>	<b>Volumen Neto, L</b>
<b>Agua</b>	245.00	1.00	245.00
<b>Cemento</b>	425.00	2.95	144.07
<b>Grava</b>	585.00	2.62	223.28
<b>Aire</b>	-	-	35.00
<b>Arena</b>	853.41	2.42	352.65
<b>Sumatoria</b>	2108		1000.00

Tabla 3.26: Proporcionamiento de la Mezcla Óptima Determinada.

### 3.4 PRUEBAS PARA CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

Después de haber determinado la mezcla óptima se prosiguió a realizar la reproducción de ésta llevando a cabo las correspondientes pruebas tanto en estado fresco como endurecido.

#### 3.4.1 Elaboración y Curado de Especímenes en Laboratorio ASTM C 192.

En ésta especificación cubre el procedimiento para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio bajo controles precisos de materiales

y condiciones de ensayo, usando concreto que puede ser consolidado por varillado o vibrado. Los moldes para especímenes o sujetadores que están en contacto con el concreto pueden ser elaborados de acero, hierro fundido u otro material no absorbente, no reactivo con el concreto elaborado con cemento Pórtland y otros cementos hidráulicos. Las edades de ensayo frecuentemente usadas son 7 y 28 días para ensayos de esfuerzo a compresión ó 14 y 28 días para ensayos de esfuerzo de flexión. Especímenes elaborados con cemento Tipo III son con frecuencia ensayados a 1,3, 7 y 28 días.

La elaboración de la mezcla de concreto puede ser realizada por un mezclador adecuado o manualmente, el tamaño de las bachadas debe ser tal que después de moldeados los especímenes de ensayo quede alrededor del 10% en exceso de concreto. Justamente antes del mezclado de la bachada de ensayo se debe cebar el mezclador con una bachada proporcionada para simular lo mas cercanamente la bachada de ensayo. Esto es realizado para compensar la pérdida de mortero del ensayo por la adherencia del mortero al mezclador. Se introduce primero el agregado grueso con un poco de agua de mezclado al mezclador, se inicia el mezclado y se adiciona el agregado fino, cemento y agua con el mezclador en movimiento; dejando trabajar la mezcladora por 3 minutos, seguidos de 3 minutos de reposo y por 2 minutos de mezclado final. Se procede al llenado de los especímenes tan cerca como sea posible de donde estos serán almacenados durante las primeras 24 horas. Si no es posible el moldeo de los especímenes donde serán almacenados, moverlos al sitio de

almacenamiento inmediatamente después de haber sido enrasados. Colocar los moldes en una superficie rígida libre de vibración y otras perturbaciones. Evitar el sacudido, golpe, inclinación o rallar la superficie de los especímenes en el traslado al lugar de almacenamiento. Se procede a colocar el concreto en los moldes usando un cucharón, cuchara sin filo, o pala. Puede ser necesario remezclar el concreto en el recipiente para prevenir segregación durante el moldeado de los especímenes. Mueva el cucharón o cuchara alrededor del borde superior del molde cuando el concreto es vertido para asegurar una distribución simétrica de este y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde. Además se debe distribuir el concreto con la ayuda de la barra apisonadora antes de empezar la consolidación. Cuando se coloca la capa final, se deberá intentar añadir una cantidad de concreto que llenara exactamente el molde después de la compactación. Los especímenes pueden ser cilíndricos para ensayos de esfuerzo de compresión, módulo de Young, movimiento longitudinal y esfuerzo de tensión por partidura, pueden ser de varios tamaños con un mínimo de 4" (100 mm) o de 6" (150 mm) de diámetro por 8" (200 mm) o de 12" (300 mm) de longitud, respectivamente. También se pueden laborar especímenes prismáticos o vigas para esfuerzo de flexión, congelamiento y deshielo, adherencia, cambio de longitud y cambio de volumen.

Los especímenes cilíndricos deben ser elaborados por un número de capas como se indica a continuación en la tabla 3.27:

<b>Número de Capas Requeridas para los Especímenes Cilíndricos</b>			
Diámetro		Modo de Consolidación	No. Capas de Igual Profundidad
Pulgada	Milímetros		
3	75	Varillado	2
4	100	Varillado	2
6	150	Varillado	3
9	225	Varillado	4
> 9	> 225	Vibrado	2

Tabla 3.27: Número de Capas Requeridas para los Especímenes Cilíndricos.  
Tomado de ASTM C-192

Se debe procurar que las capas requeridas sean aproximadamente de igual volumen. Varillando cada capa con el extremo redondeado de la barra y usando el número de golpes y tamaño de barra que se especifican en la tabla 3.28. Después de que cada capa es varillada, golpear ligeramente los lados exteriores del molde de 10 a 15 veces con un mazo con cabeza de goma o cuero, el cual tiene un peso de  $1.25 \pm 0.5$  lb ( $0.6 \pm 0.2$  Kg) para cerrar cualquier orificio dejado por la barra y liberar cualquier burbuja grande de aire que pudiera haber sido atrapada.

<b>Diámetro de Barra y Número de Varillados a ser Usados en el Moldeo de Especímenes</b>				
Cilindros				
Diámetro de Cilindro		Diámetro de Barra		No de golpes/capa
<b>Pulgada</b>	<b>Milímetros</b>	<b>Pulgada</b>	<b>Milímetros</b>	
2 a 6	50 a 150	3/8	10	25
6	150	5/8	16	25
8	200	5/8	16	50
10	250	5/8	16	75
Vigas y Prismas				
Área Superior del Espécimen		Diámetro de Barra		No de golpes/capa
pulg <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	<b>Pulgada</b>	<b>Milímetros</b>	
25 o menor	160 o menor	3/8	10	25
26 a 49	165 a 310	3/8	10	1 por cada 1pulg <sup>2</sup> (7 cm <sup>2</sup> )
50 o más	320 o más	3/8	10	1 por cada 1pulg <sup>2</sup> (14 cm <sup>2</sup> )

Tabla 3.28: Diámetro de Barra y Número de Varillados a ser Usados en el Moldeo de Especímenes. Tomado de ASTM C-192.

Para prevenir la evaporación de agua en el curado inicial de los especímenes de concreto, cubra los especímenes inmediatamente después del acabado, de preferencia con una placa no absorbente no reactiva o un paño de tela húmedo (cuando los paños de tela son usados no deben estar en contacto con la superficie del concreto fresco). Se remueven los moldes después de  $24 \pm 8$  horas de elaborados cuando se trata de un concreto con tiempo de fraguado prolongado, pero los moldes no deben ser removidos antes de  $20 \pm 4$  horas. En las figuras 3.28 y 3.29 se presentan los especímenes recién elaborados y su respectivo curado.



Figura 3.28: Hechura de Especimenes



Figura 3.29: Curado de los Especimenes

### 3.4.2 Prueba de Extensibilidad para Concreto Fluido.

Este método de ensayo se aplica a concretos con un revenimiento mayor que 9", es decir, en un concreto muy fluido. El objetivo de la prueba de extensibilidad es observar si el concreto presenta una buena consistencia y cohesión.

Este método es muy sencillo de emplear puesto que se realiza con el cono de Abrahams, que es utilizado en la prueba de revenimiento ASTM C 143, y una placa cuadrada metálica de 80 x 80 cm. Para realizar la prueba basta con situar el cono en la plataforma con el cono de Abrahams invertido, hacer presión hacia abajo con el cono para evitar que el concreto se disperse, enrazarlo con una placa metálica, para luego levantar el cono unas 2" hacia arriba y medir el promedio de dos diámetros tomados perpendicularmente entre ellos. En las tablas 3.34, 3.35 y 3.36, 3.37, 3.38, 3.39 y 3.40 se observan los resultados de la

prueba de extensibilidad. A continuación en la figura 3.30 se muestra la aplicación del ensayo.



Figura 3.30: Ensayo de Extensibilidad

### **3.4.3 Método de Ensayo para Tiempo de Fraguado de Mezclas de Concreto por la Resistencia a la Penetración ASTM C- 403.**

Con éste método se determina el tiempo en el que el concreto fragua, por medio de la resistencia a la penetración en morteros tamizados de mezcla de concreto. Después de realizada la mezcla el concreto deberá ser tamizado por la malla N° 4 para la obtención del mortero para la prueba, se le tomará la temperatura y se colocará en los recipientes (en una sola capa), los cuales deberán ser rígidos, herméticos, no absorbentes, libres de aceite y grasa, de forma cilíndrica o rectangulares en su sección transversal, las dimensiones laterales deben ser de al menos 6" (150 mm) y la altura de al menos 6" (150 mm). La prueba inicia en el momento en que el cemento entra en contacto con el agua.



El aparato que es utilizado para esta prueba debe ser provisto para medir la fuerza requerida que causa la penetración de las agujas. El aparato debe ser capaz de medir la fuerza de penetración con una exactitud de  $\pm 2$  lbf (10 N) y con una capacidad de al menos 130 lbf (600N). Las agujas deben tener las siguientes áreas de apoyo: 1,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{1}{20}$  y  $\frac{1}{40}$  pulg<sup>2</sup> (645, 323, 161, 65, 32 y 16 mm<sup>2</sup>) cada aguja debe tener forma de circunferencia a una distancia de 1 pulgada a partir del área de apoyo.

Cuando se procede a realizar la primera penetración, se debe remover el agua de sangrado de la superficie de los especímenes de mortero por medio de una pipeta o un instrumento adecuado. Para facilitar la recolección del agua de sangrado, inclinar el espécimen cuidadosamente en un ángulo de 10° del plano horizontal, colocando una alza debajo de un lado por 2 minutos antes de remover el sangrado. El tiempo requerido para penetrar 1 pulgada de profundidad debe ser de  $10 \pm 2$  segundos. Registrar la fuerza requerida para producir la penetración y el tiempo de aplicación de la misma. Calcular la resistencia a la penetración, dividiendo la fuerza registrada por el área de apoyo de la aguja y registrar la resistencia a la penetración resultante.

Para concretos normales el fraguado inicial se da aproximadamente de 3 a 4 horas y este es determinado por la resistencia a la penetración, la cual deberá ser de 500 psi o 35 kg/cm<sup>2</sup> y para la finalización del ensayo se espera una resistencia de 4000 psi o 280 kg/cm<sup>2</sup>. Las figuras 3.31 y 3.32 muestran el

dispositivo utilizado para la realización de este ensayo y los especímenes realizados.



Figura 3.31: Hechura de Especímenes para Tiempo de Fraguado



Figura 3.32: Realización de la Prueba de Fraguado para el Concreto

Los resultados obtenidos en el ensayo se presentan en las tablas 3.29, 3.30 y 3.31 que a continuación se muestran.

**TIEMPO DE FRAGUADO EN MEZCLAS DE CONCRETO  
POR RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN  
ASTM C-403**

FECHA DE ENSAYO: 21/11/2005  
 HORA INICIAL DEL ENSAYO: 10:00:00  
 HORA FINAL DEL ENSAYO: 18:00:00  
 TEMPERATURA INICIAL: 23.5°C  
 TEMPERATURA FINAL: 24.6°C  
 RESPONSABLES: Cesar Vega

TIEMPO TRANSCURRIDO (Horas)	CARGA (lb)	AREA (in <sup>2</sup> )	ESFUERZO (PSI)
04:00	126	1	126
04:30	58	1/4	232
05:00	98	1/4	392
05:30	65	1/10	650
06:00	112	1/10	1120
06:30	86	1/20	1720
06:45	112	1/20	2240
07:00	67	1/40	2680
07:10	72	1/40	2880
07:15	84	1/40	3360
07:30	88	1/40	3520
07:40	94	1/40	3760
07:45	98	1/40	3920
07:55	101	1/40	4040
08:00	104	1/40	4160

FORMULAS:

$$\text{Esfuerzo(PSI)} = \text{Carga/Area}$$

Tabla 3.29: Ensayo Nº1 de Tiempo de Fraguado del Concreto por Resistencia a la Penetración

**TIEMPO DE FRAGUADO EN MEZCLAS DE CONCRETO  
POR RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN  
ASTM C-403**

FECHA DE ENSAYO: 22/11/2005  
 HORA INICIAL DEL ENSAYO: 08:40:00  
 HORA FINAL DEL ENSAYO: 18:00:00  
 TEMPERATURA INICIAL: 25.0°C  
 TEMPERATURA FINAL: 24.6°C  
 RESPONSABLES: Glenda Campos

TIEMPO TRANSCURRIDO (Horas)	CARGA (lb)	AREA (In <sup>2</sup> )	ESFUERZO (PSI)
04:00	52	1	52
04:30	46	1/2	92
05:00	36	1/4	144
05:30	80	1/4	320
06:00	114	1/4	456
06:30	89	1/10	890
07:00	128	1/10	1280
07:30	66	1/20	1320
07:45	84	1/20	1680
08:00	90	1/20	1800
08:15	102	1/20	2040
08:30	64	1/40	2560
08:45	80	1/40	3200
09:00	102	1/40	4080

FORMULAS:

$$\text{Esfuerzo(PSI)} = \text{Carga/Area}$$

Tabla 3.30: Ensayo Nº2 de Tiempo de Fraguado del Concreto por Resistencia a la Penetración

**TIEMPO DE FRAGUADO EN MEZCLAS DE CONCRETO  
POR RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN  
ASTM C-403**

FECHA DE ENSAYO: 23/11/2005  
 HORA INICIAL DEL ENSAYO: 08:00:00  
 HORA FINAL DEL ENSAYO: 17:30:00  
 TEMPERATURA INICIAL: 21.3°C  
 TEMPERATURA FINAL: 23.9°C  
 RESPONSABLES: Jorge Castaneda

TIEMPO TRANSCURRIDO (Horas)	CARGA (lb)	AREA (in <sup>2</sup> )	ESFUERZO (PSI)
04:00	42	1	42
04:30	36	1/2	72
05:00	88	1/2	176
05:30	77	1/4	308
06:00	100	1/4	400
06:30	60	1/10	600
07:00	86	1/10	860
07:30	92	1/10	920
08:00	58	1/20	1160
08:25	82	1/20	1640
09:00	80	1/40	3200
09:30	98	1/40	3920
09:45	101	1/40	4040

FORMULAS:

$$\text{Esfuerzo(PSI)} = \text{Carga/Area}$$

Tabla 3.31: Ensayo N°3 de Tiempo de Fraguado del Concreto por Resistencia a la Penetración

#### **3.4.4 Contenido de Aire del Concreto Fresco Mezclado por el Método de Presión ASTM C-231.**

En este método de ensayo se determina el contenido de aire en una mezcla de concreto fresco debido al cambio en volumen de concreto, causado por la variación en la presión (basado en la Ley de Boyle).

Generalmente para concretos normales se llena un recipiente con tres capas iguales en volumen de la mezcla de concreto, las cuales deberán ser consolidadas con 25 golpes con una varilla de 5/8" de diámetro con un extremo redondeado y 16" de longitud, por cada capa y de 10 a 15 golpes con un mazo de hule con un peso de  $1.25 \pm 0.5$  lb, para cerrar cualquier hueco que haya quedado y liberar burbujas de aire atrapado. Para el presente estudio la prueba se realizó sin varillado y con unos pocos golpes, puesto que el concreto que se obtuvo cumple con características de un concreto fluido. Se cierra la válvula de escape de la cámara y se bombea aire hasta que llegue al indicador de presión inicial, bombeando o sacando aire conforme sea necesario, se cierran las dos llaves de desague de la cubierta. Se abre la válvula de aire entre la cámara y el recipiente de medición.

Golpee firmemente los lados del recipiente para equilibrar la presión interna y luego se debe lograr la estabilidad de la aguja en el indicador de presión, para dar lectura al porcentaje de aire contenido en la mezcla. En la figura 3.33, se muestra el instrumento que es utilizado para este tipo de ensayo.



Figura 3.33: Equipo Utilizado para la Determinación del Contenido de Aire en la Mezcla de Concreto

### **3.4.5 Ensayo para la Temperatura del Concreto Fresco Mezclado de Cemento Pórtland ASTM C-1064.**

Este método de ensayo proporciona un medio para medir la temperatura del concreto fresco, el dispositivo medidor de temperatura, deberá ser capaz de medir la temperatura del concreto fresco con aproximación de  $\pm 1^{\circ} \text{F}$  ( $\pm 0.5^{\circ} \text{C}$ ) dentro de un rango de  $30^{\circ}$  a  $120^{\circ} \text{F}$  ( $0$  a  $50^{\circ} \text{C}$ ).

Una vez que se ha vaciado el concreto en un recipiente grande y no absorbente que proporcione al menos 3" de concreto en todas direcciones alrededor del sensor del dispositivo medidor de temperatura; el concreto debe tener la capacidad para cubrirlo, se recomienda colocar el dispositivo de medición por un mínimo de 2 minutos antes de tomar la lectura correspondiente.

Los resultados obtenidos en la mezcla se presentan en las tablas 3.34, 3.35, 3.36, 3.37, 3.38, 3.39 y 3.40.

### **3.5 PRUEBAS PARA CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.**

#### **3.5.1 Resistencia a la Compresión del Concreto ASTM C-39.**

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, como cilindros moldeados y núcleos taladrados. Está limitado al concreto que tenga un peso unitario mayor de 50 lb/pie<sup>3</sup> (800 Kg/m<sup>3</sup>), con el objeto de conocer la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, básicamente consiste en aplicar una carga axial al espécimen hasta llevarlo a la rotura. El esfuerzo de compresión del espécimen es calculado dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y forma del espécimen, revoltura, procedimiento de mezclado, los métodos de muestreo, moldeo, fabricación y edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado. Los resultados obtenidos en este ensayo son usados como una base para el control de calidad de las operaciones de proporcionamiento, mezclado y colocación del concreto, determinación de concordancia con las especificaciones; control para evaluación de la efectividad de los aditivos y usos similares.

Cuando los especímenes difieran por más del 2% del diámetro de algún cilindro individual con otro espécimen realizado en el mismo molde no serán



ensayados, esto puede ocurrir cuando se usan moldes descartables y son dañados o deformados durante el transporte. También ningún extremo del espécimen saldrá de la perpendicularidad al eje por más de  $0.5^\circ$  (aproximadamente equivale a 0.12" en 12" (3 mm en 300 mm), los extremos del espécimen difieren del plano en más de 0.002" (0.50 mm), estos se deberán aserrar ó cabecear, de acuerdo con la práctica ASTM C-617 (Práctica Estándar para Cabeceado de Especímenes Cilíndricos de Concreto) o ASTM C-1231 (Práctica Estándar para el Uso de Tapas no Adheridas en la Determinación del Esfuerzo de Compresión de Cilindros de Concreto Endurecido).

Los ensayos de compresión en especímenes curados húmedos, serán hechos tan pronto como sea practicable, después de removerlos del almacenamiento húmedo, existe una tolerancia de tiempo permisible para el ensayo de los especímenes y se presenta a continuación en la tabla 3.32:

<b>Edad de Ensayo</b>	<b>Tolerancia Permitida</b>
24 horas	± 0.5 horas
3 días	± 2 horas
7 días	± 6 horas
28 días	± 20 horas
90 días	± 2 días

Tabla 3.32: Tolerancias Permitidas a Diferentes Edades de Ensayo.  
Tomada de ASTM C-39

Se debe expresar el resultado con una aproximación de 10 psi (0.1 Mpa), si la relación longitud diámetro del espécimen es menor que 1.8 corregir el resultado obtenido multiplicando por el correspondiente factor de corrección mostrado en

la tabla 3.33. (Estos factores de corrección se aplican a concreto de peso ligero, pesando entre 100 y 120 lb/pie<sup>3</sup> (1600 a 1920 Kg/m<sup>3</sup>) y para concretos de peso normal los valores no dados en la tabla 3.33 deberán ser determinados por interpolación.

<b>L/D</b>	1.75	1.50	1.25	1.00
<b>Factor</b>	0.98	0.96	0.93	0.87

Tabla 3.33: Factor de Corrección para Especímenes.  
Tomado de ASTM C-39

En las figuras 3.34 y 3.35 se presenta la máquina que se utiliza para la compresión de estos especímenes y una muestra del resultado de esta prueba.



Figura 3.34: Máquina de Compresión



Figura 3.35: Ruptura de un Especimen.

Los resultados de las Compresiones de los especímenes de concreto se presentan a continuación en las tablas 3.34, 3.35, 3.36, 3.37, 3.38 y 3.39 y 3.40.

## RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO HIDRAULICO ASTM C-39

### ESPECIMENES ENSAYADOS A TRES DIAS

CIL. No.	IDENT.:	Nº bach.	FECHA Colado	FECHA Ruptura	EDAD (dias)	EXTENSIB. (cm)	TEMP. °C	DIAM (cm)	ALT (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	PESO (g)	PES-VOL (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FALLA
1	A	1º	18-10-05	21-10-05	3	59	30	15.2	30.5	181.5	12240	2212	13190	73	CNCR
2	B	1º	18-10-05	21-10-05	3	59	30	15.3	30.4	183.9	12440	2226	13490	73	CR
7	A	2º	18-10-05	21-10-05	3	56	30	15.2	30.5	181.5	12200	2204	13160	73	CR
8	B	2º	18-10-05	21-10-05	3	56	30	15.2	30.5	181.5	12080	2183	13490	74	CNCR
13	A	3º	18-10-05	21-10-05	3	65	30	15.2	30.5	181.5	12300	2222	9750	54	CR
14	B	3º	18-10-05	21-10-05	3	65	30	15.3	30.4	183.9	12160	2176	10730	58	CR
19	A	4º	19-10-05	22-10-05	3	63	30	15.1	30.6	179.1	12280	2241	12130	68	CR
20	B	4º	19-10-05	22-10-05	3	63	30	15.1	30.6	179.1	12440	2270	12060	67	CR
25	A	5º	19-10-05	22-10-05	3	50	30	15.2	30.5	181.5	11740	2121	16250	90	CNCR
26	B	5º	19-10-05	22-10-05	3	50	30	15.3	30.4	183.9	11780	2108	16260	88	CR
31	A	6º	19-10-05	22-10-05	3	60	30	15.1	30.6	179.1	11940	2179	13490	75	CR
32	B	6	19-10-05	22-10-05	3	60	30	15.1	30.6	179.1	11860	2164	12930	72	CNCR
37	A	7º	19-10-05	22-10-05	3	56	30	15.2	30.5	181.5	12320	2226	14790	82	CR
38	B	7º	19-10-05	22-10-05	3	56	30	15.3	30.4	183.9	12280	2197	14730	80	CR
49	A	9º	24-10-05	27-10-05	3	61	26	15.1	30.6	179.1	12340	2252	12060	67	CR
50	B	9º	24-10-05	27-10-05	3	61	26	15.2	30.5	181.5	12100	2186	12500	69	CR
56	A	10º	24-10-05	27-10-05	3	60	26	15.2	30.5	181.5	11960	2161	13500	74	CR
57	B	10º	24-10-05	27-10-05	3	60	26	15.1	30.6	179.1	11940	2179	12940	72	CNCR
63	A	11º	24-10-05	27-10-05	3	51	26	15.2	30.5	181.5	12360	2233	15270	84	CR
64	B	11º	24-10-05	27-10-05	3	51	26	15.2	30.5	181.5	12560	2269	14820	82	CR
69	A	12º	24-10-05	27-10-05	3	45	27	15.3	30.4	183.9	12300	2201	16650	91	CNCR
70	B	12º	24-10-05	27-10-05	3	45	27	15.2	30.5	181.5	12380	2237	16180	89	CR
75	A	13º	26-10-05	29-10-05	3	66	26	15.2	30.5	181.5	11920	2154	13080	72	CR
76	B	13º	26-10-05	29-10-05	3	66	26	15.2	30.5	181.5	11840	2139	12870	71	CR
81	A	14º	26-10-05	29-10-05	3	65	25	15.2	30.5	181.5	11900	2150	13200	73	CR

Tipo de Falla:

Conica

Conica y Cortante

Cortante

Conica y Partida

Columnar



Nomenclatura:

CN

CNCR

CR

CNPA

COL

Tabla 3.34: Ensayos a Compresión a Tres Días

## RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO HIDRAULICO ASTM C-39

### ESPECIMENES ENSAYADOS A TRES DIAS

CIL. No.	IDENT.	Nº bach.	FECHA Colado	FECHA Ruptura	EDAD (dias)	EXTENSIB. (CM)	TEMP. °C	DIAM (cm)	ALT (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	PESO (g)	PES-VOL (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FALLA
82	B	14º	26-10-05	29-10-05	3	65	25	15.2	30.5	181.5	11880	2147	13460	74	CR
88	A	15º	26-10-05	29-10-05	3	54	28	15.3	30.4	183.9	12320	2204	14010	76	CR
89	B	15º	26-10-05	29-10-05	3	54	28	15.3	30.4	183.9	12100	2165	14170	77	CR
94	A	16º	28-10-05	31-10-05	3	52	26	15.3	30.4	183.9	11980	2143	15580	85	CNPA
95	B	16º	28-10-05	31-10-05	3	52	26	15.2	30.5	181.5	11960	2161	13500	74	CNCR
101	A	17º	28-10-05	31-10-05	3	65	28	15.2	30.5	181.5	11880	2147	11640	64	CR
102	B	17º	28-10-05	31-10-05	3	65	28	15.2	30.5	181.5	11700	2114	11650	64	CR
108	A	18º	28-10-05	31-10-05	3	62	29	15.3	30.4	183.9	12020	2151	12680	69	CR
109	B	18º	28-10-05	31-10-05	3	62	29	15.3	30.4	183.9	11880	2126	13120	71	CR
114	A	19º	28-10-05	31-10-05	3	65	29	15.1	30.6	179.1	11840	2161	11900	66	CR
115	B	19º	28-10-05	31-10-05	3	65	29	15.2	30.5	181.5	11880	2147	11420	63	CR
121	A	20º	31-10-05	03-11-05	3	66	26	15.2	30.5	181.5	11880	2147	11450	63	CR
122	B	20º	31-10-05	03-11-05	3	66	26	15.2	30.5	181.5	11640	2103	11930	66	CR
127	A	21º	31-10-05	03-11-05	3	49	27	15.2	30.5	181.5	12040	2175	15660	86	CR
128	B	21º	31-10-05	03-11-05	3	49	27	15.2	30.5	181.5	12100	2186	15430	85	CR
133	A	22º	31-10-05	03-11-05	3	66	27	15.2	30.5	181.5	11660	2107	12040	66	CR
134	B	22º	31-10-05	03-11-05	3	66	27	15.3	30.4	183.9	11680	2090	11440	62	CR
139	A	23º	31-10-05	03-11-05	3	60	28	15.3	30.4	183.9	12260	2194	11790	64	CNCR
140	B	23º	31-10-05	03-11-05	3	60	28	15.1	30.6	179.1	12080	2204	11610	65	CNCR
145	A	24º	04-11-05	07-11-05	3	53	27	15.1	30.6	179.1	12280	2241	13720	77	CR
146	B	24º	04-11-05	07-11-05	3	53	27	15.3	30.4	183.9	11860	2122	14230	77	CR
151	A	25º	04-11-05	07-11-05	3	62	28	15.1	30.6	179.1	11400	2080	11600	65	CR
152	B	25º	04-11-05	07-11-05	3	62	28	15.2	30.5	181.5	11620	2100	13480	74	CR
163	A	27º	04-11-05	07-11-05	3	65	29	15.2	30.5	181.5	12300	2222	9750	54	CR
164	B	27º	04-11-05	07-11-05	3	65	29	15.1	30.6	179.1	12160	2219	10730	60	CR

Tipo de Falla:

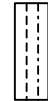
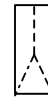
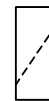
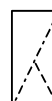
Conica

Conica y Cortante

Cortante

Conica y Partid:

Columnar



Nomenclatura:

CN

CNCR

CR

CNPA

COL

Tabla 3.35: Ensayos a Compresión a Tres Días

## RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO HIDRAULICO ASTM C-39

### ESPECIMENES ENSAYADOS A SIETE DIAS

CIL. No.	IDENT. bach.	Nº	FECHA Colado	FECHA Ruptura	EDAD (días)	EXTENSIB. (cm)	TEMP. °C	DIAM (cm)	ALT. (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	PESO (g)	PES-VOL (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FALLA
3	C	1º	18-10-05	25-10-05	7	59	30	15.2	30.5	181.5	12340	2230	19000	105	CR
9	C	2º	18-10-05	25-10-05	7	56	30	15.1	30.6	179.1	12160	2219	18510	103	CNCR
15	C	3º	18-10-05	25-10-05	7	65	30	15.2	30.5	181.5	11860	2143	15630	86	CR
21	C	4º	19-10-05	26-10-05	7	63	30	15.2	30.5	181.5	12260	2215	18420	102	CR
27	C	5º	19-10-05	26-10-05	7	50	30	15.2	30.5	181.5	12420	2244	22480	124	CR
33	C	6º	19-10-05	26-10-05	7	60	30	15.1	30.6	179.1	11880	2168	19180	107	CR
39	C	7º	19-10-05	26-10-05	7	56	30	15.3	30.4	183.9	12240	2190	21250	116	CR
43	A	8º	21-10-05	28-10-05	7	55	26	15.1	30.6	179.1	12300	2245	20370	114	CR
44	B	8º	21-10-05	28-10-05	7	55	26	15.3	30.4	183.9	12200	2183	20730	113	CR
45	C	8º	21-10-05	28-10-05	7	55	26	15.2	30.5	181.5	12480	2255	17720	98	CR
51	C	9º	24-10-05	31-10-05	7	61	26	15.3	30.4	183.9	11860	2122	18860	103	CR
58	C	10º	24-10-05	31-10-05	7	60	26	15.2	30.5	181.5	12220	2208	19130	105	CNCR
65	C	11º	24-10-05	31-10-05	7	51	26	15.2	30.5	181.5	12460	2251	21780	120	CR
71	C	12º	24-10-05	31-10-05	7	45	27	15.2	30.5	181.5	12200	2204	23130	127	CR
96	C	16º	28-10-05	04-11-05	7	52	26	15.1	30.6	179.1	12040	2197	19520	109	CR
103	C	17º	28-10-05	04-11-05	7	65	28	15.3	30.4	183.9	11920	2133	17720	96	CR
110	C	18º	28-10-05	04-11-05	7	62	29	15.1	30.6	179.1	11880	2168	18230	102	CR
116	C	19º	28-10-05	04-11-05	7	65	29	15.2	30.5	181.5	11960	2161	17510	96	CR
123	C	20º	31-10-05	07-11-05	7	66	26	15.2	30.5	181.5	11640	2103	16430	91	CR
124	D	20º	31-10-05	07-11-05	7	66	26	15.1	30.6	179.1	11900	2172	17180	96	CNCR
125	E	20º	31-10-05	07-11-05	7	66	26	15.1	30.6	179.1	11940	2179	16670	93	CR
126	F	20º	31-10-05	07-11-05	7	66	26	15.3	30.4	183.9	11740	2100	16480	90	CR
129	C	21º	31-10-05	07-11-05	7	49	27	15.2	30.5	181.5	12280	2219	23320	129	CR
130	D	21º	31-10-05	07-11-05	7	49	27	15.3	30.4	183.9	12300	2201	23170	126	CR
131	E	21º	31-10-05	07-11-05	7	49	27	15.2	30.5	181.5	12220	2208	23890	132	CR

Tipo de Falla:

Conica

Conica y Cortante

Cortante

Conica y Partida

Columnar



Nomenclatura:

CN

CNCR

CR

CNPA

COL

Tabla 3.36: Ensayos a Compresión a Siete Días

## RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO HIDRAULICO ASTM C-39

### ESPECIMENES ENSAYADOS A SIETE DIAS

CIL. No.	IDENT.	Nº bñch.	FECHA Colado.	FECHA Ruptura.	EDAD (días)	EXTENSIB. (cm)	TEMP. °C	DIAM (cm)	ALT (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	PESO (g)	PES-VOL (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FALLA
132	F	21º	31-10-05	07-11-05	7	49	27	15.3	30.4	183.9	12180	2179	23230	126	CNCR
135	C	22º	31-10-05	07-11-05	7	66	27	15.1	30.6	179.1	11600	2117	16870	94	CR
136	D	22º	31-10-05	07-11-05	7	66	27	15.1	30.6	179.1	12140	2215	16810	94	CR
137	E	22º	31-10-05	07-11-05	7	66	27	15.2	30.5	181.5	11780	2128	16340	90	CR
138	F	22º	31-10-05	07-11-05	7	66	27	15.2	30.5	181.5	11940	2157	16590	91	CR
141	C	23º	31-10-05	07-11-05	7	60	28	15.2	30.5	181.5	11840	2139	16370	90	CR
142	D	23º	31-10-05	07-11-05	7	60	28	15.3	30.4	183.9	12020	2151	15440	84	CR
143	E	23º	31-10-05	07-11-05	7	60	28	15.2	30.5	181.5	11800	2132	18520	102	CR
144	F	23º	31-10-05	07-11-05	7	60	28	15.1	30.6	179.1	12000	2190	16490	92	CR
147	C	24º	04-11-05	11-11-05	7	53	27	15.2	30.5	181.5	12120	2190	20360	112	CR
148	D	24º	04-11-05	11-11-05	7	53	27	15.3	30.4	183.9	12040	2154	21000	114	CR
149	E	24º	04-11-05	11-11-05	7	53	27	15.3	30.4	183.9	12060	2158	20960	114	CR
150	F	24º	04-11-05	11-11-05	7	53	27	15.1	30.6	179.1	12060	2201	20500	114	CR
153	C	25º	04-11-05	11-11-05	7	62	28	15.2	30.5	181.5	11840	2139	19610	108	CR
154	D	25º	04-11-05	11-11-05	7	62	28	15.2	30.5	181.5	11800	2132	19750	109	CR
155	E	25º	04-11-05	11-11-05	7	62	28	15.3	30.4	183.9	11760	2104	20220	110	CNCR
156	F	25º	04-11-05	11-11-05	7	62	28	15.1	30.6	179.1	11780	2150	19170	107	CR
157	G	25º	04-11-05	11-11-05	7	62	28	15.2	30.5	181.5	11660	2107	17640	97	CR
165	C	27º	04-11-05	02-12-05	7	65	29	15.1	30.6	179.1	11860	2164	17630	98	CR
166	D	27º	04-11-05	02-12-05	7	65	29	15.3	30.4	183.9	11860	2122	17860	97	CR
169	A	28º	04-11-05	11-11-05	7	62	28	15.2	30.5	181.5	11840	2139	19610	108	CR
170	B	28º	04-11-05	11-11-05	7	62	28	15.2	30.5	181.5	11800	2132	19750	109	CR
171	C	28º	04-11-05	11-11-05	7	62	28	15.3	30.4	183.9	11760	2104	20220	110	CNCR
172	D	28º	04-11-05	11-11-05	7	62	28	15.1	30.6	179.1	11780	2150	19170	107	CR
173	E	28º	04-11-05	11-11-05	7	62	28	15.2	30.5	181.5	11660	2107	17640	97	CR

Tipo de Falla:

Conica

Conica y Cortante

Cortante

Conica y Partida

Columnar



Nomenclatura:

CN

CNCR

CR

CNPA

COL

Tabla 3.37: Ensayos a Compresión a Siete Días

## RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO HIDRAULICO ASTM C-39

*ESPECIMENES ENSAYADOS A VEINTIOCHO DIAS*

CIL. No.	IDENT.	Nº bach.	FECHA Colado	FECHA Ruptura	EDAD (días)	EXTENSIB. (cm)	TEMP. °C	DIAM (cm)	ALT (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	PESO (g)	PES-VOL (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FALLA
4	D	1º	18-10-05	15-11-05	28	59	30	15.2	30.5	181.5	12321	2226	28360	156	CR
5	E	1º	18-10-05	15-11-05	28	59	30	15.1	30.6	179.1	12101	2208	29450	164	CR
6	F	1º	18-10-05	15-11-05	28	59	30	15.2	30.5	181.5	12224	2209	29350	162	CR
10	D	2º	18-10-05	15-11-05	28	56	30	15.3	30.4	183.9	12274	2196	30440	166	CR
11	E	2º	18-10-05	15-11-05	28	56	30	15.2	30.5	181.5	11993	2167	30540	168	CR
12	F	2º	18-10-05	15-11-05	28	56	30	15.2	30.5	181.5	12164	2198	31040	171	CR
16	D	3º	18-10-05	15-11-05	28	65	30	15.2	30.5	181.5	12084	2183	27500	152	CNCR
17	E	3	18-10-05	15-11-05	28	65	30	15.2	30.5	181.5	11961	2161	27120	149	CR
18	F	3º	18-10-05	15-11-05	28	65	30	15.3	30.4	183.9	12031	2153	28350	154	CR
22	D	4º	19-10-05	16-11-05	28	63	30	15.2	30.5	181.5	11936	2157	27070	149	CR
23	E	4º	19-10-05	16-11-05	28	63	30	15.3	30.4	183.9	11714	2096	27080	147	CR
24	F	4º	19-10-05	16-11-05	28	63	30	15.2	30.5	181.5	12310	2224	27750	153	CR
28	D	5º	19-10-05	16-11-05	28	50	30	15.2	30.5	181.5	12357	2233	34690	191	CR
29	E	5º	19-10-05	16-11-05	28	50	30	15.1	30.6	179.1	12307	2246	34840	195	CR
30	F	5º	19-10-05	16-11-05	28	50	30	15.2	30.5	181.5	12310	2224	35030	193	CR
34	D	6º	19-10-05	16-11-05	28	60	30	15.2	30.5	181.5	11848	2141	28750	158	CR
35	E	6º	19-10-05	16-11-05	28	60	30	15.2	30.5	181.5	11890	2148	28980	160	CNCR
36	F	6º	19-10-05	16-11-05	28	60	30	15.2	30.5	181.5	11961	2161	28690	158	CR






Tipo de Falla:	Conica	Conica y Cortante	Cortante	Conica y Partida	Columnar
					
Nomenclatura:	CN	CNCR	CR	CNPA	COL

Tabla 3.38: Ensayos a Compresión a Veintiocho Días

## RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO HIDRAULICO ASTM C-39

### ESPECIMENES ENSAYADOS A VEINTIOCHO DIAS

CIL. No.	DIAM. D	Nº bach.	FECHA Colado	FECHA Ruptura	EDAD (días)	EXTENSIB. (cm)	TEMP. °C	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	PESO (g)	PES-VOL (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FALLA
40	D	7º	19-10-05	16-11-05	28	56	30	15.3	30.4	183.9	12508	2238	31950	174	CNCR
41	E	7º	19-10-05	16-11-05	28	56	30	15.2	30.5	181.5	12175	2200	31710	175	CNCR
42	F	7º	19-10-05	16-11-05	28	56	30	15.2	30.5	181.5	12666	2289	32220	178	CR
46	D	8º	21-10-05	18-11-05	28	55	26	15.2	30.5	181.5	12380	2237	33140	183	CR
47	E	8º	21-10-05	18-11-05	28	55	26	15.2	30.5	181.5	12045	2176	36530	201	CNCR
48	F	8º	21-10-05	18-11-05	28	55	26	15.2	30.5	181.5	12244	2212	34010	187	CR
52	D	9º	24-10-05	21-11-05	28	61	26	15.2	30.5	181.5	12138	2193	28670	158	CR
53	E	9º	24-10-05	21-11-05	28	61	26	15.2	30.5	181.5	12060	2179	28790	159	CR
54	F	9º	24-10-05	21-11-05	28	61	26	15.2	30.5	181.5	12124	2191	28790	159	CR
55	G	9º	24-10-05	21-11-05	28	61	26	15.1	30.6	179.1	11941	2179	29140	163	CR
59	D	10º	24-10-05	21-11-05	28	60	26	15.2	30.5	181.5	12182	2201	29190	161	CR
60	E	10º	24-10-05	21-11-05	28	60	26	15.2	30.5	181.5	12355	2232	29090	160	CR
61	F	10º	24-10-05	21-11-05	28	60	26	15.2	30.5	181.5	12143	2194	29880	165	CR
62	G	10º	24-10-05	21-11-05	28	60	26	15.3	30.4	183.9	12160	2176	29300	159	CR
66	D	11º	24-10-05	21-11-05	28	51	26	15.2	30.5	181.5	12503	2259	33510	185	CR
67	E	11º	24-10-05	21-11-05	28	51	26	15.3	30.4	183.9	12222	2187	32700	178	CR
68	F	11º	24-10-05	21-11-05	28	51	26	15.1	30.6	179.1	12265	2238	33250	186	CR
72	D	12º	24-10-05	21-11-05	28	45	27	15.3	30.4	183.9	12291	2199	36430	198	CR
73	E	12º	24-10-05	21-11-05	28	45	27	15.3	30.4	183.9	12532	2242	35760	195	CR
74	F	12º	24-10-05	21-11-05	28	45	27	15.2	30.5	181.5	12325	2227	36450	201	CR
77	C	13º	26-10-05	23-11-05	28	66	26	15.1	30.6	179.1	11869	2166	28270	158	CR
78	D	13º	26-10-05	23-11-05	28	66	26	15.3	30.4	183.9	12081	2162	28240	154	CR
79	E	13º	26-10-05	23-11-05	28	66	26	15.2	30.5	181.5	11978	2164	27870	154	CNCR
80	F	13º	26-10-05	23-11-05	28	66	26	15.2	30.5	181.5	11905	2151	27980	154	CR

Tipo de Falla:

Conica

Conica y Cortante

Cortante

Conica y Partida

Columnar



Nomenclatura:

CN

CNCR

CR

CNPA

COL

Tabla 3.39: Ensayos a Compresión a Veintiocho Días



## RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO HIDRAULICO ASTM C-39

*ESPECIMENES ENSAYADOS A VEINTIOCHO DIAS*

CIL. No.	IDENT. No.	Nº bñch.	FECHA Colado	FECHA Ruptura	EDAD (días)	EXTENSIB. (cm)	TEMP. °C	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	PESO (g)	PES-VOL (kg/m <sup>3</sup> )	CARGA (kg)	RESIST. (kg/cm <sup>2</sup> )	TIPO DE FALLA
83	C	14º	26-10-05	23-11-05	28	65	25	15.3	30.4	183.9	12121	2169	28760	156	CR
84	D	14º	26-10-05	23-11-05	28	65	25	15.2	30.5	181.5	11981	2165	28530	157	CR
85	E	14º	26-10-05	23-11-05	28	65	25	15.2	30.5	181.5	12158	2197	29030	160	CR
86	F	14º	26-10-05	23-11-05	28	65	25	15.2	30.5	181.5	11819	2136	28510	157	CR
87	G	14º	26-10-05	23-11-05	28	65	25	15.2	30.5	181.5	12031	2174	28510	157	CR
90	C	15º	26-10-05	23-11-05	28	54	28	15.1	30.6	179.1	12256	2237	32210	180	CR
91	D	15º	26-10-05	23-11-05	28	54	28	15.2	30.5	181.5	12161	2197	32010	176	CR
92	E	15º	26-10-05	23-11-05	28	54	28	15.2	30.5	181.5	12364	2234	31880	176	CR
93	F	15º	26-10-05	23-11-05	28	54	28	15.2	30.5	181.5	12107	2188	32110	177	CR
97	D	16º	28-10-05	25-11-05	28	52	26	15.2	30.5	181.5	12100	2186	29570	163	CR
98	E	16º	28-10-05	25-11-05	28	52	26	15.2	30.5	181.5	12150	2195	29780	164	CR
99	F	16º	28-10-05	25-11-05	28	52	26	15.1	30.6	179.1	12100	2208	29940	167	CR
100	G	16º	28-10-05	25-11-05	28	52	26	15.1	30.6	179.1	12110	2210	30470	170	CR
104	D	17º	28-10-05	25-11-05	28	65	28	15.1	30.6	179.1	11950	2181	26180	146	CR
105	E	17º	28-10-05	25-11-05	28	65	28	15.2	30.5	181.5	12050	2177	26630	147	CR
106	F	17º	28-10-05	25-11-05	28	65	28	15.2	30.5	181.5	12100	2186	25940	143	CR
107	G	17º	28-10-05	25-11-05	28	65	28	15.3	30.4	183.9	12300	2201	25940	141	CR
111	D	18º	28-10-05	25-11-05	28	62	29	15.2	30.5	181.5	11900	2150	28640	158	CR
112	E	18º	28-10-05	25-11-05	28	62	29	15.2	30.5	181.5	12000	2168	28430	157	CNCR
113	F	18º	28-10-05	25-11-05	28	62	29	15.1	30.6	179.1	12000	2190	28520	159	CR
117	D	19º	28-10-05	25-11-05	28	65	29	15.2	30.5	181.5	12300	2222	26960	149	CR
118	E	19º	28-10-05	25-11-05	28	65	29	15.2	30.5	181.5	12300	2222	27000	149	CR
119	F	19º	28-10-05	25-11-05	28	65	29	15.3	30.4	183.9	11900	2129	26040	142	CR
120	G	19º	28-10-05	25-11-05	28	65	29	15.2	30.5	181.5	12100	2186	26020	143	CR

Tipo de Falla:

Conica

Conica y Cortante

Cortante

Conica y Partida

Columnar



Nomenclatura:

CN

CNCR

CR

CNPA

COL

Tabla 3.40: Ensayos a Compresión a Veintiocho Días

### **3.5.2 Módulo de Elasticidad Dinámico ASTM C-597.**

Este método de ensayo se aplica para juzgar la uniformidad y calidad relativa del concreto, para indicar la presencia de vacíos y grietas, y para evaluar la efectividad de la reparación de las grietas. También es aplicable para indicar cambios en las propiedades del concreto, y en el análisis de estructuras, para estimar la severidad de deterioro o agrietamiento. Los resultados obtenidos por el uso de este método de ensayo no son considerados como un medio de medir la resistencia, ni tampoco como un ensayo adecuado para establecer confianza con el módulo de elasticidad del concreto.

El ensayo de Velocidad de Pulso Ultrasónico es clasificado como no destructivo, cubre la determinación de la velocidad de propagación de pulso de ondas de esfuerzo longitudinal a través del concreto, los pulsos de ondas de esfuerzo longitudinal son generados por un transductor electroacústico que es mantenido en contacto con una superficie de concreto bajo prueba. Después de atravesar el concreto, los pulsos son recibidos y convertidos en energía eléctrica por un segundo transductor colocado a una distancia  $L$  del transductor transmisor, es realizado a cilindros a la edad de 28 días, ya que se busca que el concreto haya adquirido todas las características y cumpla con las especificaciones para su funcionamiento. Este ensayo se aplica para juzgar la uniformidad y calidad relativa del concreto, además indica la presencia de vacíos y grietas.

Es usado para encontrar el módulo de elasticidad (E) y el módulo de Poisson dinámico ( $\mu$ ). A continuación se presenta en la figura 3.36 el dispositivo utilizado en el ensayo.



Figura 3.36: Dispositivo Utilizado para la Determinación del Módulo de Elasticidad Dinámico en el Concreto.

En la tabla 3.41 se presentan los resultados obtenidos para el Módulo de Elasticidad Dinámico y el Módulo de Poisson correspondiente:

**VELOCIDAD DE PULSO A TRAVEZ DEL CONCRETO  
ASTM C-597**

EDAD: 28 Dias  
 FECHA DE ENSAYO: 15-nov-05 23-nov-05 25/11/2005

Especimen No.	Masa lb	Volumen pie <sup>3</sup>	Peso Volumetrico (lb/pie <sup>3</sup> )	Distancia entre transductores, (pulg)	DISTANCIA	TIEMPO (Micro s)	Velocidad (ft/s)	Módulo de Elasticidad Dinámico E (psi)	Poisson Dinámico
					pie				μ
4	27.16	0.19545	138.96	12.00	1.00	78.20	12787.70	4.905	0.090
5	26.68	0.19352	137.87	12.00	1.00	82.50	12106.50	4.317	0.090
6	26.95	0.19545	137.89	12.00	1.00	78.40	12755.10	4.843	0.090
10	27.06	0.19738	137.10	12.00	1.00	81.40	12285.01	4.511	0.090
11	26.44	0.19545	135.28	12.00	1.00	79.60	12562.81	4.608	0.090
12	26.82	0.19545	137.22	12.00	1.00	81.20	12315.00	4.492	0.090
16	26.64	0.19545	136.30	12.00	1.00	78.60	12722.70	4.762	0.085
17	26.37	0.19545	134.92	12.00	1.00	82.50	12121.00	4.278	0.085
18	26.52	0.19738	134.36	12.00	1.00	83.00	12048.00	4.252	0.085
77	26.17	0.19352	135.23	12.00	1.00	79.30	12610.00	4.595	0.085
83	26.72	0.19738	135.37	12.00	1.00	79.50	12578.00	4.695	0.085
90	27.02	0.19352	139.62	12.00	1.00	83.00	12048.00	4.353	0.085
113	26.46	0.19352	136.73	12.00	1.00	82.00	12221.00	4.512	0.090
119	26.24	0.19738	132.94	12.00	1.00	80.20	12510.00	4.610	0.085
120	26.68	0.19545	136.51	12.00	1.00	79.40	12148.00	4.454	0.085

Tabla 3.41: Ensayos de Velocidad de Pulso Ultrasónico

### 3.5.3 Módulo de Elasticidad Estático ASTM C-469

En este método de ensayo se determina el módulo de elasticidad estático de una probeta de concreto, y consiste en adicionar una carga al espécimen del 40% de la carga esperada, las deformaciones son medidas por un dispositivo que se le coloca al cilindro y toma las deformaciones unitarias de este. Se toma un promedio de las lecturas a las 50 millonésimas de deformación y al 40% del esfuerzo máximo. En la figura 3.37 se presenta el dispositivo que se utiliza para este tipo de prueba.



Figura 3.37: Ensayo para Calcular el Módulo de Elasticidad

Los resultados obtenidos en éste ensayo se muestran a continuación en la tabla

3.42:

**MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO  
ASTM C-469  
COMPRESÓMETRO- EXTENSÓMETRO**

Especimen No.	Diámetro pulg	Altura pulg	Esfuerzo del Compañ. psi	Esfuerzo del 40% (S <sub>2</sub> ) psi	Esfuerzo de la Deformac.(S <sub>1</sub> ) 50x10 <sup>-6</sup> psi	Deformación Long. por S <sup>2</sup> ε <sub>2</sub>	Tiempo (s)	Módulo de Elasticidad Estático (psi) ( E )
167	5.94	12.05	2560	1024	82.50	8.60	97.00	
167	5.94	12.05	2560	1024	101.00	8.00	100.00	
<b>PROM</b>	<b>5.94</b>	<b>12.05</b>	<b>2560</b>	<b>1024</b>	<b>91.75</b>	<b>8.30</b>		<b>3.73E+07</b>
168	6.02	11.97	2119	847.6	80.50	8.30	79.00	
168	6.02	11.97	2119	847.6	91.40	7.60	90.00	
<b>PROM</b>	<b>6.02</b>	<b>11.97</b>	<b>2119</b>	<b>847.6</b>	<b>85.95</b>	<b>7.95</b>	<b>84.50</b>	<b>4.70E+07</b>

Fórmulas      E =       $(S_2 - S_1) / (\epsilon_2 - 0.000050)$

Tabla 3.42: Módulo de Elasticidad Estático.

### 3.5.4 Prueba de Adherencia entre Concreto y Barras de Refuerzo

#### ASTM C-234.

El objeto de esta prueba es el de observar la adherencia que tiene el concreto con el acero, es decir, probar si el concreto tiene la capacidad de resistir cierta tensión, tal que la barra de refuerzo embebida en el concreto llegue a la ruptura sin que esta se desplace. Los moldes tienen una dimensión de 15 cm por 15 cm y la barra es de 3/8" de diámetro con una longitud de 50 cm. Las figuras 3.38, 3.39 y 3.40 que se muestran a continuación representan la hechura, realización y el resultado del ensayo (ver tabla 3.43, para observar datos resultantes del ensayo).



Figura 3.38: Hechura de Especímenes para Ensayo de Adherencia.

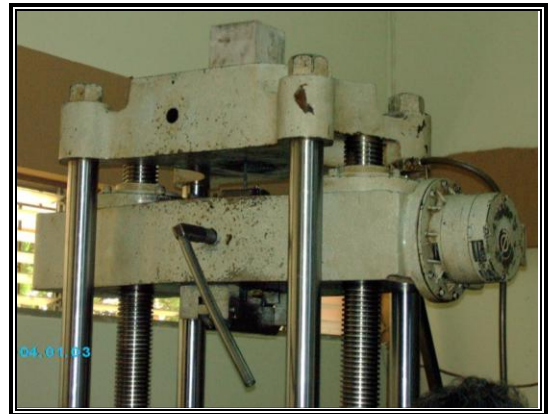


Figura 3.39: Colocación de Especimen para Ensayo de Adherencia en la Máquina Universal.



Figura 3.40: Comparación entre  
Especímenes antes y Después de  
Ensayo.



**ADHERENCIA ENTRE EL ACERO DE REFUERZO Y EL CONCRETO  
ASTM C-234**

*ESPECIMENES ENSAYADOS A VEINTIOCHO DIAS*

CILINDRO No.	FECHA Colado	FECHA Ruptura	EDAD (dias)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	AREA (cm <sup>2</sup> )	CARGA MAX. (Kg)	FLUENCIA (kg)	DESPLAZAM. BARRA (cm)	DESPLAZAMIENTO
1	3-nov-05	1-dic-05	28	15.00	15.10	14.90	226.50	3200	2500	2.50	SI
2	3-nov-05	1-dic-05	28	14.90	15.00	15.10	223.50	2700	2750	3.50	SI
3	3-nov-05	1-dic-05	28	15.10	14.90	15.00	224.99	2950	-	1.20	SI
4	3-nov-05	1-dic-05	28	15.00	15.10	14.90	226.50	2570	-	1.70	SI
5	3-nov-05	1-dic-05	28	15.00	15.10	14.90	226.50	2800	-	1.90	SI
6	3-nov-05	1-dic-05	28	14.90	15.00	15.10	223.50	2700	-	1.50	SI
7	3-nov-05	1-dic-05	28	14.90	15.00	15.10	223.50	3250	-	2.30	SI
8	3-nov-05	1-dic-05	28	15.10	15.00	14.90	226.50	2860	-	1.60	SI
9	5-nov-05	3-dic-05	28	15.00	15.10	14.90	226.50	3090	-	1.70	SI
10	5-nov-05	3-dic-05	28	15.10	14.90	15.00	224.99	3500	2950	1.90	SI
11	5-nov-05	3-dic-05	28	14.90	15.00	15.10	223.50	3270	2900	2.00	SI
12	5-nov-05	3-dic-05	28	15.10	15.00	14.90	226.50	2770	-	1.60	SI
13	5-nov-05	3-dic-05	28	15.00	15.10	14.90	226.50	3470	2960	1.70	SI
14	5-nov-05	3-dic-05	28	15.00	15.10	14.90	226.50	3110	2965	1.00	SI
15	5-nov-05	3-dic-05	28	15.10	15.00	14.90	226.50	2950	-	3.00	SI

Tabla 3.43: Resultados del Ensayo de Adherencia entre Concreto y Acero de Refuerzo.

**CAPÍTULO IV:**  
***ANÁLISIS DE RESULTADOS.***

#### **4.0 ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

Con propiedad se puede decir que: el “diseño de la mezcla”, es el proceso de selección de los componentes adecuados del concreto, determinando sus cantidades relativas, con el propósito de producir un concreto económico, que cumpla con ciertas propiedades mínimas (trabajabilidad, resistencia y durabilidad).

Indudablemente, en nuestro medio las dos propiedades más significativas al diseñar mezclas de concreto normal son la resistencia a la compresión y la trabajabilidad, aunque debe reconocerse que últimamente se ha prestado mucha atención a la durabilidad.

En este sentido, los métodos empleados para dosificar concreto, frecuentemente buscan producir concreto al menor costo.

Por tanto, no debe de sorprender la conveniencia de verificar las proporciones calculadas, haciendo mezclas de prueba y efectuando ajustes hasta obtener la mezcla con las características deseadas. (Ver apartado 3.3 del capítulo III).

#### **4.1 AGREGADOS PARA CONCRETO.**

Se llevaron a cabo, todos los ensayos correspondientes a los agregados. El ensayo de colorimetría, (ver apartado 3.2.3, del Capítulo III), proporcionó buenos resultados; de acuerdo con la escala de Gardner establecida (ver tabla 3.2, Capítulo III), por medio de la cual se determina que el agregado fino utilizado no contiene impurezas orgánicas perjudiciales por encontrarse en una escala menor a la concebida como Estándar.

En cuanto a la graduación de los agregados, se deben tomar en cuenta los parámetros propuestos por la especificación ASTM C 33 (Ver 3.2.4 del Capítulo III).

A continuación, se presenta una comparación entre los límites granulométricos que proporciona la ASTM C 33 para agregado fino y la granulometría resultante en el Ensayo ASTM C 136 descrito en el Capítulo III.

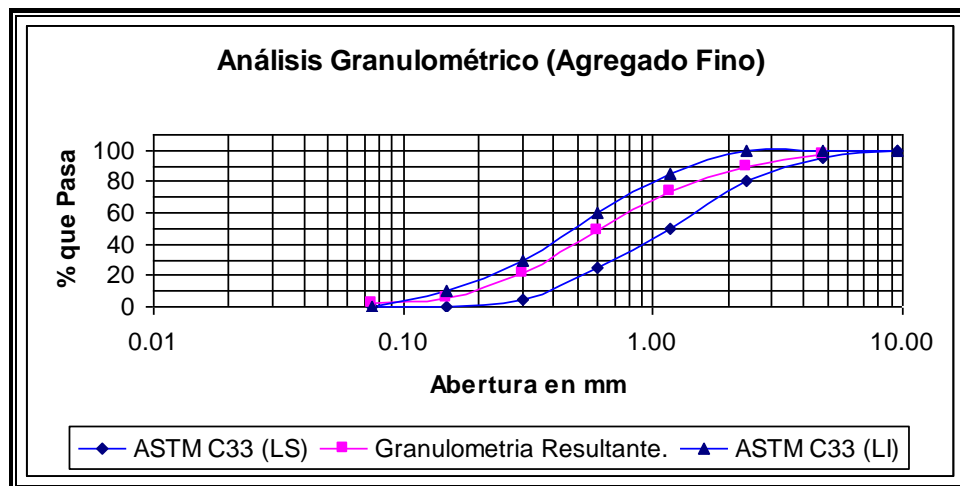


Figura 4.1: Análisis Granulométrico del Agregado Fino.

Tal como se puede observar en la figura 4.1, la granulometría resultante está dentro de los rangos establecidos por la ASTM C 33 (tabla 3.3, del capítulo III), es decir que se cuenta con una buena granulometría en el agregado fino.

Además, se puede garantizar que no se tendrá dificultad, respecto a al bombeo, por efecto de la trabajabilidad y/o sangrado excesivo, ya que los porcentajes pasando las mallas  $300 \mu\text{m}$  (Nº 50) y  $150 \mu\text{m}$  (Nº 100), no son los mínimos establecidos (ver tabla 3.7, del capítulo III). Del mismo modo es de hacer notar que no ha sido necesario el empleo de la norma ASTM C 117 debido a que no

se cuenta con un porcentaje significativo de material pasando la malla N° 200 (según tabla N° 1 ASTM C 33).

También en cuanto a la forma y textura superficial de las partículas de los agregados se apreció que en su mayoría eran cortas y gruesas, libres de cantidades excesivas de piezas en forma de placas ó alargadas; limitándose a un máximo del 15 por ciento en peso del agregado total.

Conocida la granulometría, se procede a la obtención del módulo de finura, conforme a la fórmula (que se presenta a continuación), con el propósito de clasificar de mejor manera el agregado fino.

$$MF = (\% \text{ Acumulado retenido desde la malla N}^\circ 4 \text{ a N}^\circ 100) / 100$$

Resultando MF = 2.63.

Para Luego, efectuar la clasificación correspondiente, de acuerdo con la tabla 4.1, que se muestra a continuación:

<b>MÓDULO DE FINURA</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
Menor que 2.0	Muy fina
2.0 – 2.3	Fina
2.3 – 2.6	Media Fina
2.6 – 2.9	Media
2.9 – 3.2	Media Gruesa
3.2 – 3.5	Gruesa
Mayor que 3.5	Muy Gruesa

Tabla 4.1: Clasificación de la Arena Dependiendo del Módulo de Finura.

La cual proporciona una clasificación de “Media”, es decir tal como se observa en la tabla, el módulo de finura obtenido se encuentra dentro del rango 2.6 a 2.9, lo que implica que se cumple a plenitud esta condición, según la ASTM C 33 en la cual es permisible un rango de 2.3 a 3.1.

Respecto al agregado grueso, se debe prestar atención a la tendencia de esta granulometría en la figura 4.2, en la que con claridad se observa que el tamaño especificado para la granulometría resultante es la correspondiente a la N° 67 según la tabla 2 de la especificación ASTM C 33.

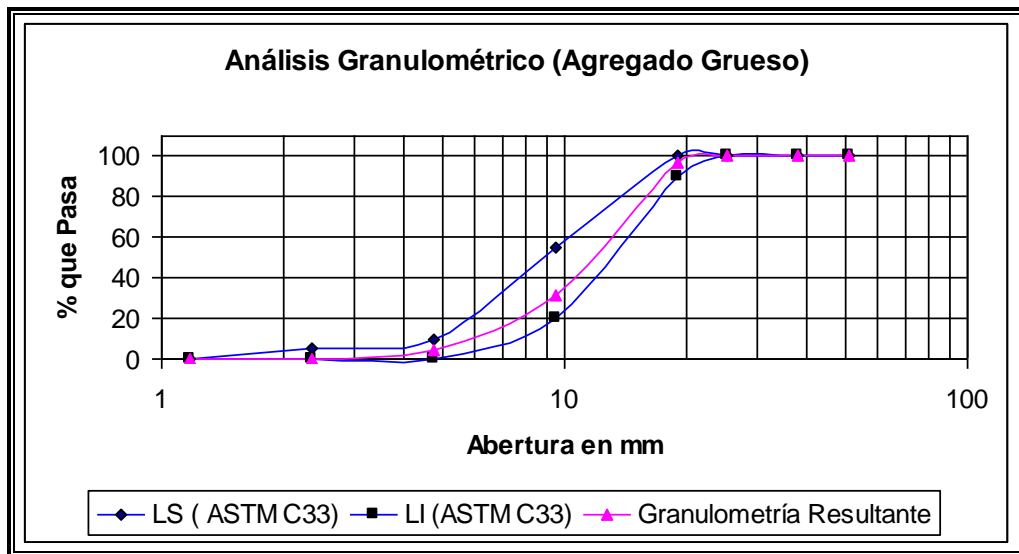


Figura 4.2: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.

En relación al tamaño máximo nominal del agregado, de acuerdo a la tabla 3.6 del capítulo III, resultó ser de  $\frac{3}{4}$ " , lo que indica que está dentro de los estándares establecidos (tal como se detalló en 3.3.1.1, del Capítulo III), ya que no excede de un quinto de la menor dimensión del miembro, ni de tres cuartos

del espacio libre entre las varillas del refuerzo ó entre el refuerzo y los moldes, y además de un tercio del espesor de la losa (si es colada sobre el terreno).

Además de la granulometría de los agregados para concreto también se deben tomar en cuenta otras propiedades físicas medibles a los agregados (según especificaciones ASTM C 33, C 127, C 128 y C29), tales como las que se muestran en la tabla 4.2 y que han sido detallados en el Capítulo III.

<b>PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS.</b>		
<b>Propiedad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Tolerancias (Según ASTM)</b>
Módulo de Finura	2.63	2.30 – 3.10
Gravedad Específica (Grava)	2.62	2.40 – 2.80
Gravedad Específica (Arena)	2.42	
Absorción (Grava)	1.43 %	< 3%
Absorción (Arena)	3.11 %	< 5 %
Peso Volumétrico Suelto (Arena)	1400 kg/m <sup>3</sup>	(1200 – 1760) kg/m <sup>3</sup>
Peso Volumétrico Suelto (Grava)	1410 kg/m <sup>3</sup>	
Peso Volumétrico Varillado (Grava)	1480 kg/m <sup>3</sup>	

Tabla 4.2: Propiedades de los Agregados para Concreto.

Debido a que en el concreto para viviendas coladas in-situ, es necesario considerar todas las propiedades físicas que de alguna manera pueden influir en el comportamiento del concreto, se toma especial importancia al módulo de finura que se encuentra clasificado en un término “medio” y por lo tanto, es considerado aceptable (según ASTM C 33) para la fabricación del concreto requerido.

Los datos obtenidos respecto a la gravedad específica de la grava y de la arena, se pueden observar en la tabla 4.2; en la que dichos datos se encuentran dentro de los rangos establecidos por la ASTM C 127 y C 128, para concreto de peso normal.

El grado de absorción de los agregados representa un buen indicio en cuanto al desempeño de los agregados en el concreto, ya que los resultados de los ensayos (ver tabla 3.10 del Capítulo III), se encuentran dentro de las tolerancias especificadas, y que se muestran en la tabla 4.2.

Tomando en consideración que la mezcla que se pretende obtener, será de peso normal, se puede afirmar que también cumple esta condición respecto a las tolerancias predeterminadas, tanto en la condición de suelto como de varillado.

La humedad es otra propiedad de los agregados, que generalmente se calcula justo antes de cada bachada, con el objetivo de lograr un ajuste en peso de las cantidades de los materiales en una revoltura de concreto; haciendo énfasis en que, los datos no deben diferir uno del otro por más de 0.79% según ASTM C 566; cuando los ensayos son realizados adecuadamente.

#### **4.2 CONCRETO EN ESTADO FRESCO.**

Luego de haber realizado las pruebas pertinentes; previas a la determinación de la mezcla con las características requeridas tanto en estado fresco como en estado endurecido; para la construcción de Viviendas Colada In-situ, se estableció el diseño óptimo (Ver sección 3.3, del Capítulo III), al cual se le



atribuyen propiedades de trabajabilidad, determinando así la capacidad de colocación y de compactación apropiada; permitiendo un acabado sin segregación ni sangrado nocivo y la moldeabilidad y adherencia necesaria.

En la tabla 4.3 se observan los promedios de los resultados obtenidos en los ensayos descritos en el capítulo III para concreto en estado fresco.

<b>PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.</b>		
<b>Especificación</b>	<b>Propiedad</b>	<b>Resultado Promedio</b>
	Extensibilidad	59.00 cm
ASTM C- 403	Tiempo de Fraguado Inicial	5 hr: 47 min.
	Tiempo de Fraguado Final	8 hr: 47 min.
ASTM C-231	Contenido de Aire	3.9 %
ASTM C-1064	Temperatura del Concreto	28 °C
ASTM C-29	Peso Volumétrico	2150 kg/m <sup>3</sup>

Tabla 4.3. Propiedades del Concreto en Estado Fresco.

La consistencia (revenimiento), en el método del ACI es un dato que sirve de base para diseñar las mezclas de concreto; mientras que en el método del mínimo contenido de vacíos es una referencia para mejorar la mezcla de prueba en caso de que el revenimiento haya sido diferente al especificado. En la mezcla que se reprodujo, la extensibilidad promedio, está dentro del rango establecido de 18” a 24” <sup>[7]</sup> para considerar una mezcla apropiada de consistencia plástica.

[7] Criterios de Diseño/ prueba de extensibilidad ("spread")/www.cemex.com

Los tiempos de fraguado (fraguado inicial 5hr: 47min y fraguado final 8hr: 47 min en promedio) se obtuvieron bajo condiciones de laboratorio (20 a 25 °C), por lo cual no se cuenta con datos bajo condiciones de campo, es decir que en obra existe la posibilidad de que influyan significativamente los agentes medioambientales a las cuales este sujeto tal ensayo.

Con el propósito de mejorar la exactitud en la interpolación de los tiempos de fraguado inicial y final, se han ploteado los resultados del ensayo en una gráfica resistencia a la penetración vrs tiempo transcurrido, tal como se muestra en las figuras 4.3, 4.4 y 4.5.

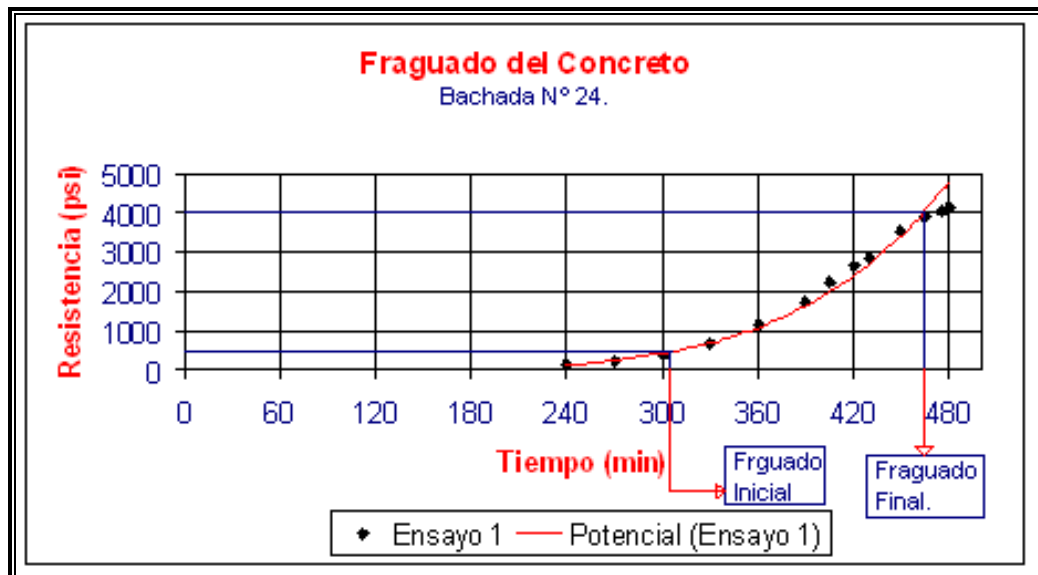


Figura 4.3: Fraguado del Concreto (Ensayo 1).

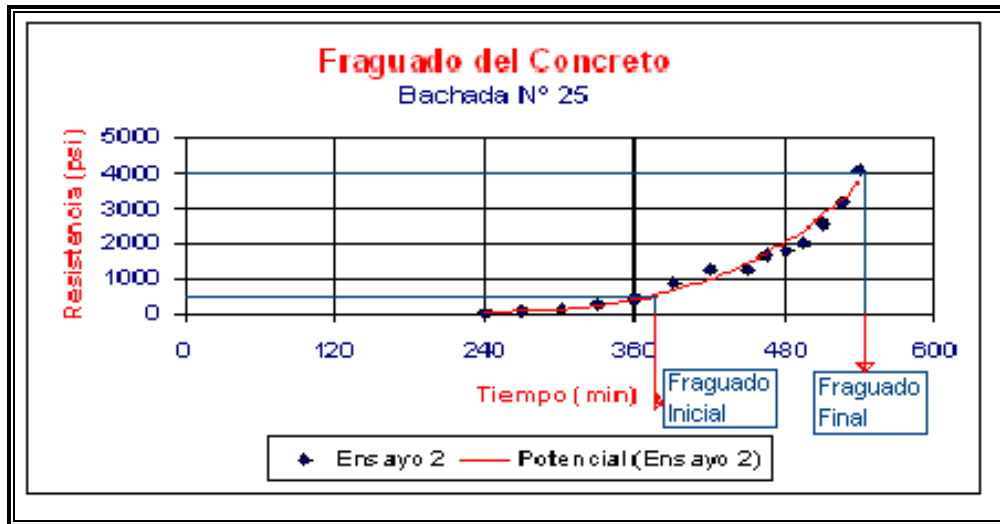


Figura 4.4: Fraguado del Concreto (Ensayo 2)

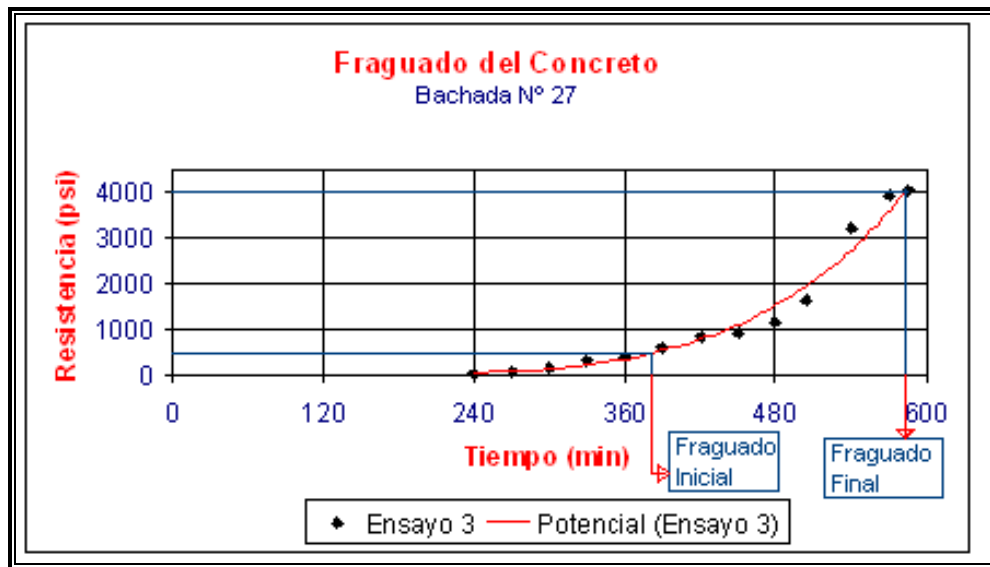


Figura 4.5: Fraguado del Concreto (Ensayo 3).

De acuerdo con la especificación ASTM C 403, se plotearon los resultados de tres ensayos separadamente, en los cuales se aprecia con facilidad que existen puntos que probablemente han sido afectados por la interferencia de las partículas grandes en el mortero, presencia de vacíos grades en la zona de

penetración, interferencias por las impresiones creadas por penetraciones adyacentes, fallas en el uso del instrumento de penetración y variaciones en la profundidad de penetración; aunque se haya tenido el mayor cuidado respecto a las variables antes mencionadas.

Respecto al contenido de aire obtenido como promedio en las mezclas de concreto (ver tabla 4.3), se puede decir que es un valor muy cercano al contenido de aire de diseño igual a 3.5%, ya que resultó satisfactorio el empleo de un aditivo (Megaflo), que contribuyó a la densificación de la mezcla, factor que es de mucha importancia, debido a que, por la influencia del cemento de mampostería ASTM C 91 tipo M se tiene un considerable contenido de aire (podría ser beneficioso para la obtención de un buen acabado en paredes coladas in-situ, pero afecta significativamente la resistencia mecánica del concreto).

La temperatura del concreto se considera de mucha importancia, debido a los efectos indeseables que pueden causar las propiedades del concreto, tanto en estado fresco como endurecido.

Especificaciones ACI recomiendan que la temperatura de la mezcla de concreto al momento de la colocación, debe ser menor a 32 °C; aunque el límite debe establecerse en condiciones satisfactorias para una obra determinada, basándose en mezclas de prueba a temperaturas ideales.

Tomando en cuenta la consideración de ACI, se afirma que en general se cumplió con este parámetro, ya que el promedio de la temperatura en la mezcla

de concreto, es de 28 °C, tomando en cuenta que la reproducción se realizó en horas del día.

El peso unitario del concreto fresco es de mucha importancia, por la relación entre el volumen teórico y el volumen producido en la mezcla.

Resultando un valor promedio de 2151 kg/m<sup>3</sup>; similar al peso unitario determinado en el diseño de la mezcla que es igual a 2108, lo cual representa un volumen relativo de aproximadamente 1.02, interpretándose como una mezcla con un mínimo exceso de concreto producido.

#### 4.3 CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

En la tabla 4.4 se presentan los resultados promedios de los ensayos al concreto en estado endurecido.

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.		
Especificación	Propiedad	Resultado Promedio
	Peso Unitario	2180 kg/m <sup>3</sup>
ASTM C-39	Resistencia a la Compresión. (3 días)	72 kg/cm <sup>2</sup>
	Resistencia a la Compresión. (7 días)	105 kg/cm <sup>2</sup>
	Resistencia a la Compresión. (28 días)	164 kg/cm <sup>2</sup>
ASTM C-597	Módulo de Elasticidad Dinámico.	4.55 E6 psi = 318500 kg/cm <sup>2</sup>
ASTM C-469	Módulo de Elasticidad Estático.	4.22 E7 lb/in <sup>2</sup>
ASTM C-234	Prueba de Adherencia entre Concreto y Acero de Refuerzo.	Esfuerzo Máx. Prom. = 13.36 kg/cm <sup>2</sup>
		Desplaz. Prom. = 1.94 cm.

Tabla 4.4: Propiedades del Concreto en Estado Endurecido.

En la tabla 4.4 se hace referencia a la resistencia promedio obtenida, que corresponde a  $164 \text{ kg/cm}^2$  a 28 días, es decir que para el requerimiento especificado, es un valor que representa mucha confiabilidad, ya que para viviendas coladas in-situ, se busca una resistencia de al menos  $140 \text{ kg/cm}^2$  (según especificaciones ACI 332), que es precisamente la resistencia solicitada en el diseño propuesto. Pero debido a que en el medio se observan muchos vicios de construcción, se pretendió establecer un diseño en el cual se tuviera un factor de corrección en cuanto a resistencia, sin olvidar las restricciones económicas en cuanto al contenido de cemento. Esto conlleva a determinar que con el empleo de un contenido moderado de cemento de mampostería ASTM C 91 tipo M, se logran resistencias muy buenas para la aplicación establecida; con lo cual podemos decir que la resistencia que generalmente se emplea en nuestro medio para este tipo de edificaciones se puede lograr a ciencia cierta con una dosificación de cemento similar a la empleada en un concreto con cemento de alta resistencia inicial (cemento empleado actualmente para estas edificaciones).

A continuación en la figura 4.6, se presenta una comparación de los resultados obtenidos para diferentes bachadas, realizadas a lo largo de la reproducción de la mezcla óptima de concreto.

### GRÁFICO COMPARATIVO DE EDAD VRS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

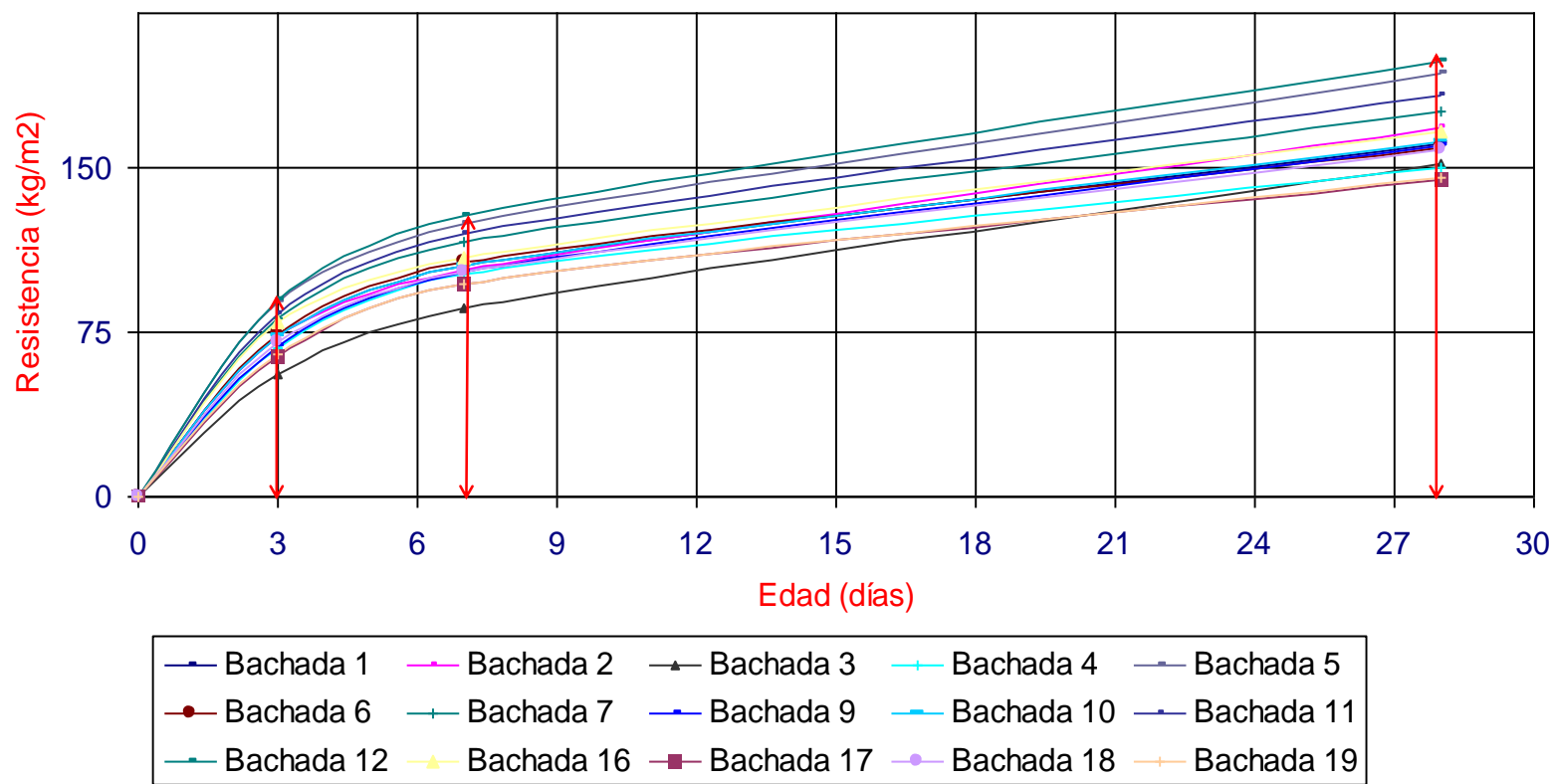


Figura 4.6: Gráfico Comparativo Edad vrs. Resistencia a la Compresión de Diferentes Bachadas.

Según el gráfico 4.6, es posible afirmar que el comportamiento de las diferentes bachadas es bastante similar, lo cual conlleva a determinar que la mezcla se mantuvo homogénea durante toda la reproducción; también se observa que las resistencias a la compresión a los 28 días sobrepasan la resistencia de diseño ( $140 \text{ kg/cm}^2$ ).

En cuanto al módulo de elasticidad dinámico se puede decir que está dentro del rango establecido ( $2.0 \times 10^6 - 6.0 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$ ) para concreto de peso normal (ver tabla 3.36 del Capítulo III); en tanto que el módulo de elasticidad estático generó datos no confiables dado que no se presenta uniformidad en los resultados (ver tabla 3.37 del Capítulo III); como consecuencia de la mínima cantidad de ensayos realizados (no es una cantidad representativa); razón por la cual no fue posible establecer una correlación entre el módulo de elasticidad estático y dinámico.

Luego, se puede hacer referencia al ensayo de adherencia en la que se llegó a determinar que: conforme es menor el deslizamiento asociado con una mayor fuerza utilizable, mejor será la calidad de adherencia entre concreto y acero de refuerzo.

En la tabla 4.4, se puede apreciar la carga máxima promedio equivalente a  $13.36 \text{ kg/cm}^2$ , donde además se evidencia el tipo de falla experimentado a raíz del deslizamiento de la barra, concibiendo así un promedio de 1.94 cm. Aunque en el ensayo, se obtuvieron algunos resultados de fluencia en la barra



de acero, no se pudo llegar a obtener la ruptura de la misma, ya que ésta primero experimentó el deslizamiento (ver tabla 3.38 Capítulo III).

En la figura 4.7 que a continuación se muestra; se observan de mejor manera los resultados obtenidos en el ensayo de adherencia, dónde se aprecia con claridad el comportamiento de los especímenes.

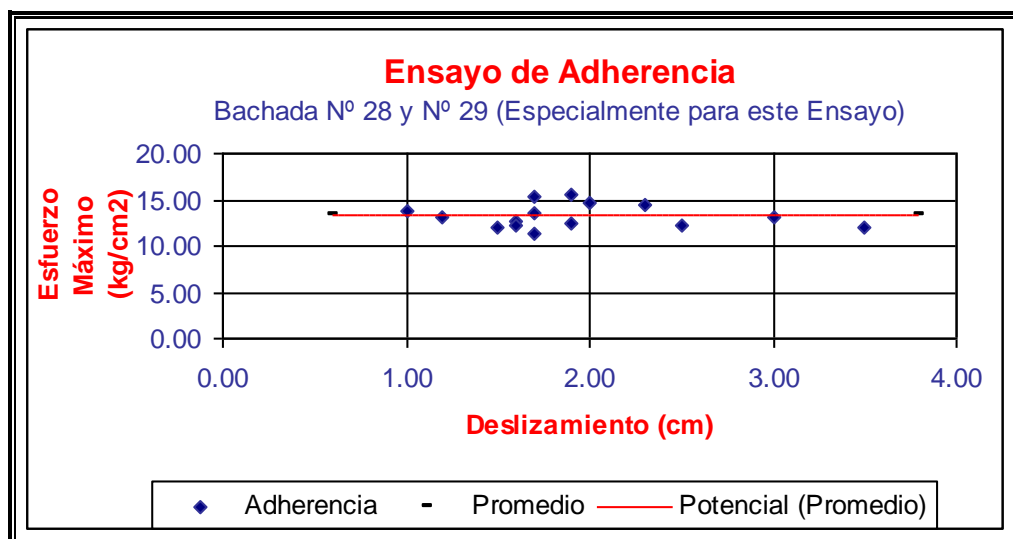


Figura 4.7: Resultados del Ensayo de Adherencia.

#### 4.3.1 Análisis Estadístico.

Un concepto muy importante que hay que tener en cuenta actualmente es que los métodos de diseño estructural en concreto, son probabilísticos.

Al ser el concreto un material heterogéneo, está sujeto a la variabilidad de sus componentes así como a las dispersiones adicionales por las técnicas de elaboración, transporte, colocación y curado en obra. (Ver sección 2.3.1 Capítulo II).

En la tabla 4.5, se presentan los resultados promedio de la resistencia a la compresión de los diferentes especímenes a edades de ensayo, así como también su correspondiente desviación estándar:

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION A DIFERENTES EDADES (kg/cm<sup>2</sup>)</b>			
Edad	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	72.41	105.16	164.89
Nº de Ensayes	25	25	33
Factor de Corr.(Ds)	1.03	1.03	1.00
Desviación Estándar	9.21	11.18	14.68
Variación %	12.72	11.11	8.91

Tabla 4.5: Resistencia a Compresión a Edades de Ensayo.

Las mezclas mostraron una tendencia similar en todas sus edades, ya que sus resistencias a la compresión se encontraron dentro de los valores establecidos por el comité ACI 214.

De acuerdo a los parámetros tolerables en cuanto a la variación estándar y desviación, establecidos en la sección 2.3.2 del capítulo II, se aprecia una desviación estándar dentro de la clasificación “muy bueno”, aunque el porcentaje de variación resultó ser “deficiente”.

Pero en general toda la mezcla presentó un comportamiento aceptable, ya que se considera que en su mayoría se cumplieron las especificaciones correspondientes en cuanto al diseño y clasificación de la mezcla de concreto.

**CAPÍTULO V:**  
***CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.***

## **CONCLUSIONES.**

- Se considera que técnicamente es factible el uso del concreto elaborado con cemento de mampostería ASTM C-91, tipo M, para la construcción de viviendas coladas in-situ.
- Los materiales que constituirán la mezcla de concreto elaborado con cemento de mampostería, para la construcción de viviendas coladas in-situ; deberán ser evaluados, de manera que se cumplan los requisitos de calidad tradicionalmente utilizados; no perdiendo de vista los criterios establecidos en la especificación ASTM C 33 (para agregados), ASTM C 91 (para el cemento) y ASTM C 94 (para el agua).
- La composición granulométrica del agregado grueso está definida con un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ " , el cual cumple con las especificaciones constructivas para su aplicación en la construcción de viviendas coladas in-situ.
- La arena utilizada en el presente estudio, cumple con los requerimientos establecidos en la norma ASTM C 33 para una arena de origen natural, con un Módulo de Finura de 2.63; parámetro que define características favorables para su utilización en la construcción de viviendas coladas in-situ.

- La grava utilizada en la presente investigación es de origen basáltico, y cumple con los requerimientos teóricos del concreto para viviendas coladas in-situ; los resultados de los ensayos demuestran que es un material adecuado para la producción de concreto de peso normal, que permite la durabilidad del concreto en estado endurecido.
- La semejanza en cuanto a la naturaleza de los agregados es un factor importante en la determinación de un diseño de mezclas; en base al estudio realizado se obtuvieron las gravedades específicas para la arena (2.42) y para la grava (2.62), con las cuales se logró un resultado satisfactorio en cuanto al comportamiento de los agregados en el concreto.
- En la determinación del esqueleto granular se utiliza el peso unitario suelto de la mezcla de agregados, debido a la similitud existente con las condiciones de campo aplicadas al concreto en estudio, donde no debe considerarse ningún procedimiento de compactación como consecuencia de la alta fluidez, necesaria en la mezcla de concreto.
- El esqueleto granular que se utilizó para el proporcionamiento del diseño de mezcla, es el que se considera como el óptimo, luego de haber realizado varias pruebas (modificando el esqueleto granular) variando los porcentajes

de agregados, teniendo en cuenta para su determinación la aplicabilidad del concreto, evitando mezclas de concreto con poca plasticidad, que dificulten la fluidez de la misma dentro del elemento a construir.

- El diseño de mezcla óptimo basado en las especificaciones del Comité ACI 332 y la normativa de vivienda se obtuvo a través del método de máxima compacidad (mínimo de vacíos), determinando una dosificación adecuada que proporciona: homogeneidad, estabilidad, fluidez y cohesión a la mezcla de concreto; mediante el empleo de cemento de mampostería ASTM C-91 tipo M.
- El cambio en los porcentajes de volumen del esqueleto granular que para agregado grueso oscilaron entre 50% y 40% y para agregado fino entre 40% y 60% permitió establecer comparaciones en cuanto al comportamiento de las mezclas generadas con los distintos porcentajes, logrando establecer que el porcentaje que mejor se adecua a las propiedades de fluidez y estabilidad, es el que demandó una mayor cantidad de arena, es decir la que contiene un esqueleto granular 40% de grava y 60% de arena.
- En la presente investigación una vez determinado el diseño óptimo de la mezcla de concreto se obtuvieron propiedades en el concreto en estado fresco y endurecido, tales como: peso volumétrico (prom. = 2151 kg/m<sup>3</sup>);

temperatura (prom. = 28 °C), contenido de aire (prom. = 3.9%), resistencia a la compresión con un promedio de 164 kg/cm<sup>2</sup> a una edad de 28 días, así como también, el esfuerzo de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo con un promedio de 13.36 kg/cm<sup>2</sup>, para el concreto resultante.

- Se observó una reacción química adversa en la mezcla de concreto cuando se utilizó un aditivo superfluidificante de última generación a base de policarboxilatos (Ultraflow), evidenciándose una prematura pérdida de revenimiento, y segregación en la mezcla de concreto.
- Se estimó conveniente utilizar un aditivo que además de ser superfluidificante densificara la mezcla de concreto ya que las mezclas de concreto elaboradas con cemento de mampostería presentaban problemas de acabado superficial debido al exceso de aire atrapado en la mezcla, producto del aditivo resina de vinsol neutralizada.
- En la determinación de la mezcla óptima, se observó que los aditivos superfluidificantes (Sikament y Ultraflow), causan inconvenientes en cuanto a compatibilidad en la mezcla de concreto; afectando específicamente la trabajabilidad, la cohesión y la fluidez.

- En el diseño de la mezcla óptima, se determinó que el empleo de un aditivo superplastificante es fundamental para la obtención de fluidez y reducción de agua en la mezcla de concreto (para el caso, reducción del 5%), pero a la vez se comprobó que para ésta investigación no es posible una reducción de agua, tal como la propuesta por el fabricante del aditivo (Megaflo del 15% al 30%), debido a que se generan problemas de segregación en el concreto en estado fresco al reducir más del 5% en el agua de mezclado.
- Las mezclas elaboradas con cemento de mampostería de acuerdo al comité ACI 211.1 y cuyo uso está previsto para la construcción de viviendas coladas in-situ dan como resultado concretos ásperos, poco cohesivos, de consistencia dura y con poca trabajabilidad.
- Después de realizar diferentes mezclas de concreto y de obtener distintas extensibilidades que oscilaron entre 49 y 66 cm, con un promedio de 59 cm; se observó que ésta es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión (ver tabla 3.33, 3.34 y 3.35 del Capítulo III); a medida la extensibilidad decrece la resistencia a la compresión se incrementa.
- Al utilizar una mayor cantidad de finos (arena), la mezcla se hace más trabajable pero en contraposición la resistencia mecánica se ve afectada a medida se incrementa la proporción de dicho agregado, es decir que debe



existir un equilibrio en cuanto a proporciones de agregado para lograr las resistencias requeridas.

- Los resultados obtenidos en la prueba de adherencia ( $\sigma_{prom} = 13.36 \text{ kg/cm}^2$ ) fueron aceptables de acuerdo con los requerimientos establecidos para la construcción de viviendas coladas in-situ; dado que en este caso la función del acero de refuerzo es solamente para brindar confinamiento a la mezcla de concreto.
- Se determinó que técnicamente es factible la utilización del concreto en estudio, en base a la resistencia del concreto obtenida, pero por otro lado los ensayos de tiempo de fraguado manifiestan que se requiere una mayor inversión en cuanto a tiempo para efectuar el desencofrado de los elementos a construir, esto debido a que resulta un tiempo promedio de fraguado final de 8hr: 47min.

## **RECOMENDACIONES.**

- El contenido del presente trabajo de graduación debe analizarse desde una perspectiva introductoria considerando beneficioso el aporte de futuras investigaciones, en las cuales se utilicen diferentes combinaciones de agregados para el diseño de mezclas de concreto elaboradas con cemento de mampostería.
- La aplicación de una mezcla de concreto elaborada con cemento de mampostería propuesta en este estudio, se restringe única y exclusivamente para ser utilizada en la construcción de viviendas con paredes premoldeadas coladas in-situ, dado que las consideraciones de diseño se basan en ésta aplicación en particular.
- Se considera importante realizar un estudio de la composición química del cemento de mampostería y determinar así, el contenido de caliza y la proporción de resina neutralizada de vinsol, con la finalidad de buscar nuevas aplicaciones en concretos con especificaciones diferentes a las establecidas en el presente trabajo de investigación.
- El diseño propuesto como mezcla óptima corresponde a un determinado tipo de agregado, cemento y aditivo; es por ello que para elaborar un concreto

similar con diferentes especificaciones en cuanto a materiales, se debe considerar un diseño diferente en el que se evalúen las variaciones con respecto a las características de los materiales a utilizar, tomando como referencia la metodología aplicada en la investigación.

- En investigaciones de naturaleza semejante a la presentada en este trabajo, se debe implementar un proceso de acopio total de los materiales, principalmente de los granulares, para garantizar la calidad de los mismos y evitar ajustes posteriores en las propiedades de los materiales utilizados inicialmente en el diseño de la mezcla.
- Es importante considerar que para lograr la suspensión de las partículas en la mezcla de concreto y evitar la segregación, se deben utilizar materiales granulares que posean gravedades específicas semejantes, contribuyendo así a lograr una mayor estabilidad en la mezcla.
- Debido a los resultados observados en la búsqueda del diseño de mezcla óptima, en este trabajo de investigación se considera importante profundizar en la razón de la existencia de un desempeño anómalo de mezclas de concreto elaboradas con cemento de mampostería y el uso de aditivos superfluidificantes de última generación a base policarboxilatos.

- En la determinación de las propiedades de los materiales constituyentes del concreto, es necesario utilizar procedimientos estandarizados, para garantizar la correcta elección de las proporciones en el diseño de la mezcla.
- Para obtener los resultados planteados en el presente estudio se deben tomar en cuenta cada una de las consideraciones en las cuales se ha desarrollado dicha investigación, enfatizando en el control de calidad de los componentes del concreto y sobre todo en el desarrollo adecuado de los procesos constructivos (en cuanto a tiempo de mezclado, manejo y colocación del concreto; basándose principalmente en las proporciones preestablecidas para el concreto a emplear).
- Realizar un estudio de costo-beneficio para determinar la aplicabilidad de mezclas de concreto elaboradas con cemento de mampostería, para la construcción de viviendas con paredes premoldeadas coladas in-situ en El Salvador.
- Realizar un estudio de factibilidad económica del concreto elaborado con cemento de mampostería, basándose en la factibilidad técnica involucrada en la presente investigación.

- Efectuar una investigación tomando de referencia la presente, con el objeto de profundizar en cuanto al análisis de ciertos ensayos, que se introdujeron de forma adicional en éste estudio, tales como Módulos de Elasticidad, Tiempos de Fraguado y Adherencias, para lograr establecer un mejor criterio del comportamiento del concreto obtenido.
- A lo largo del proceso constructivo de las viviendas tipo (moldeadas y colada sin.situ) se deben tomar en cuenta las buenas prácticas (apoyándose en las especificaciones técnicas ASTM tradicionalmente utilizadas tanto para la elaboración del concreto como para la colocación; sin olvidar que el concreto diseñado en esta investigación no requiere de mayores esfuerzos para su completa consolidación. debido a la fluidez con la que se diseño dicho concreto.
- Llevar a cabo un estudio comparativo de adherencias (concreto – acero de refuerzo), entre el concreto elaborado con cemento de mampostería ASTM C 91 Tipo M y otros concretos elaborados con diferentes tipos de cemento; con el afán de ampliar los conocimientos sobre el comportamiento del concreto determinado en la presente investigación.
- Realizar un estudio en la búsqueda de un concreto que además de lograr la factibilidad técnica, analizada en esta investigación; determine un concreto

que sea económicamente factible, es decir mejorando el tiempo de fraguado de la mezcla determinada.

- Se considera importante ampliar la presente investigación y determinar los efectos de la temperatura en el concreto y su relación con la consistencia de la mezcla en estado fresco.
- Se recomienda realizar otras investigaciones en las cuales se busque una aplicación diferente al concreto elaborado con cemento de mampostería.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Agencia para el Desarrollo Internacional. Oficina de Asuntos Internacionales. “Normas Mínimas Propuestas para la Construcción de Viviendas Permanentes de Bajo Costo y para el Mejoramiento de las Áreas Marginales”.
- Chon Him Quant. “Estudio de las Características del Cemento de Mampostería y Análisis Comparativo de Morteros Tipo M y Tipo S, Fabricados con Cemento Pórtland, Cal y Cemento de Mampostería”. Trabajo de Graduación. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA). Mayo 1999.
- Mancía Ricardo Antonio. “Construcción de Viviendas en Serie Mediante el Uso de Moldes Metálicos, como una Alternativa Técnica a la Problemática Habitacional del País”. Trabajo de Graduación. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA). Noviembre 1979.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. “Aditivos Superfluidificantes para Concreto”. Cement and Concrete Association. 1978.
- Pérez Uceda E. “Los Superfluidificantes”. Revista N°575 (ISCYC). Octubre 1981.
- Uni-Span. “Sistema de Encofrados y Andamios Metálicos”. Catálogo Técnico. Colombia S.A. [www.unispan.com.co](http://www.unispan.com.co).
- Forsa. Formaletas S.A. “Manual de Instalación”. [www.forsa.com.co](http://www.forsa.com.co).
- Wall-Ties & Forms, Inc. “Aluminum Forms Capital Source”. Product Catalog. Shawnee, Kansas City. [www.wallties.com](http://www.wallties.com).
- Precise Forms. “Encofrados para Concreto y Accesorios Construidos para Durar”. Kansas City. [www.preciseforms.com](http://www.preciseforms.com).
- Solecsa Soluciones en Concreto, S.A. “Proceso par Construir Viviendas en 1Día con el Sistema de Formaleta de Aluminio”. Forcogua, S.A. Guatemala. [www.forcogua.com](http://www.forcogua.com).
- Ing. Carlos Quintanilla. Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC). “3er Foro Nacional de Vivienda”. Revista, Año9, Número 31. Septiembre 2004.

- ⇒ Ing. Oscar Sánchez. Industrias Metálicas y Moldes de Construcción. Inmoldecon, S.A de C.V. “Guía para la Construcción de Viviendas de Paredes Moldeadas y Coladas en el Sitio”. San Salvador, Octubre 1995.
- ⇒ Comisión Federal de Electricidad. “Manual de Tecnología del Concreto”. Sección 1; Definición y Requisitos de los Componentes del Concreto. Instituto de Ingeniería, UNAM. México, D.F. (1994).
- ⇒ Portland Cement Association. “Proyecto y Control de Mezclas de Concreto”. Editorial Limusa. México, D.F. (1978)
- ⇒ Mario Lungo. “Economía Política de la Vivienda en El Salvador”. Publicación en revista ECA. Universidad José Simeón Cañas (UCA), Septiembre 2001.
- ⇒ Comisión Federal de Electricidad “Manual de Tecnología del Concreto”. Sección 2; Concreto Fresco y en Curso de Endurecimiento. Instituto de Ingeniería, UNAM. México, D.F. (1994).
- ⇒ Comisión Federal de Electricidad “Manual de Tecnología del Concreto”. Sección 3; Concreto en Estado Endurecido. Instituto de Ingeniería, UNAM. México, D.F. (1994).
- ⇒ [www. tecnologiadeconcreto1.com](http://www.tecnologiadeconcreto1.com)
- ⇒ [http://www.Clinker y sus Componentes Activos.htm](http://www.Clinker_y_sus_Componentes_Activos.htm)
- ⇒ [http://www.Concreto – Monografías.com.htm](http://www.Concreto_Monografias.com.htm)
- ⇒ <http://www.come.to/divulgacioncientifica>
- ⇒ <http://www.cessa.com.sv>



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- (1) ASTM Designation C 150. "Standard Specification for Portland Cement". American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. (1986).
- (2) ASTM Designation C 595 "Standard Specification for Blended Hydraulic Cements". American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. (1986).
- (3) ASTM Designation C 845. "Standard Specification for Expansive Hydraulic Cement". American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. (1987).
- (4) ASTM Designation C 91. "Standard Specification for Masonry Cement". American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pa. (1996).
- (5) U.S Bureau of Reclamation. "Concrete Manual". U. S Department of the Interior, Washington D.C (1975).
- (6) ACI Committee 225. "Guide to the Selection and Use of Hydraulic Cements". American Concrete Institute, Detroit, Mich. (1985).
- (7) ACI Committee 201. "Guide to Durable Concrete", American Concrete Institute, Detroit, Mich. (1977).
- (8) ACI Committee. "Use of Fly Ash in Concrete". American Concrete Institute, Detroit, Mich. (1987).
- (9) ACI Committee 223. "Standard Practice for the Use of Shrinkage-Compensating Concrete". American Concrete Institute. Detroit, Mich (1983).
- (10) ACI Committee C 1105. "Standard Method for Length Change of Concrete Due to Alkali-Carbonate Rock Reaction". American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pa (1989).
- (11) Aíón Adam M. Neville. "Tecnología del Concreto". Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. A.C (1986): p. 29.
- (12) Comisión Federal de Electricidad. "Manual de Tecnología del Concreto". Definición y Requisitos de los Componentes del Concreto. Instituto de Ingeniería, UNAM. México, D.F. (1994).

- (13) ASTM Designation C 33. "Standard Specification for Concrete Aggregates". American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. (1986).
- (14) ASTM Designación C 125. "Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates". American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. (1988).
- (15) ASTM Designación C 40. "Método de Ensayo para Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino para Concreto". American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. (1999).
- (16) ASTM Designation E12. "Standard Definitions of Terms Relating to Density and Specific Gravity of Solids, Liquids and Gases". American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa. (1986).
- (17) ACI Committee 116. "Cement and Concrete Terminology" American Concrete Institute. Detroit, Mich. (1985)
- (18) Portland Cement Association. "Principles of Quality Concrete", John Wiley and Sons, Inc. New York, N.Y. (1975).
- (19) ACI Committee 207. Report 207.1R "Mass Concrete". American Concrete Institute. Detroit, Mich. (1987).
- (20) Stard, D. and Bhatti, M.S.Y. "Alkali-Silica Reactivity: Effect of Alkali in Aggregate on Expansion". Alkalis in Concrete. ASTM STP 930. Editor V.H. Dodson. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pa. (1986).
- (21) Palmer, D. "Alkali-Aggregate Reaction in Great Britain-The Present Position". Concrete. London, Eng. (1981).
- (22) Nixon, P. and Page, C. "Pore Solution Chemistry and Alkali-Aggregate Reaction". ACI SP-100. Vol 2. American Concrete Institute. Detroit, Mich. (1987).
- (23) Mather, B. "A Discussion of the Paper: A Review of Alkali-Silica Reaction and Expansion Mechanisms. 2. Reactive Aggregates by Sidney Diamond". Cement and Concrete Research, Vol 6, Nº 6 (1976).
- (24) ASTM Designation C 94. "Standard Specification for Ready-Mixed Concrete". American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pa. (1989).

- (25) AASHTO DESIGNATION: T 26-79 "Standard Specification for Quality of Water to be Used in Concrete"
- (26) ACI Committee 211. Report 211.1 "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete". American Concrete Institute. Detroit, Mich. (1985).
- (27) Mc Coy, W.J. "Mixing and Curing Water for Concrete". ASTM STP 169 B. Chapter 43. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pa. (1978).
- (28) ACI Committee 212. Report 212.1R. "Admixtures for Concrete". American Concrete Institute. Detroit, Mich. (1986).
- (29) ACI Committee 212. Report 212.3R. "Chemical Admixtures for Concrete". American Concrete Institute. Detroit, Mich. (1989).
- (30) ASTM Designation C 494. "Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete". American Society for Testing and Materials. Philadelphia, Pa. (1986).
- (31) ASM Designation 1017. "Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete" American Society for Testing and Materials. Philadelphia. Pa (1985).
- (32) Manual de Tecnología del Concreto Tomo II. CFE. Comisión Federal de Electricidad.
- (33) ACI 332R 84 · "Guide to Residential Cast-in-Place Concrete Construction" Reapproved 1999.

## **GLOSARIO.**

**ABSORCIÓN:** La cantidad de las fuerzas de tensión en la superficie que acusa el movimiento del agua hacia los capilares (i.e., en el concreto) sin presiones externas apreciables.

**ACABADO:** La textura de la superficie después de que los trabajos de compactación y terminado han sido completados.

**ACI:** Instituto Americano del Concreto.

**ADICION:** Material inorgánico finamente dividido utilizado en el concreto para mejorar ciertas propiedades o para lograr propiedades especiales. Existen dos tipos de adiciones inorgánicas adiciones inertes (Tipo I) y adiciones hidráulicas latentes o puzolánicas (Tipo II).

**ADITIVO:** Material añadido en pequeñas cantidades durante el proceso de mezclado del concreto en relación con la masa de cemento para modificar las propiedades del concreto fresco o endurecido.

**ADITIV REDUCTOR DE AGUA (ALTO RANGO):** Un agente reductor de agua capaz de producir una gran reducción de agua o gran fluidez en un mortero o concreto, sin causar un indebido retraso en el fraguado o contenido de aire en estos.

**AGREGADO FINO:** Son arenas naturales o manufacturadas, con tamaños de partícula pasantes de la malla N° 4 (4.75 mm) y retenidas en la malla N° 100 (150 $\mu$ m).

**AGREGADO GRUESO:** Son materiales, cuyas partículas se retienen en la malla N° 16 (1.18 mm) y pueden variar hasta 152 mm.

**AGRIETAMIENTO:** En una fisura que atraviesa de lado a lado el espesor de una estructura, es producto de cambios en el concreto provocados, por la existencia de tensiones superiores a su capacidad de resistencia, a esfuerzos debidos a la contracción por secado o a cambios de temperatura en condiciones de restricción.

**AGRIETAMIENTO ALEATORIO:** Una grieta no controlada fuera de las juntas cortadas uniformemente.

**AGRIETAMIENTO POR CONTRACCIÓN:** Agrietamiento de una estructura o elemento debido a falla de tensión causada por restricciones externas o internas como el desarrollo de la reducción del contenido de humedad o como la carbonización o ambas.

**AIRE ATRAPADO:** Aire en el concreto que no fue contenido a propósito. El aire atrapado normalmente se considera como vacíos grandes (mayores de 1mm)

**APISONADOR (PISON):** Dispositivo operado en forma manual par compactar la parte superior en pisos u otras superficies sin forma por el impacto de la caída de un dispositivo en preparación para el enrasado y terminado.

**BACHADA:** Cantidad de concreto o mortero mezclado en una vez.

**BLOQUEO:** Se produce un “bloqueo” cuando un material no puede fluir a través de una apertura específica (u orificio) debido al interbloqueo de las partículas del árido.

**BOMBEO:** Es la actividad que se realiza para transportar directamente concreto desde un punto central de descarga hasta la cimbra o hasta el punto de descarga secundario.

**CALOR DE HIDRATACIÓN:** Calor desarrollado por reacciones químicas de una sustancia con el agua tal como el desarrollo durante el fraguado y endurecimiento del cemento Pórtland.

**CEMENTO, HIDRÁULICO:** Un cemento que es capaz de fraguar y endurecer bajo la acción del agua, como el cemento Pórtland normal.

**COHESIÓN:** Identificada con el esfuerzo de cedencia, representa la resistencia que la mezcla opone para deformarse e iniciar el flujo del concreto.

**COLADO:** Es la actividad de colocar el concreto en las cimbras o encofrados.

**COMPONENTES DEL CONCRETO:** Son aquellos materiales que en conjunto constituyen el concreto, los cuales básicamente son agregados (arena y grava) y pasta (cemento Pórtland y agua); los aditivos y adiciones son incluidos en la mezcla como componentes especiales.

**CONCRETO NORMAL:** Es aquel concreto de uso común en las obras que se construyen con equipos y procedimientos ordinarios, suele elaborarse mediante mezclados de consistencia semifluida, plástica y semiplástica en las que resulta aplicable la prueba de revenimiento.

**CONCRETO ENDURECIDO:** El concreto se encuentra en este estado cuando propiamente comienza la formación del tejido filamentoso producto de la hidratación, o gel de cemento, que endurece la pasta y que a su vez la capacita

para aglutinar las partículas de los agregados, dándole resistencia mecánica a la masa del concreto.

**CONCRETO FRESCO:** Mezcla de concreto recién elaborada, la cual es una masa plástica que puede ser moldeada con relativa facilidad, y que a temperatura normal de prueba permanece en ese estado durante pocas horas. Inicia desde que el concreto está recién mezclado, hasta el principio de la rigidez del concreto.

**CONSISTENCIA:** Es una medida de la trabajabilidad referida a la movilidad y la compactación del concreto, en términos de la apariencia del concreto que exhibe al ser manipulada y expresada en base a resultados de alguna prueba específica.

**CONTRACCIÓN:** Aumento o disminución del volumen de concreto, provocando cambios en la forma y tamaño del elemento, por efecto de variaciones térmicas, cambios de humedad o por el efecto del agregado o aditivos utilizados.

**CURADO:** Procedimiento para mantener en el concreto, los contenidos de humedad y temperatura en condiciones satisfactorias, durante un período definido inmediatamente después de la colocación y acabado, con el propósito que se desarrollen las propiedades deseadas.

**ENCONFRADO:** Son las cimbras que se utilizan para moldear el concreto y darle la forma especificada en el diseño de la estructura.

**ESTABILIDAD:** Es la medida que el concreto opone a perder su homogeneidad original en el lapso comprendido desde que abandona la mezcladora hasta que adquiere el fraguado en su posición final.

**EXUDACIÓN:** Forma particular de segregación, el agua tiende a migrar a la superficie y crea una capa delgada, débil y porosa sin resistencia y deficiente durabilidad. Si el volumen evaporado es mayor que el volumen que migró a la superficie, se generan fisuras de retracción plástica.

**FINOS:** Material con un tamaño de partícula inferior a 0.125 mm, incluyendo el cemento, la adición y la aportación de las arenas.

**GRANULOMETRIA:** Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por el análisis de tamices (ASTM C 136). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre de aberturas cuadradas.

**JUNTA:** Un plano de debilidad para controlar el agrietamiento por contracción en pavimentos de concreto. una junta puede ser iniciada en el concreto plástico o concreto verde y formada con un proceso posterior.



**JUNTA DE AISLAMIENTO:** Separación entre las partes adyacentes de una estructura de concreto normalmente un plano vertical, en una ubicación designada para que interfiera lo menos posible con el comportamiento de la estructura, pero que permita un movimiento relativo en las tres direcciones y evite la formación de grietas en cualquier lugar en el concreto y a través de la cual todo o parte de refuerzo adherido se interrumpa.

**JUNTAS FRIAS:** Son por lo general producto de la suspensión de labores de colocación del concreto, sea por la finalización de la jornada laboral, alguna interrupción en el suministro del material o por averías en el equipo empleado para su producción o transporte; esta interrupción debe ser tan larga para que el concreto colocado alcance su fraguado final antes de seguir el procedimiento de colado.

**FRAGUADO:** La condición alcanzada por una pasta de cemento, mortero o concreto cuando ha perdido plasticidad en un grado arbitrario, usualmente medida en términos de resistencia a la penetración o deformación.

**FALSO FRAGUADO:** El desarrollo rápido de rigidez en una pasta fresca de cemento Portland, mortero o concreto sin evolución de mucho calor, con la cual la rigidez puede ser dispersada y la plasticidad recuperada por mezclado adicional sin la adición de agua; endurecimiento prematuro, fraguado dudoso, endurecimiento temprano y fraguado de hule son términos que se refieren a este fenómeno.

**FRAGUADO FINAL:** Grado de endurecimiento de una mezcla de cemento y agua mayor que el fraguado inicial, generalmente expresado como un valor empírico que indica el tiempo en horas y minutos requeridos por la pasta de cemento para endurecer suficientemente para resistir a un grado establecido de penetración de una aguja de prueba; también se aplica al concreto o mortero con el uso de procedimientos apropiados de prueba.

**FRAGUADO INICIAL:** Grado de endurecimiento de una mezcla de cemento y agua menor que el fraguado final, generalmente expresado como un valor empírico que indica el tiempo en horas y minutos requeridos por la pasta de cemento para endurecer suficientemente para resistir a una grado establecido de penetración de una aguja de prueba; también se aplica al concreto o mortero con el uso de procedimientos apropiados de prueba.

**FRAGUADO RÁPIDO:** El desarrollo rápido de rigidez de una mezcla fresca de pasta de cemento Pórtland, mortero o concreto, usualmente por la evolución de un calentamiento considerable con el cual la rigidez no puede ser disipada ni tampoco la plasticidad puede restituirse con un mezclado posterior sin la adición de agua.

**MEZCLADO:** Es la incorporación de los componentes del concreto hasta el grado en que las reacciones entre sí se completen; esta puede llevarse a cabo mediante medios manuales o mecánicos.

**MORTERO:** la fracción de concreto consistente en la pasta junto con los agregados de tamaño inferior a 4.75 mm ( malla N° 4)

**OQUEDADES:** Son huecos vistos en el acabado superficial del concreto, el cual puede dar signo de una posible segregación.

**PASTA:** La fracción de concreto consistente en los finos junto con el agua y el aire

**PÉRDIDA DE REVENIMIENTO:** La diferencia de revenimiento de una mezcla de concreto fresco durante un periodo de tiempo después de una prueba de revenimiento inicial hecho en una muestra o muestras similares.

**PERMEABILIDAD:** Se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando esta se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias.

**PLANO DE DEBILIDAD:** El plano en el cual un cuerpo bajo cargas tendera a fracturarse; puede existir por diseño, accidente o debido a la naturaleza de la estructura y su carga.

**REOLOGÍA:** Examina el comportamiento del concreto y en general de los cuerpos sólidos, líquidos e intermedios entre ambos estados, que se deforman y fluyen por efecto de las fuerzas que actúan en ellos, es decir, cuerpos que tienen cierta plasticidad.

**RELACION AGUA/CEMENTO:** La relación de la cantidad de agua, excluyendo únicamente la absorbida por los agregados, a la cantidad de cemento (o

materiales cementantes) en una mezcla de concreto o mortero, preferiblemente referida en un decimal del peso.

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:** Se puede definir como la máxima resistencia medida de 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, se le designa con el símbolo  $f_c$ .

**SEGREGACIÓN:** Concreto diferencial de los componentes del concreto que da como resultado proporciones no uniformes en la masa, es decir, representa el estado opuesto de la homogeneidad.

**SANGRADO:** Es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales sólidos.

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (DE AGREGADO):** En especificaciones para descripción de agregado, la abertura mas pequeña de la malla a través de la cual al cantidad total de los agregados se le permite pasar.

**TRABAJABILIDAD (DOCILIDAD):** Una medida de la facilidad con la que el concreto fresco puede colocarse y compactarse: se trata de una compleja combinación de aspectos de fluidez, cohesividad, compactibilidad y viscosidad.

**VIBRADO:** Es el método comúnmente utilizado para consolidar el concreto, el cual crea con la vibración una destrucción temporal de la fricción interna entre las partículas de agregado, y el concreto se comporta como líquido, se asienta en las cimbras por acción de la gravedad y los vacíos grandes de aire suben más fácilmente a la superficie.

**VISCOSIDAD:** Es una medida de la resistencia de un material para fluir debido a la fricción interna (y es la relación de esfuerzo aplicado respecto a la tasa de corte).

**ANEXOS.**

**ANEXO A:**

**ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA ARENA.**



**CONCRETERA SALVADOREÑA S.A.  
CONTROL DE CALIDAD PLANTEL CENTRAL**

**HOJA TÉCNICA DEL AGREGADO FINO UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN  
DE CONCRETO HIDRÁULICO.**

**Descripción:**

Arena de banco natural de color gris con baja absorción, alta densidad y bajo contenido de pómez, material que por sus características físicas lo hace ideal para la elaboración de concreto premezclado.

**Procedencia:**

La Cantera S.A. de C.V.

**Ubicación:**

Km. 40 Aguilares.

**Usos:**

Elaboración de concretos convencionales, estructurales, MR (tipo directo y tipo bomba), concretos especiales (de resistencias a edades tempranas 18 a 24 horas, Aligerados, lanzados, autonivelantes, autocompactables)

**Información Técnica:**

- Cumple con las normativas ASTM C-33, C-136, C-128, C-29, C-40, D-2419

**Ventajas:**

- Mezclas manejables, facilita la Bombeabilidad, facilidad en los acabados.

**FINAL 23 A.V. SUR # 406. SAN SALVADOR, EL SALVADOR.  
TEL. (503) 221-2299 FAX. (503) 222-9742**



**ANEXO B:**  
**CONTROL DE GRANULOMETRÌA Y PROPIEDADES**  
**FISICAS DE LA GRAVA  $\frac{3}{4}$ ".**



**CONCRETERA SALVADOREÑA S.A de C.V**  
**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**  
**REPORTE DE ANÁLISIS DE GRAVA 1**



Fecha: 21-Nov-05  
 Planta: Central  
 Análisis #: Nov-01  
 Procedencia: La Cantera  
 Tipo: Trituración  
 color: Gris oscuro  
 Responsable: H.A.A.  
 Proyecto: \_\_\_\_\_

**DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO MENOR**

ASTM C-131

Graduación B	W inicial	W final
	5000.0	3926.0
% Desgaste	21%	

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ASORCION**

ASTM C-127

W seco	sss	W sumergido	Ge	Abs %
3243.0	3279.0	2020.0	2.60	1.11
Promedio				

**MATERIAL MAS FINO QUE LA MALLA**

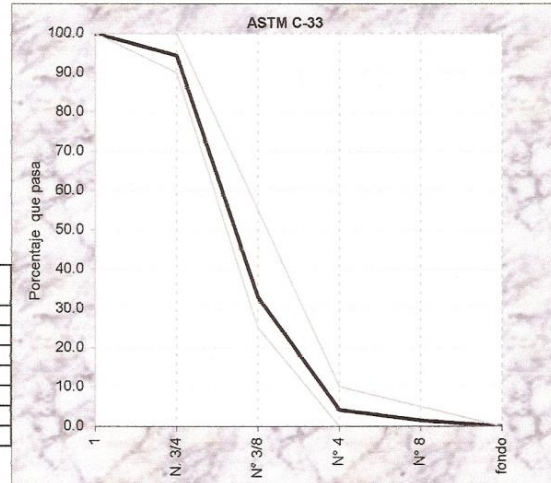
**#200**  
 ASTM C-117

W inicial: 5629.4 gramos  
 W lavado: 5598.4 gramos  
0.6%

**GRANULOMETRIA**

ASTM C-136

N° Mallas	Peso Retenido g.	% RETENIDO		% que pasa
		Parcial	Acumulado	
1	0.00	0.00	0.00	100.00
N 3/4	321.10	5.70	5.70	94.30
N° 3/8	3457.90	61.38	67.08	32.92
N° 4	1621.60	28.78	95.86	4.14
N° 8	149.30	2.65	98.51	1.49
fondo	83.70	1.49	100.00	0.00
SUMAS	5633.60	100.00		



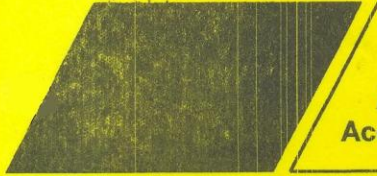
OBSERVACIONES: Error dentro del 0.3% ASTM C-136

Realizó: \_\_\_\_\_

Supervisó: \_\_\_\_\_  
 Ing. G. Flores Barrios  
 Gerente de Control de Calidad

**ANEXO C:**

**CONTROL DE CALIDAD DEL ADITIVO SIKAMENT-100.**



# Sikament - 100

Aditivo Reductor de Agua de Alto Poder.  
Acelerante de Resistencia y Superfluidizante



## DESCRIPCIÓN

Aditivos adicionado de estabilizadores especiales que agregado al concreto, imparte una consistencia superfluida de alta trabajabilidad, alta reducción de agua en el concreto, obteniéndose alta resistencia a edades tempranas.

**No contiene cloruros.**

Cumple con las normas **ASTM C 494 tipo F** y **ASTM C 1017 tipo I**.

## USOS

**Sikament - 100** se caracteriza por un alto poder dispersante permitiendo una perfecta distribución de las partículas de cemento del concreto, provocando su hidratación completa, obteniendo el máximo efecto adherente del cemento. **Sikament - 100** se usa principalmente para: estructuras pretensadas, postensadas, prefabricadas, de diseño especial, colados en serie, desmoldadas a corto plazo, fabricación de block, adocreto, etc..

## VENTAJAS

Por sus características especiales, el uso del **Sikament -100** en el concreto:

- Incrementa la eficiencia del cemento con la reducción del mismo.
- Por ser un reductor de agua de alto rango, permite reducciones considerables del cemento.
- Reduce la segregación y el sangrado.
- Reduce la permeabilidad disminuyendo la tendencia a figuración, así como la contracción.
- Produce excelente acabados.
- Es el aditivo especial para trabajos urgentes.
- Permite reducir el costo de colocación, vibrado, cimbra y tiempo de construcción.
- A 24 horas se acelera la resistencia del concreto o mortero de un 45 a un 90% dependiendo de la dosificación, con relación al concreto o mortero sin aditivo, permitiendo acortar los tiempos de desmoldado (ideal en plantas prefabricadoras)

## MODO DE EMPLEO

Como **superfluidizante**, adicionar el **Sikament - 100** al concreto ya mezclado. En este caso debe ampliarse

el tiempo mezclado medio minuto mas por metro cúbico de concreto.

Como **reductor de agua de alto rango**, dosificar el **Sikament - 100** junto con el agua de mezclado.

## Dosificación

Como **superfluidizante**, un galón para 11 a 18 bolsas de cemento.

Como **reductor de agua de alto rango**, un galón para 3 -5 a 9 bolsas de cemento.

## DATOS TÉCNICOS

Tipo:	Aditivos líquidos polímetro tipo dispersión a base de melamina formaldehído.
Color:	Café oscuro.
pH	10 aprox.

## PRECAUCIONES

El concreto fabricado con **Sikament - 100** fresco tiene que colocarse y acabarse sin demora.

La permanencia del efecto de superfluidéz, se mantiene alrededor de 30 minutos.

El lapso de la permanencia de fluidez obedece al revestimiento inicial y a la temperaturas del concreto fresco del ambiente.

Demora imprevistas en un colado puede remediarse mediante una segunda dosis de **Sikament - 100** al concreto.

En caso de usarse en obras urgentes, este producto funciona como acelerante de resistencia a una dosificación de 1 galón para 3 a 4 bolsas de cemento.

## MEDIDAS DE SEGURIDAD

Usar guantes de hule y gafas de seguridad durante su manipulación

## PRESENTACIÓN

Cubetas de 5 galones.  
Tambor de 55 galones.  
Granel.

## ALMACENAMIENTO

Un año en envase original, bajo techo y en un sitio fresco y seco.



ADITIVOS DE EL SALVADOR, S.A.

## Oficina de Ventas

33 Avenida Sur #661, San Salvador  
Tel. 298-9076 Fax: 298-9075  
E-Mail: aditivos@navegante.com.sv

**ANEXO D:**

**CONTROL DE CALIDAD DEL ADITIVO ULTRAFLOW.**



Concrete Admixtures and Fiber

## ULTRAFLOW

Reductor de Agua de Alto Alcance (Última Generación)

### DESCRIPCION

**ULTRAFLOW** es la última generación de superplastificantes. Es especialmente formulado y modificado para mejorar las propiedades del concreto o mortero. **ULTRAFLOW** es un efectivo dispersante, fluidificador y poderoso reductor de agua que provee excelentes propiedades reoplasticas al concreto.

### USOS

**ULTRAFLOW** es específicamente intencionado a usarse en concreto prefabricado ya que provee una fluidez excepcional y mejora las propiedades de plasticidad del concreto rompiendo la conglomeración del cemento sin el uso de vibradores.

**ULTRAFLOW** es muy efectivo usado para nivelar pisos que serán cubiertos por alfombras, losetas u otra terminación. Esto se hace sin mayor esfuerzo en la colocación y terminado de la superficie del concreto.

**ULTRAFLOW** aparte de los usos mencionados se puede usar para concreto bombeado, colocar concreto bajo agua, concreto lanzado, losas de concreto con formas especiales, concreto usando humo de sílice y concreto liviano.

### VENTAJAS

**ULTRAFLOW** además ofrece las siguientes características para el concreto:

- Fluidez nivelándose solo.
- Resistencia a temprana edad.
- Alta trabajabilidad con bajo contenido de agua.
- Baja relación agua/cemento (Hasta 30%).
- Reducción del cemento.
- Mejora la superficie.

## INTERNATIONAL MATERIALS INDUSTRIES, L.L.C.

2131 Feters Road\* Harvey, Louisiana 70058 \* PHONE: (504) 227-9944 \* Fax: (504) 227-9040

Final 23 Av Sur 480 San Salvador, Telefono (503) 221-2299 Cel (503) 700-4321

SINEMBIA: La información que contiene esta ficha técnica está basada en pruebas e información de fuentes confiables de su tiempo, no se ofrece garantía ni aprobación al respecto al uso de esta información o la exactitud de sus datos, de los resultados que se obtienen por el uso de esta o que existen en cualquier momento. Esta información, se suministra con la condición de que las personas que la utilizan, hacen sus propios pruebas para determinar la idoneidad para su propósito de uso particular. La responsabilidad por daños por el uso de esta información, se otorga con, excepto que el grado del material suministrado.

## INFORMACION TECNICA

**ULTRAFLOW** cumple y excede la especificación ASTM C494, Tipo F y AASHTO M-194

El concreto fluidificado con **ULTRAFLOW** se mantiene trabajable por un espacio de tiempo de 1 a 2 horas a una temperatura ambiental de 20°C (68°F). La duración de la trabajabilidad no solamente depende de la temperatura ambiental, sino también del tipo y marca del cemento, la clase de agregados, el método de mezclado y el método de transportarlo. **ULTRAFLOW** se añade en las dosificaciones normales, el calor de hidratación no es afectado significativamente.

## APLICACION

**ULTRAFLOW** se dosifica normalmente a razón de 3 a 10 onzas fluidas por 100 lbs de cemento (195ml a 652ml por 100Kg de cemento). Dosificaciones mas altas pueden ser requeridas dependiendo de las condiciones específicas de la obra, hasta una dosificación de 1.5 L. por 100 Kg. de cemento.

**ANEXO E:**

**CONTROL DE CALIDAD DEL ADITIVO MEGAFLOW**





Concrete Admixtures and Fiber

## MEGAFLOW

Reductor de Agua de Alto Alcance

### DESCRIPCION

**MEGAFLOW** es un compuesto líquido color café, formulado con poderosos reductores de agua que funcionan de forma electro-química con las partículas del cemento. Al tener contacto con el cemento, **MEGAFLOW** hace que las partículas de cemento se carguen negativamente, causando que se repelan entre sí, produciendo un movimiento de plasticidad al tratar de polarizarse con una cantidad mínima de agua presente en la mezcla. Este fenómeno causa que se reduzca el agua de amasado substancialmente. Como resultado se produce un aumento de la resistencia a temprana y última edad. Se puede obtener resistencias muy altas a temprana edad. Esta alta resistencia puede reducir o eliminar en algunos casos el uso de curado a vapor o por calor en operaciones de prefabricado o preforzado. El uso de losas de piso y secciones de carreteras el próximo día, usando **MEGAFLOW** es posible. Aditivos suplementarios como retardadores, acelerantes de fraguado, reductores de agua o impermeabilizantes se pueden usar con **MEGAFLOW** cuando sea necesario.

### USO

- Para producir concreto con resistencias muy altas a edades de 18 a 24 horas.
- Para producir concreto fluido
- Para la fabricación de concreto prefabricado o preforzado sin el uso de vapor.
- Para acelerar la rehabilitación de reparaciones en losas de concreto o pavimentos.

### INFORMACION TECNICA

**MEGAFLOW** cumple con la norma ASTM C-494 Tipo F y no contiene cloruro.

### VENTAJAS

- Aumento a temprana edad de la resistencia a la compresión, flexión y adherencia que se obtiene por la reducción de 15% a 30% de agua que produce.
- Reduce el contenido de cemento substancialmente mientras mantiene el nivel de resistencia y trabajabilidad deseado.

## INTERNATIONAL MATERIALS INDUSTRIES, L.L.C.

2131 Peters Road\* Harvey, Louisiana 70058 \* PHONE: (504) 217-0944 \* Fax: (504) 217-0040

Final 15 Av Sur # 480 San Salvador, Telefono (503) 221-2199 Cel (503) 700-4321

**GARANTIA:** La información que aparece en este folleto está basada en pruebas e información de fuentes confiables, de cualquier, en su defecto, garantía o representación implícita o tácita, o en cualquier otro tipo de garantía, de los resultados que se obtienen por el uso de este o que aparecen en el folleto o en cualquier otro tipo de garantía, de que las pruebas que se realizaron fueron con propósitos previos para determinar la idoneidad para un propósito de una particular. La responsabilidad por daños por el folleto es, en ningún caso, mayor que el precio del material entregado.

Produce concreto fácil de colocar con revenimiento alto, eliminando o reduciendo la necesidad de compactación mecánica.

Reduce la permeabilidad, produciendo un concreto más denso.

En reparaciones, permite el uso de las estructuras reparadas el próximo día.

## APLICACION

Usado como Reductor de Agua de alto alcance **MEGAFLOW** se debe introducir a la mezcla con el agua de mezclado. Use de 8 a 30 onzas fluidas por 100 libras de cemento (522ml a 2.0L por 100 Kg. de cemento). Para resistencias de 280 Kg/c.c. (4000 lbo/pulg<sup>2</sup>) a 24 horas en adelante hay que usar una relación agua/cemento de por lo menos 0.3 y una dosificación de **MEGAFLOW** de 20 oz por 100 lbs de cemento (1.3L por 100 Kg. de cemento).

Usado para producir Concreto Fluido **MEGAFLOW** produce concreto fluido de 6 a 10 pulgadas (15 a 25cm) de revenimiento, partiendo de un revenimiento inicial de 2 a 4 pulgadas (5 a 10 cm). El **MEGAFLOW** se debe añadir al camión / mezcladora en la obra y luego mezclar por tres minutos antes de descargar. Use de 8 a 16 onzas fluidas por 100 libras de cemento (522ml a 1.0L por 100 Kg. de cemento)

Usado para mantener el revenimiento: **MEGAFLOW** se puede re-dosificar varias veces hasta que la dosificación total de **MEGAFLOW** alcance 30 onzas por 100 lbs de cemento (2.0L por 100 Kg. de cemento). Cuando el colocado de concreto se demora y el revenimiento se comienza a perder, añada **MEGAFLOW** directamente al camión/mezcladora a razón de una a dos onzas fluidas por 100 libras de cemento (130 - 260 ml por 100 kg de cemento) para mantener el revenimiento.

**ANEXO F**

**CONTROL DE CALIDAD DEL CEMENTO**

# CEMENTO DE EL SALVADOR

Formato LC-F-156, Revisión 0  
Ref. CUSCATLAN 09-05

Este documento **CERTIFICA** que el cemento producido por nuestra empresa bajo denominación **CUSCATLAN**, cumple con los requerimientos de la Normativa Americana ASTM (American Society for Testing and Material) C91-03, Tipo M. Este cemento, durante la fecha comprendida del 1 al 30 de septiembre de 2005 presentó los siguientes valores promedios de calidad, según los métodos que se detallan:

**TABLA 1. REQUERIMIENTOS FISICOS**

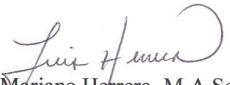
DETERMINACIÓN	ASTM C91-03 Tipo M	PROMEDIO DE NUESTRO CEMENTO
Retenido en el Tamiz No. 325 de 45µm (%)	24 % máx.	14.7
Tiempo de Fraguado Gillmore (ASTM C 266) Inicial (minutos) Final (minutos)	No menos de 90 minutos No mayor de 1440 minutos	145 243
Resistencias a la Compresión (ASTM C109) 7 días (psi) 28 días (psi) (A)	1,800 mín. 2,900 mín.	2,690 3,220
Contenido de aire (% vol.) (ASTM C185)	8% mín. 19% máx.	15
Retención de Agua (%) (ASTM C1605)	70% mín.	83
Expansión en Autoclave (%) (ASTM C151)	1.0% máx.	0.01

A: Este dato promedio es de 28 días antes de la fecha del resto de valores, pues es el valor más reciente.

Metapán a los doce días del mes de octubre del año dos mil cinco.

  
Ing. José Guillermo Osorio  
Supte. de Control de Calidad



  
Luis Mariano Herrera, M.A.Sc.  
Gerente de Control de Calidad

## CEMENTO DE EL SALVADOR, S.A. DE C.V.

Avenida El Espino y Boulevard Sur, Madreselva, Antiguo Cuscatlán  
Teléfono: (503)2505-0000; Fax: (503)2505-0106  
Apartado Postal 05-17 El Salvador, Centro América

# CEMENTO DE EL SALVADOR

Formato LC-F-156, Revisión 0  
Ref. CUSCATLAN 10-05

Este documento **CERTIFICA** que el cemento producido por nuestra empresa bajo denominación CUSCATLAN, cumple con los requerimientos de la Normativa Americana ASTM (American Society for Testing and Material) C91-03, Tipo M. Este cemento, durante la fecha comprendida del 1 al 31 de octubre de 2005 presentó los siguientes valores promedios de calidad, según los métodos que se detallan:

TABLA 1. REQUERIMIENTOS FISICOS

DETERMINACIÓN	ASTM C91-03 Tipo M	PROMEDIO DE NUESTRO CEMENTO
Retenido en el Tamiz No. 325 de 45µm (%)	24 % máx.	14.1
Tiempo de Fraguado Gillmore (ASTM C 266) Inicial (minutos) Final (minutos)	No menos de 90 minutos No mayor de 1440 minutos	141 236
Resistencias a la Compresión (ASTM C109) 7 días (psi) 28 días (psi) (A)	1,800 mín. 2,900 mín.	3,050 3,390
Contenido de aire (% vol.) (ASTM C185)	8% mín. 19% máx.	14
Retención de Agua (%) (ASTM C1605)	70% mín.	82
Expansión en Autoclave (%) (ASTM C151)	1.0% máx.	0.02

A: Este dato promedio es de 28 días antes de la fecha del resto de valores, pues es el valor más reciente.

Metapán a los veinte y seis días del mes de noviembre del año dos mil cinco.

  
Ing. José Guillermo Osorio  
Supte. de Control de Calidad



  
Luis Mariano Herrera, M.A.Sc.  
Gerente de Control de Calidad

## CEMENTO DE EL SALVADOR, S.A. DE C.V.

Avenida El Espino y Boulevard Sur, Madreselva, Antiguo Cuscatlán  
Teléfono: (503)2505-0000; Fax: (503)2505-0106  
Apartado Postal 05-17 El Salvador, Centro América

# CEMENTO DE EL SALVADOR

Formato LC-F-156, Revisión 0  
Ref. CUSCATLAN 11-05


Este documento **CERTIFICA** que el cemento producido por nuestra empresa bajo denominación **CUSCATLAN**, cumple con los requerimientos de la Normativa Americana ASTM (American Society for Testing and Material) C91-03, Tipo M. Este cemento, durante la fecha comprendida del 1 al 30 de noviembre de 2005 presentó los siguientes valores promedios de calidad, según los métodos que se detallan:

**TABLA 1. REQUERIMIENTOS FISICOS**

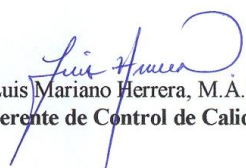
DETERMINACIÓN	ASTM C91-03 Tipo M	PROMEDIO DE NUESTRO CEMENTO
Retenido en el Tamiz No. 325 de 45µm (%)	24 % máx.	14.2
Tiempo de Fraguado Gillmore (ASTM C 266) Inicial (minutos) Final (minutos)	No menos de 90 minutos No mayor de 1440 minutos	145 244
Resistencias a la Compresión (ASTM C109) 7 días (psi) 28 días (psi) (A)	1,800 mín. 2,900 mín.	3,000 3,930
Contenido de aire (% vol.) (ASTM C185)	8% mín. 19% máx.	13
Retención de Agua (%) (ASTM C1605)	70% mín.	82
Expansión en Autoclave (%) (ASTM C151)	1.0% máx.	0.02

A: Este dato promedio es de 28 días antes de la fecha del resto de valores, pues es el valor más reciente.

Metapán a los diez y siete días del mes de diciembre del año dos mil cinco.

  
Ing. José Guillermo Osorio  
Supte. de Control de Calidad



  
Luis Mariano Herrera, M.A.Sc.  
Gerente de Control de Calidad

## CEMENTO DE EL SALVADOR, S.A. DE C.V.

Avenida El Espino y Boulevard Sur, Madreselva, Antiguo Cuscatlán  
Teléfono: (503)2505-0000; Fax: (503)2505-0106  
Anartado Postal 05-17 El Salvador, Centro América